



АССОЦИАЦИЯ
НЕЙРОХИРУРГОВ
РОССИИ

ISSN 2587-7569 (Online)
ISSN 1683-3295 (Print)

НЕЙРОХИРУРГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ



RUSSIAN JOURNAL OF NEUROSURGERY

Лечение солитарных
церебральных
метастазов

Минимально инвазивная
хирургия гипертензивных
вентрикулярных
кровоизлияний

Эндоскопическое
удаление инородного
тела поясничного отдела
позвоночника

2

ТОМ 24

2022

Raucodrape® - комплекты операционного белья для краниотомии

Белье Raucodrape выпускается из нового материала и полностью отвечает европейским стандартам (European EN 13795).

Применение белья Raucodrape позволяет:

- создать непроницаемый барьер для жидкости и бактерий (основа эффективной профилактики инфицирования при операционных вмешательствах);
- надежно ограничить операционное поле и обеспечить стерильность.



Комплект для краниотомии предназначен для хирургических вмешательств на черепе. В состав комплекта входит специализированная простыня для краниотомии со встроенной инцизионной пленкой, дополнительным впитывающим слоем вокруг области операционного поля и приемным мешком для сбора жидкости.

Кроме того в комплект входят: 3 простыни с липким краем, 1 покрытие на инструментальный стол, 1 чехол на столик Мейо, 2 полотенца.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПРОВЕРЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Хирургический биологический клей BioGlue

Эффективно применяется для:

- герметизации твердой мозговой оболочки при краниотомии;
- достижения анатомической целостности гипофизарной ямки при трансфеноидальных операциях;
- укрепления хирургических швов при эндалтерэктомии сонных артерий.



ГЕМОСТАТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

PerClot®

КАЧЕСТВЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОСТАНОВКИ КРОВОТЕЧЕНИЙ В НЕЙРОХИРУРГИИ ДЛЯ ВСЕХ ВИДОВ ПРОЦЕДУР

Система полисахаридная PerClot

Преимущества использования:

- мгновенно впитывает жидкую составляющую крови и запускает процесс тромбообразования;
- увеличивается до максимального объема сразу после контакта с кровью и не оказывает компрессии;
- возможность удаления после наступления гемостаза;
- полностью рассасывается в течение 48 часов;
- рентгенпрозрачен.



Реклама



ООО «Фирма «Финко»

Официальный дистрибьютор

www.fincomed.com

123007, г. Москва,

ул. 4-я Магистральная, д.5/5, оф. 406

Тел./факс: +7 (495) 640-34-55

E-mail: info@finco-med.com

ПРИРОДНАЯ ЗАЩИТА МОЗГА

Биологический протез твёрдой мозговой оболочки xenoDURA



Реклама

Натуральный коллагеновый протез, аналогичный твердой мозговой оболочке человека. Представляет собой высокоочищенную биологическую матрицу, выступающую в роли тканеинженерного каркаса для быстрой миграции и заселения собственными клетками пациента, что способствует физиологической регенерации твердой мозговой оболочки.

Протез ТМО xenoDURA является полностью отечественной разработкой и производится в России в соответствии с мировыми стандартами качества. Изделие зарегистрировано, задекларировано и допущено к обращению на территории Российской Федерации. РЗН 2020/9790, производство имеет международный стандарт EN ISO 13485:2016.

ИЗДАНИЕ АССОЦИАЦИИ НЕЙРОХИРУРГОВ РОССИИ

Журнал «Нейрохирургия» входит в перечень ведущих рецензируемых научных периодических изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в Научную электронную библиотеку и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), имеет импакт-фактор, зарегистрирован в базе данных Scopus, зарегистрирован в Web of Science Core Collection, Emerging Sources Citation Index (ESCI), CrossRef, статьи индексируются с помощью идентификатора цифрового объекта (DOI).



RUSSIAN JOURNAL OF NEUROSURGERY

НЕЙРОХИРУРГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Цель издания – информировать специалистов о достижениях в области нейрохирургии, способствовать повышению эффективности лечения пациентов с заболеваниями головного и спинного мозга.

Основные задачи журнала – освещение на страницах журнала новых методов нейрохирургии, неврологии, лучевой и функциональной диагностики, повышение уровня профессиональной компетентности врачей-нейрохирургов, предоставление авторам возможности опубликовать результаты собственных исследований. Помимо этого, в задачи журнала входит анонсирование российских и международных научно-практических конференций по нейрохирургии, нейрореаниматологии, мастер-классов и других образовательных мероприятий, а также новых руководств и монографий.

В журнале публикуются результаты экспериментальных и клинических исследований, обзоры литературы, клинические рекомендации, описания редких клинических случаев, анонсы грядущих конференций и образовательных циклов, а также исторические очерки о нейрохирургии и выдающихся представителях специальности.

О С Н О В А Н В 1 9 9 8 Г .

2 **ТОМ 24**
'22

Учредитель:
В.В. Крылов

Адрес редакции:
115478, Москва, Каширское шоссе, 24,
стр. 15, НИИ канцерогенеза, 3-й этаж.
Тел./факс: +7 (499) 929-96-19
e-mail: abv@abvpress.ru. www.abvpress.ru

Статьи направлять по адресу:
129010, Москва, Большая
Сухареvская пл., 3, стр. 21,
ГБУЗ «Научно-исследовательский
институт скорой помощи
им. Н.В. Склифосовского Департамента
здравоохранения г. Москвы»

(тел.: +7 (495) 680-95-73,
+7 (926) 187-48-75)
или через личный кабинет на сайте
<https://www.therjn.com>

Редактор Е.А. Орлова-Яр
Корректор Н.А. Виленкина
Дизайн Е.В. Степанова
Верстка О.В. Гончарук

Служба подписки и распространения
И.В. Шургаева, +7 (499) 929-96-19,
base@abvpress.ru

Руководитель проекта
Н.А. Ковалева +7 (499) 929-96-19,
n.kovaleva@abvpress.ru

*Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций,
ПИ № 77-7205 от 31 января 2001 г.*

**При полной или частичной перепечатке
материалов ссылка на журнал
«Нейрохирургия» обязательна.**

**Редакция не несет ответственности
за содержание публикуемых
рекламных материалов.**

**В статьях представлена точка
зрения авторов, которая может
не совпадать с мнением редакции.**

ISSN 2587-7569 (Online)
ISSN 1683-3295 (Print)
Нейрохирургия. 2022. Том 24.
№ 2. 1–150.
Сдано в печать: 06.06.2022.
© ООО «ИД «АБВ-пресс», 2022.
Подписной индекс в каталоге
«Пресса России» – 39895.

Отпечатано в типографии
ООО «Медиакопир».
Москва, Сигнальный проезд, 19.
Тираж 2000 экз. Бесплатно.
<http://www.therjn.com/jour/index>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Крылов Владимир Викторович, академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ (Москва, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Гринь Андрей Анатольевич, д.м.н. (Москва, Россия)

Евзиков Григорий Юльевич, д.м.н. (Москва, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Кордонский Антон Юрьевич, к.м.н. (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Гизатуллин Шамиль Хамбатович, д.м.н. (Москва, Россия)

Григорьев Андрей Юрьевич, д.м.н. (Москва, Россия)

Дашьян Владимир Григорьевич, д.м.н. (Москва, Россия)

Дмитриев Александр Юрьевич, к.м.н. (Москва, Россия)

Древалль Олег Николаевич, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Кондаков Евгений Николаевич, д.м.н., профессор (Санкт-Петербург, Россия)

Коновалов Николай Александрович, чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Кравец Леонид Яковлевич, д.м.н., профессор (Нижний Новгород, Россия)

Левченко Олег Валерьевич, профессор РАН, д.м.н. (Москва, Россия)

Лихтерман Леонид Болеславович, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ (Москва, Россия)

Петриков Сергей Сергеевич, чл.-корр. РАН, д.м.н. (Москва, Россия)

Полунина Наталья Алексеевна, к.м.н. (Москва, Россия)

Солодов Александр Анатольевич, д.м.н. (Москва, Россия)

Талыпов Александр Эрнестович, д.м.н. (Москва, Россия)

Тиссен Теодор Петрович, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ (Москва, Россия)

Трофимова Елена Юрьевна, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Усачев Дмитрий Юрьевич, чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

Элиава Шалва Шалвович, чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Балязин Виктор Александрович, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ (Ростов-на-Дону, Россия)

Гуляев Дмитрий Александрович, д.м.н. (Санкт-Петербург, Россия)

Коновалов Александр Николаевич, академик РАН, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ (Москва, Россия)

Кривошапкин Алексей Леонидович, чл.-корр. РАН, д.м.н., профессор (Новосибирск, Россия)

Мануковский Вадим Анатольевич, д.м.н., заслуженный врач РФ (Санкт-Петербург, Россия)

Музлаев Герасим Григорьевич, д.м.н., профессор (Краснодар, Россия)

Парфенов Валерий Евгеньевич, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ (Санкт-Петербург, Россия)

Рзаев Джамиль Афетович, д.м.н. (Новосибирск, Россия)

Савелло Александр Викторович, д.м.н. (Санкт-Петербург, Россия)

Свистов Дмитрий Владимирович, к.м.н., доцент (Санкт-Петербург, Россия)

Черемилло Владислав Юрьевич, д.м.н., профессор, заслуженный врач РФ (Санкт-Петербург, Россия)

Шулёв Юрий Алексеевич, д.м.н., заслуженный врач РФ (Санкт-Петербург, Россия)

Akshulakov Serik Kuandikovich, д.м.н., профессор (Астана, Республика Казахстан)

Fanarjyan Ruben Viktorovich, д.м.н., профессор, почетный профессор Армянского отделения РАЕН (Ереван, Республика Армения)

Hu Shaoshan, профессор (КНР)

Rasulic Lukas, профессор (Сербия)

Servadei Franco, профессор (Италия)

Slavin Konstantin, доктор медицины, профессор (США)

Spallone Aldo, доктор медицины, профессор (Италия)

Tu Yong-Kwang, профессор (Тайбэй)

Zelman Vladimir, профессор (США)

THE JOURNAL OF THE RUSSIAN ASSOCIATION OF NEUROLOGICAL SURGEONS

"Russian Journal of Neurosurgery" is put on the Higher Attestation Commission (HAC) list of leading peer-reviewed scientific periodicals recommended to publish the basic research results of candidate's and doctor's theses.

The journal is included in the Scientific Electronic Library and the Russian Science Citation Index (RSCI) and has an impact factor; it is registered in the Scopus database, it is registered in the Web of Science Core Collection, Emerging Sources Citation Index (ESCI), CrossRef, its papers are indexed with the digital object identifier (DOI).



Russian Journal of NEUROSURGERY

QUARTERLY PEER-REVIEWED SCIENTIFIC-AND-PRACTICAL JOURNAL

The aims of the journal are to inform specialists on developments in neurosurgery and to promote higher treatment effectiveness in patients with disorders of the spinal cord and the brain.

The main objectives of the journal are coverage of new techniques in neurosurgery, neurology, radiation and functional diagnostics; advancement of the level of professionalism of neurosurgeons; provision of a publication for the authors to present their results. Additionally, the journal announces Russian and international scientific and practical conferences on neurosurgery, neurocritical care, master classes and other educational events, as well as new guidelines and monographs.

The journal publishes results of experimental and clinical studies, literature reviews, clinical guidelines, clinical cases, announcements of future conferences and educational cycles, as well as historical essays on neurosurgery and prominent representatives of the profession.

FOUNDED IN 1998

2 VOL. 24
'22

Founder:

V.V. Krylov

Editorial Office:

Research Institute of Carcinogenesis,
Floor 3, Build. 15, 24 Kashirskoye
Shosse, Moscow, 115478.
Tel./Fax: +7 (499) 929-96-19
e-mail: abv@abvpress.ru
www.abvpress.ru

Articles should be sent

N.V. Sklifosovsky Research Institute for
Emergency Medicine, Moscow Healthcare
Department; Build 21, 3 Bol'shaya
Sukharevskaya Sq., Moscow 129010,

Russia (+7 (495) 680-95-73,
+7 (926) 187-48-75) or through your
personal account on the website
<https://www.therjn.com>

Editor E.A. Orlova-Yar
Proofreader N.A. Vilenkina
Designer E.V. Stepanova
Maker-up O.V. Goncharuk

Subscription & Distribution Service
I.V. Shurgaeva, +7 (499) 929-96-19,
base@abvpress.ru

Project Manager
N.A. Kovaleva +7 (499) 929-96-19,
n.kovaleva@abvpress.ru

*The journal was registered
at the Federal Service for Surveillance
of Communications, Information
Technologies, and Mass
Media (FSSIP No. 77-7205
dated 31 January 2001)*

**If materials are reprinted in whole
or in part, reference must necessarily
be made to the "Neyrokhirurgiya".**

**The editorial board is not responsible
for advertising content.**

**The authors' point of view given
in the articles may not coincide
with the opinion of the editorial board.**

ISSN 2587-7569 (Online)
ISSN 1683-3295 (Print)

Neyrokhirurgiya.
2022. Vol 24. No. 2. 1–150.
Submitted: 00.00.2022.

© PH "ABV-Press", 2022.

Pressa Rossii catalogue index:
39895.

Printed at the Mediacolor LLC.
19, Signalnyy Proezd, Moscow,
127273.

2,000 copies. Free distribution.
<http://www.therjn.com/jour/index>

EDITOR-IN-CHIEF

Krylov Vladimir V., *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)*

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Grin Andrey A., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Evzikov Grigoriy Yu., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

EXECUTIVE SECRETARY

Kordonskiy Anton Yu., *MD, PhD (Moscow, Russia)*

EDITORIAL BOARD

Gizatullin Shamil Kh., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Grigoryev Andrey Yu., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Dashyan Vladimir G., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Dmitriev Aleksandr Yu., *MD, PhD (Moscow, Russia)*

Dreval Oleg N., *MD, DMSc, Professor (Moscow, Russia)*

Kondakov Evgeniy N., *MD, DMSc, Professor (Saint Petersburg, Russia)*

Konovalov Nikolay A., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor (Moscow, Russia)*

Kravets Leonid Ya., *MD, DMSc, Professor (Nizhny Novgorod, Russia)*

Levchenko Oleg V., *Professor of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Likhterman Leonid B., *MD, DMSc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)*

Petrikov Sergey S., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Polunina Natalya A., *MD, PhD (Moscow, Russia)*

Solodov Aleksandr A., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Talypov Aleksandr E., *MD, DMSc (Moscow, Russia)*

Tissen Teodor P., *MD, DMSc, Professor, Honored Doctor of the Russian Federation (Moscow, Russia)*

Trofimova Elena Yu., *MD, DMSc, Professor (Moscow, Russia)*

Usachev Dmitry Yu., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor (Moscow, Russia)*

Eliava Shalva Sh., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor (Moscow, Russia)*

EDITORIAL COUNCIL

Balyazin Viktor A., *MD, DMSc, Professor, Honored Doctor of the Russian Federation (Rostov-on-Don, Russia)*
Petersburg, Russia)

Gulyaev Dmitry A., *MD, DMSc (Saint Petersburg, Russia)*

Konovalov Aleksandr N., *Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation (Moscow, Russia)*

Krivoshapkin Alexey L., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, MD, DMSc, Professor (Novosibirsk, Russia)*

Manukovskiy Vadim A., *MD, DMSc, Honored Doctor of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russia)*

Muzlaev Gerasim G., *MD, DMSc, Professor (Krasnodar, Russia)*

Parfenov Valeriy E., *MD, DMSc, Honored Doctor of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russia)*

Rzaev Dzhamil A., *MD, DMSc (Novosibirsk, Russia)*

Savello Aleksandr V., *MD, DMSc (Saint Petersburg, Russia)*

Svistov Dmitry V., *MD, PhD, Associate Professor (Saint Petersburg, Russia)*

Cherebillo Vladislav Yu., *MD, DMSc, Professor, Honored Doctor of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russia)*

Shulev Yury A., *MD, DMSc, Honored Doctor of the Russian Federation (Saint Petersburg, Russia)*

Akshulakov Serik K., *MD, DMSc, Professor (Astana, Republic of Kazakhstan)*

Fanarjyan Ruben V., *MD, DMSc, Professor, Honored Professor of Armenian Branch of Russian Academy of Natural Science (Yerevan, Republic of Armenia)*

Hu Shaoshan, *MD, PhD, Professor (China)*

Rasulic Lukas, *MD, PhD, Professor (Serbia)*

Servadei Franco, *MD, PhD, Professor (Italy)*

Slavin Konstantin, *MD, DMSc, Professor (USA)*

Spallone Aldo, *MD, DMSc, Professor (Italy)*

Tu Yong-Kwang, *MD, PhD, Professor (Taipei)*

Zelman Vladimir, *MD, PhD, Professor (USA)*

НЕЙРОЭНДОСКОПИЯ AESCULAR®

Инструменты и оптики

для минимально-инвазивной хирургии



Угловой эндоскоп по Perneczky

Эндоскоп высокого разрешения, диаметром 4,0 мм, с жестким и надежным корпусом. Используется со специализированным микроинструментом.

Угловая конструкция эндоскопа: удлиненный тубус окуляра, боковое подключение камеры и источника света для лучшей визуализации при работе под микроскопом.



Микроинструменты XS с тубусным дизайном для операций из узкого доступа

Деликатный дизайн рабочей части и байонетная форма обеспечивают беспрепятственный обзор операционного поля.

- Очень тонкие тубулярные инструменты
- Сверхтонкие рабочие кончики
- Возможность замены индивидуальных компонентов



ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

При направлении статьи в редакцию журнала «Нейрохирургия» авторам необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Общие правила

При первичном направлении рукописи в редакцию в копии электронного письма должны быть указаны все авторы данной статьи. Обратную связь с редакцией будет поддерживать ответственный автор, обозначенный в статье (см. пункт 2).

Представление в редакцию ранее опубликованных статей не допускается.

2. Оформление данных о статье и авторах

- Первая страница должна содержать:
 - название статьи,
 - инициалы и фамилии всех авторов,
 - ученые степени, звания, должности, место работы каждого из авторов, а также их ORCID (при наличии),
 - полное название учреждения (учреждений), в котором (которых) выполнена работа,
 - адрес учреждения (учреждений) с указанием индекса.
- Последняя страница должна содержать сведения об авторе, ответственном за связь с редакцией:
 - фамилия, имя, отчество полностью,
 - занимаемая должность,
 - ученая степень, ученое звание,
 - персональный международный идентификатор ORCID (подробнее: <http://orcid.org/>),
 - персональный идентификатор в РИНЦ (подробнее: http://elibrary.ru/projects/science_index/author_tutorial.asp),
 - контактный телефон,
 - адрес электронной почты.

3. Оформление текста

Статьи принимаются в форматах doc, docx, rtf.

Шрифт – Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,5. Все страницы должны быть пронумерованы. Текст статьи начинается со второй страницы.

4. Объем статей (без учета иллюстраций и списка литературы)

Оригинальная статья – не более 12 страниц (больший объем допускается в индивидуальном порядке, по решению редакции).

Описание клинических случаев – не более 8 страниц.

Обзор литературы – не более 20 страниц.

Краткие сообщения и письма в редакцию – 3 страницы.

5. Резюме

Ко всем видам статей на отдельной странице должно быть приложено резюме на русском и английском (по возможности) языках. Резюме должно кратко повторять структуру статьи, независимо от ее тематики.

Объем резюме – не более 2500 знаков, включая пробелы. Резюме не должно содержать ссылки на источники литературы и иллюстративный материал.

На этой же странице помещаются ключевые слова на русском и английском (по возможности) языках в количестве от 3 до 10.

6. Структура статей

Оригинальная статья должна содержать следующие разделы:

- введение,
- цель,
- материалы и методы,
- результаты,
- обсуждение,
- заключение (выводы),
- вклад всех авторов в работу,
- конфликт интересов для всех авторов (в случае его отсутствия необходимо указать: «Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов»),
- одобрение протокола исследования комитетом по биоэтике (с указанием номера и даты протокола),

- информированное согласие пациентов (для статей с авторскими исследованиями и описаниями клинических случаев),
- при наличии финансирования исследования – указать его источник (грант и т. д.),
- благодарности (раздел не является обязательным).

7. Иллюстративный материал

Иллюстративный материал должен быть представлен в виде отдельных файлов и не фигурировать в тексте статьи. Данные таблицы не должны повторять данные рисунков и текста и наоборот.

Фотографии представляются в форматах TIFF, JPG с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм).

Рисунки, графики, схемы, диаграммы должны быть редактируемыми, выполненными средствами Microsoft Office Excel или Office Word.

Все **рисунки** должны быть пронумерованы и снабжены подписными подписями. Фрагменты рисунка обозначаются строчными буквами русского алфавита – «а», «б» и т. д. Все сокращения, обозначения в виде кривых, букв, цифр и т. д., использованные на рисунке, должны быть расшифрованы в подписной подписи. Подписи к рисункам даются на отдельном листе после текста статьи в одном с ней файле.

Таблицы должны быть наглядными, иметь название и порядковый номер. Заголовки граф должны соответствовать их содержанию. Все сокращения расшифровываются в примечании к таблице.

8. Единицы измерения и сокращения

Единицы измерения даются в Международной системе единиц (СИ).

Сокращения слов не допускаются, кроме общепринятых. Все аббревиатуры в тексте статьи должны быть полностью расшифрованы при первом упоминании (например, компьютерная томография (КТ)).

9. Список литературы

На следующей после текста странице статьи должен располагаться список цитируемой литературы.

Все источники должны быть пронумерованы, нумерация осуществляется строго по порядку цитирования в тексте статьи, не в алфавитном порядке. Все ссылки на источники литературы в тексте статьи обозначаются арабскими цифрами в квадратных скобках начиная с 1 (например, [5]). Количество цитируемых работ: в оригинальных статьях – не более 20–25, в обзорах литературы – не более 60.

Ссылки должны даваться на первоисточники, цитирование одного автора по работе другого недопустимо.

Включение в список литературы тезисов возможно исключительно при ссылке на иностранные (англоязычные) источники.

Ссылки на диссертации и авторефераты, неопубликованные работы, а также на данные, полученные из неофициальных интернет-источников, не допускаются.

Для каждого источника необходимо указать: фамилии и инициалы авторов (если авторов более 4, указываются первые 3 автора, затем ставится «и др.» в русском или «et al.» в английском в тексте). Авторы цитируемых источников должны быть указаны в том же порядке, что и в первоисточнике.

При ссылке на **статьи из журналов** после авторов указывают название статьи, название журнала, год, том, номер выпуска, страницы, DOI статьи (при наличии). При ссылке на **монографии** указывают также полное название книги, место издания, название издательства, год издания, число страниц.

Статьи, не соответствующие данным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

Общие положения:

- Рассмотрение статьи на предмет публикации занимает не менее 8 недель.
- Все поступающие статьи рецензируются. Рецензия является анонимной.
- Редакция оставляет за собой право на редактирование статей, представленных к публикации.
- Редакция не предоставляет авторские экземпляры журнала. Номер журнала можно получить на общих основаниях (см. информацию на сайте).

Материалы для публикации принимаются через официальный сайт журнала:

<https://www.therjn.com>.

Полная версия требований представлена на сайте журнала.



Мобильная иКТ-система
AIRO, Mobius (США)



Микрохирургический
инструментарий
Charmant (Япония)



Нейронавигация
Kick и Curve
BRAINLAB (Германия)



Стереотаксическая
система **CRW**,
Integra LifeSciences (США)



Ультразвуковой
деструктор-аспиратор
CUSA Clarity,
Integra LifeSciences (США)



Система стабилизации черепа
из композитных материалов
Mayfield,
Integra LifeSciences (США)



Радиочастотный
генератор
Cosman G4,
Boston Scientific (США)



Монитор
для измерения ВЧД
Camino,
Natus Medical Inc. (США)



Моторная система
Primado 2,
NSK (Япония)



Ультразвуковой
скальпель
Piezosurgery plus,
Mectron s.p.a. (Италия)



Имплантат индивидуальный
для реконструкции
дефектов черепа **CustomBone**,
Fin-Ceramica (Италия)



Система управляемой
гипотермии **TrueCool**,
EM-MED Sp. z o.o sp. K
(Польша)



Коллагеновый имплантат TMO
DuraGen,
Integra LifeSciences (США)



Герметизирующие системы
DuraSeal для головного мозга
и **DuraSeal Xact** для спинного мозга,
Integra LifeSciences (США)



Шунтирующие системы
Codman Certas Plus,
Codman Hakim, OSV II,
Integra LifeSciences (США)



СОДЕРЖАНИЕ

ПУБЛИЦИСТИКА

Л. Б. Лихтерман

Историческая точность. Определение даты основания Института — Национального центра нейрохирургии 12

ОРИГИНАЛЬНАЯ РАБОТА

А. В. Станишевский, Ш. Х. Гизатуллин, А. В. Смолин, Е. В. Крюков

Оценка результатов нейрохирургической операции в комплексном лечении солитарных церебральных метастазов17

И. М. Годков, В. Г. Дашьян, А. В. Елфимов, В. А. Хамурзов, А. А. Гринь, В. В. Крылов, Г. А. Нефедова, П. О. Свищева

Сравнительный анализ результатов эндоскопической хирургии и дренирования желудочков при гипертензивных вентрикулярных кровоизлияниях25

А. Г. Мартикян, А. А. Гринь, А. Э. Тальпов, А. Ю. Кордонский, И. С. Львов, О. А. Левина, А. В. Природов

Тактика лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждении твердой мозговой оболочки35

И. В. Григорьев, Г. Б. Акопян, С. А. Мельченко, И. В. Сенько, И. Л. Губский, А. А. Каландари,

О. О. Кордонская, Ж. Н. Сермагамбетова, В. В. Крылов

Опыт использования интраоперационной магнитно-резонансной томографии при хирургическом лечении глиом головного мозга43

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

А. Г. Гаврилов, Д. М. Чёлушкин, Я. А. Латышев, М. В. Рыжова, Т. Н. Панина

Редкий случай супратенториальной внежелудочковой анапластической эпендимомы. Клиническое наблюдение и обзор литературы54

S. Apostolakis, A. Karagianni, I. Mylonakis, K. Vlachos

Арахноидальная киста мостомозжечкового угла с масс-эффектом: клиническое наблюдение.62

С. Р. Ильялов, А. М. Паришунина, К. М. Квашнин, К. Е. Медведева, А. А. Баулин, О. Г. Лепилина

Стажированная радиохирургия крупного внутримозгового метастаза с масс-эффектом и дислокацией мозга: клиническое наблюдение66

Г. Г. Булыщенко, А. И. Гайворонский, П. С. Лиев, М. В. Кузнецов, Д. В. Свистов

Чрескожное трансфораминальное эндоскопическое удаление инородного тела в поясничном отделе позвоночника72

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А. Ю. Ермолаев, А. В. Яриков, А. Я. Алейник, А. О. Дубских, И. И. Смирнов, О. А. Перльмуттер,

А. Г. Соснин, А. М. Ермолаева, А. П. Фраерман

Роль хирургического лечения при метастатическом поражении позвоночника78

Д. Е. Закондырин, А. А. Гринь

Опухоли позвоночника: обзор литературы94

А. Ю. Дмитриев, М. В. Синкин, В. Г. Дашьян

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии опухолей головного мозга супратенториальной локализации. Часть 1. Исследование двигательной проводимости105

Д. Д. Долотова, Е. Р. Благосклонова, Г. Р. Рамазанов, И. В. Архипов, С. С. Петриков, А. В. Гаврилов

Оценка церебрального коллатерального статуса по данным компьютерно-томографической ангиографии при ишемическом инсульте: обзор методов ручной и автоматизированной оценки113

ORIGINAL REPORT IN ENGLISH

A. V. Stanishevskiy, Sh. Kh. Gizatullin, A. V. Smolin, E. V. Kryukov

Surgical treatment of solitary brain metastases122

I. M. Godkov, V. G. Dashyan, A. V. Elfimov, V. A. Khamurзов, A. A. Grin, V. V. Krylov, G. A. Nefedova, P. O. Svishcheva

Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage128

A. G. Martikyan, A. A. Grin, A. E. Talypov, A. Yu. Kordonskiy, I. S. Lvov, O. A. Levina, A. V. Prirodov

Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear.136

I. V. Grigorev, G. B. Akopyan, S. A. Melchenko, I. V. Senko, I. L. Gubskiy, A. A. Kalandari, O. O. Kordonskaya,

Zh. N. Sermagambetova, V. V. Krylov

Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas142

CONTENTS

PUBLICISM

L. B. Likhтерman

Historical accuracy. Determination of the foundation date of the Institute – National Center for Neurosurgery	12
--	-----------

ORIGINAL REPORT

A. V. Stanishevskiy, Sh. Kh. Gizatullin, A. V. Smolin, E. V. Kryukov

Surgical treatment of solitary brain metastases	17
--	-----------

I. M. Godkov, V. G. Dashyan, A. V. Elfimov, V. A. Khamurзов, A. A. Grin, V. V. Krylov, G. A. Nefedova, P. O. Svishcheva

Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage	25
---	-----------

A. G. Martikyan, A. A. Grin, A. E. Talypov, A. Yu. Kordonskiy, I. S. Lvov, O. A. Levina, A. V. Prirodov

Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear	35
--	-----------

I. V. Grigorev, G. B. Akopyan, S. A. Melchenko, I. V. Senko, I. L. Gubskiy, A. A. Kalandari, O. O. Kordonskaya, Zh. N. Sermagambetova, V. V. Krylov

Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas	43
---	-----------

FROM PRACTICE

A. G. Gavrilov, D. M. Chelushkin, Ya. A. Latyshev, M. V. Ryzhova, T. N. Panina

A rare case of the supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma. Case report and literature review	54
--	-----------

S. Apostolakis, A. Karagianni, I. Mylonakis, K. Vlachos

Mass phenomena from a cerebellopontine angle arachnoid cyst: case report	62
---	-----------

S. R. Ilyalov, A. M. Parshunina, K. M. Kvashnin, K. E. Medvedeva, A. A. Baulin, O. G. Lepilina

Staged radiosurgery of large brain metastasis with mass effect and brain dislocation: case report	66
--	-----------

G. G. Bulyshechenko, A. I. Gayvoronsky, P. S. Liev, M. V. Kuznetsov, D. V. Svistov

Percutaneous transforaminal endoscopic removal of a foreign body of the lumbar spine	72
---	-----------

LITERATURE REVIEW

*A. Yu. Ermolaev, A. V. Yarikov, A. Ya. Aleynik, A. O. Dubskikh, I. I. Smirnov, O. A. Perlmutter,**A. G. Sosnin, A. M. Ermolaeva, A. P. Fraerman*

Surgical methods in management of metastatic spinal cord lesions	78
---	-----------

D. E. Zakondyrin, A. A. Grin

Spinal tumors: literature review	94
---	-----------

A. Yu. Dmitriev, M. V. Sinkin, V. G. Dashyan

Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 1: assessment of motor conductivity	105
---	------------

D. D. Dolotova, E. R. Blagosklonova, G. R. Ramazanov, I. V. Arkhipov, S. S. Petrikov, A. V. Gavrilov

Evaluation of cerebral collateral status using computed tomography angiography in ischemic stroke: review of manual and automated methods	113
--	------------

ORIGINAL REPORT IN ENGLISH

A. V. Stanishevskiy, Sh. Kh. Gizatullin, A. V. Smolin, E. V. Kryukov

Surgical treatment of solitary brain metastases	122
--	------------

I. M. Godkov, V. G. Dashyan, A. V. Elfimov, V. A. Khamurзов, A. A. Grin, V. V. Krylov, G. A. Nefedova, P. O. Svishcheva

Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage	128
---	------------

A. G. Martikyan, A. A. Grin, A. E. Talypov, A. Yu. Kordonskiy, I. S. Lvov, O. A. Levina, A. V. Prirodov

Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear	136
--	------------

I. V. Grigorev, G. B. Akopyan, S. A. Melchenko, I. V. Senko, I. L. Gubskiy, A. A. Kalandari, O. O. Kordonskaya, Zh. N. Sermagambetova, V. V. Krylov

Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas	142
---	------------

ИСТОРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАТЫ ОСНОВАНИЯ ИНСТИТУТА – НАЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА НЕЙРОХИРУРГИИ

Л.Б. Лихтерман

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава России;
Россия, 125047 Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16

Контакты: Леонид Болеславович Лихтерман likhterman@nsi.ru

При изучении документов 1928–2015 гг. установлена исторически точная дата основания Национального центра нейрохирургии, когда по инициативе Н.Н. Бурденко и В.В. Крамера, согласно Постановлению Малого Совнаркома РСФСР, начала работать первая в Москве нейрохирургическая клиника при Государственном рентгеновском институте. Запись в сохранившемся операционном журнале клиники свидетельствует, что первый больной прооперирован Н.Н. Бурденко 15 февраля 1929 г. Применительно к хирургическим учреждениям дату первой операции принято считать датой его фактического открытия.

В 1932 г. на базе первой нейрохирургической клиники создан Научно-исследовательский нейрохирургический институт, который в 2015 г. по Постановлению Правительства РФ преобразован в Национальный исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко.

Ключевые слова: история нейрохирургии, Национальный центр нейрохирургии, Н.Н. Бурденко, В.В. Крамер

Для цитирования: Лихтерман Л.Б. Историческая точность: определение даты основания Института – Национального центра нейрохирургии. Нейрохирургия 2022;24(2):12–6. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-12-16.

Historical accuracy: determination of the foundation date of the Institute – National Center for Neurosurgery

L.B. Likhterman

N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of Russia; 16 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow 125047, Russia

Contacts: Leonid Boleslavovich Likhterman likhterman@nsi.ru

Study of the documents from 1928–2015 allowed to determine historically accurate date of foundation of the National Center for Neurosurgery. On this date, due to the initiative from N.N. Burdenko and V.V. Kramer and according to the Decree of the Small Council of the Peoples' Commissars of the RSFSR, the first Moscow neurosurgical clinic under the State Roentgen Institute opened its doors. Note in the preserved operation journal of the clinic states that the first patient was operated on by N.N. Burdenko on February 15th, 1929. In the context of surgical facilities, the date of first surgery is considered the date of their opening.

In 1932, the Scientific Research Neurosurgical Institute was established at the first neurosurgical clinic which in 2015 in accordance with the Decree of the Government of the Russian Federation was transformed into the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery.

Key words: history of neurosurgery, National Center for Neurosurgery, N.N. Burdenko, V.V. Kramer

For citation: Likhterman L.B. Historical accuracy: determination of the foundation date of the Institute – National Center for Neurosurgery. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):12–6. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-12-16.

ВВЕДЕНИЕ

Дата открытия или основания любого значительного учреждения — общественного, производственного, научного или учебного — существенна для его характеристики.

Становится очевидной не только продолжительность его «жизни» и социально-экономические условия возникновения, но и роль в развитии той или иной отрасли знания, годы празднования юбилеев, поводы для награждения и многое иное. Недаром бланки и вывески организаций, а также рекламные материалы часто сопровождают слова «основано» по-русски или *since* по-английски. Особый вес эти слова приобретают, когда «возраст» организации обретает столетнюю солидность, вызывая уважение и доверие, обладая даже каким-то гипнозом.

Те, кто считают дату основания учреждения не столь уж важной, чтобы уделять ей внимание, обычно относятся к категории временщиков, для которых традиции не имеют никакого значения. Но разве традиции бесполезны?!

Мои общие рассуждения представляют интерес лишь постольку, поскольку служат преамбулой анализа конкретной ситуации, связанной с датой основания (не наименования!) Национального центра нейрохирургии.

АРХИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Истинная дата основания Института — Центра нейрохирургии известна, но, каким это ни покажется странным, многие десятилетия игнорировалась либо из конъюнктурных наградных соображений, либо вследствие непонимания, что есть действительное начало Института — Центра (и преемственность при всех отличиях в названиях и масштабах деятельности).

Можно привести немало аналогичных примеров. Вспомним, что недавно Сеченовский Университет (в прошлом 1-й Московский медицинский институт — ММИ) отмечал свое 250-летие. Как такое возможно? Ведь 1-й ММИ был образован в 1930 г. С одной стороны, это так, но с другой, ММИ — полноправный преемник своего «праотца» — медицинского факультета Императорского Московского университета, созданного по Указу Императрицы Елизаветы в 1755 г. И при всей несравнимости их начал — небольшого медфака XVII в. на Красной площади, где ныне стоит Исторический музей, и медицинского университета XX в. на Пироговской с его гигантским современным учебным и научным комплексом — ММИ есть прямое продолжение «первенца» и его развитие во времени.

Надеюсь, что эта вполне допустимая аналогия избавит меня от необходимости приводить новые и новые бесспорно доказательные примеры.

В настоящее время существуют 4 даты основания Института — Центра нейрохирургии, при этом 2 из них приняты официально. Как такое возможно? Рас-

смотрим аргументацию каждой даты и приведем документы.

1-я дата — 15 февраля 1929 г. Согласно Постановлению Малого Совнаркома от 29 мая 1928 г., Н.Н. Бурденко и В.В. Крамером была создана и начала работать первая в Москве нейрохирургическая клиника (стационар) (рис. 1, 2) [1]. Приведем интересный документ — сохранившийся операционный журнал с записью о первом пациенте (рис. 3 а). Судя по другой записи (рис. 3 б) в этом журнале, первый больной был прооперирован Н.Н. Бурденко 15 февраля 1929 г. Применительно к хирургическим учреждениям дату первой операции принято считать датой его фактического открытия.

Крупный историк советской медицины чл.-корр. АМН СССР проф. Б.Д. Петров, зав. отделом истории

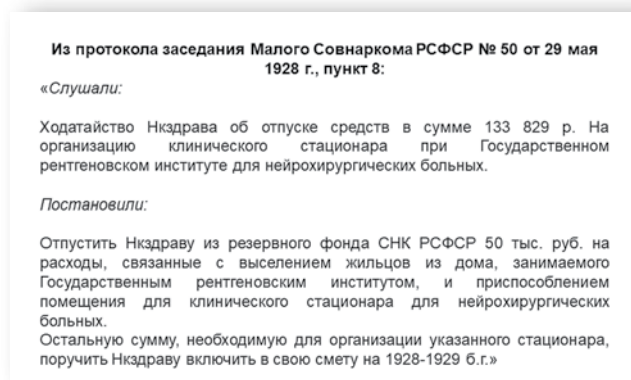


Рис. 1. Постановление (расшифровка) о создании первого в Москве клинического стационара для нейрохирургических больных (29 мая 1928 г.)

Fig. 1. Decree (decryption) on establishment of the first Moscow clinical hospital for neurosurgical patients (May 29th, 1928)



Рис. 2. Н.Н. Бурденко (второй слева) и В.В. Крамер (первый справа) смотрят оборудование первой нейрохирургической клиники в Москве (1929). Фотография из Российского государственного архива кинофотодокументов, № 272282 [1]

Fig. 2. N. N. Burdenko (second from left) and V. V. Kramer (first from right) look at the equipment of the first Moscow clinical hospital for neurosurgical patients (1929). Photo from the Russian State Archives of Film and Photo Documents, No. 272282 [1]

а

№№ по порядку	Дата поступления	Фамилия, имя, отчество Содержание поступления и профессии	Возраст	Диагноз при поступлении	Длительность
1	31/1 1929	Кадышев	46	Спинальная	19/10/29

б

Название операции	Дата операции	Обозначение	Фамилия оператора, ассистента и фельдшера
Спинальная	15/2 1929	Открытая операция на позвоночнике	Н.Н. Бурденко Васильев Романов

Рис. 3. Операционный журнал: а — запись о первом пациенте (31 января 1929 г.), б — о первой операции (15 февраля 1929 г.)

Fig. 3. Procedure report: а — note on the first patient (January 31st, 1929), б — on the first surgery (February 15th, 1929)

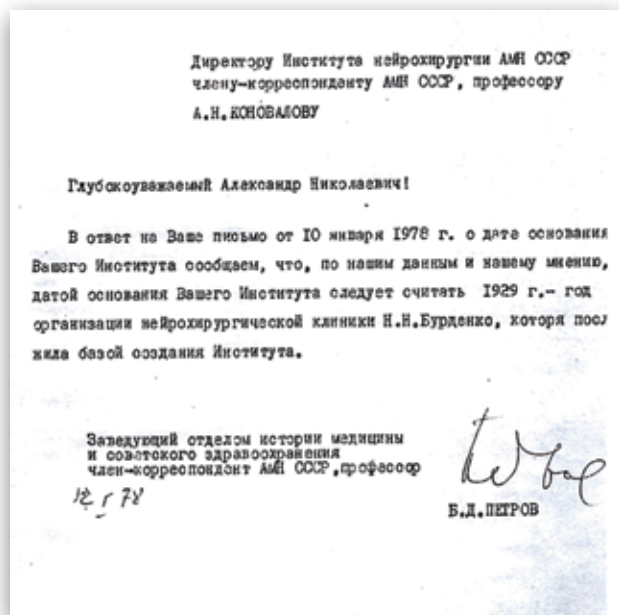


Рис. 4. Историк советской медицины Б.Д. Петров о дате основания первого в Москве клинического стационара для нейрохирургических больных

Fig. 4. Historian of the Soviet medicine B.D. Petrov on the foundation date of the first Moscow clinical hospital for neurosurgical patients

медицины и советского здравоохранения ВНИИ социальной гигиены и организации здравоохранения им. Н.А. Семашко, отвечая на запрос директора Института нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко чл.-корр. АМН СССР, проф. А.Н. Коновалова и исходя из имеющихся данных, годом основания Института нейрохирургии также считал 1929 г. Приведем ответ Б.Д. Петрова полностью (рис. 4).

29 октября 1931 г. Совнарком РСФСР принял Постановление № 1137 об организации Нейрохирургического научно-исследовательского института на базе нейрохирургической клиники Наркомздрава РСФСР.

2-я дата — 1932 г. После Постановления Совнаркома РСФСР № 1137 был издан приказ Наркомздрава РСФСР о создании Нейрохирургического института на базе нейрохирургической клиники Н.Н. Бурденко и В.В. Крамера. Приведем его целиком (рис. 5).

Однако этот приказ абсолютно ничем не был подкреплен, и клиника, переименованная в Институт, продолжала работать на Солянке в тех же помещениях с теми же 45 койками и с тем же числом сотрудников.

Существенно, что и Николай Нилович Бурденко, и Василий Васильевич Крамер, и все первопроходцы Солянки, составившие штат нового Института, свои наблюдения и исследования не разделяли на «до» и «после», считая Институт продолжением клиники.

Характерны труды 1-й сессии Нейрохирургического совета, состоявшейся 3—5 мая 1935 г.: эта мысль



Рис. 5. Приказ о создании самостоятельного Нейрохирургического научно-исследовательского института под руководством проф. Н.Н. Бурденко

Fig. 5. Order on establishment of the independent Neurosurgical Scientific Research Center under supervision of Prof. N.N. Burdenko

		
		
	Количество коек	Площадь, м²
Февраль 1929 г. Клиника на Солянке	25	494
Февраль 2019 г. НМИЦ нейрохирургии	300	74 108

Рис. 6. Первый в Москве клинический стационар для нейрохирургических больных (1929) и НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко (2019)

Fig. 6. First Moscow clinical hospital for neurosurgical patients (1929) and N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery (2019)

о преемственности звучит в выступлении Н.Н. Бурденко и во всех прочих докладах [2]. Например, Михаил Юльевич Рапопорт в «Принципах диагностики опухолей головного мозга» без всяких оговорок так представляет свои наблюдения: «Материал Института за 5 лет — с 1930 по 1 января 1935 г. — обнимает 1595 историй болезней». Марк Борисович Копылов в докладе «Ангиография при опухолях мозга» приводит опыт 16 ангиографических исследований Института также с 1930 по 1934 гг.

Президиум Верховного Совета СССР, наградивший Институт нейрохирургии орденом Дружбы народов (Указ от 7 января 1982 г.), также исходил из того, что 1932 г. — дата основания Института.

3-я дата — 1934 г. Институт получил собственное здание на ул. Ульяновская (ныне ул. Николоямская) в 1934 г. Президиум Верховного Совета СССР, считая этот год датой основания Института нейрохирургии, наградил своим Указом от 4 июня 1954 г. Институт орденом Трудового Красного Знамени «в связи с двадцатилетием со дня организации».

4-я дата — 1935 г. В этот год Институт переехал в перестроенное здание и развернул в полном масштабе лечебную, исследовательскую и организационную работу в качестве Центрального нейрохирургического института страны [3].

После ряда переименований Институт нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко по распоряжению Правительства Российской Федерации от 13 марта 2015 г. № 421-Р преобразован в Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный научно-практический медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской

Федерации со значительным расширением круга решаемых задач и ответственности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Тщательно и объективно изучая все найденные документы, исторические прецеденты и факты, взвешивая разные даты, стало очевидным, что есть достаточно веские доказательства, чтобы признать 1929 год началом основания НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко Минздрава России.

В октябре 2018 г., по предложению директора Центра А.А. Потапова, я ознакомил нашу дирекцию с доказательным и систематизированным представлением верной даты основания Института — Центра нейрохирургии. Восприятие этой информации было разным. Одни — большинство — поддержали 1929 год. Другие высказались скептически: «Какое это имеет значение? Мы привыкли к 1932 году, когда был издан приказ об организации Института».

После обсуждения приняли решение, что 15 февраля 1929 г. и есть истинная дата основания Института — Центра нейрохирургии.

В 2019 г., исходя уже из этой даты, НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко отмечал свое 90-летие.

Вне всякого сомнения, Центр нейрохирургии — полноправный преемник своей «праматери», первой в Москве нейрохирургической клиники при Государственном рентгеновском институте. И при всей их несравнимости — небольшого стационара в старом здании на Солянке в начале XX в., и гигантского современного научного Центра в XXI в. [4] — НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, есть прямое продолжение «первенца» — стационара в Москве, его развитие во времени и в национальном масштабе (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ, НО ДАЛЕКО НЕ КОНЕЦ ИСТОРИИ

15 февраля 2019 г. — день в день, когда в нейрохирургической клинике на Солянке в 1929 г. была выполнена первая операция, — в большом зале новейшего корпуса нашего Центра провели торжественное заседание. После вступительного слова академика РАН А.А. Потапова я рассказал об истории создания московской нейрохирургии. С подробными иллюстрированными докладами о современных достижениях Национального центра нейрохирургии в клинко-хирургической, научно-исследовательской и учебно-координационной деятельности выступили акад. РАН И.Н. Пронин, проф. В.Н. Шиманский, чл.-корр. РАН Д.Ю. Усачёв, д.м.н. К.Б. Матуев и д.м.н. С.В. Тяншин.

В международных научных журналах *World Neurosurgery*, *Neurosurgery* (США), «Вопросы нейрохирургии» (Россия) опубликовали наши большие статьи по истории и современности НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, в том числе и посвященные 90-летию

Центра [5–9]. Документальный фильм «Исцеление мозга», ведущие которого А.Н. Коновалов, А.А. Потапов и Л.Б. Лихтерман, проследит путь, пройденный Центром, его создателями и всеми нами, составляющими его живую мысль и душу, на протяжении славных 90 лет.

В своих выступлениях на ученом совете НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко министры здравоохранения РФ В.И. Скворцова (25 ноября 2019 г.) и М.А. Мурашко (2 июля 2020 г.) подчеркивали, какой достойный путь прошел Национальный центр на протяжении своей 90-летней истории.

Наконец, идет публикация трилогии «Национальный центр нейрохирургии: к 90-летию основания». Часть I «История и современность» и часть II «Деяния и судьбы ученых» уже вышли в свет, а часть III «Клиники и лаборатории. Прошлое и настоящее» готовится к печати.

Таким образом, исторически точная дата основания Национального центра нейрохирургии РФ — одного из крупнейших и ведущих в мире — восстановлена.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Likhterman B. Emergence and Early Development of Russian Neurosurgery (1890s–1930s). *J Hist Neurosci* 2007;16(1–2):123–37. DOI: 10.1080/09647040600700245.
- Бурденко Н.Н. Обзор и пути развития нейрохирургической работы. В кн.: Научные доклады 1-й сессии Нейрохирургического совета. 3–7 мая 1935 г. М., Л.: Биомедгиз, 1937. С. 7–14. [Burdenko N.N. Overview and pathways for the development of neurosurgical work. In: Scientific reports of the 1st session of the Neurosurgical Council. May 3–7, 1935. Moscow, Leningrad: Biomedgiz, 1937. Pp. 7–14. (In Russ.)].
- Беркутов А.Н., Самотокин Б.А., Хилько В.А. Н.Н. Бурденко. Л., 1977. 26 с. [Berkutov A.N., Samotokin B.A., Khilko V.A. N.N. Burdenko. Leningrad, 1977. 26 p. (In Russ.)].
- Danilov G., Shifrin M., Strunina Y. et al. Best research practice implementation: the experience of the N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery. *Stud Health Technol Inform* 2021;287:40–4. DOI: 10.3233/SHTI210808.
- Kononov A.N., Yartsev V.V., Likhtherman L.B. The Burdenko Neurosurgery Institute: past, present, future. *Neurosurgery* 1997;40(1):178–85. DOI: 10.1097/00006123-199701000-00039.
- Лихтерман Л.Б., Ярцев В.В. 70-летие Московского института нейрохирургии: история и современность. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2002;(2):2–15. [Likhterman L.B., Yartsev V.V. 70th anniversary of the Moscow Institute of Neurosurgery: history and present. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii* im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2002;(2):2–15. (In Russ.)].
- Коновалов А.Н., Лихтерман Л.Б. 80-летие Московского института нейрохирургии: история и свершения. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2012;76(3):3–25. [Kononov A.N., Likhtherman L.B. 80th anniversary of Moscow Neurosurgical Institute: history and achievements. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii* im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2012;76(3):3–25. (In Russ.)].
- Potapov A., Likhtherman L., Danilov G. Great hospitals of the Russian Federation: National Medical Research Center for Neurosurgery named after N.N. Burdenko: history and contemporaneity. *World Neurosurg* 2018;120:100–11. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.07.280.
- Потапов А.А., Лихтерман Л.Б., Данилов Г.В. Московская нейрохирургия: клиника — институт — Национальный центр. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2019;83(1):5–16. [Potapov A.A., Likhtherman L.B., Danilov G.V. Neurosurgery in Moscow: clinic — institute — National center. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii* im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2019;83(1):5–16. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/neiro2019830115.

ORCID автора / ORCID of author

Л.Б. Лихтерман / L.B. Likhtherman: <https://orcid.org/0000-0002-9948-9816>

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Статья поступила: 20.10.2020. **Принята к публикации:** 01.02.2022.
Article submitted: 20.10.2020. **Accepted for publication:** 01.02.2022.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ СОЛИТАРНЫХ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ МЕТАСТАЗОВ

А.В. Станишевский, Ш.Х. Гизатуллин, А.В. Смолин, Е.В. Крюков

ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; Россия, 105094 Москва, Госпитальная пл., 3

Контакты: Артём Вадимович Станишевский a-stan@mail.ru

Введение. Церебральные метастазы встречаются у 10–30 % пациентов с различными формами рака. Несмотря на успехи, достигнутые в лечении онкологических заболеваний внечерепных локализаций в последнее десятилетие, тенденция к увеличению выживаемости и длительности безрецидивного периода у пациентов с церебральными метастазами не прослеживается.

Цель исследования – анализ опыта комплексного лечения церебральных метастазов в многопрофильном стационаре на основе обзора литературных данных о современных тенденциях.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ медицинской документации пациентов с церебральными метастазами: оценивались частота их возникновения в зависимости от положения первичной опухоли, объем, локализация, ранние осложнения, подсчитаны медиана общей выживаемости и длительность стационарного лечения. Критерии исключения: множественное метастатическое поражение головного мозга, противопоказания к хирургическому лечению церебральных метастазов, высокочувствительные к химио- и лучевой терапии опухоли (лейкоз, лимфома, герминогенные опухоли). Радикальность удаления метастазов оценивалась при помощи послеоперационных КТ и МРТ с внутривенным контрастированием и протоколов операций, катамнез – анкетирования родственников. Статистическая обработка данных велась на основе пакета программ IBM SPSS Statistics 23.

Результаты. Критериям включения соответствовали 52 пациента, средний возраст на момент операции – 60 лет. Наиболее частые (в порядке убывания) источники церебральных метастазов: меланома, рак легкого, почки, молочной железы, прямой кишки, простаты, яичника, матки. Наиболее распространенные (в порядке убывания) варианты локализации метастазов: теменная, лобная доли, полушария мозжечка, затылочная, височная доли, желудочковая система и оболочки головного мозга. В 46 % случаев метастазы локализовались в функционально значимых областях головного мозга. Медиана объема метастазов – 11 см³. Гипертензионно-дислокационный синдром отмечен у 65,4 % пациентов. Медианное значение индекса Карновского при поступлении – 73,8 балла. В 84,6 % случаев достигнуто тотальное удаление метастаза, в 7,7 % – субтотальное. Катамнез доступен для 44 пациентов, на момент проведения исследования у 20 из них наступил летальный исход. Факторы, влияющие на прогноз при церебральных метастазах: морфология и объем метастаза, тотальность удаления, состояние больного при поступлении (индекс Карновского), наличие ранних осложнений.

Заключение. В большинстве случаев пациенты с церебральными метастазами при поступлении в стационар находятся в удовлетворительном состоянии. Метастазирование в головной мозг более характерно для меланомы и рака легкого, эти опухоли характеризуются худшим прогнозом. Большинство метастазов локализуется супратенториально и часто вызывают развитие гипертензионно-дислокационного синдрома. Локализация метастаза, срок от момента его выявления до хирургического лечения, отношение к функционально значимым зонам, а также факт удаления первичной опухоли не влияют на выживаемость.

Ключевые слова: метастаз, химиотерапия, лучевая терапия, опухоль, головной мозг, меланома, рак, аденокарцинома

Для цитирования: Станишевский А.В., Гизатуллин Ш.Х., Смолин А.В., Крюков Е.В. Оценка результатов нейрохирургической операции в комплексном лечении солитарных церебральных метастазов. Нейрохирургия 2022;24(2):17–24. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-17-24.

Surgical treatment of solitary brain metastases

A. V. Stanishevskiy, Sh. Kh. Gizatullin, A. V. Smolin, E. V. Kryukov

Main Military Clinical Hospital named after Academician N. N. Burdenko, Ministry of Defense of Russia; 3 Gospitalnaya Sq., Moscow 105094, Russia

Contacts: Artem Vadimovich Stanishevskiy a-stan@mail.ru

Background. Brain metastasis occurs in 10–30 % of patients with different malignances. Despite of successes, achieved in the treatment of extracranial malignances in last decade, tendency to increase of the survival and duration of the disease-free period in patients with brain metastasis is absent. Several treatment modalities: chemotherapy, radiation, immune and target therapy, stereotactic radiosurgery, different types of surgical procedures, however, an optimal combination of these methods remain unclear.

The aim of the study: to summarize experience of complex treatment of patients with brain metastases in hospital with opportunity of both surgical removal, chemo- and radiotherapy and review literature on the topic.

Materials and methods. The retrospective analysis of medical data of patients with brain metastases performed with assessment of most frequent sources of metastases, there value, localization, median survival duration from metastasis revealing due to different types of therapy, main period of recurrences and hospital state duration, early and late complications. Inclusion criteria were: patients with surgical treatment of brain metastases, availability of medical data. Exclusion criteria were: multiple brain metastases, contraindications for surgical treatment, sensitive to chemo- and radiation therapy malignances (leukoses, lymphoma, germinative tumors etc.). The assessment of degree of metastasis resection was made by postop CT and MRI with intravenous enhancement or by operation records. Intraoperative fluorescence was used for evaluation of tumor borders. In case of localization of metastasis in sensory or motor zones intraoperative electrophysiological monitoring acquired. Few operations for metastasis localized in speech zones were made with “asleep–awake–asleep” method. Follow-up assessed by questioning of patients and their relatives. Statistical analyzes performed in IBM SPSS Statistics 23.

Results. 52 patients meet criteria and were included to the study. Male to female ratio was 1 : 1, main age – 60 years. The most common sources of brain metastases were (in decreasing order) melanoma, lung cancer, kidney cancer, breast cancer, rectal cancer, prostate cancer, ovarian cancer and uterus cancer. Two patients had 2 brain metastases at the time of assessment, other 50 – single. Most common localizations of brain metastases (in decreasing order) were: parietal lobe, frontal lobe, cerebellum hemispheres, occipital lobe, temporal lobe, ventricular system and brain meninges. In 46 % of cases metastases involves significant functional areas of brain. Median value of metastasis was 11 cm³; midline dislocation appeared in 65,4 % of cases; 6 patients have hemorrhage in the tumor, 2 – seizures, 2 – occlusive hydrocephalus. Main Karnofsky performance index – 73,8. Total resection performed in 84,6, subtotal resection – in 7,7 % of cases gross. Intraoperative fluorescence used in 73 %. In 10 cases metastasis localized in motor and sensory zones, all these cases were treat with intraoperative neurophysiological monitoring. Postoperative hemiparesis noticed in 1 patient; 3 surgeries performed with awake; no aphasias mentioned. Follow-up was assessed in 44 patients, 20 of them were dead at the time of the study. An assessment of dependence of overall survival median on primary tumor morphology performed. Prognostic factors of brain metastases: its morphology and value, extent of resection, Karnofsky status and early complications.

Conclusions. Most patients with brain metastasis are in satisfactory condition. Most frequent tumors which form brain metastasis: melanoma and lung cancer, they are characterized by poorer prognosis. Most metastasis are supratentorial, intracranial hypertension is obvious. Metastasis localization, time from its evaluation to surgery, significant functional areas involvement and primary tumor resection aren't fluent on survival.

Key words: metastasis, chemotherapy, radiation therapy, tumor, brain, melanoma, cancer, adenocarcinoma

For citation: Stanishevskiy A.V., Gizatullin Sh.Kh., Smolin A.V., Kryukov E.V. Surgical treatment of solitary brain metastases. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):17–24. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-17-24.

ВВЕДЕНИЕ

Церебральные метастазы (ЦМ) при различных формах рака возникают у 10–30 % пациентов [1, 2]. При этом у больных с ранее установленным диагнозом рака вновь диагностированное новообразование центральной нервной системы является первичной опухолью лишь в 9 % случаев. Наиболее распространенные источники ЦМ (по убыванию): рак легкого, меланома, рак почки, рак молочной железы, колоректальный рак [3].

По прогнозам Всемирной организации здравоохранения, в период 2012–2030 гг. в мире ожидается рост новых случаев заболевания раком. При этом, по данным на 2016 г., в Российской Федерации первичное выявление опухолей составляет на III стадии 19,1 %, на IV – 20,5 %.

Считается, что ЦМ – одно из наиболее тяжелых осложнений онкологических заболеваний, приводящее к значительному снижению качества жизни и летальному исходу.

Цель исследования – анализ опыта комплексного лечения церебральных метастазов в многопрофильном стационаре и обзор литературных сведений о современных тенденциях в лечении церебральных метастазов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен ретроспективный анализ медицинской документации пациентов, проходивших лечение с 20 декабря 2013 г. по 1 января 2020 г. в нейрохирургическом и радиологическом отделениях Главного военного

клинического госпиталя им. акад. Н.Н. Бурденко Минобороны России. Критерии включения:

- пациенты старше 18 лет с ЦМ;
- наличие медицинских данных о состоянии пациента на момент поступления, проводимом лечении, осложнениях и сроках стационарного лечения. Состояние пациентов оценивалось по модифицированной шкале Рэнкина — шкале mRs (Modified Rankin Scale) при поступлении и выписке;
- наличие данных предоперационной магнитно-резонансной томографии (МРТ) с внутривенным контрастированием.

Критерии исключения:

- множественные ЦМ;
- отсутствие удаления ЦМ.

Дополнительно проведено анкетирование родственников, включенных в исследование пациентов на предмет наличия и состава проводимой после выписки терапии, рецидивов ЦМ, сроков и причин летального исхода.

Радикальность удаления метастазов оценивалась по данным послеоперационных компьютерной томографии (КТ) и МРТ-исследований с внутривенным контрастным усилением, а также на основании анализа протоколов оперативных вмешательств.

Флюоресцентная диагностика (ФД) — интраоперационная метаболическая навигация — применялась при отсутствии четких границ метастаза с веществом головного мозга, по данным МРТ с контрастированием, а также во всех случаях локализации ЦМ в функционально значимых зонах (ФЗЗ) головного мозга в дополнение к интраоперационному электрофизиологическому мониторингу (ИОМ) с целью более точного определения границ опухоли и максимально щадящей резекции. При локализации ЦМ в моторных и сенсорных зонах коры применялся ИОМ, а при локализации в речевых центрах — операции с пробуждением.

Для оценки медианы общей выживаемости пациенты разделены на 3 группы: с метастазами меланомы, рака легкого и других первичных опухолей (табл. 1).

Полученные данные обобщены и проанализированы с использованием пакета программ IBM SPSS Statistics 23. При помощи анализа выживаемости методом Каплана—Майера определены медианы общей выживаемости для пациентов с метастазами меланомы, рака легкого и других первичных локализаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Необходимые медицинские сведения, включая выписные эпикризы, протоколы оперативных вмешательств и результаты пред- и послеоперационных исследований (КТ и МРТ головного мозга с контрастированием), доступны по 52 пациентам, лечившимся в нейрохирургическом центре по поводу ЦМ и соответствовавшим критериям включения.

Таблица 1. Оценка медианы общей выживаемости пациентов с метастазами меланомы, рака легкого и других локализаций

Table 1. The assessment of overall survival in patients with melanoma, lung cancer and another metastasis

Морфология метастаза Morphology of metastasis	Число пациентов, % Number of patients, %	Медиана общей выживаемости, мес Overall survival median, months	95 % ДИ 95 % CI
Меланома Melanoma	14	6,7	2,8–10,7
Рак легкого Lung cancer	14	9,6	5,4–13,8
Другие* Other*	24	13,4	7,4–19,4

*Локализация рака, число пациентов (%): почка — 7, молочная железа — 6, прямая кишка — 5, простата — 3, яичник — 2, матка — 1.

*Cancer localization, number of patients (%): kidney cancer — 7, breast cancer — 6, rectal cancer — 5, prostate cancer — 3, ovarian cancer — 2, uterus cancer — 1.

Половозрастная характеристика больных представлена в табл. 2. Большинство пациентов при поступлении находились в удовлетворительном состоянии (80–100 баллов по шкале Карновского). Развитие кровоизлияния в опухоль отмечено у 6 (11,5 %), судорожный синдром — у 2 (3,85 %), окклюзионная гидроцефалия — у 2 (3,85 %) больных.

Таблица 2. Половозрастная характеристика пациентов, включенных в исследование

Table 2. The gender and sex characteristics of included patients

Параметр Parameter	Значение Value
Число пациентов (%): Number of patients (%):	
мужчин male	24 (46)
женщин female	28 (54)
Медиана возраста (95 % ДИ), лет Age median (95 % CI), years	61,5 (56,5–63,1)
Индекс Карновского, % Karnofsky Index, %	70 (70–80)

Примечание. 95 % ДИ — доверительный интервал (уровень вероятности 95 %).

Note. 95 % CI — confidence interval (possibility level 95 %).

Наиболее частые источники ЦМ в нашем исследовании — меланома, рак легкого, почки и молочной железы. Большинство ЦМ локализовались супратенториально (44, 84,6 %), зафиксированы ЦМ в желудочки головного мозга и 2 (3,85 %) случая формирования солитарных метастазов, расположенных вдоль твердой мозговой оболочки, первоначально принятых за случаи менингиомы (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика церебральных метастазов

Table 3. The characteristics of cerebral metastases

Характеристика Parameter	Число случаев Number of cases	
	абс. abs.	%
Первичная опухоль: Primary tumor:		
Меланома Melanoma	14	26,9
Рак легкого Lung cancer	14	26,9
Рак почки Kidney cancer	7	13,5
Рак молочной железы Breast cancer	6	11,6
Рак прямой кишки Rectal cancer	5	9,6
Рак простаты Prostate cancer	3	5,8
Рак яичника Ovarian cancer	2	3,8
Рак матки Uterus cancer	1	1,9
Локализация метастаза: Localization of metastasis:		
Теменная доля Parietal lobe	18	34,6
Лобная доля Frontal lobe	14	26,9
Полушария мозжечка Cerebellum hemispheres	8	15,5
Затылочная доля Occipital lobe	6	11,6
Височная доля Temporal lobe	2	3,8
Желудочковая система Ventricular system	2	3,8
Твердая мозговая оболочка Dura mater	2	3,8
Отношение к ФЗЗ: Functional zones involvement:		
Моторные и сенсорные зоны коры Motor and sensory zones	10	19,2
Речевые центры Speech zones	6	11,6
Другие* Other*	6	11,6
Вне ФЗЗ Away SFA	30	57,6
Наличие дислокации: Midline shift:		
Есть Takes place	34	65,4
Нет None	18	34,6
Медиана объема метастаза** (95 % ДИ), см ³ Metastasis volume** mediane (95 % CI), cm ³	11 (10,1–19,8)	

Примечание. ФЗЗ – функционально значимые зоны.

Note. SFA – significant functional areas.

*Локализация (ФЗЗ): зрительная кора, базальные ядра, ядра мозжечка.

**Объем метастаза вычислялся по формуле: $ABC/2$, где A , B , C – три размера по данным МРТ с контрастным усилением [4].

*Localization (significant functional areas): visual cortex, basal ganglia, cerebellum nuclei.

**Metastasis volume evaluate as $ABC/2$, where A , B , C – sizes of metastasis due to three MRI planes.

Отмечена локализация ЦМ в ФЗЗ головного мозга – 24 (46,2 %), наличие выраженного перитуморозного отека с компрессией и дислокацией прилежащих структур головного мозга при формировании метастаза – 34 (65,4 %) случая.

Пациенты с ЦМ получали комплексное лечение, включающее удаление метастаза с последующей химиотерапией (ХТ) или лучевой терапией (ЛТ) при наличии показаний (табл. 4).

При выполнении операций в 45 (87 %) случаях применялась интраоперационная ФД (иФД). Из 22 (42,3 %) пациентов с локализацией ЦМ в ФЗЗ головного мозга у 10 (19,2 %) они располагались в моторных и сенсорных зонах коры, у 6 (11,5 %) – в области речевых центров. Всем 10 пациентам проводился интраоперационный электрофизиологический мониторинг, из них у 2 (3,85 %) больных развился преходящий гемипарез, регрессировавший на фоне противоотечной терапии в ходе стационарного лечения; у 1 пациента сформировался стойкий центральный гемипарез, сохранявшийся вплоть до летального исхода, наступившего через 7,5 мес после операции. У 3 пациентов с ЦМ в области речевых центров проводились операции с пробуждением. Ни у одного из них в послеоперационном периоде не отмечено развития афазии. Из 3 больных, оперированных без пробуждения, у 2 – развилась афазия, регрессировавшая самостоятельно в течение 1 нед после операции, у 1 – стойкая моторная афазия.

При анкетировании пациентов и их родственников сведения о продолжительности жизни, осложнениях и госпитализациях получены в 44 случаях. Для остальных больных оценка катамнеза проводилась на момент выписки из стационара.

В раннем послеоперационном периоде развились следующие осложнения: вентиляционно-ассоциированная пневмония – у 2, кровоизлияние в ложе удаленной опухоли – у 2, менингоэнцефалит – у 2 пациентов (табл. 5).

Анализ выживаемости пациентов с ЦМ показал худший прогноз у больных с метастазами меланомы и рака легкого по сравнению с метастазами других опухолей.

Линейный регрессионный анализ выявил, что факторы, влияющие на продолжительность жизни после хирургического лечения, – морфология и объем метастаза, наличие гипертензионно-дислокационного синдрома, радикальность удаления, состояние пациента при поступлении (индекс Карновского), наличие ранних осложнений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последнее десятилетие на фоне успехов, достигнутых в лечении онкологических заболеваний вне мозговых локализаций, развитие ЦМ оказывает негативное влияние на продолжительность и качество жизни больных [5, 6]. Так, отмечено парадоксальное увеличение частоты метастатического поражения центральной

Таблица 4. Характеристика методов лечения церебральных метастазов

Table 4. The characteristics of treatment modalities of brain metastases

Характеристика Parameter	Число случаев Number of cases	
	абс. abs.	%
Хирургическое лечение Surgery		
Объем резекции: Extent of resection:		
тотально total	43	82,7
субтотально subtotal	9	17,3
Применение флуоресцентной диагностики Using of fluorescence guidance	45	87
Применение ИОМ (при локализации в ФЗЗ): Using of INM (in case of SFA involvement):		
картирование моторных и сенсорных зон motor and sensory zones evolvment	10	3
операции с пробуждением awake surgery	19,2	5,8
Лучевая терапия Radiation therapy		
Проводилась Takes place	19	36,5
Не проводилась None	17	32,7
Нет данных Data absent	16	30,8
Срок после операции, сут Time after surgery, days	Медиана Mediane	95 % ДИ 95 % CI
	32	20–47
Химиотерапия Chemotherapy		
Проводилась Takes place	25	48
Не проводилась None	10	19,2
Нет данных Data absent	17	32,8
Срок после операции, дни Time after surgery, days	Медиана Mediane	95 % ДИ 95 % CI
	22	19–32

Примечания. ИОМ — интраоперационный электрофизиологический мониторинг; ФЗЗ — функционально значимые зоны головного мозга.

Note. INM — intraoperative neuromonitoring; SFA — significant functional areas of the brain.

Таблица 5. Характеристика послеоперационного периода

Table 5. The characteristics of post-op period

Параметр Parameter	Значение Value
Катамнез: Follow-up:	
медиана длительности (95 % ДИ), мес duration mediane (95 % CI), mo	6,5 (6,3–13,5)
летальные исходы*, n (%) exitus lethalis*, n (%)	20 (38,5)
Медиана длительности пребывания в стационаре (95 % ДИ), дни Overall treatment duration mediane (95 % CI), day	17,5 (17,2–22,0)
Ранние осложнения, n (%) Earlier complications, n (%)	6 (11,5)

*Причина летального исхода: инфаркт миокарда — 1, прогрессирование заболевания — 19 пациентов (из них с преимущественно внечерепным распространением — 13, с формированием множественных церебральных аневризм и лептоменингеальным распространением — 6).

*Causes of death: 1 patient died from myocardial infarct, mortality was associated with intracranial tumor progression — 19 cases (with extracranial progression — 13, with multiple cerebral metastasis formation and leptomeningeal spreading — 6).

нервной системы, связанное с появлением эффективных методов лечения первичных опухолей [7]. При отсутствии лечения медиана общей выживаемости больных после обнаружения ЦМ составляет 4–6 мес [8].

Результаты исследования соответствуют данным мировой литературы — наиболее частые источники ЦМ: рак легкого, молочной железы, меланома, колоректальный рак и рак почки [7].

Лечение пациентов с ЦМ требует междисциплинарного подхода, сочетающего усилия нейрохирургов, онкологов, специалистов в области ЛТ и ХТ, лучевой диагностики и ряда других специальностей.

Показание к хирургическому лечению (класс доказательности А) — наличие солитарного ЦМ в сочетании с удовлетворительным состоянием пациента (более 70 баллов по шкале Карновского) и отсутствие внечерепных метастазов. Удаление солитарных ЦМ сказывается не только на увеличении продолжительности жизни, но и улучшает ее качество за счет регресса внутричерепной гипертензии и возможности прекратить терапию стероидными гормонами. Существуют исследования, согласно которым при наличии нескольких ЦМ удаление крупного, клинически проявляющегося метастаза имеет преимущество перед консервативным подходом [9]. Сохранение приемлемого качества жизни пациентов — приоритетная задача в хирургии ЦМ, задача первого плана перед стремлением к супрамаргинальной резекции в случае локализации ЦМ в ФЗЗ головного мозга. В таких ситуациях целесообразным становится применение технологий ИОМ, в частности

операций с пробуждением. Расположение ЦМ в ФЗЗ головного мозга, вероятно, не влияет на продолжительность жизни после хирургического лечения. По-видимому, это связано с широким применением ИОМ в сочетании с нейронавигацией и микрохирургической техникой, что позволяет выполнять обширную резекцию опухолевой ткани с минимальным риском нарастания неврологического дефицита. Подавляющее большинство (82,7 %) ЦМ в исследовании удалено тотально, чему в немалой степени способствовало применение ИФД, позволяющей определить инвазию опухолевой ткани при инфильтративном характере роста ЦМ.

Учитывая стремительную прогрессию метастатического поражения головного мозга, возобновление адъювантной терапии после хирургического лечения должно происходить в ранние сроки. В связи с этим целесообразно концентрировать пациентов с ЦМ в многопрофильных стационарах, обладающих возможностью обеспечить преемственность в лечении.

Одна из нерешенных на сегодняшний день проблем в лечении ЦМ — низкая проницаемость гематоэнцефалического барьера (ГЭБ) [10], в том числе для большинства противоопухолевых препаратов. Так, по данным W.M. Pardridge (2005), 98 % химиопрепаратов, имеющих лицензию FDA, не проникают через ГЭБ [11]. Частичного решения этой проблемы (применительно к лечению глиобластомы) удалось добиться путем модифицированного метода регионарной (интракаротидной) химиоинфузии с применением метода временного открытия ГЭБ [12, 13]. Установлено, что интраартериальное введение бевацизумаба позволяет добиться существенно большей его концентрации в веществе головного мозга, чем при внутривенном [14].

Перспективный метод медикаментозного лечения онкологических заболеваний с формированием ЦМ — применение ингибиторов ключевых точек иммунитета [15]. В настоящем исследовании не было пациентов, получавших терапию препаратами этой группы.

Вопрос оптимального сочетания различных вариантов ХТ и ЛТ с таргетной терапией, стереотаксической радиохирургией и экспериментальными методами лечения также остается дискуссионным [16–18].

Облучение всего головного мозга — базовая методика ЛТ у пациентов с ЦМ. В настоящее время изучаются методы преодоления нейротоксических эффектов ЛТ, в частности развития когнитивных и мнестических нарушений. Так, в III фазе рандомизированного исследования NRG Oncology CC001 показано, что избегание лучевого воздействия на структуры гиппокампа в сочетании с терапией акатинолом позволяют существенно снизить степень когнитивных нарушений после облучения всего головного мозга [19].

Стереотаксическая радиохирургия (СРХ) показала свою эффективность как пред- и послеоперационный метод ЛТ, снижающий частоту развития радиоиндуци-

рованных осложнений [20, 21]. Кроме того, СРХ служит оптимальным методом лечения множественных ЦМ. В настоящем исследовании не было пациентов, проходивших СРХ в пред- и послеоперационном периодах.

Нерешенная на сегодняшний день проблема в лечении ЦМ — развитие лучевого некроза после применения различных вариантов ЛТ. В последние несколько лет изучается применение бевацизумаба [22] и гипербарической оксигенотерапии [23] как дополнение, а в рефрактерных случаях — как альтернатива пульс-терапии кортикостероидами.

Один из современных малоинвазивных методов лечения ЦМ — МР-фокусированная лазерная термоабляция [24, 25]. Несмотря на то что теоретическая основа метода разработана в 70-е годы XX века, наиболее крупные серии наблюдений к 2015 г. насчитывали до 20 пациентов. На сегодняшний день этот метод служит дополнительной опцией, применение которой возможно в сочетании с хирургическим лечением, ЛТ и ХТ, но не в качестве самостоятельного метода лечения [26]. Показания к применению методики, по данным литературы, — первичные и рецидивные ЦМ глубинной локализации диаметром 1–3 см, а также ЦМ, не чувствительные к ЛТ [7]. Авторам неизвестно о применении лазерной термоабляции для лечения ЦМ в лечебных учреждениях Российской Федерации.

Несмотря на наличие клинических рекомендаций по лечению пациентов с метастатическим поражением головного мозга, в современной медицинской литературе недостаточно представлены исследования с высоким классом доказательности, посвященные анализу результатов лечения больных с ЦМ. Вопросы оптимального подхода к лечению пациентов с ЦМ в будущем возможно разрешить с помощью проспективных исследований со значительно большим объемом групп сравнения или метаанализа накопленных сведений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метастазирование в головной мозг более характерно для меланомы и рака легкого (характеризуются худшим прогнозом). Большинство метастазов локализируются супратенториально и часто вызывают развитие гипертензионно-дислокационного синдрома. Местоположение церебральных метастазов, отношение к функционально значимым зонам не влияли на выживаемость. Стоит отметить, что в серии не было стволовой локализации, а срок от выявления церебральных метастазов до их удаления не превышал 76 сут. Линейный регрессионный анализ показал, что факторы, влияющие на продолжительность жизни после хирургического лечения, — морфология и объем метастаза, наличие гипертензионно-дислокационного синдрома, радикальность удаления, состояние пациента при

поступлении (индекс Карновского), наличие ранних осложнений.

Ограничения исследования. Несмотря на значительное количество (около 350) пациентов с церебральными метастазами в нейрохирургическом и радиологическом центрах за последние 7 лет, только в 54 случаях имелись медицинские сведения, соответствующие критериям включения. Дальнейшее разделение

выборки на подгруппы для проведения сравнений делает часть выводов статистического анализа нерепрезентативными. В данном исследовании не проводилось разграничение пациентов с различными морфологическими типами рака легкого, характеризующимися разной степенью пролиферативной активности первичной опухоли, чувствительностью к системной и лучевой терапии и, следовательно, прогнозом.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- DeAngelis L.M. Intracranial Metastases. In: Neurologic Complications of Cancer. *Neuro Oncol* 2009;11(1):96–7. DOI: 10.1215/15228517-2008-118.
- Patchell R.A., Tibbs P.A., Walsh J.W. et al. A randomized trial of surgery in the treatment of single metastases to the brain. *N Engl J Med* 1990;322(8):494–500. DOI: 10.1056/NEJM199002223220802.
- Голанов А.В., Банов С.М. и др. Лечение пациентов с метастатическим поражением головного мозга. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2016;80(4):89–100. [Golanov A.V., Banov S.M. et al. Treatment of patients with brain metastases. *Zhurnal Voprosy Neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko* = *Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2016;80(4):89–101. (In Russ., in Eng.). DOI: 10.17116/neiro201680489-100.
- Древал О.Н. Нейрохирургия: Руководство в 2 т. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 864 p. [Dreval O.N. *Neurosurgery: A guide in 2 vol.* Moscow: GEOTAR-Media, 2013. 864 p. (In Russ.).]
- O'Connell K., Romo C.G., Grossman S.A. Brain metastases as a first site of recurrence in patients on chemotherapy with controlled systemic cancers: An increasingly urgent clinical scenario. *J Clin Oncol* 2019;37(15_suppl):e13590. DOI: 10.1200/jco.2019.37.15_suppl.e13590.
- Гайдар Б.В., Парфенов В.Е., Щербук Ю.А. и др. Лечебная тактика при раке почки с метастатическим поражением центральной нервной системы. Практическая онкология 2005;6(3):172–7. [Gaidar B.V., Parfenov V.E., Shcherbuk Yu.A. et al. Treatment strategy for kidney cancer with CNS metastasis. *Prakticheskaya onkologiya* = *Practical oncology* 2005;6(3):172–7. (In Russ.).]
- O'Halloran P.J., Gutierrez E., Kalyvas A. et al. Brain metastases: A modern multidisciplinary approach. *Can J Neurol Sci* 2021;48(2):189–97. DOI: 10.1017/cjn.2020.224.
- Ротин Д.Л. Клинико-морфологические и молекулярно-биологические аспекты развития метастазов в головной мозг. Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко 2012;76(2):70–6. [Rotin D.L. Clinico-morphological and molecular-biological aspects of cerebral metastases development. *Zhurnal Voprosy Neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko* = *Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2012;76(2):70–6. (In Russ.).]
- Vogelbaum M.A., Suh J.H. Resectable brain metastases. *J Clin Oncol* 2006;24(8):1289–94. DOI: 10.1200/JCO.2005.04.6235.
- de Boer A.G., Gaillard P.J. Drug Targeting to the Brain. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 2007;47:323–55. DOI: 10.1146/annurev.pharmtox.47.120505.105237.
- Pardridge W.M. The blood-brain barrier: bottleneck in brain drug development. *NeuroRX* 2005;2(1):3–14. DOI: 10.1602/neurorx.2.1.3.
- Neuwelt E.A., Maravilla K.R., Frenkel E.P. et al. Osmotic blood-brain barrier disruption. Computerized tomographic monitoring of chemotherapeutic agent delivery. *J Clin Invest* 1979;64(2):684–8. DOI: 10.1172/JCI109509.
- van Tellingen O., Yetkin-Arik B., de Gooijer M.C. Overcoming the blood-brain tumor barrier for effective glioblastoma treatment. *Drug Resist Updat* 2015;(19):1–12. DOI: 10.1016/j.drug.2015.02.002.
- Zawadzki M., Walecki J., Kostkiewicz B. et al. Republished: Real-time MRI guidance for intra-arterial drug delivery in a patient with a brain tumor: technical note. *J Neurointerv Surg* 2019;11(8):e3. DOI: 10.1136/neurintsurg-2018-014469.rep.
- Hendriks L.E., Henon C., Auclin E. et al. Outcome of patients with non-small cell lung cancer and brain metastases treated with checkpoint inhibitors. *J Thorac Oncol* 2019;14(7):1244–54. DOI: 10.1016/j.jtho.2019.02.009.
- Hardesty D.A., Nakaji P. The current and future treatment of brain metastases. 2016;3:30. DOI: 10.3389/fsurg.2016.00030.
- Банов С.М., Смолин А.В., Насхлеташвили Д.Р. и др. Таргетная терапия в сочетании с радиохирургией у пациентов с метастазами в головной мозг. Злокачественные опухоли 2016;4S1(21):74–80. [Banov S.M., Smolin A.V., Naskhletashvili D.R. et al. Target therapy with radiosurgery in patients with cerebral metastasis. *Zlokachestvennye opukholi* = *Malignant tumours* 2016;4S1(21):74–80. (In Russ.). DOI: 10.18027/2224-5057-2016-4s1-74-80.
- Токарев А.С., Евдокимова О.Л., Рак В.А., Викторова О.А. Радиохирургическое лечение метастазов рака яичников в головной мозг. Лучевая диагностика и терапия 2020;11(3):104–10. [Tokarev A.S., Evdokimova O.L., Rak V.A., Viktorova O.A. Radiosurgical treatment for brain metastases of ovarian cancer. *Luchevaya diagnostika i terapiya* = *Diagnostic radiology and radiotherapy* 2020;11(3):104–10. (In Russ.). DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-104-110.
- Brown P.D., Gondi V., Pugh S. et al. Hippocampal avoidance during whole-brain radiotherapy plus memantine for patients with brain metastases: Phase III Trial NRG Oncology CC001. *J Clin Oncol* 2020;38(10):1019–29. DOI: 10.1200/JCO.19.02767.
- Ветлова Е.Р., Голанов А.В., Банов С.М. Современная стратегия комбинации хирургического и лучевого лечения у пациентов с метастазами в головном мозге. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2017;81(6):108–15. [Vetlova E.R., Golanov A.V., Banov S.M. A modern strategy of combined surgical and radiation treatment in patients with brain metastases. *Zhurnal Voprosy Neirokhirurgii im. N.N. Burdenko* =

- Burdenko's Journal of Neurosurgery 2017;81(6):108–15. (In Russ., in Eng.]. DOI 10.17116/neiro2017816108-115.
21. Никитин Д.И., Зубаткина И.С., Иванов П.И. Радиохирургическое лечение метастазов почечно-клеточного рака на аппарате «Гамма-нож». Русский медицинский журнал 2017;(16):1164–8. [Nikitin D.I., Zubatkina I.S., Ivanov P.I. Radiosurgical treatment of metastases of renal cell carcinoma on the apparatus "Gamma-knife". Russkiy meditsinskiy zhurnal = Russian medical journal 2017;(16):1164–8. (In Russ.)].
 22. Delishaj D., Ursino S., Pasqualetti F. et al. Bevacizumab for the treatment of radiation-induced cerebral necrosis: A systematic review of the literature. J Clin Med Res 2017;9(4):273–80. DOI: 10.14740/jocmr2936e.
 23. Co J., de Moraes M.V., Katznelson R. et al. Hyperbaric oxygen for radiation necrosis of the brain. Can J Neurol Sci 2020;n47(1):92–9. DOI:10.1017/cjn.2019.290.
 24. Jethwa P.R., Barrese J.C., Gowda A. et al. Magnetic resonance thermometry-guided laser-induced thermal therapy for intracranial neoplasms: initial experience. Neurosurgery 2012;71(1 Suppl):133–44;144–5. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31826101d4.
 25. Rahmathulla G., Recinos P.F., Kamian K. et al. MRI-guided laser interstitial thermal therapy in neuro-oncology: A review of its current clinical applications. Oncology 2014;87(2):67–82. DOI: 10.1159/000362817.
 26. Mirza F.A., Mitha R., Shamim M.S. Current role of laser interstitial thermal therapy in the treatment of intracranial tumors. Asian J Neurosurg 2020;15(4):800–8. DOI: 10.4103/ajns.AJNS_185_20.

Вклад авторов

А.В. Станишевский: сбор и статистическая обработка данных, написание статьи;
 Ш.Х. Гизатулин: разработка концепции исследования, научное редактирование статьи, общее руководство;
 А.В. Смолин: разработка дизайна исследования, статистическая обработка данных, научное редактирование статьи;
 Е.В. Крюков: научное редактирование статьи, общее руководство.

Authors' contributions

A.V. Stanishevskiy: obtaining data and statistical analysis, article writing;
 Sh.Kh. Gizatullin: research idea of the study, scientific editing of the article, overall leadership;
 A.V. Smolin: research design of the study, statistical analysis, scientific editing of the article;
 E.V. Kryukov: scientific editing of the article, overall leadership.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.В. Станишевский / A.V. Stanishevskiy: <https://orcid.org/0000-0002-2615-269X>
 Ш.Х. Гизатулин / Sh.Kh. Gizatullin: <https://orcid.org/0000-0002-2953-9902>
 А.В. Смолин / A.V. Smolin: <https://orcid.org/0000-0002-3023-0515>
 Е.В. Крюков / E.V. Kryukov: <https://orcid.org/0000-0002-8396-1936>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ И ДРЕНИРОВАНИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ ПРИ ГИПЕРТЕНЗИВНЫХ ВЕНТРИКУЛЯРНЫХ КРОВОИЗЛИЯНИЯХ

И.М. Годков¹, В.Г. Дашьян^{1,2}, А.В. Елфимов³, В.А. Хамурзов¹, А.А. Гринь^{1,2}, В.В. Крылов^{1,2}, Г.А. Нефедова¹, П.О. Свищева¹

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1;

³ГБУЗ Ярославской области «Областная клиническая больница»; Россия, 150062 Ярославль, ул. Яковлевская, 7

Контакты: Иван Михайлович Годков i.godkov@yandex.ru

Введение. Проводится сравнение наружного вентрикулярного дренирования и эндоскопических операций у больных с внутрижелудочковыми кровоизлияниями.

Цель работы – сравнительный анализ результатов наружного вентрикулярного дренирования и эндоскопических операций у больных с внутрижелудочковыми кровоизлияниями.

Материалы и методы. Выполнен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения пациентов с внутрижелудочковыми кровоизлияниями на базе ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского» и ГБУЗ Ярославской области «Областная клиническая больница». Эндоскопические операции были выполнены 15 больным (основная группа), из которых трем дополнительно сделано наружное вентрикулярное дренирование. У 14 пациентов (группа сравнения) выполнено наружное вентрикулярное дренирование без эндоскопического удаления сгустков, из которых трем проводили локальный фибринолиз сгустков. В основной группе: средний возраст пациентов 59,6 ± 16,7 года, перед операцией уровень сознания по шкале исходов Глазго 9,9 ± 3,3 балла, степень внутрижелудочкового кровоизлияния по шкале Graeb 7,3 ± 2,5 балла. В группе сравнения: средний возраст 52,8 ± 9,6 года, уровень сознания перед операцией по шкале исходов Глазго 10,7 ± 3,2 балла, степень внутрижелудочкового кровоизлияния по шкале Graeb 5,0 ± 2,6 балла. Исходы оценивали на 30-е сутки от момента кровоизлияния по модифицированной шкале Рэнкина.

Результаты. Метод эндоскопической аспирации позволяет эффективно удалять сгустки из III и боковых желудочков, уменьшая степень внутрижелудочкового кровоизлияния в среднем с 7,3 ± 2,5 до 3,9 ± 2,5 балла по шкале Graeb. Сравнительный анализ показал отсутствие разницы в эффективности разрешения окклюзионной гидроцефалии в основной группе и группе сравнения. В основной группе внутричерепных гнойных осложнений не было, в группе сравнения гнойный менингит развился у 2 (14,3 %) из 14 больных. Исходы в основной группе в 40,0 % случаев благоприятные (0–2 по шкале Рэнкина), в контрольной группе – в 28,6 %. Летальность в основной группе составила 13,3 %, в контрольной – 57,1 % ($\chi^2 = 8,6$, $p < 0,01$) случаев.

Заключение. Эндоскопическая хирургия служит эффективным и безопасным методом удаления внутрижелудочкового кровоизлияния и выполнения тривентрикулостомии для ликвидации окклюзионной гидроцефалии, позволяет добиваться лучших функциональных исходов и снижения летальности больных.

Ключевые слова: внутрижелудочковое кровоизлияние, эндоскопическое удаление, тривентрикулостомия, исходы

Для цитирования: Годков И.М., Дашьян В.Г., Елфимов А.В. и др. Сравнительный анализ результатов эндоскопической хирургии и дренирования желудочков при гипертензивных вентрикулярных кровоизлияниях. Нейрохирургия 2022;24(2):25–34. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-25-34.

Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage

I.M. Godkov¹, V.G. Dashyan^{1,2}, A.V. Elfimov³, V.A. Khamurзов¹, A.A. Grin^{1,2}, V.V. Krylov^{1,2}, G.A. Nefedova¹, P.O. Svishcheva¹

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²A. I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia;

³Yaroslavl Regional Clinical Hospital; 7 Yakovlevskaya St., Yaroslavl 150062, Russia

Contacts: Ivan Mikhaylovich Godkov *i.godkov@yandex.ru*

Background. The comparison of external ventricular drainage and endoscopic surgery in patients with intraventricular hemorrhages is carried out.

The aim of the study is to perform comparative analysis of external ventricular drainage and endoscopic surgery results in patients with intraventricular hemorrhage.

Materials and methods. A retrospective analysis was performed in 29 patients with intraventricular hemorrhage who underwent surgery at the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, and the Yaroslavl Regional Clinical Hospital. Endoscopic surgery for intraventricular hemorrhage was performed in 15 cases (treatment group), and in 3 cases endoscopic removal was accompanied by external ventricular drainage. External ventricular drainage without endoscopic surgery was performed in 14 cases (control group), and in 3 of these cases local fibrinolysis was also performed. In the treatment group, mean age was 59.6 ± 16.7 years, level of consciousness per the Glasgow Coma Scale prior to surgery was 9.9 ± 3.3 , severity of intraventricular hemorrhage per the Graeb Scale was 7.3 ± 2.5 . In the control group, mean age was 52.8 ± 9.6 years, level of consciousness per the Glasgow Coma Scale prior to surgery was 10.7 ± 3.2 , severity of intraventricular hemorrhage per the Graeb Scale was 5.0 ± 2.6 . Outcomes were assessed on the 30th day after hemorrhage using the modified Rankin Scale.

Results. Endoscopic method allows to effectively remove clots from the lateral and III ventricles, decreasing the volume of intraventricular hemorrhage from 7.3 ± 2.5 to 3.9 ± 2.5 points per the Graeb Scale. Comparative analysis showed no difference in hydrocephalus resolution in the treatment and control groups. There were no intracranial infectious complications in the treatment group, but in the control group bacterial meningitis was diagnosed in 2 (14.3 %) of the 14 patients. Favorable outcome (score 0–2 per the modified Rankin Scale) was observed in 40.0 % of patients in the treatment group and 28.6 % in the control group. Mortality was 13.3 % in the treatment group and 57.1 % in the control group ($\chi^2 = 8.6$, $p < 0.01$).

Conclusion. Endoscopic surgery is an effective and safe method for intraventricular hemorrhage management and third ventriculostomy for occlusive hydrocephalus resolution, allowing to achieve better functional results and decrease mortality in patients with nontraumatic intraventricular hemorrhage.

Key words: intraventricular hemorrhage, endoscopic removal, third ventriculostomy, outcomes

For citation: Godkov I.M., Dashyan V.G., Elfimov A.V. et al. Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):25–34. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-25-34.

ВВЕДЕНИЕ

Внутрижелудочковые кровоизлияния (ВЖК) — тяжелая форма внутримозговых кровоизлияний на фоне гипертонической болезни. В большинстве случаев ВЖК — это следствие прорыва крови в желудочки головного мозга в процессе формирования внутримозговой гематомы (ВМГ). Известно, что ВЖК может приводить к повышению внутричерепного давления, развитию окклюзионной гидроцефалии (ОГ) в ближайшие дни после кровоизлияния и дизрезорбтивной гидроцефалии в отсроченном периоде [1–3]. Хирургическое лечение, которое обычно проводят при появлении признаков ОГ, заключается в наружном вентрикулярном дренировании (НВД), которое может быть дополнено локальным фибринолизом (ЛФ) сгустков [2–4]. Эндоскопические операции при ВЖК пока распространены мало, однако опубликованные ранее исследования свидетельствуют, что эндоскопические операции могут влиять на исходы, сокращая летальность, частоту развития дизрезорбтивной гидроцефалии и гнойных внутричерепных осложнений [3, 5–7].

Цель работы — сравнительный анализ собственных результатов наружного вентрикулярного дренирования и эндоскопических операций у больных с внутрижелудочковым кровоизлиянием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выполнен ретроспективный анализ результатов хирургического лечения пациентов с ВЖК, проведенного в ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского» ДЗМ и Ярославской областной клинической больницы. Основную группу составили 15 больных с ВЖК, получившие хирургическое лечение с применением эндоскопических технологий. У 12 из 15 пациентов выполняли только эндоскопическую аспирацию (ЭА), как с тривентрикулостомией (ТВС), так и без нее. У 3 из этих 15 больных с ЭА (с ТВС и без нее) дополняли НВД. Все 15 пациентов составили основную группу, их объединяли следующие действия, выполненные в ходе операций:

- 1) с помощью эндоскопических технологий удалялись сгустки крови разного объема, что уменьшало количество крови и в перспективе — продуктов ее распада, а также снижало объемное воздействие на паравентрикулярные структуры головного мозга;
- 2) большинству больных выполнялась ТВС, что служило профилактикой развития ОГ в послеоперационном периоде.

Контрольную группу составили больные, которым в 11 наблюдениях выполняли НВД, в 3 — НВД и ЛФ ВЖК.

Пациенты обследованы по единой схеме согласно рекомендательному протоколу по лечению больных с геморрагическим инсультом. При госпитализации пациентов в стационар выполняли КТ головного мозга. В случае динамического наблюдения в течение 1 и более сут повторяли КТ головного мозга перед операцией. После операции КТ головного мозга проводили в большинстве случаев в течение первых суток и в динамике для исключения гидроцефалии.

Значимых различий между основной и контрольной группами по срокам госпитализации и операции, возрасту, полу пациентов, выраженности ОГ, тяжести состояния не было. Средний срок госпитализации больных основной группы составил $1,7 \pm 1,1$ сут. Средний возраст пациентов — $59,6 \pm 16,7$ года. Уровень

сознания по шкале исходов Глазго (ШКГ) [8] на момент госпитализации — $10,9 \pm 3,5$ балла. Степень ВЖК по шкале Graeb [9] — $7,3 \pm 2,5$ балла. У большинства пациентов зафиксирована ОГ, 2-й вентрикулокраниальный коэффициент (ВКК-2) составил $23,0 \pm 3,8$ %. Операции проведены в срок $2,9 \pm 1,4$ сут. Средний балл по ШКГ перед операцией — $9,9 \pm 3,3$. Средний срок госпитализации в контрольной группе составил $1,4 \pm 1,1$ сут. Средний возраст — $52,8 \pm 9,6$ года. Уровень сознания по ШКГ при госпитализации — $11,1 \pm 3,1$ балла. Степень ВЖК по Graeb — $5,0 \pm 2,6$ балла. У всех пациентов контрольной группы была ОГ, среднее значение ВКК-2 составило $23,1 \pm 4,4$ %. Операции выполнены в срок $2,1 \pm 1,8$ сут. Средний балл по ШКГ перед операцией — $10,7 \pm 3,2$ (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики больных с внутрижелудочковым кровоизлиянием, оперированных разными методами

Table 1. Characteristics of patients with intraventricular hemorrhage who underwent different types of surgery

Параметр Parameter	Показатели по группам Parameter in groups				Число пациентов Number of patients
	Основная (ЭА) Treatment (EA)		Сравнения (НВД) Control (EVD)		
	без НВД without EVD	с НВД with EVD	без ЛФ without LF	с ЛФ with LF	
Возраст, лет Age, years	58,3 ± 18,0	65,0 ± 10,6	52,3 ± 10,3	54,7 ± 7,5	—
Уровень сознания ШКГ, баллы Level of consciousness per GCS, score					
при госпитализации at hospitalization	11,2 ± 3,7	9,7 ± 3,2	10,3 ± 3,0	14,0 ± 1,0	—
перед операцией prior to surgery	9,9 ± 3,5	9,7 ± 3,2	9,9 ± 3,1	13,7 ± 0,6	—
Объем ВМГ, см³ ICH volume, cm³	9,4 ± 10,9	7,2 ± 7,0	11,3 ± 7,5	16,7 ± 12,5	—
Степень ВЖК по Граеб, баллы IVH severity per Graeb, score	6,9 ± 2,5	8,8 ± 2,3	4,4 ± 2,4	7,3 ± 2,5	—
Окклюзия Occlusion					
нет окклюзии no occlusion	2	0	0	2	4
отверстие Монро foramen of Monro	0	0	0	1	1
водопровод cerebral aqueduct	10	3	5	0	18
IV желудочек IV ventricle	0	0	6	0	6
ВКК-2, % VCR-2, %	22,8 ± 4,2	23,7 ± 2,1	24,6 ± 3,6	17,7 ± 2,1	—
Срок операции, сут Operation time, days	3,2 ± 1,3	1,7 ± 0,6	2,1 ± 2,0	2,0 ± 1,0	—
Всего Total	12	3	11	3	29

Примечание. Здесь и в табл. 2–6: ЭА — эндоскопическая аспирация; НВД — наружное вентрикулярное дренирование; ЛФ — локальный фибринолиз; ШКГ — шкала исходов Глазго; ВМГ — внутримозговая гематома; ВЖК — внутрижелудочковое кровоизлияние; ВКК-2 — 2-й вентрикулокраниальный коэффициент.

Note. Here and in tables 2–6: EA — endoscopic aspiration; EVD — external ventricular drainage; LF — local fibrinolysis; GCS — Glasgow Coma Scale; ICH — intracerebral hematoma; IVH — intraventricular hemorrhage; VCR-2 — 2nd ventriculocranial ratio.

У подавляющего большинства пациентов ВЖК стало следствием прорыва крови из формирующейся ВМГ в полость желудочков. Наиболее часто верифицировали ВЖК при ВМГ таламуса и мозжечка (иногда при любой другой локализации), а также изолированное ВЖК — без формирования ВМГ (табл. 2). Виды эндоскопических операций в зависимости от локализации ВЖК в основной группе представлены в табл. 3.

Таблица 2. Локализация ВМГ и ВЖК ($n = 29$)Table 2. Locations of intracerebral hematoma and intraventricular hemorrhages ($n = 29$)

Локализация ВМГ ICH location	Число пациентов с разной локализацией сгустков крови, желудочки Number of patients with different localization of blood clots, ventricles				Всего Total
	Боковые, III Lateral, III	Боковые, III, IV Lateral, III, IV	III, IV	IV	
Лобарная Lobar	1	0	0	0	1
Латеральная Lateral	1	2	0	0	3
Таламическая Thalamic	1	8	0	0	9
Смешанная Mixed	0	2	0	0	2
Мозжечка Cerebellar	0	4	4	1	9
Ствола Brainstem	0	2	0	0	2
ВМГ не было No ICH	0	2	1	0	3
Всего Total	3	20	5	1	29

Исходы оценивали на 30-е сутки от момента кровоизлияния по модифицированной шкале Рэнкина (modified Rankin Scale — mRS) [10].

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 12.0 (StatSoft, Inc., США); сравнительный анализ — непараметрическими методами с использованием критериев χ^2 , Фишера, Краскела—Уоллиса и U-критерия Манна—Уитни. Межгрупповые различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Радикальность удаления сгустков при эндоскопических операциях

Только в основной группе оценивали радикальность удаления ВЖК. В контрольной группе преобладал метод НВД, ВЖК не удаляли, поэтому объем ВЖК после операции не менялся. В основной группе

Таблица 3. Эндоскопические операции в зависимости от локализации ВЖК ($n = 15$)Table 3. Endoscopic surgeries depending on intraventricular hemorrhage location ($n = 15$)

Вид операции Surgery type	Число пациентов с разной локализацией сгустков крови, желудочки Number of patients with different localization of blood clots, ventricles			Всего Total
	Боковые, III Lateral, III	Боковые, III, IV Lateral, III, IV	III, IV	
ЭА EA	1	3	1	5
ЭА + ТВС EA + TVS	0	5	1	6
ЭА + ТВС + ДКТЧ ЗЧЯ EA + TVS + DC PF	0	1	0	1
ЭА + ТВС + НВД EA + TV + EVVD	0	3	0	3
Всего Total	1	12	2	15

Примечание. ТВС — тривентрикулостомия; ДКТЧ ЗЧЯ — декомпрессионная трепанация задней черепной ямки.

Note. TV — third ventriculostomy; DC PF — decompressive craniectomy of the posterior fossa.

пациентов эффективность удаления сгустков крови оценивали (в баллах по шкале Graeb) сравнением до и после эндоскопической операции степени ВЖК: до операции она варьировала от 4 до 10, среднее значение составило $7,3 \pm 2,5$; после операции — от 0 до 10, в среднем — $3,9 \pm 2,5$. Учитывая, что у большинства больных использовали стандартный доступ к желудочкам — из точки Кохера, то обычно на операции удавалось удалять сгустки из переднего рога бокового желудочка (либо из передних рогов обоих боковых желудочков), а также из полости III желудочка (что позволяло обеспечить подход к его дну и выполнить ТВС). Таким образом, уменьшение степени кровоизлияния при ЭА достигалось за счет удаления сгустков из передних рогов боковых желудочков и передних 1/2 или 2/3 III желудочка, за счет этого удавалось уменьшить кровоизлияние практически на 4 степени ВЖК по Graeb. При ВЖК в III и IV желудочках мог быть использован доступ через фрезевое отверстие, наложенное кпереди от точки Кохера, для того чтобы после аспирации сгустков из полости III желудочка можно было удалить их из водопровода. Это более редкая по исполнению операция, которая позволяет при благоприятном стечении обстоятельств практически полностью удалить сгустки из желудочковой системы.

Интраоперационные осложнения

Интраоперационные осложнения зарегистрированы у 3 (20 %) из 15 больных, которым выполняли ЭА ВЖК. У 2 больных отмечена артериальная гипертензия,

вероятно, связанная с гиперирригацией при промывании полостей желудочков. У 1 пациента — кровотечение из перфорирующей артерии, отходящей в области бифуркации базилярной артерии. Кровотечение возникло при проведении ТВС, остановлено путем раздувания баллонного катетера Фогарти на 2 мин. Исходы у больных с интраоперационной артериальной гипертензией — 4 и 5 типов по mRS. У 1 пациента после кровотечения во время ТВС в послеоперационном периоде наблюдали недостаточность конвергенции за счет левого глазодвигательного нерва. Причиной могло послужить как тракционное воздействие на III нерв при раздувании баллонного катетера Фогарти, так и ишемия оральных отделов ствола мозга после кровоизлияния в III, IV желудочки и развития покрышечного синдрома. В контрольной группе интраоперационных осложнений не зафиксировано.

Эффективность хирургического разрешения окклюзионной гидроцефалии

До операции среднее значение ВКК-2 у пациентов из основной группы (эндоскопической хирургии) составило $23,0 \pm 3,8$ %, после операции по данным КТ (выполнена в первые сутки после операции) — $18,5 \pm 4,0$ %. В контрольной группе (выполняли НВД) ВКК-2 до операции составил $23,1 \pm 4,4$ %, после операции (по данным КТ) — $18,2 \pm 5,2$ %. Результаты показали отсутствие разницы в показателях основной и контрольной групп, что свидетельствует об эффективности эндоскопических операций для разрешения ОГ.

Послеоперационные осложнения

Послеоперационные осложнения в основной и контрольной группах больных в целом встречались с одинаковой частотой, но отличались по структуре. Так, из 15 больных основной группы 1 пациентка перенесла рецидив ВЖК, не повлекший последствий (выписана с благоприятным исходом), у 1 пациента на фоне ОГ и аксиальной дислокации мозга развился массивный инфаркт мозжечка, впоследствии приведший к смерти пациента. В контрольной группе из 14 пациентов у 2 развился гнойный менингит — у 1 из них менингит стал причиной смерти. Остальные осложнения в обеих группах не хирургические (табл. 4).

Исходы

У пациентов после НВД и ЭА исходы значительно различались. У больных после ЭА функциональные исходы при более низкой летальности были лучше по сравнению с пациентами, которым проводили НВД (табл. 5). Летальность после НВД составила 57,1 %, после ЭА — 13,3 % ($\chi^2 = 8,6, p < 0,01$). Причины смерти представлены в табл. 6. Из 15 пациентов основной группы умерли 2. Причиной смерти у 1 больного стал массивный ишемический инсульт мозжечка, приведший к отеку-ишемии, дислокации мозга (исход наступил

на 10-е сутки после кровоизлияния). Еще у 1 пациента с массивным ВЖК в боковые, III и IV желудочки объемом 28 см³ (рис. 1), которому было выполнено эндоскопическое удаление сгустков крови из боковых желудочков и ТВС, смерть наступила на 30-е сутки после кровоизлияния от полиорганной недостаточности. На вскрытии у него обнаружены минимальные морфологические изменения в перивентрикулярном веществе мозга на уровне боковых желудочков (рис. 2).

Таблица 4. Послеоперационные осложнения у пациентов основной и контрольной групп

Table 4. Postoperative complications in patients of the treatment and control groups

Послеоперационное осложнение Postoperative complication	Число пациентов по группам Number of patients in groups		Всего Total
	Основная (ЭА) Treatment (EA)	Контрольная (НВД) Control (EVD)	
Осложнений не было No complications	9	9	18
Рецидив ВЖК Recurrence of IVH	1	0	1
Ишемический инсульт мозжечка Ischemic cerebellar stroke	1	0	1
Менингит Meningitis	0	2	2
Пневмония Pneumonia	4	2	6
ЖКК GIB	0	1	1
Всего Total	15	14	29

Примечание. ЖКК — желудочно-кишечное кровотечение.
Note. GIB — gastrointestinal bleeding.

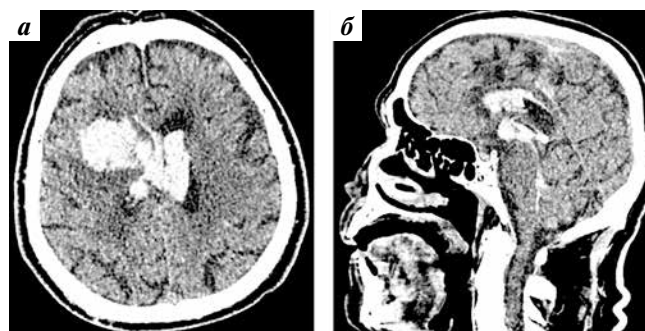


Рис. 1. КТ головного мозга пациента Н., 78 лет. Латеральная ВМГ — 35 см³, ВЖК в боковых, III и IV желудочках — 28 см³: а — аксиальный срез; б — сагиттальная реконструкция

Fig. 1. CT scan of the patient N., 78 years old. Intracerebral hematoma of basal ganglia — 35 cm³, intraventricular hemorrhage in lateral, III and IV ventricles — 28 cm³: a — axial plain; б — sagittal reconstruction

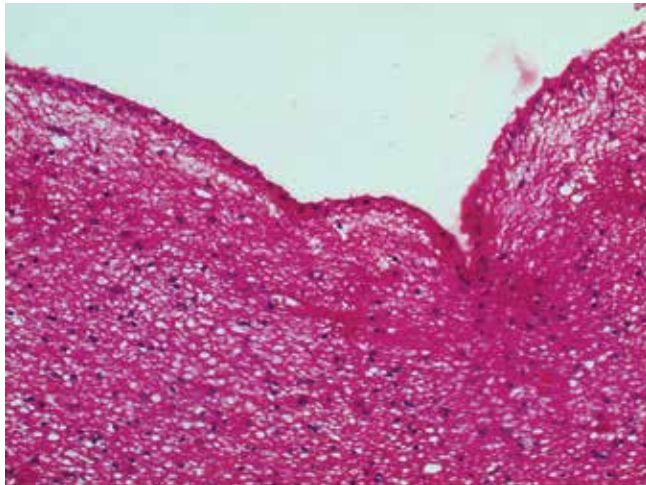


Рис. 2. Морфологическое исследование стенки бокового желудочка (гематоксилин и эозин, $\times 200$): на 30-е сутки после кровоизлияния и 27-е сутки после эндоскопической аспирации ВЖК из боковых желудочков. Видны изменения стенки бокового желудочка, кубический эпителий эпендимы сохранен, отека и ишемии перивентрикулярной зоны вещества головного мозга нет

Fig. 2. Morphological research of lateral ventricle wall (hematoxylin and eosin, $\times 200$) on the 30th day after intraventricular hemorrhage and on the 27th day after endoscopic intraventricular clot removal from the lateral ventricle. Changes of the lateral ventricle wall are visualized, cuboidal epithelium of ependyma is preserved, no periventricular edema and ischemia

Для пациентов из контрольной группы (НВД) в большей степени были характерны летальные исходы от отека и дислокации головного мозга, реже — вследствие кровоизлияния в ствол мозга, менингита, пневмонии и полиорганной недостаточности. На причинах летальных исходов в контрольной группе следует остановиться подробнее.

Отек-ишемия и дислокация мозга послужили причиной смерти у 4 больных из контрольной группы (после НВД). Эти пациенты скончались в срок в среднем равный 15,3 суток после кровоизлияния. У 3 из этих 4 пациентов ОГ разрешилась после НВД, у 1 больного — нет. Последний пациент госпитализирован с ВМГ мозжечка 21 см³, осложненной ВЖК в III и IV желудочки с их гемотампонадой, что привело к ОГ. Больной на момент госпитализации был в глубоком оглушении (ШКГ — 11 баллов). Пациенту проведено НВД (дренированы 2 боковых желудочка), однако ВМГ мозжечка не удаляли. При попытке выведения больного из наркоза отмечено, что его состояние с отрицательной динамикой (ШКГ — 4 балла). По данным КТ обнаружено усиление аксиальной дислокации мозга. Пациенту проводили интенсивную терапию в течение 3-х недель, однако, несмотря на все усилия, спасти его не удалось. Другим 3 пациентам НВД помогло ликвидировать ОГ, однако это не помогло предотвратить развитие ишемии головного мозга после его дислокации, в итоге смерть также расценили как следствие отека и дислокации мозга. У 1 пациента из контрольной группы причиной летального исхода стало первичное крово-

Таблица 5. Исходы по mRS после операций в основной и контрольной группах больных ($n = 29$)

Table 5. mRS outcome after surgery in the treatment and control groups ($n = 29$)

Вид операции Surgery type	Исходы по mRS mRS outcomes			Всего, n (%) Total, n (%)
	0–2	3–5	6	
ЭА EA	6 (40,0)	7 (46,7)	2 (13,3)	15 (100)
НВД EVD	4 (28,6)	2 (14,3)	8 (57,1)	14 (100)
Всего Total	10 (34,5)	9 (31,0)	10 (34,5)	29 (100)

Примечание. mRS — модифицированная шкала Рэнкина.

Note. mRS — modified Rankin Scale.

Таблица 6. Структура причин летальных исходов в основной и контрольной группах

Table 6. The structure of causes of death in patients from treatment and control groups

Причина смерти Cause of death	Группа Group		Число пациентов Number of patients
	основная (ЭА) treatment (EA)	контрольная (НВД) control (EVD)	
Отек и дислокация головного мозга Cerebral edema and dislocation	1	4	5
Кровоизлияние в ствол мозга Brainstem hemorrhage	0	1	1
Менингит Meningitis	0	1	1
Пневмония Pneumonia	0	1	1
Полиорганная недостаточность Multiple organ failure	1	1	2
Всего Total	2	8	10

излияние в ствол мозга, которое и послужило причиной ОГ, по поводу чего пациента оперировали.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нетравматическое ВЖК может встречаться как изолированная форма кровоизлияния, а возможно его возникновение в результате прорыва крови в желудочковую систему при паренхиматозном кровоизлиянии. Изолированное ВЖК наблюдают в 3–15 % случаев [6, 11]. Такое ВЖК, которое само по себе ухудшает прогноз у пациентов с геморрагическим инсультом [12, 13], часто осложняется острой ОГ с риском летального исхода [1, 14]. Острая ОГ — неотложное состояние,

требующее экстренного нейрохирургического вмешательства. В зависимости от оснащения стационара пациенту могут быть выполнены НВД, ЛФ с последующим дренированием желудочков, ТВС и эндоскопическое удаление сгустков крови, дополненное ТВС.

Первенство в эндоскопическом удалении ВЖК принадлежит L.M. Auer и соавт. (1988). Так, в их работе [5] представлены результаты успешного эндоскопического удаления 77 внутримозговых и 13 внутрижелудочковых кровоизлияний: в 12 % наблюдений удалено более 90 % объема сгустков, в 88 % случаев — более 50 % от исходного объема сгустков. Техника удаления кровоизлияния заключалась в отмывании сгустков физиологическим раствором и его аспирации непосредственно через троакар эндоскопа. В исследовании Z. Nogvath и соавт. (2000) предложена бипортальная техника удаления вентрикулярных сгустков у больного с первичным кровоизлиянием в боковые и гематомпадой III и IV желудочков. Удаление сгустков выполняли путем постоянной ирригации физиологическим раствором и аспирации с использованием двух эндоскопов, что позволяло лучше ориентироваться в условиях кровоизлияния и ограниченной видимости и выполнить удаление сгустков из боковых, III желудочка, а также провести ТВС без осложнений «под двойным визуальным контролем» [6].

Техника удаления кровоизлияния из желудочковой системы зависит от объема, плотности и локализации сгустков крови. Рыхлые сгустки могут быть удалены путем ирригации и мягкой аспирации при использовании многоканального троакара с возможностью наладить приток и отток жидкости для промывания. Более плотные сгустки удаляются при помощи микрощипцов и аспирации через каналы троакара [11, 15]. Используя многоканальный троакар для измельчения плотных сгустков, J.M. Oertel и соавт. (2006, 2008) также применяли ультразвуковой аспиратор и водяную струйную фрезу, совместимые с троакаром Gaab [16–18]. После измельчения сгустков их удавалось аспирировать через относительно узкие каналы многоканального троакара. В работе P. Longatti и L. Basaldella (2013) успешно удалялись массивные ВЖК боковых, III и IV желудочков при помощи гибкого эндоскопа с просветом рабочего канала 1,2 мм, позволяющего лучше маневрировать в полостях боковых и III желудочков [18].

Как мы могли убедиться на собственном опыте, эндоскопическая аспирация сгустков при использовании ригидного эндоскопа возможна из передних рогов, тел боковых желудочков и полости III желудочка. Удаление из IV желудочка — технически трудновыполнимая, но реализуемая задача [19]. Для удаления сгустков из полости III желудочка и водопровода мозга в настоящем исследовании использовался одноканальный троакар вентрикулоскопа Gaab и катетер Certofix 14F. Жесткие металлические наконечники вакуумного

аспиратора меньше подходят для данного типа операции — удаления сгустков через троакар: тубус эндоскопа у его основания не позволяет манипулировать аспиратором. Для этой задачи подходит лишь гибкий наконечник. Однако использование прозрачного эндоскопического порта диаметром 8 мм позволило нам в ряде случаев эффективно и быстро удалять сгустки различной плотности из передних рогов и тел боковых желудочков с помощью металлической канюли вакуумного аспиратора (рис. 3). Удаление же сгустков из полости III желудочка технически осталось прежним — только через троакар, который можно было провести через отверстие Монро.

Опубликованные работы свидетельствуют о высокой эффективности эндоскопической хирургии, низком риске осложнений и благоприятном исходе у значительной части больных (в среднем у 76 %) [3, 7, 11, 15, 20]. Согласно метаанализу Y. Li и соавт. (2013), включающему 680 оперированных пациентов, локальный фибринолиз сгустков с НВД менее эффективен по сравнению с эндоскопической их аспирацией в сочетании с НВД: в этом случае удаление сгустков на 60 % и более удается достичь путем эндоскопической аспирации и НВД в 88,9 % случаев, путем локального фибринолиза и НВД — только в 29,4 %. Летальность после фибринолиза и НВД, по данным метаанализа, составляет 14,1 %, после эндоскопической аспирации и НВД — всего 4,9 %. Эффективность НВД после успешного эндоскопического удаления сгустков крови не доказана и выбор тактики в отношении наружных дренажей остается за хирургом [3].

В настоящем исследовании мы смогли убедиться, что эндоскопический метод дает следующие возможности:

- значительно уменьшить объем сгустков в желудочковой системе (в среднем с $7,3 \pm 2,5$ до $3,9 \pm 2,5$ балла по шкале Graeb), которые часто служат причиной значительного повреждения перивентрикулярных отделов ствола мозга [21];
- ликвидировать ОГ;
- добиться увеличения числа благоприятных исходов и снизить летальность по сравнению с исходами в контрольной группе больных.

Одно из преимуществ эндоскопических операций — возможность выполнения ТВС, что избавляет от необходимости наружного дренирования, либо сокращает сроки нахождения дренажей в желудочках, и позволяет снизить частоту развития вентрикулита с 10–17 до 0–2,9 % [22]. Однако ряд авторов считает необходимым дополнять эндоскопическую аспирацию сгустков наружным дренированием желудочков, особенно если предполагается контролировать внутричерепное давление и корригировать его с помощью вентрикулярного дренажа [2, 7]. Настоящее исследование не включало оценку отдаленных результатов лечения, поэтому вопрос о целесообразности и рисках проведения НВД

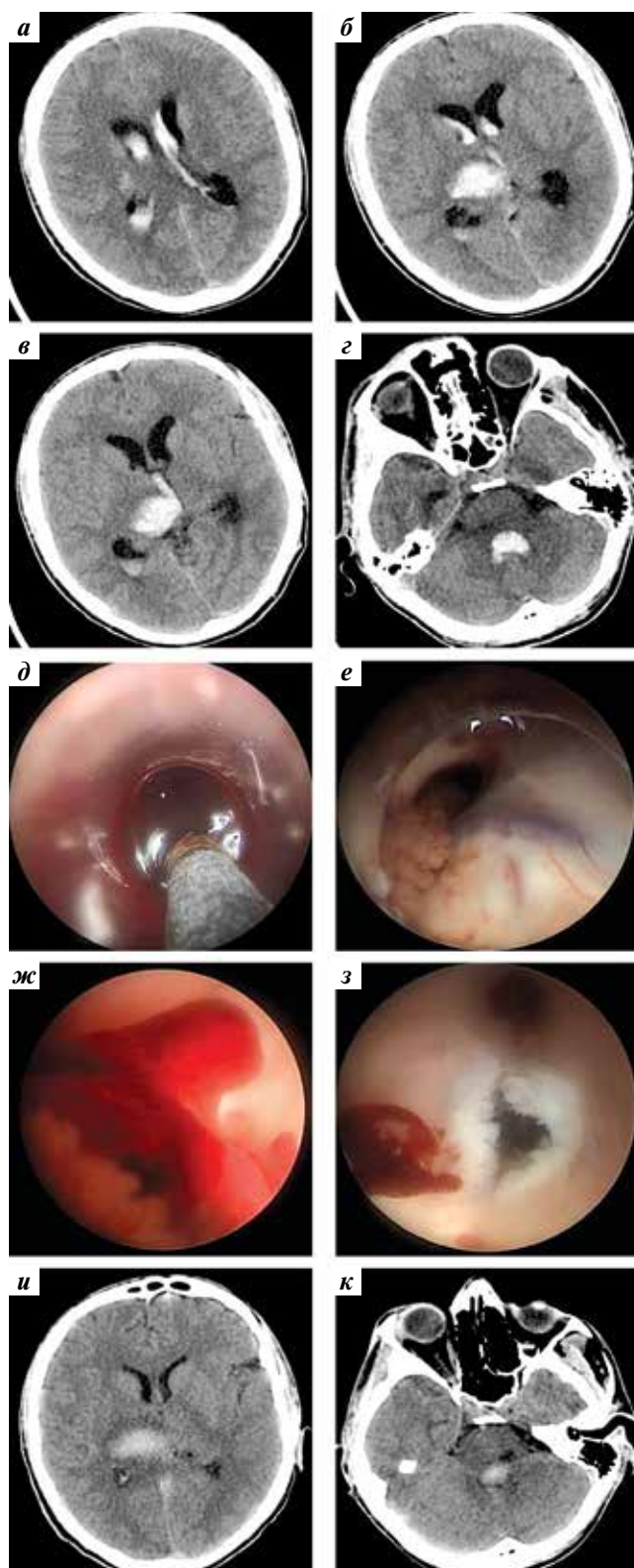


Рис. 3. Эндоскопическое удаление ВЖК и ТВС у больного А., 24 лет, на 3-и сутки после геморрагического инсульта. КТ головного мозга: а–г – ВМГ правого таламуса (6 cm^3), ВЖК в боковые, III и IV желудочки (12 cm^3) (Graeb – 6); д, е – удаление ВЖК из боковых желудочков; ж, з – удаление ВЖК из III желудочка и ТВС; и, к – КТ головного мозга через 7 дней после операции

Fig. 3. Endoscopic intraventricular hemorrhage resolution and third ventriculostomy in patient A., 24 years old, on the 3rd day after hemorrhagic stroke. CT scan of the brain: а–г – intracerebral hematoma (6 cm^3), intraventricular hemorrhage in lateral, III and IV ventricles (12 cm^3) (Graeb score – 6); д, е – intraventricular hemorrhage resolution from lateral ventricles; ж, з – intraventricular hemorrhage resolution in the III ventricle and ventriculostomy; и, к – CT scan of the brain 7 days after surgery

после эндоскопической аспирации ВЖК остается предметом дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эндоскопическая хирургия — эффективный и безопасный метод удаления внутрижелудочковых кровоизлияний и выполнения тривентрикулостомии для

ликвидации окклюзионной гидроцефалии. В исследовании показано, что данный метод позволяет добиваться лучших функциональных исходов и снижения летальности больных. Критерии отбора больных для дополнения эндоскопической операции наружным вентрикулярным дренированием требуют дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Stein M., Luecke M., Preuss M. et al. Spontaneous intracerebral hemorrhage with ventricular extension and the grading of obstructive hydrocephalus: the prediction of outcome of a special life-threatening entity. *Neurosurgery* 2010;67(5):1243–51. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3181ef25de.
- Zhang Z., Li X., Liu Y. et al. Application of neuroendoscopy in the treatment of intraventricular hemorrhage. *Cerebrovasc Dis* 2007;24(1):91–6. DOI: 10.1159/000103122.
- Li Y., Zhang H., Wang X. et al. Neuroendoscopic surgery *versus* external ventricular drainage alone or with intraventricular fibrinolysis for intraventricular hemorrhage secondary to spontaneous supratentorial hemorrhage: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2013;8(11):e80599. DOI: 10.1371/journal.pone.0080599.
- Крылов В.В., Буров С.А., Дашьян В.Г., Галанкина И.Е. Метод локального фибринолиза в хирургии нетравматических внутричерепных кровоизлияний. *Вестник Российской академии медицинских наук* 2013;68(7):24–31. [Krylov V.V., Burov S.A., Dashian V.G., Galankina I.E. Local fibrinolysis in surgical treatment of non-traumatic intracranial hemorrhages. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Annals of the Russian academy of medical sciences* 2013;68(7):24–31. (In Russ.)]. DOI: 10.15690/vramn.v68i7.708.
- Auer L.M., Holzer P., Ascher P.W., Heppner F. Endoscopic neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)* 1988;90(1–2):1–14.
- Horvath Z., Veto F., Balas I. et al. Biportal endoscopic removal of a primary intraventricular hematoma: case report. *Minim Invasive Neurosurg* 2000;43(1):4–8. DOI: 10.1055/s-2000-8410.
- Oertel J.M., Mondorf Y., Baldauf J. et al. Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus due to intracranial hemorrhage with intraventricular extension. *J Neurosurg* 2009;111(6):1119–26. DOI: 10.3171/2009.4.JNS081149.
- Jennett B., Bond M. Assessment of outcome after severe brain damage. *Lancet* 1975;1(7905):480–4. DOI: 10.1016/s0140-6736(75)92830-5.
- Graeb D.A., Robertson W.D., Lapointe J.S. et al. Computed tomographic diagnosis of intraventricular hemorrhage. Etiology and prognosis. *Radiology* 1982;143(1):91–6. DOI: 10.1148/radiology.143.1.6977795.
- van Swieten J.C., Koudstaal P.J., Visser M.C. et al. Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. *Stroke* 1988;19(5):604–7. DOI: 10.1161/01.str.19.5.604.
- Obaid S., Weil A.G., Rahme R., Bojanowski M.W. Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus due to intraventricular hemorrhage. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg* 2015;76(2):99–111. DOI: 10.1055/s-0034-1382778.
- Hemphill J.C. 3rd, Bonovich D.C., Besmertis L. et al. The ICH score: a simple, reliable grading scale for intracerebral hemorrhage. *Stroke* 2001;32(4):891–7. DOI: 10.1161/01.str.32.4.891.
- Godoy D.A., Pinero G., Di Napoli M. Predicting mortality in spontaneous intracerebral hemorrhage: can modification to original score improve the prediction? *Stroke* 2006;37(4):1038–44. DOI: 10.1161/01.STR.0000206441.
- Cho D.-Y., Chen C.-C., Lee W.-Y. et al. A new Modified Intracerebral Hemorrhage score for treatment decisions in basal ganglia hemorrhage — a randomized trial. *Crit Care Med* 2008;36(7):2151–6. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318173fc99.
- Schulz M., Buhner C., Pohl-Schickinger A. et al. Neuroendoscopic lavage for the treatment of intraventricular hemorrhage and hydrocephalus in neonates. *J Neurosurg Pediatr* 2014;13(6):626–35. DOI: 10.3171/2014.2.PEDS13397.
- Oertel J., Gen M., Krauss J.K. et al. The use of waterjet dissection in endoscopic neurosurgery. Technical note. *J Neurosurg* 2006;105(6):928–31. DOI: 10.3171/jns.2006.105.6.928.
- Oertel J., Krauss J.K., Gaab M.R. Ultrasonic aspiration in neuroendoscopy: first results with a new tool. *J Neurosurg* 2008;109(5):908–11. DOI: 10.3171/JNS/2008/109/11/0908.
- Longatti P., Basaldella L. Endoscopic management of intracerebral hemorrhage. *World neurosurg* 2013;79(2 Suppl):S17.e1–7. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.02.025.
- Дашьян В.Г., Годков И.М. Эндоскопическая хирургия гипертензивных внутримозговых и внутрижелудочковых гематом: варианты техники. *Нейрохирургия* 2020;22(2):83–9. [Dashyan V.G., Godkov I.M. Endoscopic surgery of hypertensive intracerebral and intraventricular hemorrhages: variants of the technique. *Neyrokhirurgiya = Russian journal of neurosurgery* 2020;22(2):83–9. (In Russ.)]. DOI: 10.17650/1683-3295-2020-22-2-83-89.
- Chen C.-C., Liu C.-L., Tung Y.-N. et al. Endoscopic surgery for intraventricular hemorrhage (IVH) caused by thalamic hemorrhage: comparisons of endoscopic surgery and external ventricular drainage (EVD) surgery. *World Neurosurg* 2011;75(2):264–8. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.07.041.
- Симанов Ю.В., Добровольский Г.Ф. Топографо-анатомические изменения срединных структур головного мозга и системы ликворообращения при гипертензивных внутримозговых кровоизлияниях. *Нейрохирургия* 2005;4:37–40. [Simanov Y.V., Dobrovolskiy G.F. Topographic-anatomical changes of median cerebral structures and cerebrospinal fluid circulation system in patients with hypertensive intracranial hemorrhages. *Neyrokhirurgiya = Russian journal of neurosurgery* 2005;4:37–40. (In Russ.)].
- Lozier A.P., Sciacca R.R., Romagnoli M.F., Connolly E.S. Jr. Ventriculostomy-related infections: a critical review of the literature. *Neurosurgery* 2008;62(Suppl 2):688–700. DOI: 10.1227/01.neu.0000316273.35833.7c.

Вклад авторов

И.М. Годков: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание и научное редактирование статьи;

В.Г. Дашьян: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание и научное редактирование статьи;

А.В. Елфимов: разработка концепции исследования, научное редактирование статьи;

В.А. Хамурзов: сбор и обработка материала;

А.А. Гринь: разработка концепции исследования, научное редактирование статьи;

В.В. Крылов: разработка концепции исследования, научное редактирование статьи;

Г.А. Нефедова: сбор и обработка материала;

П.О. Свищева: сбор и обработка материала.

Authors' contributions

I.M. Godkov: research idea and design of the study, obtaining data and statistical analysis, writing and scientific editing of the article;

V.G. Dashyan: research idea and design of the study, obtaining data and statistical analysis, writing and scientific editing of the article;

A.V. Elfimov: research idea of the study, scientific editing of the article;

V.A. Khamurзов: obtaining data for analysis;

A.A. Grin: research idea of the study, scientific editing of the article;

V.V. Krylov: research idea of the study, scientific editing of the article;

G.A. Nefedova: obtaining data for analysis;

P.O. Svishcheva: obtaining data for analysis.

ORCID авторов / ORCID of authors

И.М. Годков / I.M. Godkov: <https://orcid.org/0000-0001-8651-9986>

В.Г. Дашьян / V.G. Dashyan: <https://orcid.org/0000-0002-5847-9435>

А.В. Елфимов / A.V. Elfimov: <https://orcid.org/0000-0002-9773-6828>

В.А. Хамурзов / V.A. Khamurзов: <https://orcid.org/0000-0001-6605-0746>

А.А. Гринь / A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

В.В. Крылов / V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0003-4136-628X>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике Научно-исследовательского института скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department.

Статья поступила: 14.09.2021. **Принята к публикации:** 01.02.2022.

Article submitted: 14.09.2021. **Accepted for publication:** 01.02.2022.

ТАКТИКА ЛЕЧЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ С ТРАВМОЙ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ТВЕРДОЙ МОЗГОВОЙ ОБОЛОЧКИ

А.Г. Мартикян^{1,2}, А.А. Гринь^{1,3}, А.Э. Талыпов¹, А.Ю. Кордонский¹, И.С. Львов¹, О.А. Левина¹, А.В. Природов¹

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

²ГБУЗ «Госпиталь для ветеранов войн № 2»; Россия, 109472 Москва, Волгоградский пр-т., 168;

³ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1

Контакты: Аветик Гургенович Мартикян amartikyan@mail.ru

Введение. Повреждение твердой мозговой оболочки – достаточно частое явление у пострадавших с позвоночно-спинномозговой травмой. Одна из актуальных проблем – профилактика послеоперационной ликвореи, а также герметизация шва твердой мозговой оболочки.

Цель работы – определить оптимальную тактику хирургического лечения пострадавших с повреждением твердой мозговой оболочки при переломах грудного и поясничного отделов позвоночника.

Материалы и методы. Использованы и статистически обработаны данные клинического и инструментального (лучевая диагностика) обследования 167 больных, оперированных по поводу переломов грудного и поясничного отделов позвоночника, сопровождающихся травматическим стенозом позвоночного канала. Основная группа: 55 пострадавших с разрывами твердой мозговой оболочки, верифицированными интраоперационно, контрольная – 112 пациентов без повреждения твердой мозговой оболочки. Всем больным проведена ламинэктомия позвоночника на уровне переломов и транспедикулярная фиксация.

Результаты. Разрыв твердой мозговой оболочки выявлен у 32,9 % пациентов с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника. У 21,8 % из них отмечено ущемление спинного мозга или его корешков в местах разрыва твердой мозговой оболочки. Этот факт нужно учитывать при выполнении декомпрессии и редукционного маневра для предотвращения дополнительных травм невралгических структур.

Восстановление целостности твердой мозговой оболочки путем прямого ушивания выполняли 33 (60,0 %) пациентам. Средний размер дефекта твердой мозговой оболочки: $13,2 \pm 7,4$ мм². У 13 (23,6 %) больных (средний размер дефекта твердой мозговой оболочки $27,5 \pm 6,3$ мм²) провели пластику дефекта: фрагментом трупной твердой оболочки – у 2 пациентов, имплантатами «Реперен» – у 5, Durepair – у 6 пострадавших. В 9 наблюдениях (16,4 %) восстанавливали герметичность твердой мозговой оболочки без ушивания – методом «сэндвич»-герметизации (средний размер дефекта ТМО – $5,0 \pm 2,6$ мм²). У 21 больного для герметизации использовали биологические клеевые композиции.

Послеоперационная раневая ликворея в основной группе произошла у 5 (9,1 %) из 55 пациентов. Чаще (23,1 % больных) раневая ликворея выявлялась после пластики твердой мозговой оболочки, в группе с прямым ушиванием твердой мозговой оболочки это происходило реже (6,1 %). Послеоперационная ликворея не отмечалась при небольших дефектах твердой мозговой оболочки (≤ 3 мм²) и при ее повреждении в области манжетки корешка. Больным с послеоперационной раневой ликвореей дополнительная герметизация шва твердой мозговой оболочки клеевыми композициями не проводилась.

Нагноение послеоперационной раны выявлено в основной группе у 4 (7,3 %), в контрольной группе – у 6 (5,4 %) пациентов.

Заключение. Применение клеевых композиций для герметизации швов твердой мозговой оболочки – эффективный метод профилактики послеоперационной ликвореи. Герметизация шва твердой мозговой оболочки коллагеновой губкой не предотвращает развитие раневой ликвореи.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, твердая мозговая оболочка, ликворея, позвоночно-двигательный сегмент

Для цитирования: Мартикян А.Г., Гринь А.А., Талыпов А.Э. и др. Тактика лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждении твердой мозговой оболочки. Нейрохирургия 2022;24(2): 35–42. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.

Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear

A.G. Martikyan^{1,2}, A.A. Grin^{1,3}, A.E. Talypov¹, A. Yu. Kordonskiy¹, I.S. Lvov¹, O.A. Levina¹, A.V. Prirodov¹¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;²Hospital for War Veterans No. 2, Moscow Healthcare Department; 168 Volgogradskiy Ave., Moscow 109472, Russia;³A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia**Contacts:** Avetik Gurgenovitch Martikyan amartikyan@mail.ru**Background.** The dura mater tear are quite common in patients with thoracic and lumbar fractures. Prevention and management of cerebrospinal fluid leakage and sealing of the dura mater suture is an important stage in the treatment of such patients.**Objective:** to find an optimal surgical tactics for patients with fractures of the thoracic and lumbar spine and dura mater tear.**Materials and methods.** This study included 167 patients operated on for fractures of the thoracic and lumbar spine with concomitant traumatic spinal canal stenosis. We analyzed their clinical data and results of instrumental examination. All patients underwent laminectomy at the level of their fractures and transpedicular fixation. The main group included 55 patients with dura mater tear, whereas the control group comprised 112 patients without dura mater tear.**Results.** Dura mater tear was found in 32.9 % of patients with fractures of the thoracic and lumbar spine. Of them, 21.8 % had compression of the spinal cord or nerve roots at the sites of dura mater tear. This fact should be taken into account when performing decompression and the reduction maneuver to prevent additional injuries to the neural structures. Thirty-three (60.0 %) patients underwent direct suturing aimed to restore the dura mater integrity. Their mean size of the dura mater tear was 13.2 ± 7.4 mm². Thirteen patients (23.6 %) with larger dural tear (27.5 ± 6.3 mm²) underwent their repair using either a fragment of dura mater from a deceased donor ($n = 2$), Reperen implants ($n = 5$), or Durepair patches ($n = 6$). In 9 patients (16.4 %), the integrity of dura mater was restored without suturing (the "sandwich"-sealing method) (mean size of the dura mater defect 5.0 ± 2.6 mm²). Twenty-one patients had additional sealing of dura mater suture using bioglu.Postoperative wound cerebrospinal fluid leakage was registered in 5 out of 55 patients from the main group. Cerebrospinal fluid leakage was most common in patients who had undergone dura mater repair with implants (23.1 %), while those who had undergone direct dura mater suturing were less likely to develop it (6.1 %). No cerebrospinal fluid leakage was observed in patients with small defects (≤ 3 mm²) or in those whose dural tears were located at the nerve root cuffs. Patients with postoperative cerebrospinal fluid leakage had no additional sealing of dura mater suture using bioglu.

Postoperative wound infection was registered in 4 (7.3 %) patients from the main group and 6 (5.4 %) patients from the control group.

Conclusion. Sealing of dura mater sutures with glue compositions is an effective method to prevent postoperative cerebrospinal fluid leakage. Sealing of dura mater sutures with a collagen sponge does not prevent wound cerebrospinal fluid leakage.**Key words:** spinal cord injury, dura mater, cerebrospinal fluid leakage, vertebral motor segment**For citation:** Martikyan A.G., Grin A.A., Talypov A.E. et al. Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):35–42. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.

ВВЕДЕНИЕ

Хирургическое лечение позвоночно-спинномозговой травмы (ПСМТ) всегда направлено на полноценную декомпрессию сосудисто-нервных образований позвоночного столба, а при повреждении твердой мозговой оболочки (ТМО) — на восстановление ее целостности и просвета субдурального пространства для нормализации циркуляции ликвора. Оперативные вмешательства заканчивают обязательной реклинацией и репозицией травмированных позвоночно-двигательных сегментов (ПДС) для восстановления анатомо-физиологических параметров позвоночного столба и канала и создания надежного спондилодеза. Деком-

прессия необходима для сохранения спинного мозга и спинномозговых нервов и создания условий для их восстановления [1–4]. По данным разных авторов, ПСМТ на грудном и поясничном уровнях у 7,7–64,0 % больных сопровождается разрывом ТМО, как правило, разрыв верифицируют на этапе ламинэктомии [5–10]. У пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника повреждения ТМО наиболее часто встречаются при сочетании перелома позвонка с переломом его дужки и смещением отломков [7, 9, 11–15]. При таких переломах на этапе ламинэктомии существует риск интраоперационного повреждения ТМО, спинного мозга и спинномозговых

нервов. Для определения тактики хирургического лечения существенное значение имеет своевременная диагностика разрыва ТМО. Выявление факторов риска разрыва ТМО в дооперационном периоде — важная задача. По данным разных исследователей, к факторам риска повреждения ТМО при ПСМТ относятся [7, 9, 12–14]:

- сужение позвоночного канала более чем на 50 % на уровне перелома;
- увеличение межпозвоночного расстояния сломанного позвонка;
- перелом дужки;
- большая величина диастаза отломков сломанной дужки;
- многоуровневые повреждения;
- тяжесть сочетанных повреждений;
- выраженность неврологических расстройств.

При анализе литературы обращает на себя внимание скудность данных о методах восстановления поврежденной ТМО и их эффективности [7, 8, 11–14]. Актуальным остается вопрос оптимального метода восстановления целостности и герметичности ТМО.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В отделении неотложной нейрохирургии Научно-исследовательского института скорой помощи им. Н.В. Склифосовского с 01.01.2014 по 31.12.2018 проведено хирургическое лечение 350 пациентов с ПСМТ на грудном ($n = 124$) и поясничном ($n = 226$) уровнях. У 73 из 350 пострадавших проводили транспедикулярную фиксацию ПДС и постуральную редукцию позвоночного столба, без выполнения ламинэктомии. У 84 из 350 пострадавших опороспособность ПДС была восстановлена методом переднего спондилодеза, у 26 — вертебропластики. Из 350 пострадавших в исследование включены 167 оперированных больных, которым выполнена задняя декомпрессия на уровне перелома с применением ламинэктомии и транспедикулярной фиксации поврежденного ПДС. Уровень перелома варьировал от Th3 до L5, наиболее часто переломы локализовались на уровне позвонков Th12–L3. Заднюю декомпрессию позвоночного канала выполняли в сроки от 3 ч до 23 сут с момента травмы.

Исследование было ретроспективным. Для сопоставления исследуемых параметров 167 пострадавших разделили на 2 группы. Основная группа: 55 (32,9 %) пациентов, у которых обнаружен разрыв ТМО фрагментами структур позвоночного столба. Контрольная группа: 112 больных без повреждения ТМО.

Тип повреждения позвоночника оценивали по классификации AOSpine (от англ. The AO Spine Thoracolumbar Spine Injury Classification System, 2013) [16]. Неврологические расстройства — по шкале ASIA (от англ. American Spinal Injury Association) [17].

Показания к проведению декомпрессивно-стабилизирующей операции задним доступом с применени-

ем ламинэктомии и транспедикулярной фиксации поврежденного ПДС:

- нестабильный характер перелома позвоночника с наличием высокого риска вторичного повреждения спинного мозга или корешков конского хвоста;
- клинические признаки компрессии спинного мозга и/или корешков конского хвоста.

Всем пострадавшим выполняли расширенную ламинэктомию и транспедикулярную фиксацию поврежденного ПДС. При разрушении передней колонны сломанного позвонка операции проводили в 2 этапа. У 78 (46,7 %) пациентов 2-м этапом выполняли передний корпородез в сроки от 2 до 6 нед.

Всем пациентам проводили интраоперационную антибиотикопрофилактику. Если операция длилась больше 6 ч или кровопотеря была более 1000 мл, антибиотик вводился по 1 г.

Хирургическую тактику пострадавшим с ПСМТ определяли после оценки характера повреждений позвоночника и невралных структур, данных КТ и/или МРТ. Расширенную ламинэктомию выполняли на уровне сломанного и частично вышележащего позвонков, а при переломовывихах на уровне вывихнутого и нижележащего позвонков с помощью высокоскоростного электроборатора и пистолетных кусачек Керрисона. Проводили освобождение невралных структур, расположенных между расщеплениями сломанного позвонка. Операцию дополняли удалением из просвета позвоночного канала костных отломков, дисков и всех компримирующих субстратов дурального мешка, корешков, тем более спинного мозга. Из заднего доступа проводили вентральную декомпрессию дурального содержимого без его выраженной латеральной тракции во время манипуляции.

На этапе декомпрессии у 19 пациентов обнаружены невралные структуры, располагавшиеся между фрагментами сломанного позвонка. Из них у 12 больных спинной мозг или спинномозговые корешки пролабиривались и ущемлялись в местах разрыва ТМО (рис. 1).

Проводилась ревизия субдурального пространства для оценки состояния спинного мозга и/или его корешков. Следующий этап — восстановление целостности ТМО и проходимости субдурального пространства. После сопоставления краев поврежденного участка ТМО выполнялось тщательное ушивание и/или пластика ТМО узловыми и/или непрерывными обвивными атравматическими нерезорбируемыми шовными материалами из полипропилена (Prolene 5/0 или 6/0).

Для спондилодеза применяли титановые транспедикулярные и/или ламинарные системы с установкой под контролем электронно-оптического преобразователя. После полноценной декомпрессии невралных структур, восстановлении целостности ТМО или подтверждения ее интактности выполняли репозицию,

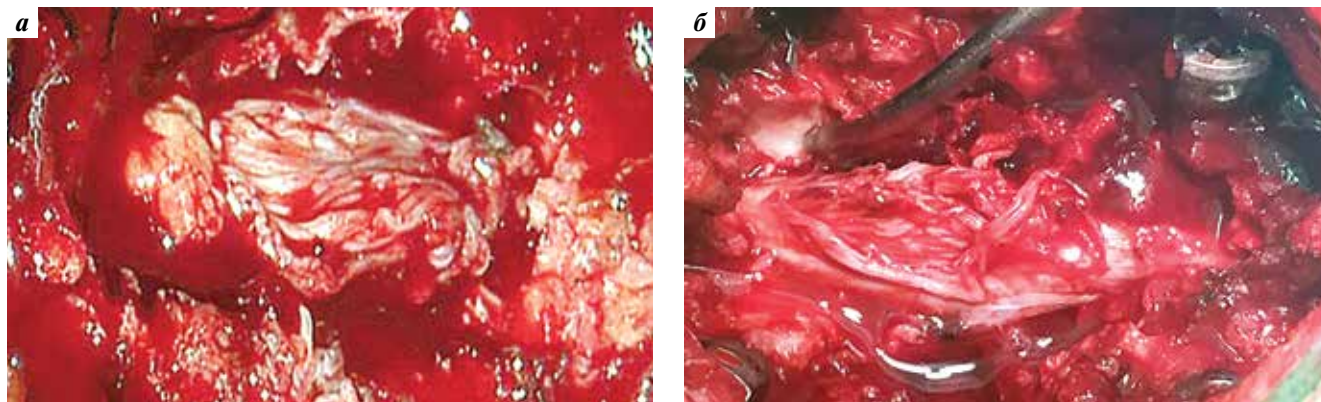


Рис. 1. Интраоперационные фотографии: а — пролабирование спинномозговых корешков через поврежденную ТМО; б — повреждение спинномозговых корешков костными фрагментами

Fig. 1. Intraoperative pictures: а — nerve roots prolapse through the injured dura mater; б — nerve roots injured by bone fragments

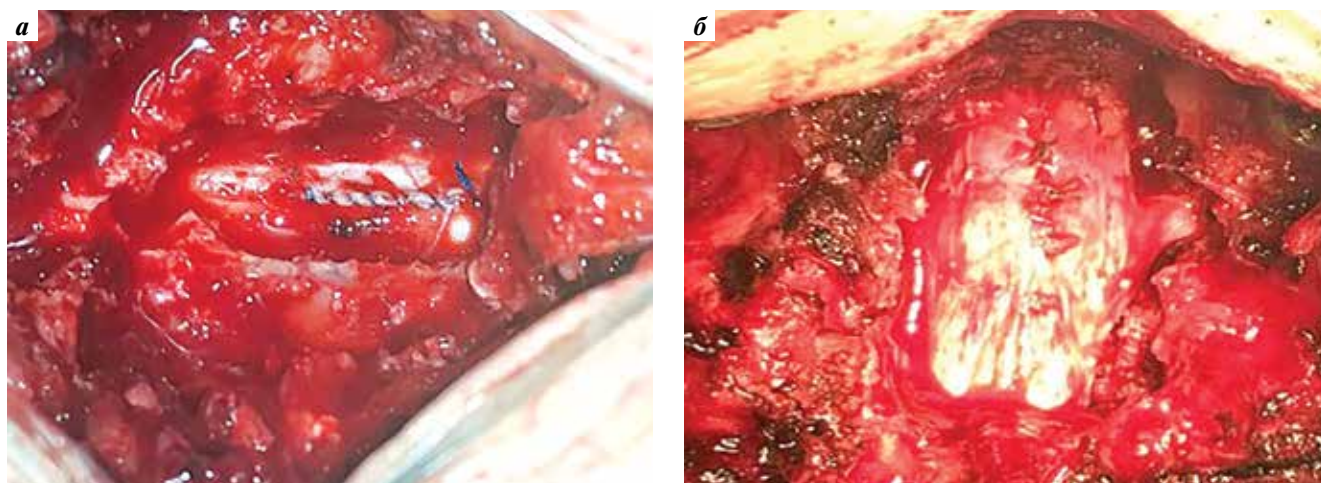


Рис. 2. Восстановление разрыва ТМО (интраоперационные фотографии): а — путем непрерывного обвивного шва; б — узловыми швами

Fig. 2. Dura mater repair (intraoperative pictures): а — using continuous suture; б — using interrupted suture

устанавливали правильные взаимоотношения позвонков и нормальной оси позвоночного столба, устраняли деформации и транспедикулярную фиксацию.

Статистический анализ полученных данных и обработку материалов проводили в программе SPSS Statistics 22.0 for Windows. Оценку значимости различия частоты проявления признаков в группах пострадавших — с помощью непараметрического критерия χ^2 Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст больных составил 38, от 17 до 80 лет, ($n = 167$). Мужчины — 101 (60,5 %), женщины — 66 (39,5 %) больных. Всем пострадавшим до операции выполнены КТ позвоночника, МРТ сделана 43 пациентам. У всех пострадавших выявлен посттравматический стеноз позвоночного канала от 23 до 100 %.

У всех пострадавших разрыв ТМО обнаружен на задней и/или заднебоковой поверхности дурального мешка. Площадь повреждения ТМО составила от

2 до 38 (средний размер $15,2 \pm 9,9$ мм². Выбор хирургической тактики восстановления целостности ТМО зависел от локализации и размера дефекта, наличия/отсутствия разволокнения стенки ТМО.

Способы восстановления герметичности ТМО

1. Ушивание ТМО. Прямое ушивание ТМО без расширяющей пластики выполнено у 33 из 55 (60,0 %) больных. Средний размер поврежденного участка ТМО у этих пациентов составил $13,2 \pm 7,4$ (от 3,0 до 28,0) мм² (рис. 2).

У 25 пострадавших для дополнительной герметизации на линию шва укладывали губку Тахокомб (Takeda Austria GmbH, Австрия) единым фрагментом, перекрывая края шва ТМО на 1–1,5 см (рис. 3 а). У 8 больных дополнительную герметизацию проводили клеевыми композициями (рис. 3 б).

2. Пластика ТМО. У 13 (23,6 %) из 55 пострадавших выполняли расширяющую пластику ТМО, так как большой размер дефекта и утрата фрагментов

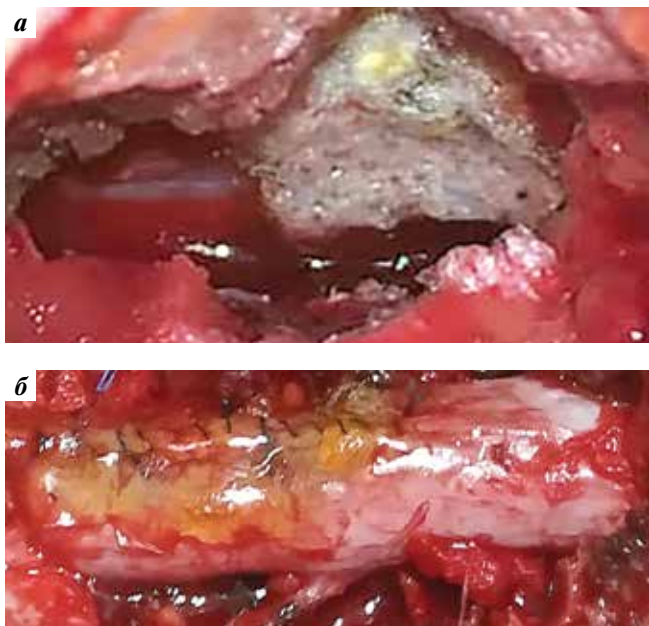


Рис. 3. Герметизация шва ТМО (интраоперационные фотографии): а — комбинированным материалом Тахокомб (Takeda Austria GmbH, Австрия); б — биологическим клеем BioGlue (CryoLife, Inc., США)

Fig. 3. Sealing the dura mater suture (intraoperative pictures): а — using TachoComb (Takeda Austria GmbH, Austria); б — using BioGlue (CryoLife, Inc., USA)



Рис. 4. Пластика дефекта ТМО путем вшивания искусственного имплантата (интраоперационная фотография)

Fig. 4. Repair of the dura mater defect by inserting and suturing an artificial implant (intraoperative picture)

ТМО не позволяли наложить шов без сужения дурального мешка. Размер дефекта ТМО у этих больных составил в среднем $27,5 \pm 6,3$ (min — 18,0, max — 38,0) мм². Для дулопластики у 2 пострадавших в качестве пластического материала использовали фрагменты трупной лиофилизированной ТМО, у 11 — трансплантат из искусственной ТМО: Реперен — у 5, Durepair — у 6 больных. Имплантат необходимого размера фиксировали к краям дефекта ТМО непрерывным швом, создавая дополнительное пространство дурального мешка. У 5 пострадавших на шов ТМО укладывали единым фрагментом герметизирующий материал Тахокомб (Takeda), перекрывая края шва ТМО и имплантата на 1–1,5 см. В остальных 8 наблюдениях с целью армирования швов ТМО применялись клеевые композиции (рис. 4).

3. Без ушивания ТМО. У 9 пострадавших герметичность ТМО восстановили без ушивания (методом «сэндвич»-герметизации). Средний размер разрыва ТМО составил $5,0 \pm 2,6$ (от 2,0 до 10,0) мм² (16,4 %). У 5 пострадавших повреждение ТМО локализовалось в области манжеты спинномозгового корешка (средний размер $6,6 \pm 2,3$ мм²): ушивание ТМО у данных пациентов не проводили из-за риска возможного стеноза дурального мешка и развития компрессии корешка. Небольшие разрывы ТМО (площадь менее 3 мм²) выявлены у 4 пострадавших: у 2 — одиночные, у 2 — множественные. Таким пациентам ТМО не ушивали, а в область ее дефекта укладывали (по принципу сэндвича) фрагмент жира/мышцы и коллагенового материала. У 5 пациентов проводили дополнительную герметизацию биологическим 2-компонентным клеем: герметизирующую композицию наносили непосредственно на ТМО и герметизирующую массу также по принципу сэндвича.

В 21 наблюдении для герметизации ТМО использовали биологические клеевые композиции: у 8 пациентов — в группе с ушиванием ТМО, у 8 — в группе с пластикой ТМО, у 5 — в группе без ушивания ТМО.

После восстановления целостности ТМО вышеуказанными способами для выявления скрытой ликвореи вели интраоперационный контроль герметичности пластики ТМО с помощью ликвородинамической пробы Квеккенштедта. При выявлении скрытой ликвореи проводили повторную герметизацию до получения удовлетворительного результата.

В эпидуральном пространстве для пассивного оттока оставляли дренаж Редона (до 0,5 см в диаметре). У пострадавших с разрывом, особенно при обширных дефектах ТМО, после восстановления целостности дренаж был оставлен на 2–5 дней для профилактики раневой ликвореи. Различные методы восстановления целостности и герметичности ТМО у пациентов представлены в таблице.

Распределение пациентов по способу восстановления целостности твердой мозговой оболочки (ТМО)

Patient distribution by the method of dura mater (DM) integrity restoration

Способ восстановления герметичности ТМО Method of DM integrity restoration	Средний размер дефекта ТМО, мм ² Mean size of the DM tear, mm ²	Число случаев Number of cases	
		абс. abs.	%
Ушивание ТМО DM suturing	$13,2 \pm 7,4$	33	60,0
Пластика ТМО DM repair (plastic surgery)	$27,5 \pm 6,3$	13	23,6
Без ушивания ТМО Without DM suturing ("sandwich"-sealing method)	$5,0 \pm 2,6$	9	16,4
<i>Всего</i> <i>Total</i>	$15,2 \pm 9,9$	55	100

Среди пострадавших, у которых выявлен разрыв ТМО, в раннем послеоперационном периоде раневая ликворея произошла у 5 (9,1 %, $n = 55$) пациентов. Послеоперационную раневую ликворею выявляли в среднем на $4,6 \pm 2,1$ сутки (min — на 2-е, max — на 7-е сутки, $n = 5$) от операции. Ликвореи в послеоперационном периоде не было у пострадавших с небольшими дефектами ТМО (≤ 3 мм²) или локализовавшемся в области манжеты корешка. Среди 33 пациентов, которым проводили ушивание ТМО без ее пластики, раневая ликворея развилась у 2 (6,1 %) больных. У 3 (23,1 %) из 13 больных, которым выполняли пластику ТМО, также отмечена ликворея. Послеоперационная раневая ликворея развилась у пострадавших, которым дополнительно на линию шва укладывали коллагеновую губку (Тахокомб). При герметизации шва ТМО клеевыми композициями раневой ликвореи не было. Всем 5 пострадавшим с послеоперационной ликвореей провели ревизию операционной раны. При выполнении пробы Квеккенштедта отмечено истечение цереброспинальной жидкости (ЦСЖ) через шов ТМО. У 3 пострадавших область дефекта ТМО тампонировали свободным фрагментом мышцы, у 2 — участком жира. У всех пациентов с раневой ликвореей сделана дополнительная герметизация ТМО биологическим двухкомпонентным клеем. Послеоперационную рану у всех 5 пациентов послышно ушивали с оставлением на 3–5-е сутки дренажа, выведенного через контрапертуру, в субфасциальном пространстве. Всем пациентам в послеоперационном периоде проводили поясничные пункции с выведением 30–50 мл ЦСЖ на протяжении 3–5 сут. Рецидива ликворной кисты (псевдоменингоцеле) мягких тканей, по данным УЗИ, и раневой ликвореи не было ни в одном случае.

Нагноение послеоперационной раны развилось у 10 (5,9 %) из 167 оперированных больных. Осложнение выявляли в среднем на $7,4 \pm 2,2$ сутки (от 4 до 11 сут, $n = 10$) от момента операции. У пострадавших с разрывом ТМО нагноение послеоперационной раны развилось у 4 (7,3 %) из 55 пациентов, без повреждения ТМО — у 6 (5,4 %) из 112 больных. Достоверных различий в частоте нагноения раны в группах не было (метод Пирсона, $\chi^2 = 0,24$, $P = 0,624$). Всем пострадавшим с нагноением послеоперационной раны выполнена ревизия, санация послеоперационной раны и установка дренирующей системы. Дренаж удаляли на 3–5-е сутки после ревизионной операции. Заживление операционных ран у данной группы больных наступило в среднем на $21,8 \pm 2,4$ сутки (min — на 18-е, max — на 26-е сутки, $n = 10$). От осложнений, не связанных с операцией, на 10 и 13-е сутки после хирургического вмешательства умерло 2 пострадавших с тяжелой сочетанной травмой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для нестабильных переломов позвоночника характерна деформация позвоночного канала, компрессия

содержимого дурального мешка, что может служить причиной возникновения неврологических расстройств [18, 19]. Декомпрессия сосудисто-нервных образований позвоночного канала проводится для максимального сохранения невральных структур и создания условий для их восстановления. При нестабильном переломе тела позвонка в сочетании с переломом задних костных структур существует риск грыжевого выпячивания невральных структур между расщеплениями сломанного позвонка. Поэтому всем пострадавшим на 1-м этапе выполняют декомпрессию невральных структур из заднего доступа с применением расширенной ламинэктомии, без попыток постуральной редукции и дистракции позвоночного столба. Освобождают невральные структуры, расположенные между сломанными фрагментами позвонка. При выявлении разрыва ТМО восстанавливают ее целостность. В противном случае во время редукции позвоночного столба высока вероятность ущемления невральных структур, расположенных между расщеплениями сломанного позвонка, что может дополнительно повредить ТМО, спинной мозг и спинномозговые нервы. Только после полноценной декомпрессии невральных структур проводится редукционный маневр [7–10, 13]. В нашем исследовании повреждение ТМО выявлено у 55 (32,9 %) пациентов. На этапе декомпрессии у 19 пациентов обнаружены невральные структуры, располагавшиеся между фрагментами сломанного позвонка. У 12 (21,8 %) из 55 пострадавших с повреждением ТМО отмечено ущемление спинного мозга или его корешков в местах разрыва ТМО.

На этапе ламинэктомии в ложе раны из поврежденного участка ТМО, как правило, на уровне поврежденного позвонка обнаруживается истечение ЦСЖ [6, 20]. Тем не менее, псевдоменингоцеле после разрыва ТМО при переломе позвоночника развивается достаточно редко (в отличие от ятрогенного повреждения ТМО), что связано с активной воспалительной реакцией и формированием гематомы в области травмы [21, 22]. В литературе описан 1 случай возникновения псевдоменингоцеле у пострадавшего с переломом поясничного отдела позвоночника с повреждением ТМО [22]. Герметизация поврежденного участка ТМО при ПСМТ необходима для профилактики послеоперационных инфекционных осложнений, которые значительно ухудшают исход лечения [23]. В нашем исследовании статистически значимых различий между группами по частоте нагноения послеоперационной раны не было ($p = 0,624$). Нагноение послеоперационной раны отмечалось в основной группе у 4 (7,3 %), в контрольной — у 6 (5,4 %) больных. В литературе отсутствуют сведения о сравнительном анализе частоты нагноения послеоперационной раны при ПСМТ с разрывом ТМО.

У пострадавших с ПСМТ восстановить целостность поврежденного участка ТМО сложнее, чем при

ее ятрогенном повреждении [21], так как поврежденный участок ТМО часто неправильной формы и с разволокнениями. К настоящему времени не существует «золотого стандарта» восстановления поврежденного участка ТМО при ПСМТ, что связано с разнообразием форм повреждения и сложностями пластики и герметизации ТМО [7, 8, 11–14].

Многие авторы при повреждении задней поверхности ТМО при ПСМТ предпочитают восстанавливать ее герметичность путем прямого ушивания [9, 13, 24]. При массивных разрывах и разволокнениях ТМО рекомендуют проводить пластику различными материалами. В нашем наблюдении восстановление целостности ТМО путем прямого ушивания выполнено 33 (60,0 %) пациентам. У 13 (23,6 %) больных проведена пластика дефекта ТМО: фрагментом трупной оболочки у 2-х больных, а имплантатами «Реперен» — у 5, Durepair — у 6 пациентов. У 9 (16,4 %) пострадавших при небольшом дефекте ТМО (≤ 3 мм²) или локализуемом в области манжеты корешка герметичность удалось восстановить без прямого ушивания — с применением «сэндвич»-герметизации.

У пострадавших и с маленькими дефектами ТМО (≤ 3 мм²), и с ее повреждением в области манжеты корешка при герметизации ТМО (методом «сэндвич»-герметизации без прямого ушивания ТМО) эффект достигнут у всех больных. Чаще (23,1 %) раневая ликворея развивалась у пострадавших с большими дефектами ТМО, которым невозможно было провести

ее ушивание и выполнялась пластика. При прямом ушивании ТМО раневая ликворея развивалась только у 2 из 33 (6,1 %) пациентов. Раневой ликвореи не наблюдалось у тех больных с пластикой или ушиванием ТМО, которым проводили дополнительную герметизацию шва ТМО клеевыми композициями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повреждение твердой мозговой оболочки отмечено у 32,9 % пострадавших с переломом грудного и поясничного отделов позвоночника. У 21,8 % из них выявлено ущемление спинного мозга или его корешков в местах разрыва твердой мозговой оболочки. Этот факт важно учитывать при выполнении декомпрессии и редуционного маневра для предотвращения дополнительных травм невралных структур.

Пострадавшим с небольшими дефектами твердой мозговой оболочки (≤ 3 мм²), в том числе в области манжеты корешка, для профилактики раневой ликвореи эффективным может стать метод без прямого ушивания твердой мозговой оболочки («сэндвич»-герметизация). Герметизация шва коллагеновой губкой не может предотвратить развитие раневой ликвореи при разрыве твердой мозговой оболочки. На частоту нагноения послеоперационной раны повреждение твердой мозговой оболочки достоверно не влияло: у пациентов с ее повреждением нагноение развилось в 7,3 %, у больных без ее повреждения — в 5,4 % случаев.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Крылов В.В., Гринь А.А. Травма позвоночника и спинного мозга. М.: Принт-Студио, 2014. 420 с. [Krylov V.V., Grin A.A. Trauma of the spine and spinal cord. Moscow: Print-Studio, 2014. 420 p. (In Russ.).]
2. Рерих В.В., Борzych К.О., Рахматиллаев Ш.Н. Хирургическое лечение взрывных переломов грудных и поясничных позвонков, сопровождающихся сужением позвоночного канала. Хирургия позвоночника 2007;2:8–15. [Rerikh V.V., Borzykh K.O., Rakhmatillaev Sh.N. Surgical treatment of burst fractures of the thoracic and lumbar spine accompanied with spinal canal narrowing. Khirurgiya pozvonochnika = Spine surgery 2007;(2):8–15. (In Russ.).]
3. Muratore M., Allasia S., Viglierchio P. et al. Surgical treatment of traumatic thoracolumbar fractures: A retrospective review of 101 cases. Musculoskelet Surg 2021;105(1):49–59. DOI: 10.1007/s12306-020-00644-0.
4. Waddell W.H., Gupta R., Stephens 2nd B.F. Thoracolumbar Spine Trauma. Orthop Clin North Am 2021;52(4):481–9. DOI: 10.1016/j.ocln.2021.05.014.
5. Keenen T.L., Antony J., Benson D.R. Dural tears associated with lumbar burst fractures. J Orthop Trauma 1990;4(3):243–5. DOI: 10.1097/00005131-199004030-00001.
6. Silvestro C., Francaviglia N., Bragazzi R. et al. On the predictive value of radiological signs for the presence of dural lacerations related to fractures of the lower thoracic or lumbar spine. J Spinal Disord 1991;4(1):49–53.
7. Xu J.-X., Zhou C.-W., Wang C.-G. et al. Risk factors for dural tears in thoracic and lumbar burst fractures associated with vertical laminar fractures. Spine (Phila Pa 1976) 2018;43(11):774–9. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002425.
8. Skiak E., Karakasli A., Harb A. et al. The effect of laminae lesion on thoraco-lumbar fracture reduction. Orthop Traumatol Surg Res 2015;101(4):489–94. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.02.011.
9. Park J.K., Park J.W., Cho D.C., Sung J.K. Predictable factors for dural tears in lumbar burst fractures with vertical laminar fractures. J Korean Neurosurg Soc 2011;50(1):11–6. DOI: 10.3340/jkns.2011.50.1.11.
10. Yoshiiwa T., Miyazaki M., Kadera R. et al. Predictable imaging signs of cauda equine entrapment in thoracolumbar and lumbar burst fractures with greenstick lamina fractures. Asian Spine J 2014;8(3):339–45. DOI: 10.4184/asj.2014.8.3.339.
11. Aydinli U., Karaeminogullari O., Tiskaya K., Ozturk C. Dural tears in lumbar burst fractures with greenstick lamina fractures. Spine (Phila Pa 1976) 2001;26(18):E410–5. DOI: 10.1097/00007632-200109150-00012.
12. Cammisia F.P.Jr, Eismont F.J., Green B.A. Dural laceration occurring with burst fractures and associated laminar fractures. J Bone Joint Surg Am 1989;71(7):1044–52.
13. Ozturk C., Ersozlu S., Aydinli U. Importance of greenstick lamina fractures in low lumbar burst fractures. Int Orthop 2006;30(4):295–8. DOI: 10.1007/s00264-005-0052-0.
14. Lee I.S., Kim H.J., Lee J.S. et al. Dural tears in spinal burst fractures: predictable MR imaging findings. AJNR Am J Neuroradiol 2009;30(1):142–6. DOI: 10.3174/ajnr.A1273.
15. Shi X., Xiang S., Dai B., He Zh. Association of the presence and its types

- of lamina fractures with posterior dural tear and neurological deficits in traumatic thoracic and lumbar burst fractures. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):300. DOI: 10.1186/s12891-021-04178-9.
16. Vaccaro A.R., Oner C., Kepler C.K. et al. AO Spine thoracolumbar spine injury classification system: Fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38(23):2028–37. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182a8a381.
 17. Maynard F.M.Jr, Bracken M.B., Creasey G. et al. International Standards for neurological and functional classification of spinal cord injury. *American Spinal Injury Association. Spinal Cord* 1997;35(5):266–74. DOI: 10.1038/sj.sc.3100432.
 18. Hashimoto T., Kaneda K., Abumi K. Relationship between traumatic spinal canal stenosis and neurologic deficits in thoracolumbar burst fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 1988;13(11):1268–72. DOI: 10.1097/00007632-198811000-00011.
 19. Wu L.-Y., Huang X.-M., Wang Y. et al. Posterior spinal canal decompression with screw fixation and reconstruction of three vertebral column for thoracolumbar burst fractures complicated with nerve injury. *Zhongguo Gu Shang* 2018;31(4):322–7. (In Chin.). DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.04.006.
 20. Pau A., Silvestro C., Carta F. Can lacerations of the thoraco-lumbar dura be predicted on the basis of radiological patterns of the spinal fractures? *Acta Neurochir (Wien)* 1994;129(3–4):186–7.
 21. Luszczek M.J., Blaisdell G.Y., Wiater B.P. et al. Traumatic dural tears: what do we know and are they a problem? *Spine J* 2014;14(1):49–56. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.03.049.
 22. Kandathil J.C., George M. Dural tear and pseudomeningocele due to lumbar burst fractures: Detection by multidetector computed tomography and magnetic resonance imaging. *Hong Kong J Radiol* 2011;14(2):84–8.
 23. Гринь А.А., Кайков А.К., Крылов В.В. Осложнения и их профилактика у больных с позвоночно-спинномозговой травмой. Часть 2. Нейрохирургия 2015;(1):55–66. [Grin A.A., Kaykov A.K., Krylov V.V. The prophylaxis and treatment of various complications at patients with spinal trauma. Part 2. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2015;(1):55–66. (In Russ.)].
 24. Lee J.Ch., Kim Y.-I., Shin B.-J. Dural tear and rootlet entrapment in the lumbar burst fractures associated with the laminar fracture. *Spine J* 2005;5(4 Suppl):S143. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.05.285.

Вклад авторов

А.Г. Мартикан: обзор литературы, написание статьи;
 А.А. Гринь: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
 А.Э. Талыпов: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
 А.Ю. Кордонский: разработка дизайна исследования, анализ данных;
 И.С. Львов: анализ данных, обзор литературы;
 О.А. Левина: научное редактирование статьи;
 А.В. Природов: научное редактирование статьи

Authors' contributions

A.G. Martikyan: literature review, article writing;
 A.A. Grin: research design of the study, scientific editing of the article;
 A.E. Talypov: research design of the study, scientific editing of the article;
 A.Yu. Kordonskiy: research design of the study, data analysis;
 I.S. Lvov: data analysis, literature review;
 O.A. Levina: scientific editing of the article;
 A.V. Prirodov: scientific editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.Г. Мартикан / A.G. Martikyan: <https://orcid.org/0000-0002-4831-4055>
 А.А. Гринь / A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>
 А.Э. Талыпов / A.E. Talypov: <https://orcid.org/0000-0002-6789-8164>
 А.Ю. Кордонский / A.Yu. Kordonskiy: <https://orcid.org/0000-0001-5344-3970>
 И.С. Львов / I.S. Lvov: <https://orcid.org/0000-0003-1718-0792>
 О.А. Левина / O.A. Levina: <https://orcid.org/0000-0002-4811-0845>
 А.В. Природов / A.V. Prirodov: <https://orcid.org/0000-0003-2444-8136>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен Межвузовским комитетом по этике (протокол № 11-20 от 15.07.2020).

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the Intercollegiate Ethics Committee (protocol No. 11-20 from 15.07.2020).

Статья поступила: 16.11.2021. **Принята к публикации:** 01.02.2022.

Article submitted: 16.11.2021. **Accepted for publication:** 01.02.2022.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ГЛИОМ ГОЛОВНОГО МОЗГА

И.В. Григорьев¹, Г.Б. Акопян¹, С.А. Мельченко¹, И.В. Сенько¹, И.Л. Губский¹, А.А. Каландари¹,
О.О. Кордонская¹, Ж.Н. Сермагамбетова¹, В.В. Крылов^{1, 2}

¹ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Десятская, 20, стр. 1

Контакты: Илья Владимирович Григорьев grigoriev.iliya@gmail.com

Введение. Объем удаления глиом головного мозга влияет на исход хирургического лечения. Повышение радикальности вмешательства за счет использования различных методик приводит к увеличению сроков выживаемости и рецидива. Работа посвящена первичной оценке эффективности применения методики интраоперационной магнитно-резонансной томографии при удалении глиом головного мозга.

Цель – обобщить первый опыт использования и оценить эффективность методики высокопольной интраоперационной магнитно-резонансной томографии в хирургии глиальных опухолей головного мозга.

Материалы и методы. В исследование включены 9 больных с глиомами различной степени злокачественности, находившихся на лечении в ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА России. Проведен проспективный анализ выполненных 9 пациентам оперативных вмешательств с применением методики интраоперационной магнитно-резонансной томографии, а также результатов нейровизуализации.

Результаты. У всех больных на интраоперационной магнитно-резонансной томографии выявлена остаточная опухолевая ткань различного объема. Во всех случаях выполнена дополнительная резекция остаточной опухоли. Несмотря на увеличение продолжительности операции и транспортировку пациента из операционной в процедурную магнитно-резонансной томографии и обратно, осложнений не возникало. По мере накопления опыта в проведении интраоперационной магнитно-резонансной томографии сокращалось время исследования: среднее время сканирования составило 45 мин.

Заключение. Высокопольная интраоперационная магнитно-резонансная томография с успехом может быть использована в хирургии глиом головного мозга. Методика позволяет увеличить радикальность удаления опухоли без увеличения риска осложнений.

Ключевые слова: глиома, опухоль головного мозга, МРТ, иМРТ, интраоперационная МРТ, интраоперационный контроль

Для цитирования: Григорьев И.В., Акопян Г.Б., Мельченко С.А. и др. Опыт использования интраоперационной магнитно-резонансной томографии при хирургическом лечении глиом головного мозга. Нейрохирургия 2022;24(2): 43–53. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-43-53.

Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas

I. V. Grigorev¹, G. B. Akopyan¹, S. A. Melchenko¹, I. V. Senko¹, I. L. Gubskiy¹, A. A. Kalandari¹, O. O. Kordonskaya¹,
Zh. N. Sermagambetova¹, V. V. Krylov^{1, 2}

¹Federal Brain and Neurotechnology Center, Federal Medical and Biological Agency of Russia; Bld. 10, 1 Ostrovityanova St., Moscow 117513, Russia;

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

Contacts: Ilya Vladimirovich Grigorev grigoriev.iliya@gmail.com

Introduction. Volume of glioma resection positively correlated with treatment results. Advance in extent of resection due to various additive methods leads to prolonged overall survival and delays progression. Our aim was to evaluate the value of intraoperative magnetic resonance imaging.

Objective – to present the first experience of using intraoperative magnetic resonance imaging and evaluate the effectiveness and safeness of this technique in surgery of glial brain tumors.

Material and methods. Prospective analysis of surgical interventions performed using the intraoperative magnetic resonance imaging and the results of neuroimaging in 9 patients with different grade brain gliomas treated in Federal Brain and Neurotechnology Center was carried out.

Results. In all patients we detect variable residual tumor volume after first resection. Additional resection was performed in all cases after the intraoperative magnetic resonance imaging. Mean scan time were 45 minutes overall time for scan were decreasing as we gain experience in using intraoperative magnetic resonance imaging.

Conclusion. Intraoperative high-field intraoperative magnetic resonance imaging can be successfully used in the surgery of brain gliomas. The technique allows increasing the radicality of tumor removal without increasing the risk of complications.

Key words: glioma, brain tumor, MRI, iMRI, intraoperative MRI, intraoperative monitoring

For citation: Grigorev I.V., Akopyan G.B., Melchenko S.A. et al. Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2): 43–53. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-43-53.

ВВЕДЕНИЕ

Глиомы — самые частые из первичных опухолей центральной нервной системы (ЦНС), их доля среди злокачественных достигает 80 %, и в последние 3 десятилетия возрастает частота выявления [1–3]. Повышение частоты выявления опухолей ЦНС связано с улучшением диагностики, онкологической настороженностью у врачей первичного звена и повсеместным распространением томографов. Несмотря на совершенствование хирургической техники, химиотерапевтических средств и протоколов облучения, за последние 30 лет значимое увеличение продолжительности жизни данной группы пациентов не достигнуто. Доказана прямая зависимость продолжительности жизни, сроков злокачественной трансформации и безрецидивного периода от радикальности удаления глиом, при этом полнота удаления опухоли — главный предиктор выживаемости. В настоящее время «золотым стандартом» терапии глиом считается максимально радикальное удаление опухоли с использованием нейронавигации и под контролем световой микроскопии. Оно включает в себя полное удаление гиперинтенсивной (в режиме FLAIR магнитно-резонансной томографии (МРТ) зоны у опухолей, которые не копят контрастное вещество, а также полное удаление зоны накопления его в режиме T1 у опухолей, которые накапливают контраст [1, 3, 4]. Однако впечатление хирурга о полноте удаления опухоли зачастую может быть ошибочным, что приводит к частичному удалению опухолевой ткани и негативно влияет на исходы хирургического лечения [4]. Использование интраоперационного контроля полноты удаления опухоли позволяет повысить радикальность вмешательства, одна из таких методик — применение интраоперационной МРТ (иМРТ), которая позволяет добиться

оптимальной радикальности удаления опухолей различной степени дифференцировки [4–6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Критерии включения в исследование: глиальная природа новообразования, локализация опухоли в больших полушариях головного мозга или в базальных ядрах, проведение иМРТ-исследования. Период проведения работы с 12.04.2021 по 11.11.2021. Пациенты включены в исследование методом сплошной выборки. Больные с внутримозговыми опухолями не глиальной природы, имеющие противопоказания к проведению МРТ, исключались. По данным критериям выбрано 9 пациентов, из них 6 (67 %) — мужчины, 3 (33 %) — женщины. Средний возраст пациентов — 45 (от 23 до 65) лет. Все находились в ясном сознании, имели очаговый неврологический дефицит (67 %) и общемозговую симптоматику (33 %) различной степени выраженности. Функциональный статус по индексу Карновского — в среднем 90 (от 70 до 100). Дооперационное обследование велось в стандартном объеме и включало осмотры профильных специалистов (невролог, офтальмолог, терапевт), лабораторную и инструментальную диагностику в объеме госпитального профиля. Всем пациентам до, после и во время операции МРТ выполнено на одном аппарате.

Всем больным проведена костно-пластическая трепанация черепа, удаление опухоли проводилось с помощью микрохирургической техники под увеличением операционного микроскопа Zeiss OPMI Pentero 900 (Carl Zeiss, Германия), для интраоперационной навигации использовалась система Medtronic Navigation StealthStation S7 (Medtronic, США), для нейрофизиологического мониторинга — станция Нейро-ИОМ 32/Б (Нейрософт, Россия).

Исследования проводились на высокопольном (3,0 Тл) МР-томографе Discovery MR750w (General Electric Healthcare, США), для сканирования применялась 16-канальная катушка GEM Flex Medium coil (General Electric Healthcare, США). Методика до- и послеоперационного МРТ не отличалась от стандартной программы проведения МРТ головного мозга с контрастированием при опухолях головного мозга. Объем опухоли до, во время и после операции у контраст-позитивных опухолей оценивался по контрастируемой части, у опухолей, которые не накапливали контрастный препарат, — по объему гиперинтенсивного сигнала на T2 и FLAIR. Объем опухоли до операции измерялся в мл, а после первичной резекции оценивался на иМРТ, измерялся суммарный объем остаточной патологической ткани (в мл), а также рассчитывалось его отношение к предоперационному объему (в %). На послеоперационной МРТ также проводилось измерение объема остаточной опухоли (в мл) и рассчитывалось его отношение к объему опухоли на иМРТ (в %).

Главные оцениваемые параметры: наличие остаточной опухоли после первичной резекции и после операции, объем остаточной опухоли и его отношение к предоперационному объему; время сканирования; наличие осложнений, связанных с проведением иМРТ.

Методика проведения интраоперационного сканирования

Гибридная операционная в Федеральном центре мозга и нейротехнологий ФМБА России оснащена МР-томографом, монтированным по принципу «смежной комнаты» с автоматическими дверями-слайдерами, изолирующими клетку Фарадея от операционной комнаты. Пультовая комната при этом сообщается с процедурной томографа и позволяет нарушать герметичность изолирующей клетки, не прерывая сканирования при открытии двери (в случае экстренной необходимости доступа к пациенту или оборудованию). Относительный недостаток данного типа организации — необходимость доставки пациента к томографу, однако это обеспечивается ротируемым операционным столом и мобильным столом томографа, оснащенными единой рельсовой системой для передвижения каретки с пациентом между ними. Преимущества данного типа организации — отсутствие необходимости в дополнительном шиммировании магнитного поля и экранировании других помещений, возможность использования любого МР-несовместимого инвентаря и оборудования в операционной (экономически целесообразно из-за снижения издержек), нет необходимости соблюдать соответствующие правила безопасности, неограниченный доступ к пациенту, возможность монтирования в основной операционной другого оборудования.

Когда, по мнению хирурга, достигается радикальная резекция или возникает иная необходимость (сильное смещение мозга, сложная анатомическая локализация, подозрение на возникновение осложнений, сомнительные данные нейрофизиологического мониторинга), начинается подготовка пациента к исследованию: гемостаз послеоперационной раны, обильное промывание ее от геморрагического субстрата, заполнение полости физиологическим раствором (чтобы оставить пострезекционную полость расправленной) и/или прикладывание к зонам интереса меток (мелкие фрагменты жировой клетчатки пациента/костный воск), закрытие раны костным лоскутом (края необходимо промыть от металлической крошки от краниотома) с частичным сопоставлением лоскутов твердой мозговой оболочки и кожи, удаление из зоны интереса всех МР-несовместимых предметов. Далее голова пациента оборачивается в стерильный одноразовый пластиковый мешок, пациент отключается от контура аппарата искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и переводится на механическое ручное устройство для временной вентиляции легких. Нейрохирургический стол стыкуется со столом томографа, на который и перемещается пациент. Над зоной интереса устанавливается радиочастотная катушка, фиксируемая ремнями или бинтами. Пациент МРТ на столе томографа транспортируется в процедурную, где проводится подключение стола к каретке томографа, перевод пациента на контур МР-совместимого аппарата ИВЛ и монитора жизненно-важных функций организма, а также подключение к инжектору для введения контрастного вещества. Начинается сканирование.

Полный протокол исследования вместе с транспортировкой в среднем занимает 30–40 мин, отдельно транспортировка пациента с его укладкой и подключением к МР-совместимому оборудованию — 5–10 мин (после того как голова пациента упакована в стерильный мешок), необходимая подготовка к продолжению резекции — 15–20 мин.

Каждому пациенту проводится минимум 3 МР-исследования: дооперационное (минимум за сутки) — для элиминации из вещества мозга контрастного вещества к началу оперативного вмешательства, интраоперационное (одно и более при необходимости), послеоперационное — контрольное.

Следует отметить, что дооперационное и контрольное МРТ служит мультипараметрическим рутинным исследованием: DWI (диффузионно-взвешенная МРТ), T1 FSE (быстрое спин-эхо) до и после контрастирования, T2 FSE, T2 FLAIR, SWAN, DSC-PWI, трактография и одновоксельная спектроскопия. Объем интраоперационного исследования зависит от контекста ситуации, приобретенной информации, а также от решений нейрохирурга и нейрорадиолога.

Данные интраоперационного исследования совместно анализируются нейрохирургом и нейрорадиологом,

при необходимости интегрируются в систему нейронавигации для дальнейшего проведения дополнительной резекции опухоли.

Аудит зоны послеоперационного вмешательства

В ранний послеоперационный период типичная находка — отечность мягких тканей скальпа с присутствием различного количества жидкости (серозная жидкость, кровь, ликвор вместе могут давать комплексный МР-сигнал) и воздуха в разной пропорции.

Частая послеоперационная находка — наличие экстра- и интракраниального воздуха (гипоинтенсивный на всех последовательностях), чаще всего в субдуральном пространстве над лобными долями (исследование проводится в положении лежа на спине), но может обнаруживаться в области послеоперационного дефекта, ликворных пространств, в мягких тканях. При динамическом наблюдении происходит довольно быстрая элиминация даже относительно больших объемов воздуха.

Типично обнаружение во время операции небольшого количества крови в структуре мягких тканей скальпа, эпидуральных скоплений и пострезекционной полости. Немного крови может определяться в субарахноидальных пространствах борозд и желудочковой системе мозга (по причине регургитации).

Необходимо отметить, что дифференцировка гемостатических агентов, пропитанных кровью от истинных кровоизлияний, — сложная задача, однако последние демонстрируют более комплексный сигнал, изменяющийся на изображениях различных импульсных последовательностей, в связи с этим совместная интерпретация вместе с нейрохирургом облегчает данную задачу.

Мягкие ткани скальпа (травмированные мышцы), твердая мозговая оболочка, а также паренхима мозга по краям резекции могут демонстрировать раннее тонкое линейное реактивное накопление контрастного вещества, если пациенту проводилось интраоперационное сканирование с внутривенным контрастированием.

Результат операции — наличие полости, содержащей различное количество ликвора, крови и гемостатического материала. Со временем такие полости могут менять свои размеры (например, при сообщении с желудочковой системой).

Небольшие локальные участки ишемии нередко обнаруживаются при оценке пострезекционной полости и чаще всего являются прилежащими, возникают такие участки из-за использования биполярной коагуляции. Для обнаружения данного феномена в большинстве случаев достаточно совокупного анализа DWI и ADC-карт, но при затруднениях полезны данные МР-перфузии.

Участки ишемии могут приводить к переоценке объема остаточной опухолевой ткани, если при

совокупном анализе не оценивать данные МР-перфузии и DWI, так как небольшой масс-эффект и повышение сигнала на T2-взвешенном изображении успешно имитируют опухолевую ткань. Внимательный анализ всех полученных данных также позволит дифференцировать участок ишемии и вазогенного отека.

Отек мозгового вещества — неизбежное послеоперационное явление (независимо от типа вмешательства), но в большинстве случаев такой отек не имеет клинического значения, ограничен и разрешается со временем.

Главная причина возникновения артефактов на иМРТ-изображениях, исходя из нашего опыта, — нарушение однородности магнитного поля из-за наличия в теле (хоть и в мельчайших концентрациях) парамагнетиков (металлическая пыль, некоторые виды пластика или более стандартное — титановые импланты/краниофиксы/инструменты), из-за усиления естественных границ раздела сред ввиду оперативного вмешательства (пострезекционная полость с наличием воздуха, геморрагического компонента или обширным сообщением с воздухоносными полостями черепа и т. п.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднее время проведения исследования при иМРТ составило 45 мин и варьировало от 36 до 55 мин. По мере накопления опыта проведения интраоперационного сканирования суммарное время выполнения иМРТ постепенно снижалось.

Предоперационный объем опухоли варьировал от 3,8 до 135 мл, в среднем составляя 51,4 мл. По данным иМРТ, выполненной после первичной резекции, остаточная опухолевая ткань выявлена у всех 9 (100 %) пациентов. Объем остаточной опухолевой ткани при этом составил от 0,05 (0,2 %) до 40 (44 %) мл (в среднем — 7,2 мл) и не зависел от гистологического подтипа опухоли. Таким образом, радикальность первичной резекции варьировала от 56 до 99,8 %, в среднем достигая 84,2 %. У 3 (33,3 %) из 9 пациентов объем остаточной опухоли был значимо больше и составил более 12 % от исходного. При анализе этих случаев выявлено: у 1 пациента операция по удалению глиобластомы носила повторный характер и проводилась после лучевой терапии; 1 пациентка имела глубинную кистозно-солидную опухоль, расположенную в подкорковых ядрах и стволе головного мозга; у 1 пациента исходно была высокодифференцированная опухоль малого объема. Эти факты могли затруднять ориентировку в белом веществе мозга, приводя к большему объему остаточной опухоли.

По данным послеоперационной МРТ, итоговая радикальность резекции составила 99,8 %, остаточная опухолевая ткань минимального объема выявлена у 1 пациента с глиомой таламуса и среднего мозга. Осложнений, связанных с проведением процедур иМРТ,

Характеристики пациентов, которым проведено иМРТ

Characteristics of patients who have undergone intraoperative MRI

Номер пациента Patient no.	Возраст, лет Age, years	Пол, м/ж Gender, m/f	Локализация опухоли (доли) Tumor localization (lobe)	Гистологический Grade Tumor WHO Grade	Время сканирования, мин Scanning time, min	Исходный объем опухоли, мл Preoperative tumor volume, ml	Объем остаточной опухоли после первичной резекции, мл (%) Residual tumor volume, ml (%)	Итоговый объем остаточной опухоли, мл (%) Residual tumor volum, ml (%)
1	64	м m	Лобная Frontal	4	55	81	0,2 (0,25)	0
2	55	м m	Височная Temporal	4	48	90,2	40 (44)	0
3	61	м m	Лобная Frontal	4	46	42,4	4,9 (11,5)	0
4	65	м m	Островковая Insular	4	45	34,7	2,2 (6,4)	0
5	32	ж f	Таламус Thalamus	2	36	27	10 (37)	0,3 (1,1)
6	33	м m	Лобная Frontal	2	51	18	0,05 (0,2)	0
7	27	ж f	То же The same	3	38	30,6	2,45 (8)	0
8	48	м m	— « —	4	44	135	4,1 (3)	0
9	23	ж f	— « —	2	42	3,8	1,2 (31,5)	0

Примечание. М — мужчины, ж — женщины.

Note. M — male, f — female.

не выявлено. Ни у одного из пациентов в послеоперационном периоде не зафиксировано гнойно-воспалительных осложнений. Сводные данные указаны в таблице.

КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

Пациент № 6: 33 года. Диагноз: внутримозговая опухоль правой лобной доли. Проведена операция: краниотомия в правой лобной области, микрохирургическое удаление опухоли. На иМРТ выявлен остаточный фрагмент опухоли по задней стенке полости удаленной опухоли (рис. 1). После исследования выполнено дополнительное удаление остаточной опухолевой ткани. Гистологическое заключение: астроцитомы, WHO grade 2. На контрольной МРТ остаточной опухоли нет. Общее время сканирования — 51 мин.

Пациент № 3: 61 год. Диагноз: внутримозговая опухоль левой лобной доли. Во время операции выполнена иМРТ (рис. 2): выявлены остаточные фрагменты опухоли в области передних и задних отделов зоны резекции. В связи с этим проведено удаление оставшихся фрагментов новообразования. При контрольном МРТ после операции опухоль удалена тотально. Гистологическое заключение: глиобластома, WHO grade 4. Время сканирования — 46 мин.

Пациентка № 7: 27 лет. Диагноз: внутримозговая опухоль левой лобной доли. После этапа первичной резек-

ции опухоли выполнено иМРТ (рис. 3): видны остаточные фрагменты опухоли по стенкам резекционной полости. Проведена дополнительная резекция выявленной после интраоперационного сканирования патологической ткани. На контрольном послеоперационном МРТ остаточной опухолевой ткани нет. Гистологическое заключение: астроцитомы, IDH-мутантная, WHO grade 3. Интраоперационное сканирование — 38 мин.

ОБСУЖДЕНИЕ

Неудовлетворенность хирургов радикальностью проведенной операции в случае использования стандартных методик заставляет искать новые подходы к интраоперационному контролю. Один из таких многообещающих подходов — использование интраоперационной нейровизуализации. Первой подобной методикой было использование стационарных, а затем мобильных компьютерных томографов. По мере развития технологий интраоперационная КТ из-за качества изображения перестала удовлетворять запросам нейрохирургов, на смену пришли аппараты МРТ. Одно из первых сообщений — интраоперационное использование открытого аппарата МРТ мощностью 0,2 Тл в 1998 г. [7].

Впервые М. Lacroix и соавт. (2001) ввели понятие максимальной степени резекции EOR (от англ. maximum extent of resection). В исследовании (когорта

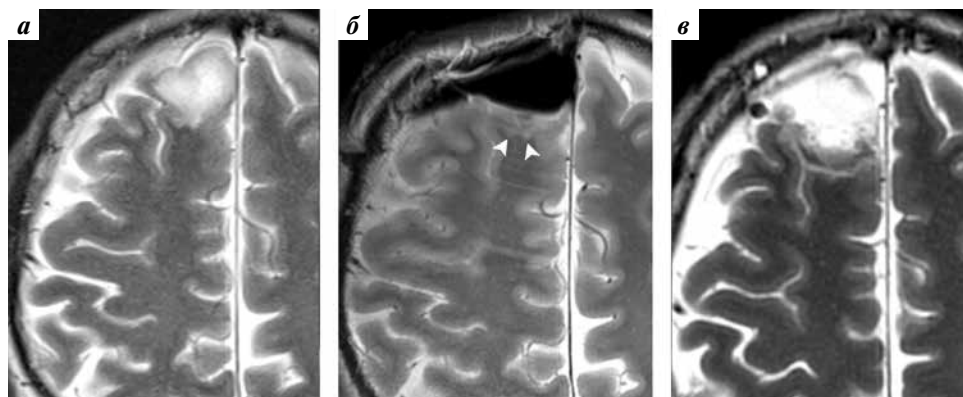


Рис. 1. МРТ головного мозга (пациент № 6). Аксиальные срезы, режим сканирования T2 без контрастного усиления: а — до операции, диффузная внутримозговая опухоль в правой лобной доле; б — во время операции, наличие остаточного фрагмента опухоли по заднему контуру опухоли (стрелки); в — после операции, выявляемый ранее фрагмент удален

Fig. 1. Brain MRI (Patient no. 6). Axial T2 non-contrast images: а — preoperative MRI with diffuse intrinsic frontal lobe tumor; б — intraoperative images with residual tumor (arrowheads); в — postoperative MRI, no signs of residual tumor mass after additional resection

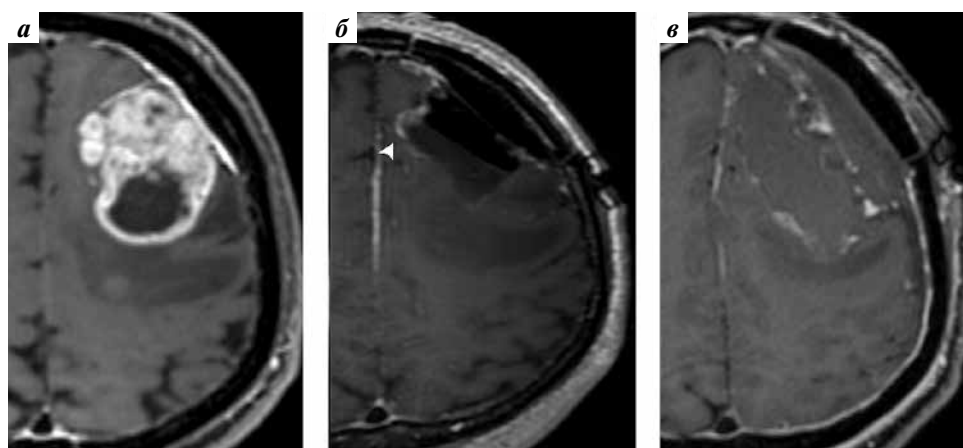


Рис. 2. МРТ головного мозга (пациент № 3). Аксиальные срезы, режим сканирования T1 с контрастным усилением: а — до операции, внутримозговая опухоль в левой лобной доле, интенсивно накапливающая контрастное вещество; б — во время операции, наличие небольшого фрагмента опухоли по медиальному контуру опухоли (стрелка); в — после операции, выявляемый ранее фрагмент удален

Fig. 2. Brain MRI (Patient no. 3). Axial T1 contrast-enhanced images: а — preoperative MRI, high-grade frontal lobe tumor; б — intraoperative scan, residual tumor (arrowhead); в — postoperative MRI, no signs of tumor after additional resection

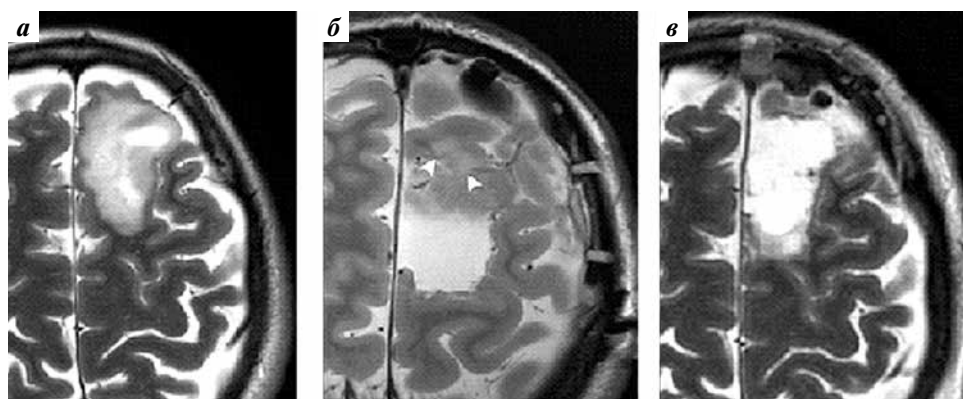


Рис. 3. МРТ головного мозга (пациент № 7). Аксиальные срезы, режим сканирования T2 без контрастного усиления: а — до операции, диффузная внутримозговая опухоль в левой лобной доле; б — во время операции, остаточный фрагмент опухоли по переднему контуру опухоли (стрелки); в — после операции, выявленный ранее фрагмент удален

Fig. 1. Brain MRI (Patient 7). Axial T2 non-contrast images: а — preoperative scan, frontal lobe tumor in premotor area; б — intraoperative MRI, residual tumor in anterior aspect of resection cavity (arrowheads); в — postoperative MRI with no signs of tumor after additional resection

из 416 пациентов с гистологически подтвержденной глиобластомой и резекцией опухоли) пришли к выводу, что удаление 89 % и более от исходного объема опухоли — необходимое условие значительного увеличения выживаемости, а резекция 98 % объема — значительный независимый предиктор выживаемости в многомерном анализе данных. Была установлена новая концепция: чем больше объем резецированной опухолевой массы, тем лучше прогноз у пациентов с глиобластомой [8]. Появление данной концепции стимулировало активные исследования и привело к публикации данных, демонстрирующих аналогичную взаимосвязь между степенью резекции, объемом остаточной опухолевой ткани и выживаемостью пациентов [9–12].

Представление хирурга о радикальности резекции опухоли может быть ошибочным, что отрицательно влияет на исходы лечения при наличии остаточной опухоли [4]. В нашем исследовании иМРТ выполнялось после достижения, по мнению хирурга, тотального удаления опухоли. Радикальность первичной резекции при этом составила 84,2 %, а остаточная опухолевая ткань различного объема выявлена у всех 9 (100 %) пациентов. Всем больным исследуемой группы выполнена дополнительная резекция остаточных фрагментов опухоли, что повысило итоговую радикальность резекции до 99,8 %.

Первый количественный метаанализ, установивший взаимосвязь радикальности резекции с выживаемостью у пациентов с глиобластомой, опубликован Т. J. Brown и соавт. (2016) [13]. Анализ учитывал 37 работ, опубликованных с января 1996 по декабрь 2015 г., и показал, что полная резекция повышает вероятность 1-летней выживаемости на 61 % по сравнению с субтотальной резекцией, 2-летней выживаемости — на 19 %, выживаемости без прогрессирования процесса в течение 12 мес — на 51 % [13]. Исследователи пришли к выводам, что для глиом низкой степени злокачественности при увеличении объема резекции, помимо увеличения продолжительности выживаемости, значительно уменьшается вероятность рецидива (в 1,5 раза) или малигнизации [14–16]. Это очень важно, так как остаточное вещество опухоли претерпевает постепенную дегенерацию в низкодифференцированную астроцитому, что в итоге значительно снижает ожидаемую продолжительность жизни пациента.

В настоящее время стандартом послеоперационного контроля радикальности удаления глиом считают КТ или МРТ (проведенные с контрастным усилением или без него), выполненные в срок от 24 до 72 ч после операции [1, 3, 17]. Такие сроки связаны с появлением в более позднее время после операции реактивных очагов накопления контрастного вещества, не соответствующих опухолевым изменениям, даже при использовании высокопольных сканеров частота таких изменений может достигать 30 % [17]. Выполнение

иМРТ позволяет свести к минимуму количество подобных ложнопозитивных очагов [17]. Методика проведения иМРТ в связи с меньшим количеством артефактов превосходит послеоперационное МРТ в части определения радикальности резекции опухоли. Разница может составлять от 22,7 % при операциях на опухлях, накапливающих контрастное вещество, до 37,5 %, если опухоль не имела контраст-позитивных фрагментов [17].

Интраоперационное МРТ позволяет оценить наличие остаточной опухолевой ткани в момент самой операции, когда хирург еще может изменить тактику операции и селективно удалить остаточные фрагменты опухоли [6]. При использовании иМРТ дополнительная резекция выполняется намного чаще — до 70 % случаев [4, 6, 18]. Эффективность методики доказана при рандомизированном исследовании, относящемся к I классу доказательности: группа пациентов с иМРТ имела большую радикальность операции и связанную с этим большую продолжительность жизни по сравнению с пациентами, которым проводилась стандартная резекция с нейронавигацией [6]. Дополнительная резекция выполнялась после 70 % случаев применения иМРТ, средний объем остаточной опухоли составил $3,16 \pm 0,38$ см³. Влияние опыта хирурга на объем остаточной опухоли или частоту повторной резекции после иМРТ не выявлено. Остаточный объем опухоли чаще встречался при опухолях большого размера, высокодифференцированных глиомах (Grade 1–2) и опухолях в функционально значимых зонах [4, 5].

В проспективном исследовании эффективности методики иМРТ при резекции глиом Т. Finck и соавт. (2020) установили, что при использовании интраоперационной визуализации радикальность удаления опухолей значительно увеличивается — с 76 до 96 % [19], по данным исследования М. А. Natiboglu и соавт. — с 83 до 98 % [7]. При оценке эффективности использования иМРТ у пациентов с глиомами речевой зоны J. Zhang и соавт. отметили увеличение объема резекции с 89,8 до 95,5 %, соответствующее увеличение продолжительности безрецидивного периода в 2 раза — с 6,6 до 12,5 месяцев (изменения статистически значимы) [18]. В работе Т. Finck и соавт. остаточная ткань опухоли при проведении иМРТ выявлена в 34,8 % случаев, полная резекция проведена 45,2 % пациентов, у 20 % больных остаточный фрагмент опухоли оставлен намеренно, так как располагался в области функциональной зоны [19].

В настоящее время в хирургии глиом выделяют 2 основных направления, которые идут рука об руку: стремление к повышению радикальности вмешательства и сохранение функционального статуса. «Золотой стандарт», отвечающий за сохранение неврологического статуса, — нейромониторинг в различных его вариациях; за повышение радикальности операции — методики метаболической и безрамной нейронавигации.

Безрамная нейронавигация остается малоэффективной в случае выраженного смещения мозга, связанного с хирургической манипуляцией, аспирацией ликвора или отеком мозга. Методика иМРТ лишена такого недостатка, так как хирург видит изображение в реальном времени [20].

С конца 1990-х годов в нейрохирургическую практику пришла метаболическая навигация с использованием 5-аминолевулиновой кислоты (5-АЛА), продукты метаболизма которой селективно накапливаются в опухолевых клетках и вызывают свечение при облучении в голубом свете (5-АЛА-ФН). В метаанализе, посвященном сравнительной оценке радикальности удаления опухолей головного мозга, не выявлено преимуществ использования метаболической навигации по сравнению с иМРТ [2]. При комбинации этих методов достигалась максимальная онкологическая радикальность, которая значительно превосходила эффективность обычной нейронавигации [2]. Сильная сторона 5-АЛА — лучшая чувствительность зоны опухолевой инфильтрации, а также меньшая стоимость исследования. Однако 5-АЛА накапливается не во всех опухолях, так что использование ее ограничено (только 20 % высококодифференцированных глиом накапливают 5-АЛА) [2].

При удалении высококодифференцированных опухолей (Grade 1, 2) часто трудно определить визуальную границу распространения опухоли и зоны инфильтрации. Стандартные методики контроля (осмотр через операционный микроскоп при белом свете, ультразвуковое сканирование или метаболическая навигация при отсутствии накопления 5-АЛА) могут не дать нужной информации. В этом случае проводить дифференциальную диагностику позволяет использование на высокопольных аппаратах дополнительных последовательностей иМРТ, к ним относятся: DWI, PWI (перфузионно-взвешенная МРТ), МР-спектроскопия [20].

Однако иМРТ имеет и слабые стороны: удлинение времени операции, необходимость закупки дорогостоящего оборудования, наличие артефактов, которые могут имитировать остаточную опухоль или скрыть очаги инфаркта [4, 17, 21].

Сложность в оценке постконтрастных T1-взвешенных изображений, полученных при иМРТ, состоит в разведении между изменениями, вызванными хирургическими манипуляциями или остаточной тканью опухоли [7]. Именно поэтому целесообразно переходить от резекции к выполнению иМРТ после тщательного гемостаза. Очень важно, чтобы в полости удаленной опухоли не было сгустков крови или гемостатика [7].

Минимальная остаточная зона накопления контраста по стенкам резекционной полости не всегда соответствует остаточной опухоли. При использовании гистологической верификации доказано, что подобные зоны могут возникать после вытекания

контрастного вещества из мелких сосудов в полость удаленной опухоли [7].

Самые частые артефакты при проведении иМРТ — новые зоны накопления контрастного вещества, не связанные с опухолью, или зоны новой гиперинтенсивности на T2-взвешенных изображениях. Такие изменения называют реактивными: они связаны с реакцией мозга на хирургическую травму и протеканием контрастного вещества из сосудов в зоне резекции из-за нарушения проницаемости гематоэнцефалического барьера [4, 5, 17, 22]. Использование методики динамического контрастирования позволяет достоверно отличить реактивные послеоперационные изменения от остаточной ткани опухоли [22]. Однако, по данным некоторых исследователей, использование так называемых последовательностей черной крови (black blood sequences) позволяет гораздо лучше оценить такие переходные зоны в связи с некоторыми уникальными особенностями, возникающими при проведении иМРТ [19]. Такие специфические проблемы — зоны экстравазации контраста, области образования сгустков крови [19].

В работе М. Knauth и соавт. (1999) [23] выделено 4 типа изменений, связанных с хирургическими манипуляциями при проведении иМРТ в режиме T1-взвешенных изображений с контрастированием, такие изменения могут быть выявлены с частотой до 100 % случаев. Кардинальный их признак — отсутствие подобных изменений на постконтрастных сериях, полученных до операции, что обусловлено реакцией на операцию. Такими артефактами накопления контраста могут быть: оболочки мозга, сосудистые сплетения желудочков, край зоны резекции, паренхиматозное накопление в непосредственной близости от области удаления опухоли, встречаются они соответственно в 100, 13,7, 80,4, 9,8 % случаев. Лептоменингеальный паттерн характеризуется линейными зонами скопления парамагнетика, встречается у 100 % пациентов уже при первом сканировании и не меняется в ходе иМРТ, при проведении МРТ в послеоперационном периоде становится интенсивнее или остается без изменений. Усиленное контрастирование желудочковых сплетений на стороне операции выявлено у 13,7 % пациентов (у всех желудочек во время операции был вскрыт); показано, что с течением времени интенсивность изменений не меняется или усиливается. У 80,4 % больных отмечено линейное усиление краев резекционной полости и повышение сигнала от жидкости в ней; при сканировании в послеоперационном периоде такие изменения исчезали или становились менее выраженными. В 9,8 % случаев выявлены паренхиматозные зоны накопления контраста, расположенные в непосредственной близости от зоны резекции, они не меняются с течением времени и у большинства пациентов были связаны с областями электрокоагуляции; на послеоперационных сериях

такие изменения либо не видны, либо менее выражены [23].

Контрастное вещество на основе гадолиния, используемое для проведения иМРТ, может иметь нейротоксичные свойства. У небольшого числа пациентов, у которых на иМРТ выявлено субарахноидальное скопление контраста или скопление контраста в резекционной полости, наблюдалась повышенная частота фокальных судорог и эпилептического статуса. У всех больных из этой группы хирурги отмечали повышенное кровоснабжение опухоли и проблемы в достижении гемостаза [24].

Основная цель иМРТ — выявление остаточной ткани опухоли. В хирургии контраст-позитивных опухолей мы обращаем внимание на зону нарушения целостности гематоэнцефалического барьера — область накопления контраста на стандартных T1-взвешенных изображениях. Все методики получения изображения в этом случае должны быть направлены на улучшение выявления именно этой зоны [19]. Несмотря на совершенствование методик МРТ, широкого распространения в мире и России они еще не получили, одна из причин — высокая стоимость оборудования.

По сравнению с низкопольными системами для иМРТ высокопольные томографы имеют ряд важных преимуществ: лучшее качество изображения и отношение «сигнал—шум» — лучшее отображение перифокальной зоны инфильтрации, возможность проведения трактографии и функциональной МРТ, меньшее время сканирования, лучшее пространственное разрешение [18, 20].

Использование иМРТ может помочь диагностировать различные осложнения (кровоизлияния, окклюзия ликворопроводящих путей) во время операции и соответственно диагностике менять тактику операции [20].

Отдельная тема исследований — безопасность при проведении иМРТ. В связи с увеличением объема резекции может увеличиваться и риск осложнений. По данным S. Voglis и соавт. (2021), при проведении дополнительной резекции после иМРТ отмечается статистически значимое увеличение объема ишемических изменений (от 0,4 до 3 см³, по данным DWI) вокруг зоны резекции, при этом влияния на увеличение частоты неврологического дефицита не установлено [25]. Само по себе использование методики иМРТ

и проведение последующей дополнительной резекции, по данным многих авторов, не связано с нарастанием неврологического дефицита, даже при хирургическом вмешательстве в функционально значимых зонах [4, 6, 7, 18]. Одно из потенциальных преимуществ проведения иМРТ — раннее распознавание специфических осложнений, например ишемии или кровоизлияния в зоне резекции или на удалении от нее [20].

Другая проблема, возникающая при проведении иМРТ, — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОМ). Методика ИОМ с успехом применяется при удалении различных новообразований ЦНС, позволяя повысить безопасность вмешательства и увеличить его радикальность [26]. Известный эффект нагревания металла при проведении МР-сканирования часто непредсказуем для различных устройств. Официально одобренных для проведения МРТ подкожных электродов нет, поэтому во многих клиниках удаляют электроды перед проведением иМРТ с последующей их реимплантацией. Однако данный подход увеличивает время операции, создает угрозу контаминации стерильного пространства. В исследовании безопасности применения обычных субдермальных электродов, используемых для ИОМ, выявило минимальное нагревание ткани в области стояния подкожных электродов, следовательно, они могут безопасно использоваться с иМРТ — при условии нахождения электродов вне сканирующей катушки, согласия пациента и одобрения локального этического комитета. Электроды из иридия и платины вызывают меньше артефактов и меньшее нагревание в области их постановки [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впечатление хирурга о радикальности удаления опухоли может быть ошибочным, это приводит только к частичному ее удалению, что негативно влияет на исходы лечения и продолжительность жизни пациента. Методика сканирования с помощью интраоперационной магнитно-резонансной томографии во время удаления глиом головного мозга позволяет повысить онкологическую радикальность вмешательства без увеличения рисков хирургии. Показано, что при этом не возникает осложнений, связанных с увеличением продолжительности операции и транспортировкой пациента из операционной в процедурную магнитно-резонансной томографии и обратно.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Абсаямова О.В., Бекашев А.Х., Голанов А.В. и др. Первичные опухоли центральной нервной системы: Клинические рекомендации, 2019. Доступно по: https://ruans.org/Text/Guidelines/primary_brain_tumors.pdf. [Absalyamova O.V., Bekyashev A.Kh., Golanov A.V. et al. Primary central nervous system tumors: Clinical recommendations, 2019. Available at: https://ruans.org/Text/Guidelines/primary_brain_tumors.pdf. (In Russ.)].
2. Golub D., Hyde J., Dogra S. et al. Intraoperative MRI versus 5-ALA in high-grade glioma resection: a network meta-analysis. *J Neurosurg* 2020;(21):1–15. DOI: 10.3171/2019.12.JNS191203.
3. Weller M., van den Bent M., Hopkins K. et al. EANO guideline for the diagnosis and treatment of anaplastic gliomas and glioblastoma. *Lancet Oncol* 2014;15(9):e395–403. DOI: 10.1016/S1470-2045(14)70011-7.
4. Scherer M., Jungk C., Younsi A. et al. Factors triggering an additional resection and determining residual tumor volume on intraoperative MRI: analysis from a prospective single-center registry of supratentorial gliomas. *Neurosurg Focus* 2016;40(3):E4. DOI: 10.3171/2015.11.FOCUS15542.
5. Leroy H.-A., Delmaire C., le Rhun E. et al. High-field intraoperative MRI and glioma surgery: results after the first 100 consecutive patients. *Acta Neurochir (Wien)* 2019;161(7):1467–74. DOI: 10.1007/s00701-019-03920-6.
6. Senft C., Bink A., Franz K. et al. Intraoperative MRI guidance and extent of resection in glioma surgery: a randomised, controlled trial. *Lancet Oncol* 2011;12(11):997–1003. DOI: 10.1016/S1470-2045(11)70196-6.
7. Hatiboglu M.A., Weinberg J.S., Suki D. et al. Impact of intraoperative high-field magnetic resonance imaging guidance on glioma surgery: a prospective volumetric analysis. *Neurosurgery* 2009;(64):1073–81. DOI: 10.1227/01.NEU.0000345647.58219.07.
8. Lacroix M., Abi-Said D., Fournier D.R. et al. A multivariate analysis of 416 patients with glioblastoma multiforme: prognosis, extent of resection, and survival. *J Neurosurg* 2001;95(2):190–8. DOI: 10.3171/jns.2001.95.2.0190.
9. Stummer W., Reulen H.-J., Meinel T. et al. Extent of resection and survival in glioblastoma multiforme: identification of and adjustment for bias. *Neurosurgery* 2008;62(3):564–76. DOI: 10.1227/01.neu.0000317304.31579.17.
10. Chaichana K.L., Cabrera-Aldana E.E., Jusue-Torres I. et al. When gross total resection of a glioblastoma is possible, how much resection should be achieved? *World Neurosurg* 2014;82(1–2):e257–65. DOI: 10.1016/j.wneu.2014.01.019.
11. Sanai N., Berger M.S. Glioma extent of resection and its impact on patient outcome. *Neurosurgery* 2008;62(4):753–64. DOI: 10.1227/01.neu.0000318159.21731.cf.
12. McGirt M.J., Chaichana K.L., Gathinji M. et al. Independent association of extent of resection with survival in patients with malignant brain astrocytoma. *J Neurosurg* 2009;110(1):156–62. DOI: 10.3171/2008.4.17536.
13. Brown T.J., Brennan M.C., Li M. et al. Association of the extent of resection with survival in glioblastoma: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Oncol* 2016;2(11):1460–9. DOI: 10.1001/jamaoncol.2016.1373.
14. Smith J.S., Chang E.F., Lamborn K.R. et al. Role of extent of resection in the long-term outcome of low-grade hemispheric gliomas. *Clin Oncol* 2008;26:1338–45. DOI: 10.1200/JCO.2007.13.9337.
15. Claus E.B., Horlacher A., Hsu L. et al. Survival rates in patients with low-grade glioma after intraoperative magnetic resonance image guidance. *Cancer* 2005;103(6):1227–33. DOI: 10.1002/cncr.20867.
16. Bradley W.G. Achieving gross total resection of brain tumors: intraoperative MR imaging can make a big difference. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002;23(3):348–9.
17. Masuda Y., Akutsu H., Ishikawa E. et al. Evaluation of the extent of resection and detection of ischemic lesions with intraoperative MRI in glioma surgery: is intraoperative MRI superior to early postoperative MRI? *J Neurosurg* 2018;131(1):209–16. DOI: 10.3171/2018.3.JNS172516.
18. Zhang J., Chen X., Zhao Y. et al. Impact of intraoperative magnetic resonance imaging and functional neuronavigation on surgical outcome in patients with gliomas involving language areas. *Neurosurg Rev* 2015;38(2):319–30. DOI: 10.1007/s10143-014-0585-z.
19. Finck T., Gempt J., Krieg S.M. et al. Assessment of the extent of resection in surgery of high-grade glioma—evaluation of black blood sequences for intraoperative Magnetic Resonance Imaging at 3 Tesla. *Cancers (Basel)* 2020;12(6):1580. DOI: 10.3390/cancers12061580.
20. Ginat D.T., Swearingen B., Curry W. et al. 3 Tesla intraoperative MRI for brain tumor surgery. *J Magn Reson Imaging* 2014;39(6):1357–65. DOI: 10.1002/jmri.24380.
21. Дмитриев А.Ю., Дашьян В.Г. Интраоперационная магнитно-резонансная томография в хирургии глиом больших полушарий. Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко 2022;86(1):121–7. [Dmitriev A.Yu., Dashyan V.G. Intraoperative magnetic resonance imaging in surgery of brain gliomas. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii imeni N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2022;86(1):121–7. (In Russ.)].
22. Ozduman K., Yildiz E., Dincer A. et al. Using intraoperative dynamic contrast-enhanced T1-weighted MRI to identify residual tumor in glioblastoma surgery. *J Neurosurg* 2014;120(1):60–6. DOI: 10.3171/2013.9.JNS121924.
23. Knauth M., Aras N., Wirtz C.R. et al. Surgically induced intracranial contrast enhancement: potential source of diagnostic error in intraoperative MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20(8):1547–53.
24. Lauer M., Lauer A., You S.-J. et al. Neurotoxicity of subarachnoid Gd-based contrast agent accumulation: a potential complication of intraoperative MRI? *Neurosurg Focus* 2021;50(1):E12. DOI: 10.3171/2020.10.FOCUS20402.
25. Voglis S., Muller T., van Niftrik C.H.B. et al. Impact of additional resection on new ischemic lesions and their clinical relevance after intraoperative 3 Tesla MRI in neuro-oncological surgery. *Neurosurg Rev* 2021;44(4):2219–27. DOI: 10.1007/s10143-020-01399-9.
26. Darcey T.M., Kobylarz E.J., Pearl M.A. et al. Safe use of subdermal needles for intraoperative monitoring with MRI. *Neurosurg Focus* 2016;40(3):E19. DOI: 10.3171/2015.12.FOCUS15555.

Вклад авторов

И.В. Григорьев: разработка дизайна исследования, сбор, обработка и анализ данных, написание статьи;
Г.Б. Акопян: разработка дизайна исследования, сбор, обработка и анализ данных, написание статьи;
С.А. Мельченко: сбор, обработка и анализ данных;
И.В. Сенько: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
И.Л. Губский: сбор и обработка данных;
А.А. Каландари: сбор, обработка и анализ данных;
О.О. Кордонская: написание статьи;
Ж.Н. Сермагамбетова: сбор, обработка и анализ данных;
В.В. Крылов: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи.

Author's contributions

I.V. Grigorev: research design of the study, data obtaining, collection and analysis, article writing;
G.B. Akopyan: research design of the study, data obtaining, collection and analysis, article writing;
S.A. Melchenko: data obtaining, collection and analysis;
I.V. Senko: research design of the study, scientific editing of the article;
I.L. Gubskiy: obtaining data for analysis;
A.A. Kalandari: data obtaining, collection and analysis;
O.O. Kordonskaya: article writing;
Zh.N. Sermagambetova: data obtaining, collection and analysis;
V.V. Krylov: research design of the study, scientific editing of the article.

ORCID авторов/ ORCID of authors

И.В. Григорьев / I.V. Grigorev: <https://orcid.org/0000-0002-1320-5772>
Г.Б. Акопян / G.B. Akopyan: <https://orcid.org/0000-0003-2889-3405>
С.А. Мельченко / S.A. Melchenko: <https://orcid.org/0000-0001-7060-0667>
И.В. Сенько / I.V. Senko: <https://orcid.org/0000-0002-5743-8279>
И.Л. Губский / I.L. Gubskiy: <https://orcid.org/0000-0003-1726-6801>
А.А. Каландари / A.A. Kalandari: <https://orcid.org/0000-0003-4161-0940>
О.О. Кордонская / O.O. Kordonskaya: <https://orcid.org/0000-0003-0432-2915>
Ж.Н. Сермагамбетова / Zh.N. Sermagambetova: <https://orcid.org/0000-0001-6546-1711>
В.В. Крылов / V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0001-5256-0905>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee.

РЕДКИЙ СЛУЧАЙ СУПРАТЕНТОРИАЛЬНОЙ ВНЕЖЕЛУДОЧКОВОЙ АНАПЛАСТИЧЕСКОЙ ЭПЕНДИМОМЫ. КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.Г. Гаврилов^{1,2}, Д.М. Чёлушкин¹, Я.А. Латышев¹, М.В. Рыжова¹, Т.Н. Панина¹

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России; Россия, 125047 Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16;

²АО Группа компаний «Медси»; Россия, 123242 Москва, ул. Красная Пресня, 16

Контакты: Данил Михайлович Чёлушкин danil.chelushkin@gmail.com

Эпендимомы составляют 1,9 % от всех первичных опухолей мозга, 3,1 % – от всех глиом, 2–9 % – от всех нейроэпителиальных опухолей. Приблизительно одна треть интракраниальных эпендимом располагается супратенториально, и они могут быть связаны с III и боковыми желудочками мозга, а могут иметь начало в белом веществе мозга без прямой связи с желудочковой системой, отдавливая прилежащую кору. Крайне редко встречаются эпендимомы, растущие непосредственно из коры (корковые), при этом они получают кровоснабжение из прилежащей твердой мозговой оболочки.

Эпендимомы задней черепной ямки обнаруживаются чаще всего у детей (средний возраст 6 лет), супратенториальные эпендимомы, как правило, манифестируют в более старшей возрастной группе. У взрослых пациентов чаще встречаются анапластические эпендимомы Grade III.

Клинические проявления экстравентрикулярных анапластических эпендимом могут быть самыми разнообразными: специфических симптомов не существует, проявления зависят от локализации и размера опухоли.

Нейровизуализационная картина неспецифична: на МРТ супратенториальные эпендимомы в режиме T1 в большинстве случаев гипо- или изоинтенсивны, в T2-режиме – изо- или гиперинтенсивны, разнообразно накапливают контрастное вещество.

По общему мнению, эпендимомы в большинстве случаев считаются неинвазивными опухолями и вызывают клинические проявления за счет эффекта лишнего объема, демонстрируя четкую границу между опухолевой и здоровыми тканями головного и спинного мозга.

Основной метод лечения эпендимом – хирургическая резекция опухоли. Пациентам с эпендимомами Grade II, с локальным рецидивом опухоли, или с эпендимомами Grade III рекомендовано комбинированное лечение: резекция опухоли с последующей радиотерапией.

В статье представлено клиническое наблюдение лечения пациентки с супратенториальной экстравентрикулярной анапластической эпендимомой. С июня 2017 г. больная стала отмечать онемение и покалывание в правой руке, правой половине нижней губы, трудности при узнавании предметов наощупь. МРТ-исследование выявило объемное образование лобно-теменной области слева. Операция удаления опухоли проведена 10.10.2017. Диагноз после окончательной биопсии: анапластическая эпендимома Grade III (B03). В течение 3 мес после операции рецидива опухоли не обнаружено.

Ключевые слова: операция удаления опухоли, эпендимома, анапластическая, супратенториальная, внежелудочковая

Для цитирования: Гаврилов А.Г., Чёлушкин Д.М., Латышев Я.А. и др. Редкий случай супратенториальной внежелудочковой анапластической эпендимомы. Клиническое наблюдение и обзор литературы. Нейрохирургия 2022; 24(2):54–61. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-54-61.

A rare case of the supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma. Case report and literature review

A.G. Gavrilov^{1,2}, D.M. Chelushkin¹, Ya.A. Latyshev¹, M.V. Ryzhova¹, T.N. Panina¹

¹N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of Russia; 16 4th Tverskaya-Yamskaya St., Moscow 125047, Russia;

²MEDSI; 16 Krasnaya Presnya St., Moscow 123242, Russia

Contacts: Danil Mikhaylovich Chelushkin danil.chelushkin@gmail.com

Ependymoma is a brain tumor accounting for 1.9 % of all benign brain tumors and 3.1 % of glial tumors and 2–9 % of all neuroepithelial tumors. Approximately one third of intracranial ependymal tumors are supratentorial. They may be attached to the ependymal walls of the III ventricle and lateral ventricles or may be sited in the white matter without direct connection to the ventricular system pressing the adjacent cortex. In very rare cases ependymomas may lie cortically with blood supply from the dura – so-called “cortical” ependymomas.

Posterior fossa ependymomas are more common in pediatric population with mean age of 6 years, whereas supratentorial ependymomas manifest in adults. In adults Grade III anaplastic ependymomas are most commonly seen.

These tumors have no specific features and clinical manifestations of extraventricular anaplastic ependymomas may vary greatly depending on localization and size of the tumor.

Supratentorial anaplastic ependymomas have no specific neuroimaging features either. Tumors are often hypo- and isointense in T1 and iso- or hyperintense in T2 sequence, Gd-enhancement is variable.

Ependymomas are considered to be non-invasive and to have a strict border with brain tissue thus leading to clinical manifestations because of mass-effect.

Surgical resection is the main treatment option for ependymoma. Patients with local Grade II tumor recurrence and patients with Grade III ependymomas should undergo radiotherapy on the tumor resection cavity.

We present a rare case of a supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma. A 21-year-old female presented to the clinic with paresthesia and numbness in right hand, right half of lower lip and astereognosis. The magnetic resonance imaging of the brain showed a mass lesion in left fronto-parietal region. At 10.10.2017 surgery was performed and tumor was resected. Histological findings matched with features of anaplastic ependymoma, WHO Grade III. There was no tumor progression during 3 months after surgery.

Key words: tumor removal surgery, ependymoma, anaplastic, supratentorial, extraventricular

For citation: Gavrilov A.G., Chelushkin D.M., Latyshev Ya.A. et al. A rare case of the supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma. Case report and literature review. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022; 24(2):54–61. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-54-61.

ВВЕДЕНИЕ

Эпендимомы составляют 1,9 % от всех первичных опухолей мозга, 3,1 % — от всех глиом, 2–9 % — от всех нейроэпителиальных опухолей [1–4].

Более 20 % первичных опухолей спинного мозга имеют эпендимарное происхождение [5]. Приблизительно одна треть интракраниальных эпендимом располагается супратенториально [1], они могут быть связаны с III и боковыми желудочками мозга, а могут иметь начало в белом веществе мозга без прямой связи с желудочковой системой, отдавливая прилежащую кору. Крайне редко встречаются эпендимомы, растущие непосредственно из коры (корковые), при этом они получают кровоснабжение из прилежащей твердой мозговой оболочки [6, 7].

У детей 10-летняя общая выживаемость составляет около 64 %, у взрослых — от 70 до 89 % [8].

В соответствии с классификацией опухолей центральной нервной системы ВОЗ (2016) эпендимомы разделяются на следующие опухоли:

- Grade I (субэпендимома, миксопапиллярная эпендимома);
- Grade II (эпендимома 3-го типа);
- Grade III (анапластическая эпендимома);
- эпендимома RELA-fusion позитивная [9].

В статье представлено клиническое наблюдение лечения пациентки с супратенториальной экстравентрикулярной анапластической эпендимомой.

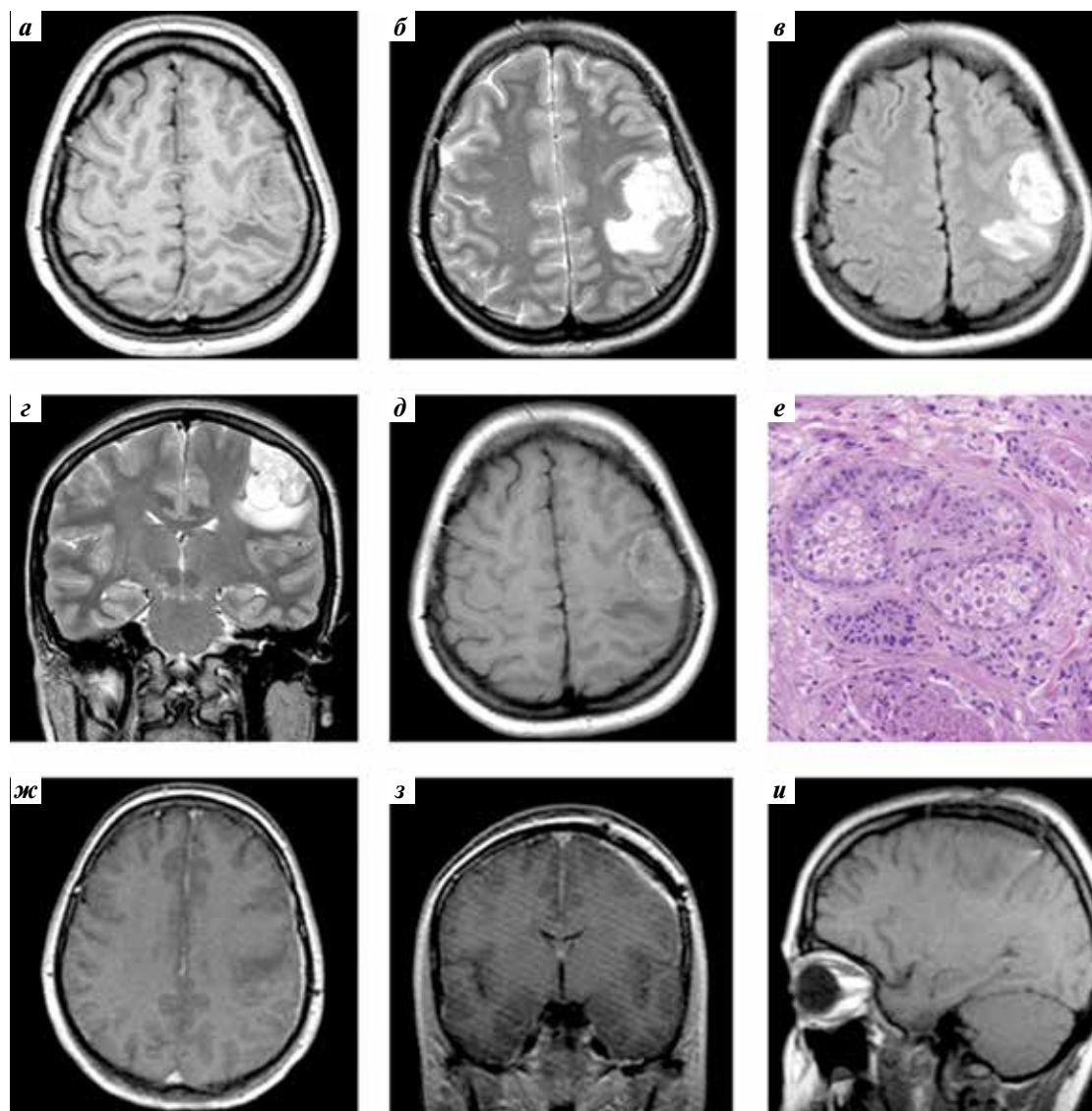
КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациентка У., 21 года, с июня 2017 г. стала отмечать онемение и покалывание в правой руке, правой половине нижней губы, трудности при узнавании предметов наощупь. Пароксизмы онемения и покалывания в руке длились в течение 2 ч. В дальнейшем повторялись приступы с аналогичными ощущениями, длительностью до 5 мин, с тенденцией к учащению. С осени 2017 г. отметила ухудшение состояния. По собственной инициативе выполнила МРТ головы, которая выявила у пациентки объемное образование лобно-теменной области слева.

В НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко при осмотре больной в неврологическом статусе отмечены: отчетливый прозопарез справа при проведении мимических проб, недостаточность XII нерва справа, проявляющаяся девиацией языка вправо. Клинико-рентгенологическая картина первоначально расценивалась как менингиома заднелобно-теменной области слева. Перед операцией сделана МРТ в режимах T1, T2, T2-FLAIR, T1 с контрастным усилением (см. рисунок).

В НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко 10.10.2017 пациентке У. проведена операция по удалению опухоли с интраоперационным нейрофизиологическим мониторингом, флуоресцентной и УЗ-навигацией.

Обнаруженная во время операции опухоль раздвигала интактные извилины. Опухоль была припаяна к ТМО, обнаружались зоны инфильтрации последней. При стимуляции коры в пределах краниотомии моторных



Предоперационная МРТ пациентки У., 21 года: супратенториальная внежелудочковая анапластическая эпендимома ВОЗ Grade III. Режимы: а — T1; б, з — T2; в — T2-FLAIR; д — T1 с контрастным усилением; е — гистологическая картина (окраска гематоксилин-эозином, увеличение $\times 200$). Послеоперационная МРТ с контрастным усилением: ж—и — через 3 мес после операции

Patient Y., 21 years old: supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma. Preoperative MRI: а — T1; б, з — T2; в — T2-FLAIR; д — T1 with contrast enhancement; е — hematoxylin and eosin staining, 200-fold increase. Postoperative MRI with contrast enhancement: ж—и — 3 months after surgery

ответов не было получено. В режиме BL 400 опухоль флуоресцировала интенсивным розовым цветом. Опухоль была легко отделена в плоскости арахноидальной диссекции от окружающих извилин без инфильтрации мозгового вещества (лишь в глубине инфильтрировала паутинную и мягкую мозговую оболочку) и удалена кускованием (несколько больших фрагментов).

Результат окончательной биопсии: анапластическая эпендимома Grade III (ВОЗ). Иммуногистохимическое исследование: положительная экспрессия глиального фибриллярного кислого белка (ГФКБ), слабо положительная экспрессия синаптофизина, точечная цитоплазматическая экспрессия эпителиального мембранного антигена (ЕМА). Отрицательная экспрессия прогестерона. Иммуногистохимическое исследование

с определением пролиферативной активности: экспрессия Ki-67 до 20 %.

В послеоперационном периоде пациентка проконсультирована врачами — радиологом и химиотерапевтом. Проведен курс лучевой терапии с СОД 60 Гр. На 19.01.2018 данных за прогрессию опухоли нет. Неврологический статус без отрицательной динамики. Продолжается динамическое наблюдение.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен поиск актуальной литературы в системе MEDLINE по ключевым словам: ependymoma, anaplastic, supratentorial, extraventricular. Всего выделено 45 статей, большинство из которых представляют описание одного клинического случая (single case-report)

эпендимомы супратенториальной локализации [10]. В таблице представлены сводные данные из найденных публикаций с клиническими случаями супратенториальных внежелудочковых анапластических эпендимом у взрослых.

Теории происхождения. Ряд исследователей предполагают, что эпендимомы супратенториальной локализации могут происходить из интрапаренхиматозных или субарахноидальных очагов эпендимарных кист, появившихся вследствие врожденного нарушения миграции эмбриональных клеток [7, 11, 12]. Иная теория состоит в том, что изначально опухоль растет как примитивная нейроэктодермальная, которая позже дифференцируется в эпендимому [11]. Другие авторы указывают на возможный рост опухоли из эктопических эпендимарных клеток вследствие нарушения их физиологической миграции [11].

Распределение. Эпендимомы задней черепной ямки обнаруживаются чаще всего у детей (средний возраст 6 лет), супратенториальные эпендимомы, как правило, манифестируют в более старшей возрастной группе [13]. По данным большинства авторов, средний возраст манифестации супратенториальной эпендимомы составляет от 24,5 [14] до 30–31 года [15, 16].

Супратенториальные эпендимомы — чаще экстравентрикулярные большие кистозные кальцинированные опухоли, более часто наблюдаемые у детей и подростков [17].

Распределение эпендимом по степени тяжести:

- в детской популяции: Grade II — 60 %, Grade III — немного более 38 %, Grade I — менее 2 % случаев;
- среди взрослых пациентов: чаще встречаются анапластические эпендимомы Grade III [5, 18–20].

Клинические проявления. Специфических симптомов экстравентрикулярных анапластических эпендимом не существует, проявления зависят от локализации и размера опухоли и могут быть самыми разнообразными. Поскольку самое частое расположение опухоли — лобная и височная доли [10], то чаще всего эти эпендимомы манифестируют эпилептическими припадками [12, 14, 18, 21–23]. Другие наиболее частые симптомы — общемозговые: головная боль [12, 16, 24], тошнота и рвота [16, 24], очаговая неврологическая симптоматика в виде моторного дефицита [12, 16, 23].

Нейровизуализационная картина неспецифична: на МРТ супратенториальные эпендимомы в большинстве случаев гипо- или изоинтенсивны в T1-режиме, изо- или гиперинтенсивны — в T2-режиме, разнообразно накапливают контрастное вещество и могут мимикрировать под различные опухоли [12, 13, 24]. Вариабельная МР-картина определяется наличием кальцификатов, зоны некроза, кровоизлияния и кистозного компонента опухоли [16].

По общему мнению, эпендимомы в большинстве случаев считаются неинвазивными опухолями

и вызывают клинические проявления за счет эффекта лишнего объема, демонстрируя четкую границу между опухолевой и здоровыми тканями головного и спинного мозга [1, 9].

Дифференциальный диагноз. В зависимости от расположения и вида опухоли на предоперационном этапе следует учитывать ряд образований при дифференциальном диагнозе:

- астроцитома [12] (в том числе глиобластома в случае некротического очага в центре);
- ганглиоглиома;
- ганглиоцитома [19];
- олигодендроглиома [12, 13];
- менингиома [13, 16];
- астробластома [23];
- примитивные нейроэктодермальные опухоли [12, 19, 25, 26] (исключены в классификации ВОЗ (2016);
- атипические тератомы;
- рабдомиоидные опухоли у детей [25].

Методы лечения. Основным методом лечения эпендимом — хирургическая резекция опухоли. Пациенты с эпендимомами низкой степени злокачественности (Grade I–II) могут наблюдаться динамически, без последующего облучения после хирургии [12, 18, 21, 22]. Больным с эпендимомами Grade II, с локальным рецидивом опухоли или с эпендимомами Grade III рекомендовано комбинированное лечение: резекция опухоли с последующей радиотерапией [14–16].

Химиотерапевтическое лечение рутинно не проводится у данных пациентов [13], хотя некоторые авторы говорят об эффективности применения химиотерапии [16] в случае высокой митотической активности и повышенной плотноклеточности опухолей [18], поскольку высокая митотическая активность служит достоверным прогностическим фактором прогрессии опухоли [27], как и степень ее резекции [1, 27–31].

ВЫВОДЫ

1. Эпендимома супратенториальной экстравентрикулярной локализации — редкая опухоль, которая может маскироваться под другие внутри- и вне-мозговые опухоли. При обнаружении суправентрикулярного опухолевого кистозного образования у пациентов молодого возраста возможно думать об эпендимоме.
2. Применение нейрофизиологического мониторинга, даже при удалении предположительно вне-мозговых опухолей в моторных зонах коры, оказывается оправданным в случаях инфильтрации опухолью мозгового вещества.
3. Основным эффективным методом лечения эпендимом любых локализаций остается радикальное удаление опухоли с последующим адъювантным лечением.
4. Нерадикальное удаление опухоли — фактор, влияющий на рецидив опухоли.

Сводные данные из публикаций в мировой литературе, включающих клинические случаи супратенториальных внежелудочковых анапластических эпендимом у взрослых
Summary data from publications in the world literature, which includes clinical cases of supratentorial extraventricular anaplastic ependymomas in adults

Год Year	Автор Author	Серия Series	Средний возраст пациентов Mean age of patients	Локализация эпенди- омы Ependymoma localization	Клиническая картина Clinical features	Выживаемость Survivability
2018	M. Wang et al. [15]	55	30	Наиболее частая – лобные и теменные доли Most common – frontal and parietal lobes	Головная боль, эпилептические приступы, общая слабость Headache, seizures, weakness	Общая выживаемость – 82 мес; 3-, 5- и 10-летняя безрецидивная выживаемость состави- ла 60, 49 и 36 % соответственно; 3-, 5- и 10-летняя общая выживаемость составила 79, 64 и 49 % соответственно overall survival – 82 months; 3-, 5-, 10-year progression-free survival was 60, 49, 36 % respectively; 3-, 5-, 10-year overall survival was 79, 64, 49 % respectively
2017	S. Sun et al. [14]	14	24	Наиболее частая – лобные и теменные доли Most common – frontal and parietal lobes	Головная боль, эпилептические приступы, общая слабость Headache, seizures, weakness	Глубина катамнеза: от 8 до 39 (в среднем 22,6) мес; безрецидивная выживаемость у 3 из 4 наблюдаемых пациентов: 18, 15 и 18 мес; скончались от прогрессии опухоли: 2 пациента Follow-up ranged from 8 to 39 months (22.6 months, average); progression-free survival was 18, 15 and 18 month in 3 of 4 cases; 2 patients died from tumor progression
2016	X. Leng et al. [24]	8	–	Лобные, височные и теменные доли, таламус Frontal, temporal and parietal lobes	Головная боль, тошнота, рвота, гипестезия Headache, nausea, vomiting, hypesthesia	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown
2016	Y. Yang et al. [16]	2	30, 47	Лобная доля и височ- но-затылочная область Frontal lobe and temporo- occipital region	Эпилептические приступы; нарушение походки, гемипарез, выпадение полей зрения Seizures, ataxia, hemiparesis, hemianopsia	Глубина катамнеза: 53 и 28 мес, без рецидивов Follow-up 53 and 28 months. There was no tumor progression
2014	M.-H. Han et al. [32]	1	23	Затылочная доля Occipital lobe	Резкая головная боль, выпадение полей зрения Severe headache, hemianopsia	Продолженный рост через 4 года Tumor progression after 4 years
2014	N. Iwamoto et al. [33]	1	61	Височная доля Temporal lobe	Головная боль Headache	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown
2012	V. Singh et al. [34]	1	35	Лобная доля, средняя треть серповидного отростка Frontal lobe, middle third of falx	Парциальные эпилептические приступы в правой руке, вторично генерализованные приступы Partial seizures in right hand, secondary generalized seizures	Без рецидива в течение 1 года после операции No tumor progression during 1 year after surgery
2011	P. Salunke et al. [12]	1	43	Теменно-затылочная область Parieto-occipital region	Головная боль, прогрессирующее сужение полей зрения Headache, progressing hemianopsia	Без рецидива в течение 6 мес после операции No tumor progression during 6 months after surgery

Окончание таблицы
End of table

Год Year	Автор Author	Серия Series	Средний возраст пациентов Mean age of patients	Локализация эпилеп- томы Ependymoma localization	Клиническая картина Clinical features	Выживаемость Survivability
2009	T.N. Niazi et al. [18]	3	18, 28, 36	Лобная, теменно-ви- сочная области Frontal, parieto-temporal region	Генерализованные клонико- тонические судороги Generalized seizures	Без рецидива в течение 14, 29, 42 мес после операции No tumor progression during 14, 29, 42 months after surgery
2008	P. Metellus et al. [35]	25	44	Большие полушария Cerebral hemispheres	Судорожные приступы, фокальный неврологический дефицит, поведенческие расстройства Seizures, focal neurological deficit, behavioural disorder	Общая 5- и 10-летняя выживаемость: 57,1 и 41,8 % соответственно; 5- и 10-летняя безрецидивная выживаемость: 33,8 и 25,4 % соответственно 5-, 10-year overall survival: 57.1 and 41.8 % respectively; 5-, 10-year progression-free survival: 33.8 and 25.4 % respectively
2003	T. Goto et al. [36]	1	29	Лобная доля Frontal lobe	Генерализованный клонико-тониче- ский приступ, гемипарез Generalized seizure, hemiparesis	Без рецидива в течение 9 мес после операции No tumor progression during 9 months after surgery
2002	H. Takeshima et al. [37]	1	70	Лобная доля Frontal lobe	Деменция, поведенческие расстройства Dementia, behavioral disorder	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown
2001	A.S. Youkilis et al. [38]	1	20	Лобно-теменная область, серповидный отросток Fronto-parietal region, falx	Фокальные судорожные приступы в правой руке Focal seizures in right hand	Без рецидива в течение 1 мес после операции No tumor progression during 1 month after surgery
2000	Y. Sato et al. [39]	1	41	Лобно-теменная область Fronto-parietal region	Монопарез в правой руке Monoparesis in right hand	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown
1999	T. Saito et al. [40]	1	63	Левая теменная доля Left parietal lobe	Приступы с потерей сознания Seizures with loss of consciousness	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown
1976	R.E. Hanchey et al. [41]	1	29	Лобная доля, серпо- видный отросток Frontal lobe, falx	Поведенческие расстройства, нарушение памяти Behavioral disorder, memory impairment	Единичный клинический случай. Катамнез не известен Single case report. Follow-up is unknown

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Palma L., Celli P., Mariottini A. et al. The importance of surgery in supratentorial ependymomas. Long-term survival in a series of 23 cases. *Childs Nerv Syst* 2000;16(3):170–5. DOI: 10.1007/s003810050487.
- Hoffman S., Propp J.M., McCarthy B.J. Temporal trends in incidence of primary brain tumors in the United States, 1985–1999. *Neuro Oncol* 2006;8(1):27–37. DOI: 10.1215/S1522851705000323.
- Massimino M., Buttarelli F.R., Antonelli M. et al. Intracranial ependymoma: factors affecting outcome. *Future Oncol* 2009;5(2):207–16. DOI: 10.2217/14796694.5.2.207.
- Chen L., Zou X., Wang Y. et al. Central nervous system tumors: A single center pathology review of 34,140 cases over 60 years. *BMC Clinical Pathology* 2013;13:14. DOI: 10.1186/1472-6890-13-14.
- Pajtler K.W., Witt H., Sill M. et al. Molecular classification of ependymal tumors across all CNS compartments, histopathological grades, and age groups. *Cancer Cell* 2015;27(5):728–43. DOI: 10.1016/j.ccell.2015.04.002.
- Lehman N.L., Jorden M.A., Huhn S.L. et al. Cortical ependymoma. A case report and review. *Pediatr Neurosurg* 2003;39(1):50–4. DOI: 10.1159/000070881.
- Hayashi K., Tamura M., Shimozuru T. Extra-axial ependymoma – case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 1994;34(5):295–9. DOI: 10.2176/nmc.34.295.
- Ostrom Q.T., Gittleman H., Liao P. et al. CBTRUS statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010–2014. *Neuro Oncol* 2017;19(5 Suppl):v1–88. DOI: 10.1093/neuonc/nox158.
- WHO Classification of Tumours of the Central Nervous System. Ed. by D.N. Louis, H. Ohgaki, O.D. Wiestler, W.K. Cavenee. Lyon: IARC Press, 2016.
- Liu Z., Li J., Liu Z. et al. Supratentorial cortical ependymoma: Case series and review of the literature. *Neuropathology* 2014;34(3):243–52. DOI: 10.1111/neup.12087.
- Miyazawa T., Hirose T., Nakanishi K. et al. Supratentorial ectopic cortical ependymoma occurring with intratumoral hemorrhage. *Brain Tumor Pathol* 2007;24(1):35–40. DOI: 10.1007/s10014-007-0215-3.
- Salunke P., Kovai P., Sura S., Gupta K. Extra-axial ependymoma mimicking a parasagittal meningioma. *J Clin Neurosci* 2011;18(3):418–20. DOI: 10.1016/j.jocn.2010.04.042.
- Romero F.R., Zanini M.A., Ducati L.G. et al. Purely cortical anaplastic ependymoma. *Case Rep Oncol Med* 2012;2012:541431. DOI: 10.1155/2012/541431.
- Sun S., Wang J., Zhu M. et al. Clinical, radiological, and histological features and treatment outcomes of supratentorial extraventricular ependymoma: 14 cases from a single center. *J Neurosurg* 2018;128(5):1396–402. DOI: 10.3171/2017.1.JNS161422.
- Wang M., Zhang R., Liu X. et al. Supratentorial extraventricular ependymomas: A retrospective study focused on long-term outcomes and prognostic factors. *Clin Neurol Neurosurg* 2018;165:1–6. DOI: 10.1016/j.clineuro.2017.12.013.
- Yang Y., Tian K.B., Hao S.-Y. et al. Primary intracranial extra-axial anaplastic ependymomas. *World Neurosurg* 2016;90:704.E1–9. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.02.095.
- Furie D.M., Provenzale J.M. Supratentorial ependymomas and subependymomas: CT and MR appearance. *J Comput Assist Tomogr* 1995;19(4):518–26.
- Niazi T.N., Jensen E.M., Jensen R.L. WHO Grade II and III supratentorial hemispheric ependymomas in adults: case series and review of treatment options. *J Neurooncol* 2009;91(3):323–8. DOI: 10.1007/s11060-008-9717-z.
- Borkar S.A., Subbarao K.C., Sharma M.C., Mahapatra A.K. Cystic with mural nodule: unusual radiological presentation of supratentorial anaplastic ependymoma. *J Pediatr Neurosci* 2012;7(2):101–2. DOI: 10.4103/1817-1745.102565.
- Shuangshoti S., Rushing E.J., Mena H. et al. Supratentorial extraventricular ependymal neoplasms: a clinicopathologic study of 32 patients. *Cancer* 2005;103(12):2598–605. DOI: 10.1002/cncr.21111.
- Yadav Y.R., Neha, Chandrakar S.K. Pure cortical supratentorial extraventricular ependymoma. *Neurol India* 2009;57(2):213–5. DOI: 10.4103/0028-3886.51301.
- Roncaroli F., Consales A., Fioravanti A., Cenacchi G. Supratentorial cortical ependymoma: report of three cases. *Neurosurgery* 2005;57(1):E192. DOI: 10.1227/01.NEU.0000164171.29292.D6.
- Nakamizo S., Sasayama T., Kondoh T. et al. Supratentorial pure cortical ependymoma. *J Clin Neurosci* 2012;19(10):1453–5. DOI: 10.1016/j.jocn.2011.09.039.
- Leng X., Tan X., Zhang C. et al. Magnetic resonance imaging findings of extraventricular anaplastic ependymoma: a report of 11 cases. *Oncol Lett* 2016;12(3):2048–54. DOI: 10.3892/ol.2016.4825.
- Hamano E., Tsutsumi S., Nonaka Y. et al. Huge Supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma presenting with massive calcification – case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2010;50(2):150–3. DOI: 10.2176/nmc.50.150.
- Lin E.C., Escott E.J., Garg K.D. et al. Practical differential diagnosis for CT and MRI. New York: Thieme Medical Publishers, 2008. 304 p.
- Lehman N.L. Patterns of brain infiltration and secondary structure formation in supratentorial ependymal tumors. *J Neuropathol Exp Neurol* 2008;67(9):900–10. DOI: 10.1097/NEN.0b013e31818521cd.
- Schwartz T.H., Kim S., Glick R.S. et al. Supratentorial ependymomas in adult patients. *Neurosurgery* 1999;44(4):721–31. DOI: 10.1097/00006123-199904000-00018.
- Wolfsberger S., Fischer I., Hofberger R. et al. Ki-67 immunolabeling index is an accurate predictor of outcome in patients with intracranial ependymoma. *Am J Surg Pathol* 2004;28(7):914–20. DOI: 10.1097/00000478-200407000-00011.
- Kurt E., Zheng P.-P., Hop W.C.J. et al. Identification of relevant prognostic histopathologic features in 69 intracranial ependymomas, excluding myxopapillary ependymomas and subependymomas. *Cancer* 2006;106(2):388–95. DOI: 10.1002/cncr.21608.
- Vinchon M., Soto-Ares G., Riffaud L. et al. Supratentorial ependymoma in children. *Pediatr Neurosurg* 2001;34(2):77–87. DOI: 10.1159/000055999.
- Han M.-H., Park K.-S., Park S.-H., Hwang J.-H. Supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma presenting with repeated intratumoral hemorrhage. *Brain Tumor Res Treat* 2014;2(2):81–6. DOI: 10.14791/btrt.2014.2.2.81.
- Iwamoto N., Murai Y., Yamamoto Y. et al. Supratentorial extraventricular anaplastic ependymoma in an adult with repeated intratumoral hemorrhage. *Brain Tumor Pathol* 2014;31(2):138–43. DOI: 10.1007/s10014-013-0146-0.
- Singh V., Turel M.K., Chacko G. et al. Supratentorial extra-axial anaplastic ependymoma mimicking a meningioma. *Neurol India* 2012;60(1):111–3. DOI: 10.4103/0028-3886.93608.
- Metellus P., Figarella-Branger D., Guyotat J. et al. Supratentorial ependymomas: prognostic factors and outcome analysis in a retrospective series of 46 adult patients. *Cancer* 2008;113(1):175–85. DOI: 10.1002/cncr.23530.
- Goto T., Ohata K., Tsuyuguchi N. et al. Extra-axial subarachnoid ependymoma

- of the cerebral convexity. *Acta Neurochir (Wien)* 2003;145(10):913–7.
DOI: 10.1007/s00701-003-0103-5.
37. Takeshima H., Kawahara T., Uchida H. et al. Brain surface ependymoma with repeated episodes of intratumoral hemorrhage — case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2002;42(4):166–9.
DOI: 10.2176/nmc.42.166.
38. Youkilis A.S., Park P., McKeever P.E., Chandler W.F. Parasagittal ependymoma resembling falcine meningioma. *Am J Neuroradiol* 2001;22(6):1105–8.
39. Sato Y., Ochiai H., Yamakawa Y. et al. Brain surface ependymoma. *Neuropathology* 2000;20(4):315–8.
DOI: 10.1046/j.1440-1789.2000.00355.x.
40. Saito T., Oki S., Mikami T. et al. Supratentorial ectopic ependymoma: a case report. *No Shinkei Geka* 1999;27(12):1139–44. (In Jap.)
41. Hanchey R.E., Stears J.C., Lehman R.A., Norenberg M.D. Interhemispheric ependymoma mimicking falx meningioma. Case report. *J Neurosurg* 1976;45(1):108–12.
DOI: 10.3171/jns.1976.45.1.0108.

Вклад авторов

А.Г. Гаврилов: разработка концепции и дизайна исследования, написание статьи, редактирование статьи;
Д.М. Чёлушкин: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание статьи, редактирование статьи;
Я.А. Латышев: сбор и обработка материала, редактирование статьи;
М.В. Рыжова: научное редактирование статьи;
Т.Н. Панина: редактирование статьи.

Authors' contributions

A.G. Gavrilo: research idea and design of the study, article writing, editing of the article;
D.M. Chelushkin: research idea and design of the study, obtaining data for analysis, statistical analysis, article writing, editing of the article;
Ya.A. Latyshev: obtaining data for analysis, editing of the article;
M.V. Ryzhova: scientific editing of the article;
T.N. Panina: editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.Г. Гаврилов / A.G. Gavrilo: <https://orcid.org/0000-0002-5244-2404>
Д.М. Чёлушкин / D.M. Chelushkin: <https://orcid.org/0000-0003-3599-7237>
Я.А. Латышев / Ya.A. Latyshev: <https://orcid.org/0000-0002-7125-5962>
М.В. Рыжова / M.V. Ryzhova: <https://orcid.org/0000-0001-7206-6365>
Т.Н. Панина / T.N. Panina: <https://orcid.org/0000-0001-6156-0085>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

АРАХНОИДАЛЬНАЯ КИСТА МОСТОМОЗЖЕЧКОВОГО УГЛА С МАСС-ЭФФЕКТОМ: КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

S. Apostolakis, A. Karagianni, I. Mylonakis, K. Vlachos

KAT General Hospital of Attica; Kifisia 145 61, Greece

Контакты: Sotirios Apostolakis sotapostolakis@gmail.com

Введение. Арахноидальные кисты – доброкачественные образования, составляющие около 1 % от всех объемных образований головного мозга. В большинстве случаев они бессимптомны, однако если кисты оказывают масс-эффект на окружающие ткани, то в этом случае проводится хирургическая фенестрация.

Цель исследования: описать клинический случай и лечение пациентки с арахноидальными кистами мостомозжечкового угла.

Материалы и методы. Пациентка, 53 лет, направлена в отделение нейрохирургии Больницы общего профиля КАТ Attica (Греция) для хирургического лечения. Больная жаловалась на покалывание и каузалгию в левой половине лица, расстройство артикуляции (дизартрия), хрипоту (дисфония), проблемы с глотанием твердой пищи и жидкостей (дисфагия), шум в ушах и боль (вдоль глазной ветви тройничного нерва).

Результаты. Пациентке провели ретросигмоидальную краниотомию с фенестрацией кисты и одновременной установкой шунта по Торкильдсену. Полное удаление капсулы кисты не сделано, поскольку образование плотно прилегало к соседним структурам. После операции у пациентки наблюдалось улучшение артикуляции и глотания.

Заключение. Несмотря на доброкачественность, кисты мостомозжечкового угла могут проявляться клинически в результате сдавливания соседних структур. Простой фенестрации кисты может быть достаточно для исчезновения симптомов.

Ключевые слова: арахноидальная киста, мостомозжечковый угол, черепные нервы, клинический случай, хирургическая фенестрация

Для цитирования: Apostolakis S., Karagianni A., Mylonakis I., Vlachos K. Арахноидальная киста мостомозжечкового угла с масс-эффектом: клиническое наблюдение. Нейрохирургия 2022;24(2):62–5. (На англ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-62-65.

Mass phenomena from a cerebellopontine angle arachnoid cyst: case report

S. Apostolakis, A. Karagianni, I. Mylonakis, K. Vlachos

KAT General Hospital of Attica; Kifisia 145 61, Greece

Contacts: Sotirios Apostolakis sotapostolakis@gmail.com

Introduction. Arachnoid cysts are benign lesions comprising about 1 % of all intracranial space occupying lesions. The majority are asymptomatic, while surgical intervention, consisting of fenestration, is suggested in the presence of mass phenomena.

The aim of the study – to present the case of a patient with arachnoid cysts in the cerebellopontine angle and its treatment.

Materials and methods. A 53-years old female patient was referred to our Department of Neurosurgery for the surgical management of a cerebellopontine angle mass. The patient reported tingling sensation and causalgia of her left hemiface, dysarthria, hoarseness, difficulty swallowing solid food and liquids, tinnitus and pain distributed along the ophthalmic branch of the trigeminal nerve.

Results. The patient was subjected to retrosigmoid craniotomy with fenestration of the cyst and concurrent placement of a Torkildsen shunt. No complete resection of the capsule of the cyst was attempted, due to its tight adhesions to the adjacent structures. Postoperatively, there was an improvement in the dysarthria and swallowing of the patient.

Conclusions. Cerebellopontine angle cystic lesions while histologically benign, may become clinically apparent due to compression of adjacent structures. Simple fenestration of the cyst may be sufficient for the remission of symptoms.

Key words: arachnoid cyst, cerebellopontine angle, cranial nerves, clinical case, fenestration surgery

For citation: Apostolakis S., Karagianni A., Mylonakis I., Vlachos K. Mass phenomena from a cerebellopontine angle arachnoid cyst: case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):62–5. (In Eng.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-62-65.

INTRODUCTION

The cerebellopontine angle (CPA) is a restricted anatomic area with an abundance of key structures. Due to the limited free space available, the presence of virtually any space-occupying lesion could give rise to symptoms due to the compression of any cranial nerve or the cerebellum.

Arachnoid cysts are intradural, extramedullary collections of cerebrospinal fluid that can be manifested as space-occupying lesions and are considered histologically benign. They are incidental findings particularly in children, with a male predominance of 2 : 1, however this ratio inverses for cases involving the CPA [1]. Interestingly, arachnoid cysts affect more commonly the right CPA than the left [2]. For the majority of cases simple observation is recommended, whereas surgical management with fenestration of the cyst is restricted only for the symptomatic ones.

As far as the latter are concerned, cases of arachnoid cysts causing obstructive hydrocephalus, have been reported [3]. This manifestation may arise secondary to lesions found in the suprasellar, prepontine, third ventricle, or the posterior fossa region. The appearance of cranial nerve palsy and ataxia induced from an arachnoid cyst of the CPA is a rather uncommon finding [4–6].

MATERIALS AND METHODS

A 53-years old female patient with a medical history insignificant of any pathology, was referred to our Department for the surgical management of a newly diagnosed CPA-mass. The patient reported the presentation of tingling sensation and causalgia of the left hemiface twenty days prior to her admission. Over time, her symptoms worsened and upon admission she presented with dysarthria, hoarseness, difficulty swallowing solid food and liquids, tinnitus and pain distributed along the ophthalmic branch of the trigeminal nerve.

Physical examination revealed left hypoesthesia of the face, left mouth droop, rightward deviation of the uvula, left hemiparesis including shoulder elevation, a positive Romberg sign as well as left dysmetria and dysidiadochokinesia.

Magnetic resonance imaging with intravenous administered contrast, demonstrated the presence of an unenhanced, hypointense in T1W (Fig. 1 *a, b, c*), iso- to hyperintense in T2W (Fig. 1 *d, e*) and isointense in T2 FLAIR images (Fig. 2 *a, b*) with restriction of diffusion (Fig. 2 *c*) mass in the left CPA, compressing the medulla oblongata. The vascular structures, including the left vertebral artery, which traversed the lesion, appeared patent.

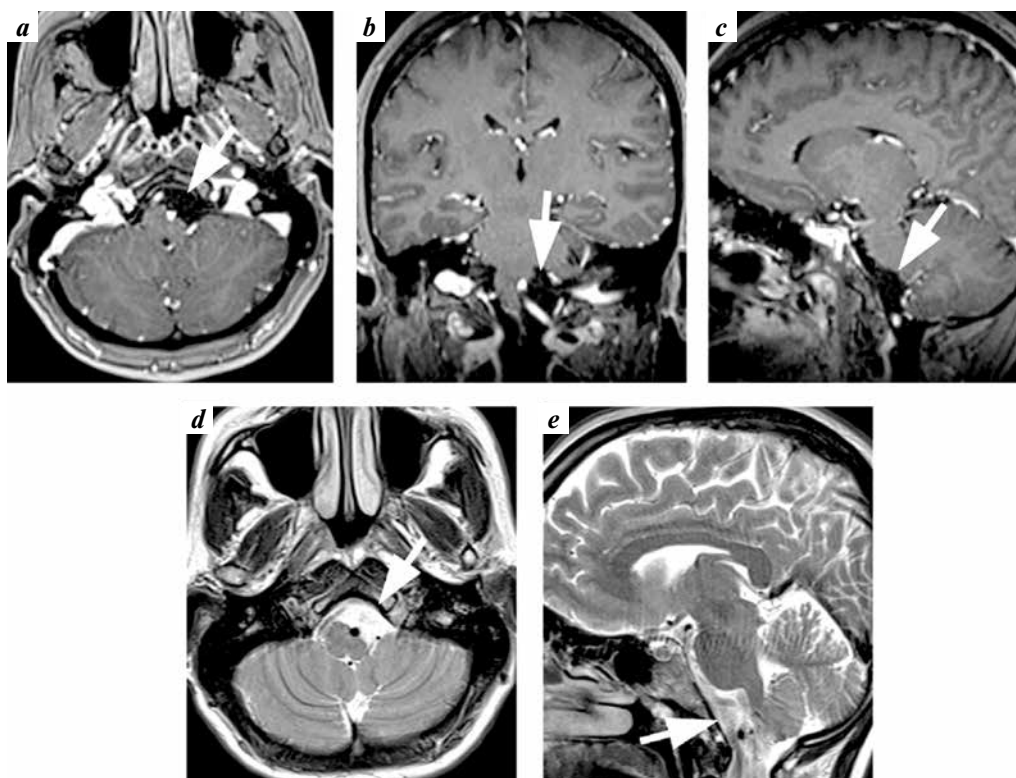


Fig. 1. MRI scan demonstrated the presence of an unenhancing hypointense in T1W lesion in the CPA (*a–c*) and iso- to hyperintense in T2W (*d, e*)

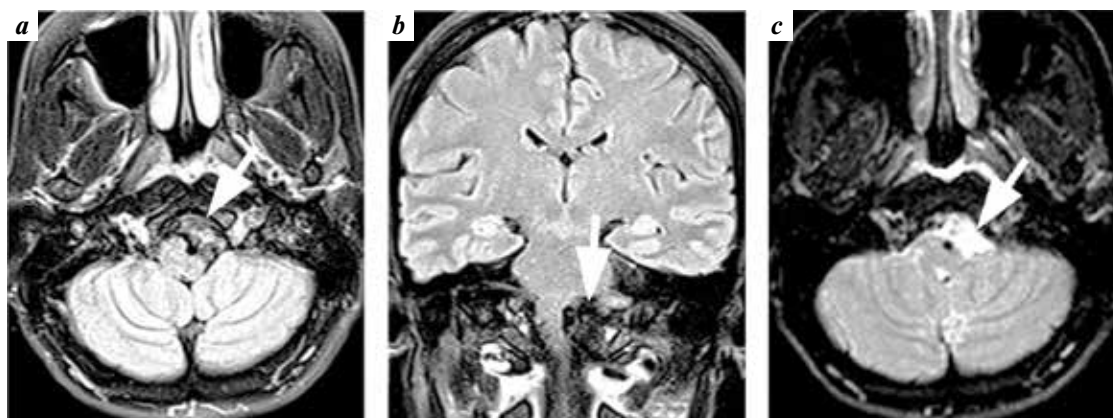


Fig. 2. Further evaluation demonstrated an isointense lesion in T2 FLAIR images (a, b) with restriction of diffusion in diffusion weighted imaging (c)

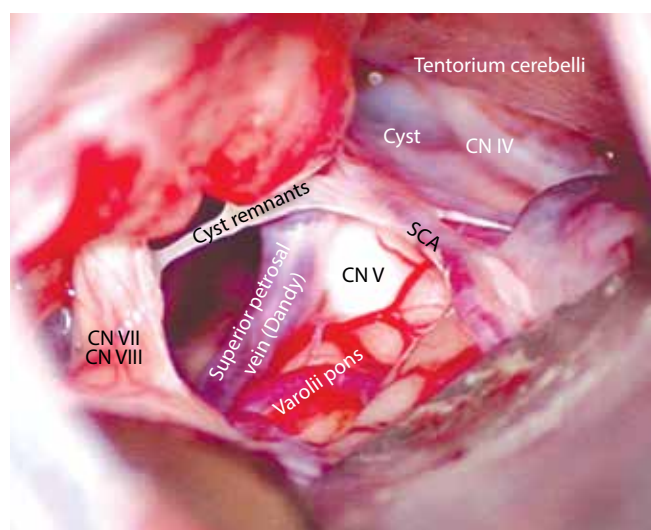


Fig. 3. Intraoperative photograph. The cyst and the local anatomy: IV, V, VII, VIII cranial nerves; superior cerebellar artery (SCA) and others

RESULTS

The patient was subjected to retrosigmoid craniotomy (Fig. 3) with fenestration of the cyst and concurrent placement of a Torkildsen shunt. No complete resection of the capsule of the cyst was attempted, due to its tight adhesions to the adjacent structures, rendering the danger for inadvertent nerve damage highly possible. Tissue was not harvested for histological examination, as the majority of the cyst had been removed during the mobilisation of the surrounding structures. Postoperatively, there was an improvement in the dysarthria and swallowing of the patient. MRI demonstrated reduction of mass phenomena on the medulla oblongata (Fig. 4). Upon re-evaluation 3 months postoperatively, complete remission of the neurological deficits was identified. The patient remains free of neurological symptoms or radiological evidence of recurrence of the cyst 1 year after the operation.

The patient provided a written informed consent for the release of his case history and of the visual material published in the present paper.

DISCUSSION

In the present work, we report the case of a patient with V, VII, VIII, X, XI cranial nerve palsy and ataxia induced from a CPA arachnoid cyst.

Cerebellopontine angle cystic lesions while histologically benign, may become clinically apparent due to compression of adjacent structures. Simple fenestration of the cyst may be sufficient for the remission of the symptoms.

The differential diagnosis of an arachnoid cyst includes but is not limited to Rathke's cleft cyst, craniopharyngioma endodermal and epidermoid cysts, with the latter being the most challenging to differentiate from.

When comparing the radiological features of arachnoid cysts with those of epidermoids, the former have the same signal intensity as the cerebrospinal fluid on FLAIR, diffusion, and steady-state free precession imaging, whereas the latter will not simulate the cerebrospinal fluid on these sequences. The arachnoid cyst is also more sharply delineated than is the epidermoid. In addition to this, epidermoid tumours more often extend into the subarachnoid space and enlarge it, unlike arachnoid cysts, which cause a more focal mass effect. There is usually no oedema of the surrounding parenchyma, and hydrocephalus is rare, even in the setting of large tumours and brain displacement. Endodermal cysts are rarely encountered in the central nervous system, presenting with a hyperintense signal in the T1W, T2W and FLAIR MRI. No restriction of diffusion is observed in DWI [7].

Symptoms may be caused either due to neuronal insults or because of vascular compression [8]. Symptoms associated with CPA arachnoid cysts reported to date include hemifacial spasm, trigeminal neuralgia, hearing loss, ataxia and dysphagia [9, 10]. Similar symptomatology has been reported in the presence of various cystic lesions including epithelial cysts [11], endodermal cysts [12] and neurenteric cysts, rendering the differential diagnosis even more challenging. In general, such lesions are considered to be histologically benign, however cases of malignant transformation have been reported [13, 14]. Schwannomas [15], choroid plexus papillomas [16] and cavernous haemangiomas [17]

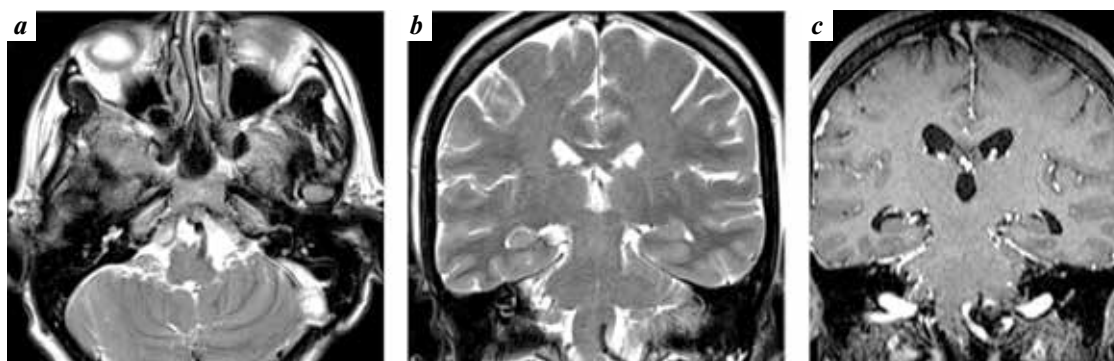


Fig. 4. Postoperative investigation with axial (a) and coronal (b) T2W MRI, as well coronal T1W MRI with IV contrast (c), demonstrated reduction of mass phenomena on the medulla oblongata

may also occasionally present as cystic lesions or with cystic components.

Remission of symptoms usually follows fenestration of the cyst regardless of the surgical approach [18]. Moreover, E.J. Lee and Y.S. Ra [18], in their series of 110 patients with surgically treated intracranial cysts, found 6 patients without radiologic evidence of reduction in the size of the cyst, requiring additional operations. The same authors

also reported that the outcome was observed to be better in the symptomatic cases.

CONCLUSION

Cerebellopontine angle cystic lesions while histologically benign, may become clinically apparent due to compression of adjacent structures. Simple fenestration of the cyst may be sufficient for the remission of the symptoms.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Helland C.A., Lund-Johansen M., Wester K. Location, sidedness, and sex distribution of intracranial arachnoid cysts in a population-based sample. *J. neurosurg* 2010;113(5):934–9. DOI: 10.3171/2009.11.JNS081663.
- Al-Holou W.N., Terman S., Kilburg C. et al. Prevalence and natural history of arachnoid cysts in adults. *J. neurosurg* 2013;118(2):222–31. DOI: 10.3171/2012.10.JNS12548.
- Sharma A., Sharma A., Mittal R.S., Gandhi A. Bilateral cerebellopontine arachnoid cyst: a rare entity. *Br J Neurosurg* 2015;29(4):576–8.
- Gurkas E., Altan B.Y., Gucuyener K., Kolsal E. Cerebellopontine angle arachnoid cyst associated with mirror movements. *J. Pediatr Neurosci* 2015;10(4):371–3. DOI: 10.4103/1817-1745.174440.
- Babu R., Murali R. Arachnoid cyst of the cerebellopontine angle manifesting as contralateral trigeminal neuralgia: case report. *Neurosurgery* 1991;28(6):886–7. DOI: 10.1097/00006123-199106000-00018.
- Cho T.G., Nam T.K., Park S.W., Hwang S.N. Glossopharyngeal neuralgia caused by arachnoid cyst in the cerebellopontine angle. *J Korean Neurosurg Soc* 2011;49(5):284–6. DOI: 10.3340/jkns.2011.49.5.284.
- Prothmann S., Trampel R., Fritzsche D., Schneider J.-P. Intracranial neurenteric cysts – rare incidental findings with typical MR signal characteristics. *Eur J Radiol Extra* 2010;74(3):e41–5. DOI: 10.1016/j.ejrex.2010.04.004.
- Ogawa H., Hiroshima S., Kamada K. A case of facial spasm associated with ipsilateral cerebellopontine angle arachnoid cyst. *Surg J (NY)* 2015;1(1):e38–40. DOI: 10.1055/s-0035-1564341.
- Ucar T., Akyuz M., Kazan S., Tuncer R. Bilateral cerebellopontine angle arachnoid cysts: case report. *Neurosurgery* 2000;47(4):966–8. DOI: 10.1097/00006123-200010000-00034.
- Ruiz-Juretschke F., Vargas A., Gonzalez-Rodriguez R., Garcia-Leal R. Hemifacial spasm caused by a cerebellopontine angle arachnoid cyst. Case report and literature review. *Neurocirugia (Astur)* 2015;26(6):307–10. DOI: 10.1016/j.neucir.2015.05.001.
- Shenouda E.F., Coakham H.B. Episodic facial palsy due to epithelial cyst of the cerebellopontine angle: case report and review of the literature. *Br J Neurosurg* 2002;16(2):177–81. DOI: 10.1080/026886902317384526.
- Karki P., Bohara M., Yonezawa H. et al. Cerebellopontine angle endodermal cyst presenting with hemifacial spasm. *Brain Tumor Pathol* 2011;28(4):371–4. DOI: 10.1007/s10014-011-0042-4.
- Baweja R., Reddy K., Whitten A. et al. 65-year-old female with cerebellopontine angle lesion. *Brain pathology (Zurich, Switzerland)* 2017;27(2):237–8. DOI: 10.1111/bpa.12489.
- Fujisawa N., Oya S., Higashi M., Matsui T. Malignant transformation of a neurenteric cyst in the posterior fossa presenting with intracranial metastasis: a case report and literature review. *NMC Case Rep J* 2015;2(4):123–7. DOI: 10.2176/nmcrrj.2014-0416.
- Pinna M.H., Bento R.F., de Brito Neto R.V. Vestibular schwannoma: 825 cases from a 25-year experience. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2012;16(4):466–75. DOI: 10.7162/S1809-9772012000400007.
- Luo W., Liu H., Li J. et al. Choroid Plexus Papillomas of the Cerebellopontine Angle. *World neurosurg* 2016;95:117–25. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.07.094.
- Tarabay A., Rocca A., Maeder P. et al. Extra-axial cavernoma of the cerebellopontine angle: a case study and review of literature. *World neurosurg* 2019;128:415–21. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.05.034.
- Lee E.J., Ra Y.S. Clinical and neuroimaging outcomes of surgically treated intracranial cysts in 110 children. *J Korean Neurosurg Soc* 2012;52(4):325–33. DOI: 10.3340/jkns.2012.52.4.325.

ORCID авторов / ORCID of authors

S. Apostolakis: <https://orcid.org/0000-0001-8604-2444>

Статья поступила: 12.10.2021. Принята к публикации: 01.02.2022.

Article submitted: 12.10.2021. Accepted for publication: 01.02.2022.

СТАЖИРОВАННАЯ РАДИОХИРУРГИЯ КРУПНОГО ВНУТРИМОЗГОВОГО МЕТАСТАЗА С МАСС-ЭФФЕКТОМ И ДИСЛОКАЦИЕЙ МОЗГА: КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

С.Р. Ильялов, А.М. Паршунина, К.М. Квашнин, К.Е. Медведева, А.А. Баулин, О.Г. Лепилина

Центр высокоточной радиологии Gamma Clinic (ООО «Гамма Медтехнологии»); Россия, 249031 Обнинск, ул. Королева, 4

Контакты: Ильялов Сергей Рустамович sergeyilyalov@gmail.com

Введение. В настоящее время один из эффективных методов лечения внутричерепных метастазов – стереотаксическая радиохирургия. Основные факторы, ограничивающие применение данного метода: размер (объем) опухоли или расположение метастаза в критической близости к радиочувствительным структурам головного мозга (зрительные пути, таламус, ствол головного мозга), в которых риск развития локального лучевого некроза высок. Для снижения риска побочных эффектов облучения используется гиподифракционированная лучевая терапия линейными ускорителями или стажированная (этапная) радиохирургия аппаратом «Гамма-нож». Однако крупные метастазы в головной мозг, вызывающие дислокацию срединных структур головного мозга, традиционно считаются объектом для хирургического удаления, основная цель которого – устранение масс-эффекта, вызванного опухолью.

Цель публикации: представить случай успешного применения этапной радиохирургии гамма-ножом в лечении крупных метастазов в головной мозг, сопровождающихся выраженным перифокальным отеком и дислокацией мозговых структур.

Материалы и методы. Пациентке, 38 лет, с правосторонней гемиплегией (0 баллов) и крупным ($\varnothing = 3$ см, $V = 12,9$ см³) метастазом рака молочной железы в глубинных отделах левого полушария, сопровождавшимся выраженным перифокальным отеком и дислокацией мозговых структур (15 мм), успешно проведена этапная радиохирургия с помощью аппарата «Гамма-нож» в 2 этапа с интервалом 1,5 мес.

Результаты. В результате лечения отмечен не только полный регресс перифокального отека и смещения срединных структур, но и значимое уменьшение объема опухоли, а также существенное улучшение неврологического статуса больной уже в промежутке между этапами радиохирургии – восстановление активных движений в правых конечностях до 4 баллов.

Заключение. Данный случай демонстрирует возможность эффективного и безопасного неинвазивного лечения крупных метастазов в головной мозг, сопровождающихся компрессией и дислокацией головного мозга, которое позволяет добиться регресса масс-эффекта и улучшить неврологическое качество жизни онкологических больных.

Ключевые слова: стереотаксическая радиохирургия, метастазы в головной мозг, масс-эффект, сдавление и дислокация мозга, качество жизни

Для цитирования: Ильялов С.Р., Паршунина А.М., Квашнин К.М. и др. Стажированная радиохирургия крупного внутримозгового метастаза с масс-эффектом и дислокацией мозга: клиническое наблюдение. Нейрохирургия 2022; 24(2):66–71. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-66-71.

Staged radiosurgery of large brain metastasis with mass effect and brain dislocation: case report

S.R. Ilyalov, A.M. Parshunina, K.M. Kvashnin, K.E. Medvedeva, A.A. Baulin, O.G. Lepilina

Center for high-precision radiology “Gamma Clinic” (Gamma Medtehnologii); 4 Koroleva St., Obninsk 249031, Russia

Contacts: Ilyalov Sergey Rustamovich sergeyilyalov@gmail.com

Introduction. Currently, one of the effective methods of treatment of intracranial metastases is stereotactic radiosurgery. The main factors limiting its use are the size (volume) of the tumor or the location of the metastasis in critical proximity to radiosensitive brain structures, such as the optic pathways, thalamus, brain stem, due to the high risk of developing local radiation necrosis. To reduce the risk of adverse radiation effects, hypofractionated radiotherapy by linac or staged Gamma Knife radiosurgery is used. However, large brain metastases that cause dislocation of the brain midline structures are traditionally considered an object for surgical excision, the main purpose of which is to eliminate the mass effect caused by the tumor.

The objective of the publication: to demonstrate a case of successful application of staged Gamma Knife radiosurgery of large brain metastases accompanied by brain compression and dislocation.

Materials and methods. Patient, 38-year-old, with right-sided hemiplegia (0 score) and large ($\varnothing = 3$ cm, $V = 12.9$ cm³) breast cancer metastasis in the deep site of the left hemisphere, accompanied by severe perifocal edema and brain dislocation (midline shift up to 15 mm). The treatment was carried out by Gamma Knife in two stages with an interval of 1.5 months.

Results. As a result, not only a complete regression both of the perifocal edema and midline shift were noted, but also a significant decrease of the tumor volume and dramatical improvement in the patient's neurological status already in the interval between the stages of radiosurgery: restoration of active movements in the right limbs (up to 4 score).

Conclusion. This case demonstrates the possibility of effective and safe non-invasive treatment of large brain metastases accompanied by brain compression and dislocation, which makes it possible to achieve regression of the mass effect and improve the neurological quality of life of cancer patients.

Key words: stereotactic radiosurgery, brain metastases, mass-effect, midline shift, quality of life

For citation: Ilyalov S.R., Parshunina A.M., Kvashnin K.M. et al. Staged radiosurgery of large brain metastasis with mass effect and brain dislocation: case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):66–71. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-66-71.

ВВЕДЕНИЕ

Метастазы в головной мозг (МГМ) — наиболее распространенный вид внутричерепных опухолей. Злокачественные опухоли, наиболее часто метастазирующие в головной мозг: рак молочных желез, легких, почек, кишечника и меланомы кожи [1]. Медиана продолжительности жизни пациентов с метастатическим поражением мозга, не получающих никакого лечения, составляет примерно 1 мес, а стероидная терапия лишь незначительно увеличивает этот показатель [2]. Основная задача в лечении внутримозговых метастазов — обеспечить локальный контроль роста опухоли, тем самым сохранить или улучшить неврологическое качество жизни и предотвратить гибель пациента от прогрессирования метастатического поражения мозга. Тактику лечения выбирают, исходя из гистологии опухоли, ее размера, расположения, числа метастазов, неврологической симптоматики, эффективности проводимой системной терапии [3]. Варианты активного лечения пациентов с метастазами в головной мозг включают хирургическое удаление опухоли, облучение всего головного мозга и стереотаксическую радиохирургию — отдельно или в комбинации. Хирургическое удаление показано при наличии крупных (не менее 3 см) метастазов с выраженным перифокальным отеком и масс-эффектом. Хирургия по сути — безальтернативный метод быстрого устранения объемного воздействия опухоли и перифокального отека. Относительным противопоказанием могут служить глубинное расположение опухоли и связанный с этим риск стойкого усугубления неврологического дефицита. Лучевая терапия в лечении крупных метастазов в основном представлена методиками гипотракционной радиотерапии и стажированной радиохирургии (СтРХ), в том числе в функционально значимых зонах мозга. Однако дислокация срединных структур обычно служит противопоказанием к проведению облучения: не только локального, но и всего головного мозга. Таким образом, лечение глубоко рас-

положенных метастазов, сопровождающихся масс-эффектом с дислокацией срединных структур мозга, — особый вызов для всех специалистов, занимающихся лечением метастатических внутримозговых опухолей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Больная А., 38 лет, с июля 2018 г. получала лечение по поводу инвазивного рака неспецифического типа левой молочной железы: выполнена секторальная резекция опухоли, с октября по декабрь 2018 г. проведен курс конформной дистанционной лучевой терапии на область левой молочной железы (СОД 50 Гр). Аджьювантная химиотерапия после операции не назначалась из-за активности гепатита С.

В июне 2020 г. больная отметила затруднение речи, онемение в области губы справа, позже — парез правой руки и ноги. По рекомендации невролога 25.08.2020 г. проведена магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга. Выявлен одиночный метастатический очаг в глубинных отделах левой лобно-теменной области, размером $20 \times 21 \times 22$ мм, с умеренным перифокальным отеком. Отмечался минимальный локальный масс-эффект в виде незначительного смещения тела левого бокового желудочка (рис. 1).

Учитывая расположение очага в двигательной зоне, небольшие размеры и солитарный характер метастаза, пациентке предложено проведение стереотаксической радиохирургии аппаратом «Гамма-нож».

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Пациентка А., 38 лет, поступила на лечение 15.10.2020 в Центр высокоточной радиологии Gamma Clinic (ООО «Гамма Медтехнологии») (Обнинск) на инвалидном кресле, в сопровождении родителей. Жалобы при поступлении на периодические головные боли, нарушение речи, отсутствие произвольных движений в правых конечностях. При объективном осмотре состояние больной средней степени тяжести. Индекс Карновского — 40 %, ECOG — 3 балла. Сознание ясное, больная



Рис. 1. МРТ в режиме T1 с контрастным усилением на момент выявления метастаза. Проекции: а — аксиальная; б — фронтальная; в — сагиттальная. Определяется опухоль в глубинных отделах левой лобно-теменной области, с перифокальным отеком и минимальным масс-эффектом. Диаметр опухоли 22 мм

Fig. 1. MRI in T1 with contrast at the time of detection of metastasis. Views: a — axial; б — frontal; в — sagittal. A tumor is determined in the deep parts of the left fronto-parietal region, with perifocal edema and minimal local mass effect. The tumor diameter is 22 mm

ориентируется во времени и месте, раздражительна, эмоционально лабильна, команды и инструкции выполняет, эпилептических приступов нет, речевые нарушения по типу дизлексии. Менингеальных симптомов нет. Обоняние не нарушено. Острота зрения с обеих сторон не снижена, поля зрения с обеих сторон сохранены. Зрачки $D = S$, фотореакция удовлетворительная, смыкание век полное с обеих сторон. Движения глазных яблок в норме во все стороны, паралича вертикального взгляда нет. Чувствительность на лице сохранена с обеих сторон. Мимика не нарушена. Функциональный слух сохранен, головокружений нет. Мягкое нёбо напрягается хорошо, деформации неба нет, глоточный рефлекс сохранен, язык интактен с обеих сторон. Надплечья поднимает свободно. Движения в левых конечностях в полном объеме и достаточной силы. В правых конечностях — отсутствие произвольных движений, легкое ощущение напряжения при попытке произвольного движения. Пациентка перемещается с посторонней помощью, в кресле-каталке. Сухожильные рефлексы слева — живые, справа — оживлены. Патологических рефлексов не выявлено. Поверхностная чувствительность не нарушена, оценить глубокую чувствительность невозможно. Пальценосовая проба: больная выполняет левой рукой без промахивания. Функции тазовых органов не нарушены. На расчетной МРТ головного мозга выявлена существенная отрицательная динамика: увеличение опухоли до 3 см в диаметре (объем 12,9 см³), значительное нарастание перифокального отека с усугублением масс-эффекта и дислокацией срединных структур вправо до 15 мм, а также начальные признаки окклюзионной гидроцефалии — увеличение размеров правого бокового желудочка (рис. 2).

Учитывая развитие латеральной дислокации, принято решение о необходимости хирургического удаления опухоли, о чем пациентка и ее родители в полной мере были проинформированы. Однако, со слов родителей, на консультации нейрохирурга по месту жительства в хирургическом удалении было отказано по причине глубокого расположения опухоли в двигательной зоне мозга и риска глубокой инвалидизации больной после операции.

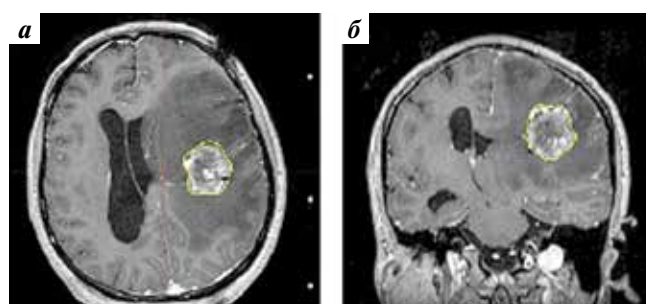


Рис. 2. МРТ на момент первого этапа СтРХ. Томограммы головного мозга, после контрастного усиления: а — аксиальная; б — фронтальная. Определяется выраженное увеличение размеров опухоли, нарастание перифокального отека и дислокация срединных структур

Fig. 2. MRI at the time of the first stage of SRS. Views after contrast enhancement: a — axial; б — frontal. A pronounced increase size of the tumor, an increase in perifocal edema and dislocation of the midline structures are determined

При дальнейшем совместном обсуждении, учитывая отсутствие явных клинических проявлений внутричерепной гипертензии (тошноты, рвоты, пареза взгляда вверх), принимая во внимание риски хирургии, пациентке было предложено проведение СтРХ (2 сеанса с интервалом 4 нед) аппаратом «Гамма-нож». Пациентка и ее родители были проинформированы о возможных осложнениях лечения и подтвердили свое согласие на его проведение. Первый сеанс СтРХ выполнен аппаратом Leksell Gamma Knife Perfexion по стандартной методике с фиксацией стереотаксической рамой, краевой дозой 10 Гр по 50 % изодозе. Пациентка перенесла лечение удовлетворительно, без нарастания общемозговой симптоматики. Выписана под наблюдение по месту жительства с продолжением терапии дексаметазоном (5 дней по 12 мг/сут, далее по 8 мг/сут).

При контрольной МРТ (через 2 и 4 нед) отмечено: отчетливая положительная динамика: значительное уменьшение объема опухоли (до 8,2 и 3,6 см³ соответственно); уменьшение дислокации срединных структур через 2 нед до 7 мм и полного регресса через 4 нед; выраженное уменьшение перифокального отека (рис. 3). Однако

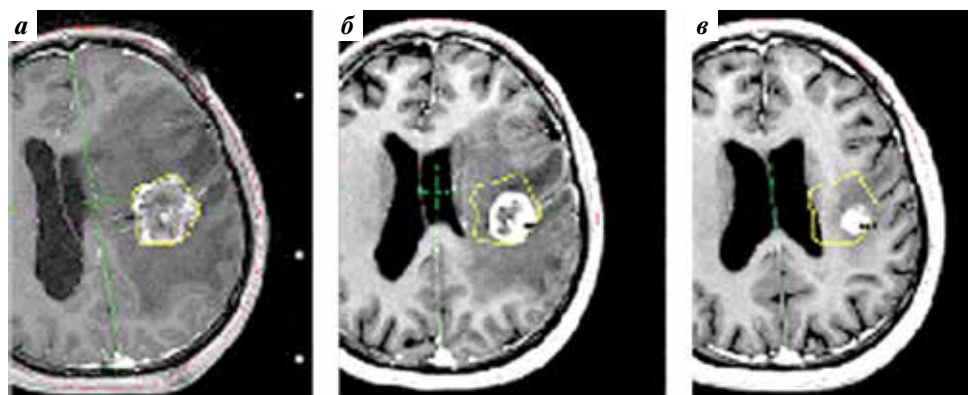


Рис. 3. Динамика уменьшения размеров опухоли и дислокации срединных структур после 1-го сеанса СтРХ: а — МРТ на момент первого сеанса СтРХ (объем опухоли 12,9 см³, смещение — 15 мм); б — МРТ-контроль через 2 нед (уменьшение опухоли до 8,2 см³, дислокации — до 7 мм, снижение перифокального отека); в — МРТ-контроль через 4 нед (уменьшение опухоли до 3,6 см³, минимальный перифокальный отек, регресс дислокации)

Fig. 3. Change of tumor and brain dislocation after the 1st stage of SRS: а — MRI at the moment of the first stage (tumor volume is 12.9 cm³, midline structures shift 15 mm); б — MRI after 2 weeks (decline of the tumor volume up to 8.2 cm³, reduction of perifocal edema, of dislocation — up to 7 mm); в — MRI after 4 weeks (decline of the tumor volume up to 3.6 cm³, minimal perifocal edema, total regression of the dislocation)

2-й этап СтРХ провели только через 6 нед (03.12.2020) из-за карантина пациентки по COVID-19. При вторичном поступлении состояние больной удовлетворительное. Индекс Карновского — 70 %, ECOG — 1 балл. Сознание ясное, ориентирована во времени и месте, эмоционально лабильна, команды и инструкции выполняет, эпилептических приступов нет, отмечен существенный регресс речевых нарушений (легкая дизлексия). Менингеальных симптомов нет. Обоняние не нарушено. Острота зрения с обеих сторон не снижена, поля зрения с обеих сторон сохранены. Зрачки D = S, фотореакция удовлетворительная, смыкание век полное с обеих сторон. Движения глазных яблок во все стороны в норме. Чувствительность на лице сохранена с обеих сторон. Мимика не нарушена. Вкусовые ощущения сохранены с обеих сторон. Слезная функция не нарушена. Функциональный слух сохранен, головокружений нет. Мягкое нёбо напрягается хорошо, деформации нёба нет, глоточный рефлекс сохранен, язык интактен с обеих сторон. Надплечья поднимает свободно. Движения в левых конечностях в полном объеме и достаточной силы. В правых конечностях: произвольные движения в ноге силой до 4 баллов, в руке — 4 балла проксимально, в кисти — до 3 баллов. Пациентка самостоятельно передвигается в пределах лечебного учреждения, в состоянии себя обслуживать. Сухожильные рефлексы: слева — живые, справа — оживлены. Патологических рефлексов не выявлено. Поверхностная и глубокая чувствительность не нарушены. Пальцеңосовая проба: левой рукой выполняет без промахивания, правой — с интенционным тремором. В позе Ромберга больная напряжена. Функции тазовых органов не нарушены. Краевая доза на момент 2-го этапа СтРХ составила 18 Гр по 50 % изодозе. Особенность: на момент проведения 2-го этапа отмечено начало продолженного роста опухоли (увеличение объема до 4,6 см³), вероятно, обусловленное задержкой в проведении лечения.

При заочной консультации по результату контрольной МРТ от 15.01.2021 объем опухоли уменьшился на 96 % по сравнению с исходным — до 0,48 см³, масс-эффект и перифокальный отек полностью регрессировали (рис. 4). На этом фоне отмечено дальнейшее улучшение неврологического статуса пациентки: больная самостоятельно и более уверенно ходит, обслуживает себя без посторонней помощи, речевых нарушений нет. На видеоотчете: сохраняется нарушение мелкой моторики в правой кисти, непостоянные хореоатетонидные движения. Ориентировочная оценка по шкале Карновского — 70–80 %, ECOG — 1 балл.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время хирургическое удаление и радиохирургия рассматриваются как две основных опции в лечении одиночных внутримозговых метастазов. В обзоре М.А. Натибоглу и соавт. (2020), посвященном современным подходам к лечению внутримозговых метастазов, к основным преимуществам хирургии относят следующее: быстрое устранение масс-эффекта и перифокального отека на фоне крупных (≥ 3 см) метастазов; последующее скорое неврологическое восстановление и уменьшение потребности в стероидной терапии. В то же время, они отмечают и преимущество радиохирургии: возможность эффективного удаления при глубокой локализации метастазов и/или в функционально значимых зонах [4]. Сочетание крупного метастаза, расположенного в глубине полушария, с выраженным перифокальным отеком и дислокацией срединных структур ограничивает возможность, с одной стороны, безопасного удаления опухоли без риска грубого остаточного неврологического дефицита, с другой — применения высоких радиохирургических доз из-за повышенного риска постлучевых локальных осложнений. G. Minniti и соавт. (2011) установили,

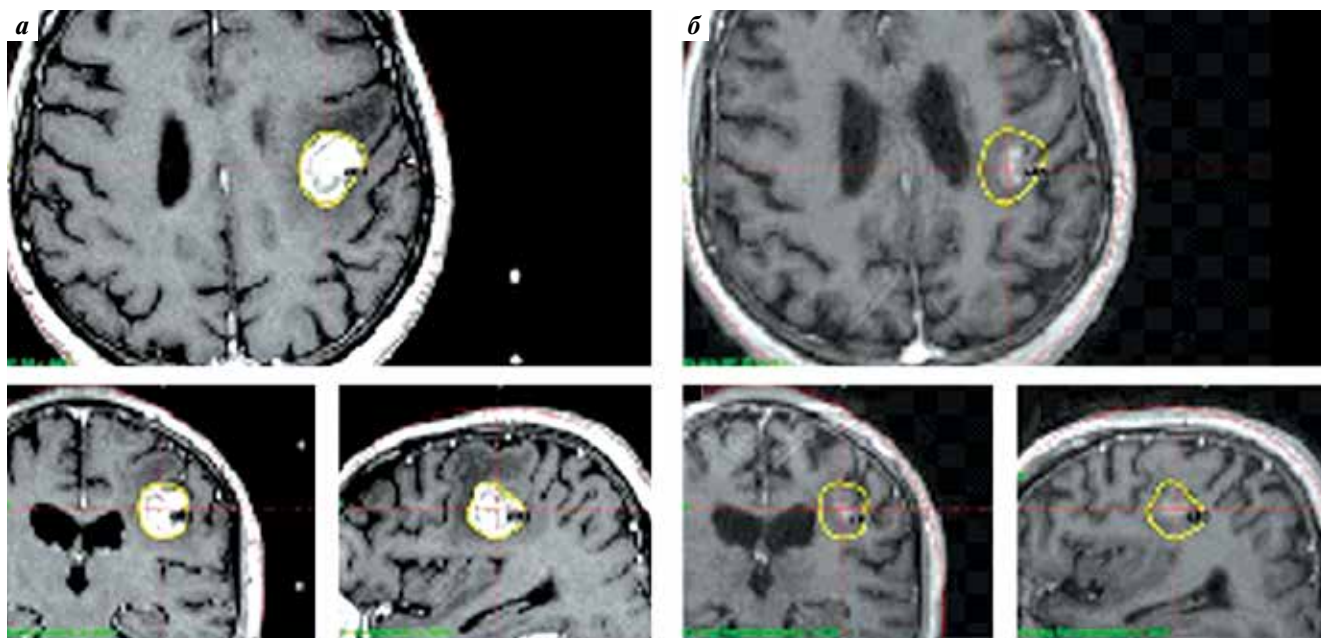


Рис. 4. Динамика изменения опухоли после 2-го сеанса СтРХ: а — МРТ на момент лечения (объем опухоли — 4,6 см³, минимальный перифокальный отек); б — МРТ через 1 мес после завершения лечения (объем опухоли — 0,48 см³, отека нет)

Fig. 4. Dynamics of tumor changes after the 2nd stage of SRS: а — MRI at the time of treatment (tumor volume is 4.6 cm³, minimal perifocal edema); б — MRI 1 month later (tumor volume is 0.48 cm³, no edema)

что доза 10 Гр на объем ткани более 12,6 см³ и доза 12 Гр на объем более 10,9 см³ повышают риск развития радионекроза на 47 % [5].

Промежуточным вариантом, подходящим для облучения крупных метастазов, служит гипофракционированная радиотерапия, в основном применяемая на линейных ускорителях и позволяющая подвести эффективную суммарную дозу облучения за 3–5 сеансов. Стажированная радиохirurgия метастазов гамма-ножом — известный, но недостаточно широко распространенный метод лечения. Суть его заключается в первоначальном подведении к крупной опухоли субтерапевтической дозы облучения (ниже обычно применяемого диапазона доз) — она недостаточна для получения стойкого эффекта, но позволяет в короткий период (2–4 нед) добиться уменьшения опухоли, чтобы подвести к ней в течение 2-го (реже 3-го) сеанса облучения более высокую дозу для закрепления и усиления первоначального эффекта.

Y. Higuchi и соавт. (2009) провели СтРХ за 3 сеанса с интервалом 2 нед (суммарная доза — 30 Гр) 43 пациентам с метастатическими очагами более 10 см³. Отмечено прогрессивное снижение объемов опухоли на 18,8 % к моменту 2-го сеанса и 39,8 % — 3-го сеанса ($p < 0,0001$). Уменьшение опухолей между сеансами наблюдалось в 90,7 % случаев, что позволило снизить лучевую нагрузку на мозг при каждом последующем лечении. Данная методика позволила обеспечить 6- и 12-месячный локальный контроль 89,8 и 75,9 % соответственно. Только у 1 пациента развилась токсичность 3-й степени [6]. В проспективном исследовании

по СтРХ S. Yomo и соавт. (2012) оценили результаты лечения 27 больных, получивших суммарно 20–30 Гр с использованием 2-этапной схемы фракционирования с интервалом 3–4 нед. Локальный контроль составил 85 и 61 % через 6 и 12 мес соответственно. Радионекроз развился у 3 (11,1 %) пациентов [7]. После 2-этапной СтРХ L. Angelov и соавт. (2018) в группе из 54 больных отметили 3- и 6-месячный локальный контроль в 95 и 88 % соответственно. Уровень локальных осложнений составил 11 % [8]. В исследовании T. Serizawa (2018) при сравнении 2- и 3-этапной СтРХ в 2 группах (по 106 пациентов) следующие показатели не дали достоверной разницы: медиана выживаемости, прогрессирование опухоли через 1 год, частота смерти по неврологическим причинам и уровню осложнений [9]. E. E. Lovo и соавт. (2019) описали результаты 2-этапной СтРХ у 10 больных с крупными симптоматическими метастазами рака легкого и молочной железы, сопровождавшимися локальным масс-эффектом. Контроль роста опухоли составил 91 % через 1 год наблюдения. Выживаемость без прогрессирования — 8 мес. У всех пациентов отмечены регресс неврологической симптоматики и отсутствие осложнений [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный клинический случай подтверждает высокую эффективность стажированной радиохirurgии в лечении крупных (≥ 3 см) внутримозговых метастазов, расположенных в функциональных зонах. Отчетливый ответ опухоли на проведенное воздействие проявился быстрым регрессом грубых неврологических

выпадения и, соответственно, значительным улучшением качества жизни, что крайне важно для онкологических больных. Однако в литературе не найдено упоминаний о стажированной радиохирургии крупных метастазов, расположенных в функционально значимых зонах и сопровождающихся не только локальным масс-эффектом, но и выраженной дислокацией мозга, что традиционно считается абсолютным противопоказанием к проведению облучения. Данный пример позволяет более внимательно отнестись к возмож-

ностям стереотаксического облучения, уточнению клинических показаний и противопоказаний к применению стажированной радиохирургии. Безусловно, решение вопроса о выборе между хирургической и радиохирургической тактиками лечения должно проводиться совместно с оперирующими нейрохирургами. При этом необходим максимальный учет активности основного заболевания, предполагаемой эффективности каждого из методов локального лечения, а также потенциальных рисков осложнений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Банов С.М., Голанов А.В., Ильялов С.Р. и др. Результаты радиохирургического и лекарственного лечения пациентов с метастазами в головной мозг. Опухоли головы и шеи 2017;7(3):19–30. [Banov S.M., Golanov A.V., Ilyalov S.R. et al. Results of radiosurgical and drug treatment of patients with brain metastasis. HNT 2017;7(3):19–30. (In Russ.)]. DOI: 10.17650/2222-1468-2017-7-3-19-30.
2. Brem S., Panatier J.G. An era of rapid advancement: diagnosis and treatment of metastatic brain cancer. Neurosurgery 2005;57(5 Suppl):S5–9. DOI: 10.1093/neurosurgery/57.suppl_5.s4-5.
3. Liu Q., Tong X., Wang J. Management of brain metastases: history and the present. Chin Neurosurg J 2019;5:1. DOI: 10.1186/s41016-018-0149-0.
4. Hatiboglu M.A., Akdur K., Sawaya R. Neurosurgical management of patients with brain metastasis. Neurosurg Rev 2020;43(2):483–95. DOI: 10.1007/s10143-018-1013-6.
5. Minniti G., Clarke E., Lanzetta G. et al. Stereotactic radiosurgery for brain metastases: analysis of outcome and risk of brain radionecrosis. Radiat Oncol 2011;6:48. DOI: 10.1186/1748-717X-6-48.
6. Higuchi Y., Serizawa T., Nagano O. et al. Three-staged stereotactic radiotherapy without whole brain irradiation for large metastatic brain tumors. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009;74(5):1543–8. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2008.10.035.
7. Yomo S., Hayashi M., Nicholson C. A prospective pilot study of two-session Gamma Knife surgery for large metastatic brain tumors. J Neurooncol 2012;109(1):159–65. DOI: 10.1007/s11060-012-0882-8.
8. Angelov L., Mohammadi A.M., Bennett E.E. et al. Impact of 2-staged stereotactic radiosurgery for treatment of brain metastases $\geq$ 2 cm. J Neurosurg 2018;129(2):366–82. DOI: 10.3171/2017.3.JNS162532.
9. Serizawa T., Higuchi Y., Yamamoto M. Comparison of treatment results between 3- and 2-stage Gamma Knife radiosurgery for large brain metastases: a retrospective multi-institutional study. J Neurosurg 2018;7;131(1):227–37. DOI: 10.3171/2018.4.JNS172596.
10. Lovo E.E., Torres L.B., Fidel J. et al. Two-session radiosurgery as initial treatment for newly diagnosed large, symptomatic brain metastases from breast and lung histology. Cureus 2019;11(8):e5472. DOI: 10.7759/cureus.5472.

Вклад авторов

С.Р. Ильялов: написание статьи, научное редактирование статьи;
А.М. Паршунина: написание статьи;
К.М. Квашнин: обработка клинических данных;
К.Е. Медведева: обработка клинических данных;
А.А. Баулин: физическое планирование радиохирургии;
О.Г. Лепилина: физическое планирование радиохирургии.

Authors' contributions

S.R. Ilyalov: article writing, scientific editing of the article;
A.M. Parshunina: article writing;
K.M. Kvashnin: clinical data analysis;
K.E. Medvedeva: clinical data analysis;
A.A. Baulin: physical planning of radiosurgery;
O.G. Lepilina: physical planning of radiosurgery.

ORCID авторов / ORCID of authors

С.Р. Ильялов / S.R. Ilyalov: <https://orcid.org/0000-0002-1572-5798>
А.М. Паршунина / A.M. Parshunina: <https://orcid.org/0000-0001-8765-6368>
К.Е. Медведева / K.E. Medvedeva: <https://orcid.org/0000-0001-6844-3076>
А.А. Баулин / A.A. Baulin: <https://orcid.org/0000-0002-8112-8043>
О.Г. Лепилина / O.G. Lepilina: <https://orcid.org/0000-0002-1868-6894>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Пациентка дала информированное согласие.
Compliance with patient rights and principles of bioethics. The patient gave informed consent.

Статья поступила: 16.09.2021. **Принята к публикации:** 01.02.2022.
Article submitted: 16.09.2021. Accepted for publication: 01.02.2022.

ЧРЕСКОЖНОЕ ТРАНСФОРАМИНАЛЬНОЕ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ ИНОРОДНОГО ТЕЛА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

Г.Г. Булыщенко¹, А.И. Гайворонский^{1,2}, П.С. Лиев¹, М.В. Кузнецов¹, Д.В. Свистов¹

¹ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России; Россия, 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; Россия, 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Контакты: Геннадий Геннадьевич Булыщенко drbulish@gmail.com

Представлен клинический пример хирургического лечения пациента с отдаленными последствиями огнестрельного слепого проникающего ранения поясничного отдела позвоночника, полученного 15 лет назад. Показание для выполнения оперативного вмешательства – развитие в последние 1,5 года рецидивирующих флегмон забрюшинного пространства на фоне инородного тела (пули) в межтеловом промежутке L_1-L_2 . В «холодном» периоде воспалительного процесса выполнена минимально инвазивная операция по удалению ранящего снаряда с применением чрескожного трансфораминального эндоскопического доступа. Рассмотрены нюансы такого доступа и продемонстрированы его возможности. Приведенное клиническое наблюдение свидетельствует, что показания к чрескожной трансфораминальной эндоскопической хирургии могут не ограничиваться только дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника.

Ключевые слова: чрескожная трансфораминальная эндоскопическая хирургия, поясничный отдел позвоночника, огнестрельное ранение

Для цитирования: Булыщенко Г.Г., Гайворонский А.И., Лиев П.С. и др. Чрескожное трансфораминальное эндоскопическое удаление инородного тела в поясничном отделе позвоночника. Нейрохирургия 2022;24(2):72–77. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-72-77.

Percutaneous transforaminal endoscopic removal of a foreign body of the lumbar spine

G.G. Bulyschenko¹, A.I. Gayvoronsky^{1,2}, P.S. Liev¹, M.V. Kuznetsov¹, D.V. Svistov¹

¹Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Ministry of Defense of Russia; 6 Akademik Lebedev St., Saint-Petersburg 194044, Russia;

²Saint-Petersburg State University; 7–9 Universitetskaya Emb., Saint-Petersburg 199034, Russia

Contacts: Gennadiy Gennadevich Bulyschenko drbulish@gmail.com

A clinical example of surgical treatment of a patient with long-term consequences of a gunshot blind non-penetrating wound of the lumbar spine received 15 years ago is presented. The indication for performing surgical intervention was the development of recurrent retroperitoneal phlegmon in the last year and a half against the background of the presence of a foreign body (bullet) in the interbody gap L_1-L_2 . In the “cold” period of the inflammatory process, the least invasive operation was performed. The article describes the course of percutaneous transforaminal endoscopic removal of a foreign body, and demonstrates the possibilities of such access. The above clinical observation indicates that the method of percutaneous transforaminal endoscopic surgery may not be limited in its indications only to degenerative-dystrophic diseases of the spine.

Key words: percutaneous transforaminal endoscopic surgery, lumbar spine, gunshot wound

For citation: Bulyschenko G.G., Gaivoronsky A.I., Liev P.S. et al. Percutaneous transforaminal endoscopic removal of a foreign body of the lumbar spine. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2022;24(2):72–77. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-72-77.

ВВЕДЕНИЕ

Огнестрельные ранения позвоночника относят к тяжелым травмам, находящимся в области интереса нейрохирургии и смежных специальностей, что связано в первую очередь с высокой летальностью и инвалидизацией раненых [1].

В структуре повреждений позвоночника огнестрельные ранения занимают 3-е место по частоте после падения с высоты и дорожно-транспортных происшествий. Распространенность огнестрельных ранений позвоночника в мирное время составляет около 29,4 случаев на 10 000 000 населения в развитых странах и до 50 на 1 000 000 — в развивающихся. Чаще этому виду повреждений подвержены лица мужского пола в возрасте от 15 до 34 лет (по данным разных авторов, 78–91 %). На долю ранений поясничного отдела позвоночника приходится 10–24,5 %, из которых проникающие ранения составляют около 14 % [2–6].

Ранения пояснично-крестцового отдела позвоночника, как правило, сопровождаются огнестрельными повреждениями органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Решающий фактор прогноза в остром и раннем периодах — своевременность оказания неотложной хирургической помощи по поводу повреждений полых и паренхиматозных органов [2]. Наибольшую опасность в плане ранних осложнений огнестрельных ранений позвоночника представляют проникающие ранения с повреждением спинного мозга и корешков конского хвоста [7]. При этом нестабильность при пулевых ранениях позвоночника встречается чрезвычайно редко. В связи с этим вопрос о необходимости и сроках удаления ранящего снаряда уходит на второй план. Однако длительное пребывание металлического инородного тела в организме сопряжено с риском токсического воздействия, прежде всего свинца [8], а также с развитием тяжелых гнойно-воспалительных осложнений [9].

В статье представлен случай успешного хирургического лечения пациента в периоде отдаленных последствий огнестрельного слепого непроникающего ранения поясничного отдела позвоночника.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент П., 39 лет, обратился в клинику нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова с жалобами на рецидивирующие флегмоны забрюшинного пространства, сопровождающиеся болью в спине.

Из анамнеза стало известно, что в 2006 г. пациент получил огнестрельное ранение. Пистолетная пуля, войдя в тело через передне-боковую стенку живота, повредила толстую и тонкую кишку и остановилась в межпозвоночном диске L_1-L_2 , не дойдя 2 мм до передней стенки позвоночного канала. Таким образом, по клинкорентгенологической классификации огнестрельных ранений позвоночника Н.С. Косинской [10], пациент получил слепое непроникающее ранение. Неврологический дефицит у больного отсутствовал, что свидетельствовало о неосложненном характере ранения.

Во время первичной хирургической обработки пациенту резецированы участки толстой и тонкой кишки, сформирована колостома. В дальнейшем неоднократно выполнялись оперативные вмешательства на органах брюшной полости для устранения последствий ранения. Учитывая непроникающий и неосложненный характер ранения, от удаления пули при проведении тех операций хирурги воздерживались. С середины 2019 г. у больного начали появляться рецидивирующие забрюшинные абсцессы, сопровождаемые фебрильной лихорадкой и интенсивной болью в пояснице, по поводу чего несколько раз проводились операции вскрытия и дренирования гнойных очагов ретроперитонеальным доступом (рис. 1).

При выполнении КТ-фистулографии во время последнего рецидива забрюшинной флегмоны было выявлено наличие тонкого свищевого хода между полостью флегмоны



Рис. 1. Внешний вид передней брюшной стенки пациента П.: а — рубец от входного отверстия (стрелки); б — вид спереди; в — рубцы от операций вскрытия и дренирования ретроперитонеальных флегмон (стрелки)

Fig. 1. The appearance of the anterior abdominal wall of the patient P.: а — the scar from the inlet (arrow); б — front view; в — scars from operations of opening and drainage of retroperitoneal phlegmons (arrows)

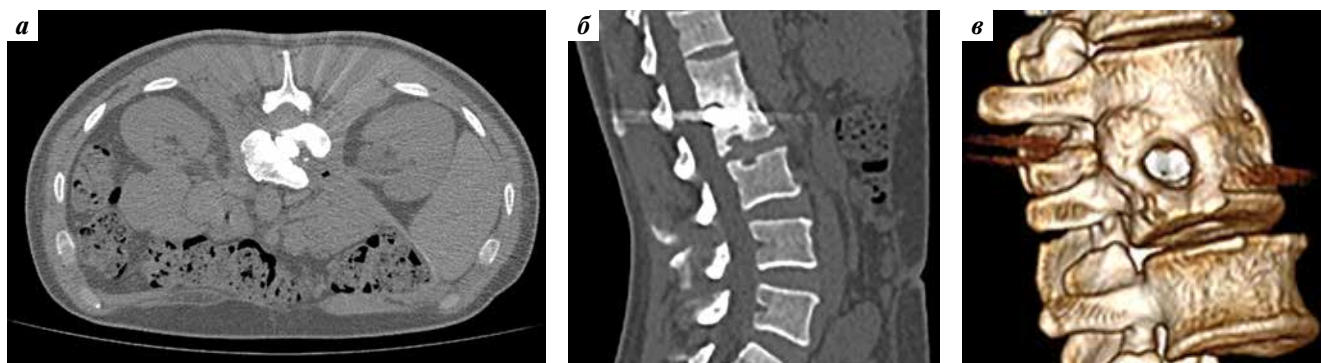


Рис. 2. Дооперационные компьютерные томограммы поясничного отдела позвоночника пациента П.: а, б — сагиттальные срезы; в — 3D-реконструкция. Визуализируется сформировавшийся костный блок между телами L_1 и L_2

Fig. 2. Preoperative computed tomograms of the lumbar spine of patient P.: а, б — sagittal sections; в — 3D reconstruction. The formed bone block between bodies L_1 and L_2 is visualized

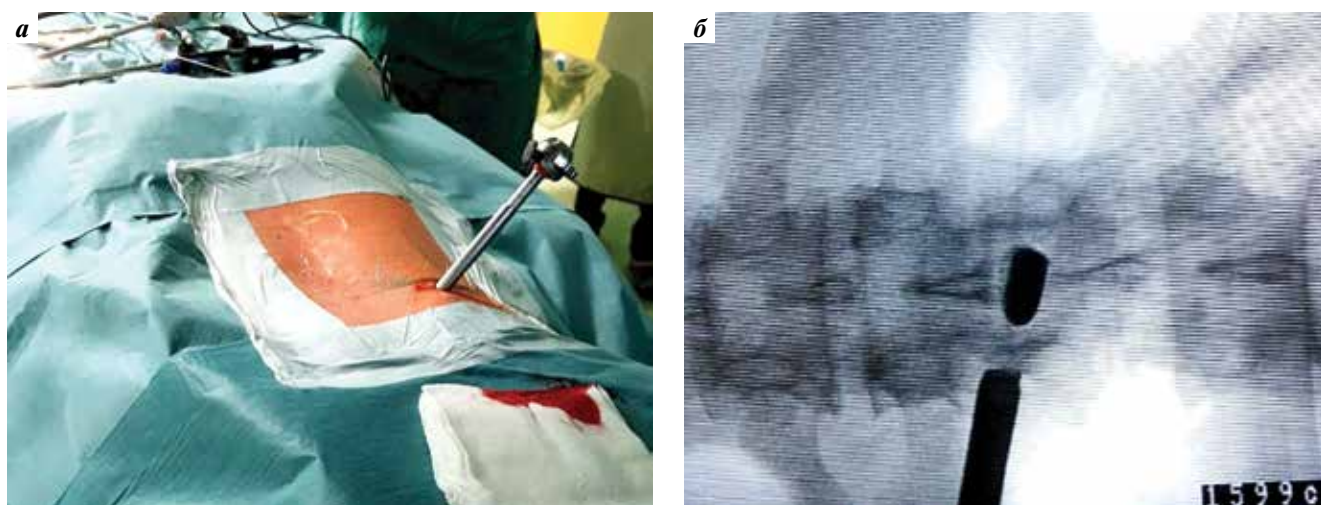


Рис. 3. Этап выполнения эндоскопического трансфораминального доступа (а) к инородному телу (б) поясничного отдела позвоночника

Fig. 3. Stage of performing endoscopic transforaminal approach (а) to foreign body (б) in the lumbar spine

и областью расположения инородного тела. С учетом возможной причинно-следственной связи с рецидивирующей флегмоной пациенту было рекомендовано удаление инородного тела из позвоночника. После проведенного дополнительного обследования пациент госпитализирован в клинику нейрохирургии ВМедА им. С.М. Кирова для планового оперативного вмешательства.

Дооперационные компьютерные томограммы с визуализацией инородного тела в поясничном отделе позвоночника представлены на рис. 2.

Ход оперативного вмешательства. Под общей многокомпонентной анестезией с интубацией трахеи в положении больного на животе под рентген-контролем в прямой и боковой проекциях в нижнюю часть левого межпозвонкового отверстия L_1 - L_2 последовательно установлены игла 18G и проводник. Игла удалена. В месте пункции выполнен разрез кожи и мягких тканей длиной 1,0 см. По проводнику установлен конусообразный направитель. Под рентген-контролем по конусообразному направителю установлена рабочая трубка. После

рентген-контроля в 2 проекциях направитель, проводник и направляющие трубки удалены (рис. 3).

В рабочую трубку установлен эндоскоп SpineTIP (KARL STORZ, Германия). Дальнейшее оперативное вмешательство велось под эндоскопическим контролем. Визуализированы костные структуры межпозвонкового отверстия — верхняя позвоночная вырезка и верхний суставной отросток позвонка L_2 , а также эпидуральная клетчатка, переднее эпидуральное пространство. С применением конхотомов выполнена частичная флавэктомия фораминальной части желтой связки, удалены фрагменты задней части межпозвонкового диска. Визуализировано инородное тело. Ткань диска, окружающая пулю, грязно-серого цвета с многочисленными металлическими вкраплениями. Оболочка пули разрушена, трудноотделима от окружающих тканей. С целью создания канала для удаления инородного тела с применением высокооборотистых боров выполнена частичная резекция нижнего края тела позвонка L_1 (рис. 4).

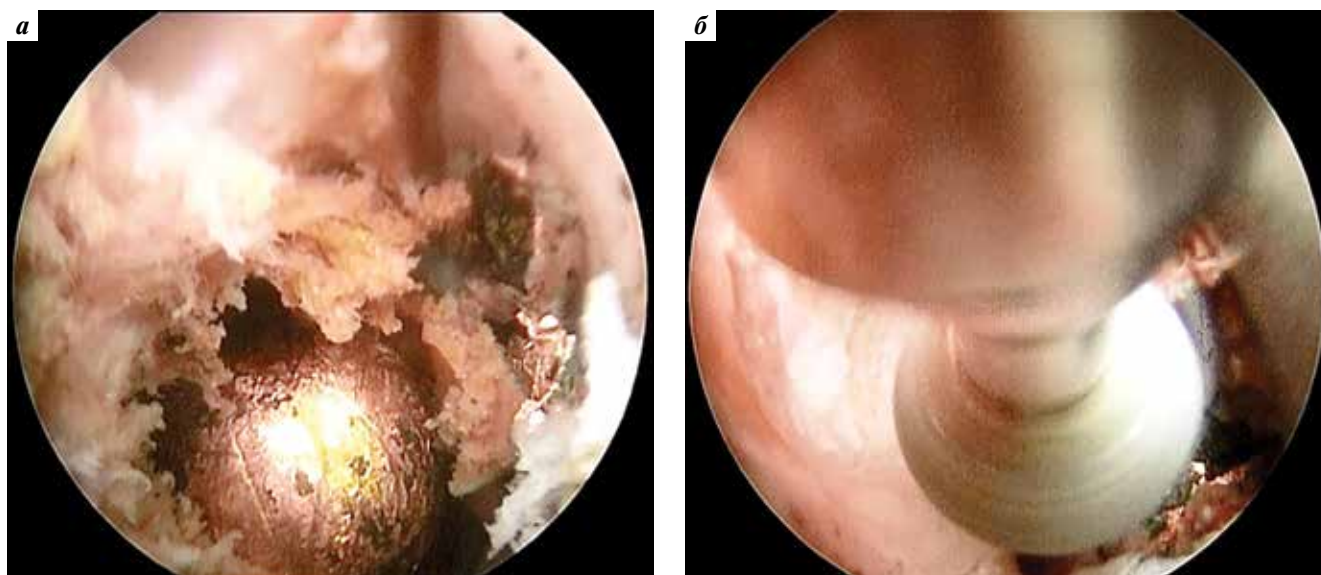


Рис. 4. Фотографии эндоскопического этапа операции: а — в глубине раны визуализирована головная часть инородного тела; б — этап частичной резекции нижнего края тела позвонка L_1

Fig. 4. Endoscopic stage of the operation: а — the head part of the foreign body is visualized in the depth of the wound; б — stage of partial resection of the lower edge of the body of the L_1 vertebra



Рис. 5. Интраоперационные фотографии: а — извлеченная пуля; б — стенка канала, через который извлекалось инородное тело

Fig. 5. Intraoperative photographs: а — extracted bullet; б — the wall of the channel through which the foreign body was removed

Иноородное тело мобилизовано при помощи крючков и лопаток, фиксировано щипцами и извлечено вместе с рабочей трубкой (рис. 5). Продолжительность этапа извлечения пули составила 35 мин. Технические сложности были связаны с тем, что закругленная головная часть пули фиксировалась щипцами ненадежно, а диаметр раскрытых щипцов с захваченной пулей превышал диаметр рабочей трубки. Вследствие этого при соприкосновении брани щипцов с трубкой пуля выскакивала. Кроме того, в канале, сформированном в межпозвонковом промежутке, постоянно приходилось изменять траекторию движения из-за выступающих (даже на 1–2 мм) анатомических образований. Калибр извлеченной пули — 7,62 мм, длина — 15 мм.

Под флюороскопическим контролем рабочая трубка и эндоскоп повторно установлены трансфораминально в межпозвонковый диск L_1 – L_2 . Выявлено большое количество фрагментов оболочки пули, которые были

удалены при помощи щипцов и кусачек. Несколько фрагментов оболочки с окружающими мягкими тканями взяты на бактериологическое исследование. Гемостаз выполнен при помощи биполярной коагуляции. После контрольной ревизии операционной раны рабочая трубка с эндоскопом удалены. Рана кожи ушита узловым швом. Наложена асептическая повязка на послеоперационную рану. Интраоперационная кровопотеря — менее 20 мл. Во время операции проводилась антибиотикопрофилактика ванкомицином: внутривенно капельно 1,0 г.

Пациент вертикализирован в первые сутки после оперативного вмешательства. В ближайшем послеоперационном периоде отмечено повышение температуры тела до $37,8^{\circ}\text{C}$. На фоне парентерального введения цефтриаксона по 1,0 г 2 раза в сутки лихорадка купирована в течение 2 сут. При бактериологическом исследовании материала, взятого на операции, высеяна *Escherichia coli*, чувствительная к большинству антибактериальных

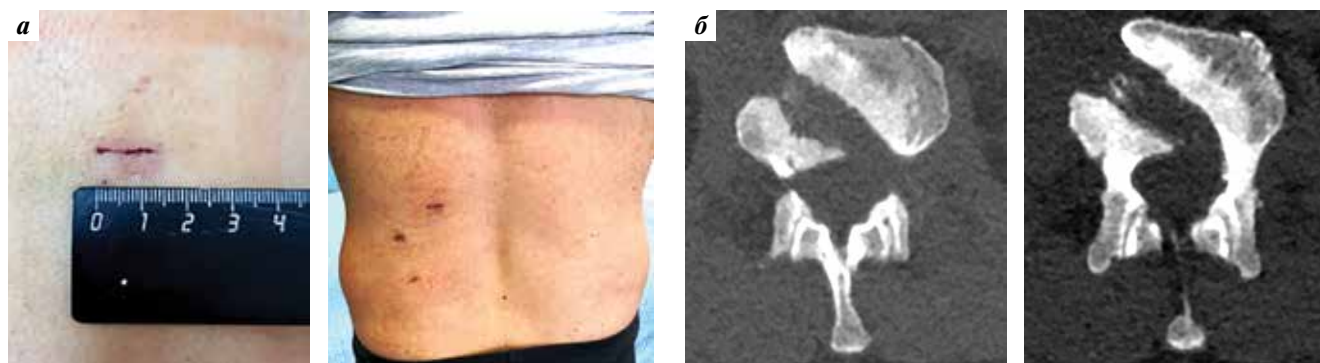


Рис. 6. Послеоперационные изображения: а — внешний вид послеоперационной раны на 7-е сутки после вмешательства; б — послеоперационные компьютерные томограммы в аксиальной проекции

Fig. 6. Postoperative images: а — view of the postoperative wound on the 7th day after the intervention; б — postoperative computed tomograms in the axial plane

препаратов. На 7-е сут после операции пациент выписан из стационара. На момент выписки жалобы не отмечены, неврологический статус — на дооперационном уровне.

Внешний вид послеоперационной раны, а также контрольные компьютерные томограммы представлены на рис. 6.

ОБСУЖДЕНИЕ

На клиническом разборе, посвященном определению тактики лечения пациента П., выработан многоэтапный план оперативного вмешательства по удалению инородного тела поясничного отдела позвоночника. Начать операцию планировалось наименее травматичным из возможных способов: чрезкожным трансфораминальным эндоскопическим доступом [11]. Выбору способствовало расположение инородного тела в непосредственной близости от межпозвонкового отверстия в проекции треугольника Камбина. Учитывая, что в отечественной и зарубежной литературе нет сведений о выполнении подобного рода операций, успех вмешательства не был гарантирован. До настоящего времени опубликовано единственное клиническое наблюдение эндоскопического удаления ранящего снаряда из просвета позвоночного канала интерламинарным доступом [12], что не является полной аналогией настоящего вмешательства.

В случае неудачи предполагалось трансформировать эндоскопический доступ в «открытый», используя как проводник к инородному телу уже установленную рабочую трубку эндоскопа [13]. При неэффективности по каким-либо причинам этого варианта операции был спланирован следующий, третий этап: переворот пациента на спину с выполнением правостороннего ретроперитонеального подхода к передне-боковой поверхности тел L_1 и L_2 [9]. К счастью, цель операции была достигнута при использовании самого щадящего варианта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют сведения о выполнении подобного рода операций (до настоящего времени опубликовано единственное клиническое наблюдение эндоскопического удаления ранящего снаряда из просвета позвоночного канала, но интерламинарным доступом), наш клинический опыт представляет несомненный интерес и свидетельствует, что бурно развивающийся в последние годы метод трансфораминальной эндоскопической хирургии может не ограничиваться в своих показаниях только дегенеративно-дистрофическими заболеваниями позвоночника.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Aryan H.E., Arun A.P., Ozgur B.M., Levy M.L. Gunshot wounds to the spine in adolescents. *Neurosurgery* 2005;57(4):748–52. DOI: 10.1227/01.NEU.0000175728.93653.b1.
2. Могила В.В., Максимов С.А. Особенности огнестрельных ранений позвоночника и спинного мозга пояснично-крестцового отдела. *Таврический медико-биологический вестник* 2013;16(61):123–5. [Mogila V.V., Maksimov S.A. Features of gunshot wounds of the spine and spinal cord of the lumbosacral region. *Tavricheskiy mediko-biologicheskii vestnik = Tavrichesky medical and biological bulletin* 2013;16(61):123–5. (In Russ.)].
3. Bono C.M., Heary R.F. Gunshot wounds to the spine. *Spine J* 2004;4(2):230–40. DOI:10.1016/S1529-9430(03)00178-5.
4. Jaiswal M., Mittal R.S. Concept of gunshot wound spine. *Asian Spine J* 2013;7(4):359–64. DOI: 10.4184/asj.2013.7.4.359.
5. Farmer J.C., Vaccaro A.R., Balderston R.A. et al. The changing nature of admissions to a spinal cord injury center: violence on the rise. *J Spinal Disord* 1998;11(5):400–3.
6. Jakoi A., Iorio J., Howell R., Zampini J.M. Gunshot injuries of the spine. *Spine J* 2015;15(9):2077–85. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.06.007.
7. Bumpass D.B., Buchowski J.M., Park A. et al. An update on civilian spinal gunshot wounds: treatment, neurological recovery,

- and complications. *Spine(Phila Pa 1976)* 2015;40(7):450–61.
DOI: 10.1097/BRS.0000000000000797.
8. Apte A., Bradford K., Dente C., Smith R.N. Lead toxicity from retained bullet fragments: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2019;87(3): 707–716.
DOI: 10.1097/TA.0000000000002287.
 9. Волков П.В., Сорокин К.В. Отдаленные последствия непроникающего огнестрельного ранения поясничного отдела позвоночника с формированием прервентрального абсцесса. *Нейрохирургия* 2011;(4):69–73. [Volkov P.V., Sorokin K.V. Long-term consequences of a non-penetrating gunshot wound of the lumbar spine with the formation of a prevertebral abscess. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2011;(4):69–73. (In Russ.)].
Косинская Н.С. Рентгенодиагностика огнестрельных ранений позвоночника и спинного мозга. Т. 11. В кн.: Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. В 35 т. Под ред. Смирнов Е.И., Гирголав С.С., Орбели Л. М.: Медгиз, 1955. С. 138–54. [Kosinskaya N.S. X-ray diagnostics gunshot wounds of the spine and spinal cord. Vol. 11. In: The experience of Soviet medicine in the Great Patriotic War 1941–1945. In 35 vol. Eds. by E.I. Smirnov, Girgolav S.S., Orbeli L. Moscow: Medgiz, 1955. Pp. 138–54. (In Russ.)].
 10. Булыщенко Г.Г., Гайворонский А.И., Орлов В.П. и др. Основные параметры чрескожного эндоскопического трансфораминального доступа с применением TESSYS. *Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова* 2017;9(1):14–9. [Bulyshchenko G.G., Gaivoronsky A.I., Orlov V.P. et al. Basic parameters of percutaneous endoscopic transforaminal approach using TESSYS. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal im. prof. A.L. Polenova = The Russian Neurosurgical Journal named after prof. A.L. Polenov* 2017;9(1):14–9. (In Russ.)].
 11. Кравцов М.Н., Ландик С.А., Дубинин А.А. и др. Чрескожная видеоэндоскопическая хирургия при огнестрельном проникающем ранении поясничного отдела позвоночника (обзор литературы и клиническое наблюдение). *Нейрохирургия* 2018;20(2):66–73. [Kravtsov M.N., Landik S.A., Dubinin A.A. et al. Full-endoscopic surgery for gunshot penetrating wound of the lumbar spine (literature review and clinical case). *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2018;20(2):66–73. DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-2-66-73. (In Russ.)].
 12. Crutcher C.L., Wilson J.M., DiGiorgio A.M. et al. Minimally invasive management of civilian gunshot wounds to the lumbar spine: a case series and technical report. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2020;19(3):219–25. DOI: 10.1093/ons/opaa030.

Вклад авторов

Г.Г. Булыщенко: выполнение операции, литературный обзор, написание статьи;
А.И. Гайворонский: ассистенция на операции, литературный обзор, редактирование статьи;
П.С. Лиев: ассистенция на операции, литературный обзор;
М.В. Кузнецов: анестезиологическое обеспечение операции;
Д.В. Свистов: разработка дизайна статьи, редактирование статьи.

Authors' contributions

G.G. Bulyshchenko: operation, literature review, article writing;
A.I. Gaivoronsky: surgery assistance, literature review, editing of the article;
P.S. Liev: surgery assistance, literature review;
M.V. Kuznetsov: anesthesiological assessment during surgery;
D.V. Svistov: research design of the article, editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

Г.Г. Булыщенко / G.G. Bulyshchenko <https://orcid.org/0000-0002-7903-2130>
А.И. Гайворонский / A.I. Gayvoronsky: <https://orcid.org/0000-0003-1886-5486>
П.С. Лиев / P.S. Liev: <https://orcid.org/0000-0003-0247-9003>
Д.В. Свистов / D.V. Svistov: <https://orcid.org/0000-0002-3922-9887>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Пациент подписал информированное согласие на участие в исследовании и публикацию своих данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The patient signed an informed consent to participate in the study and publish the data.

Статья поступила: 17.03.2021. **Принята к публикации:** 01.02.2022.

Article submitted: 17.03.2021. **Accepted for publication:** 01.02.2022.

РОЛЬ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПРИ МЕТАСТАТИЧЕСКОМ ПОРАЖЕНИИ ПОЗВОНОЧНИКА

А.Ю. Ермолаев^{1,2}, А.В. Яриков³, А.Я. Алейник¹, А.О. Дубских⁴, И.И. Смирнов², О.А. Перлмуттер²,
А.Г. Соснин³, А.М. Ермолаева⁵, А.П. Фраерман²

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород; Россия, 603005 Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1;

²ГБУЗ Нижегородской области «Городская клиническая больница №39» 603028, Нижний Новгород, Московское шоссе, 144;

³ФБУЗ «Приволжский окружной медицинский центр» ФМБА России; Россия, 603001 Нижний Новгород, Нижневолжская наб., 2;

⁴ГБУЗ Свердловской области «Свердловский областной онкологический диспансер»; Россия, 620036 Екатеринбург, ул. Соболева, 29;

⁵ГБУЗ «Нижегородский областной клинический онкологический диспансер» Минздрава России; Россия, 603126 Нижний Новгород, ул. Деловая, 11/1

Контакты: Антон Юрьевич Ермолаев anton_ermolaeff@mail.ru

Злокачественные новообразования сохраняют лидирующие позиции среди причин смертности в мире. Позвоночник чаще других костей скелета становится мишенью для метастазирования. В данной статье представлены результаты обзора литературы. Подробно изложены принципы диагностики, лечения и клиническая картина вторичного поражения позвоночного столба. Описаны варианты болевого синдрома, связанного как непосредственно с опухолевым поражением, так и с компрессией нервных структур, нестабильностью позвоночника и патологическими переломами. Подробно описаны причины и паттерны каждого вида болевого синдрома. Рассмотрены применяемые для прогноза продолжительности жизни пациентов с метастатическим поражением позвоночника шкалы Tokuhashi, Tomita и Bauer и проведено сравнение их эффективности. Подробно изложены критерии отбора таких пациентов для хирургического лечения. Представлены современные методы хирургического лечения вторичного поражения позвоночного столба: паллиативные, субтотальные, тотальные (en-block-резекции). Рассмотрены показания и противопоказания для каждого вида хирургического лечения. Описаны методики интраоперационного гемостаза. Особое внимание уделено предоперационной эмболизации опухоли, детальное – ошибкам и осложнениям данной методики. Отражена корреляционная зависимость объема интраоперационной кровопотери от сроков проведения эмболизации. Исследованы тенденции развития оперативных методов при метастатических опухолях позвоночника.

Ключевые слова: шкала Tokuhashi, en-block-резекция по Tomita, вертебропластика, метастатические опухоли позвоночника, шкала Bauer, шкала Tomita

Для цитирования: Ермолаев А.Ю., Яриков А.В., Алейник А.Я. и др. Роль хирургического лечения при метастатическом поражении позвоночника. Нейрохирургия 2022;24(2):78–93. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-78-93.

Surgical methods in management of metastatic spinal cord lesions

A. Yu. Ermolaev^{1,2}, A. V. Yarikov³, A. Ya. Aleynik¹, A. O. Dubshikh⁴, I. I. Smirnov², O. A. Perlmutter², A. G. Sosnin³,
A. M. Ermolaeva⁵, A. P. Fraerman²

¹Privolzhsky Research Medical University; 10/1 Minin and Pozharsky Sq., Nizhny Novgorod 603005, Russia;

²City Clinical Hospital No. 39; 144 Moscow Hwy., Nizhny Novgorod 603028, Russia;

³Privolzhsky District Medical Center, Federal Medical and Biological Agency of Russia, 2 Niznevolzhskaya Emb., Nizhny Novgorod 603001, Russia;

⁴Sverdlovsk Regional Oncological Dispensary; 29 Soboleva St., Yekaterinburg 620036, Russia;

⁵Nizhny Novgorod Regional Clinical Oncology Dispensary; 11/1 Delovaya St., Nizhny Novgorod 603126, Russia

Contacts: Anton Yurevich Ermolaev anton_ermolaeff@mail.ru

Malignant neoplasms remain the leading cause of death worldwide. The spine is a target for metastasis more often than other skeletal bones. This article details the principles of diagnosis, treatment, and the clinical picture of secondary

lesions of the spinal column. The causes of pain syndrome in cancerous lesions of the spine are reviewed: compression of nerve structures, pathological fractures, spinal instability, lytic foci and paraneoplastic pain syndrome. The causes and patterns of each type of pain syndrome are described in detail. The article presents the scales used to predict the life expectancy of these patients: Tokuhashi, Tomita and Bauer. The effectiveness of these scales is compared. The selection criteria for surgical treatment of patients with metastatic lesions of the spine are described in detail. Modern methods of surgical treatment of secondary lesions of the spinal column are presented: palliative, subtotal, total (en-block resections). The indications and contraindications for each type of surgical treatment are described. Methods of intraoperative hemostasis are described, with the special attention given to preoperative tumor embolization. The errors and complications of this technique are described in detail. The correlation dependence of intraoperative blood loss volume on the embolization terms is presented. Modern trends in the development of surgical methods in metastatic spinal tumors are described in conclusion.

Key words: Tokuhashi Scale, en-block Tomita resection, vertebroplasty, metastatic spinal tumors, Bauer Scale, Tomita Scale

For citation: Ermolaev A.Yu., Yarikov A.V., Aleynik A.Ya. et al. Surgical methods in management of metastatic spinal cord lesions. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):78–93. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-78-93.

ВВЕДЕНИЕ

По данным ВОЗ, в 2020 г. онкологические заболевания занимали 2-е место среди причин смертности в мире (от них умирает каждый шестой). В России в 2020 г. злокачественные новообразования впервые в жизни были выявлены в 556 036 случаях. На конец 2020 г. в онкологических учреждениях РФ состояли на учете 3 973 295 пациентов [1]. В США каждый год диагностируется 18 000 злокачественных новообразований позвоночника, при этом частота поражения метастазами (МС) составляет 95 %. Данные эпидемиологических исследований свидетельствуют о ежегодном увеличении числа пациентов с онкологическими заболеваниями [2–4]. Отчасти это связано с увеличением продолжительности жизни таких пациентов (за счет появления новых эффективных методов лечения онкологических заболеваний и совершенствования онкологической помощи), улучшением методов диагностики.

Позвоночник чаще других костей скелета становится мишенью для метастатического поражения [5, 6]. Общая частота метастазирования в позвоночник составляет 20–40 % от всех онкологических случаев, при этом до 20 % пациентов имеют симптомы сдавления нервных структур [7]. В грудном отделе позвоночника МС встречаются в 70 %, шейном – в 6–10 %, в поясничном – в 20 % случаев [8, 4, 9]. Выделяют три варианта поражения костной ткани: литическое, бластическое и смешанное. Эти типы костного поражения не имеют абсолютной специфичности к гистологическим типам опухолей [10]. По данным публикаций экспертов GSTSG (Global Spinal Tumor Study Group, 2005 г.), в Японии 5-летняя выживаемость пациентов с МС в позвоночник составляет около 55 %, а при первичных злокачественных опухолях позвоночника превышает 75 %.

КЛИНИЧЕСКАЯ КАРТИНА

Наиболее частое клиническое проявление при спинальных МС – болевой синдром (БС), реже – невро-

логические нарушения [4]. Степень выраженности БС зависит от локализации и размеров очага, его патогистологической характеристики [2, 11]. Самый частый спутник поражения позвоночника – БС, который встречается в 83–95 % случаев [8]. Локальная боль может быть как непосредственным результатом роста опухоли вследствие сдавления и разрушения тканей, так и результатом нарушения опорной функции позвоночника.

Под термином «нестабильность позвоночника» понимается повышенная мобильность его элементов по отношению друг к другу, которая способствует их патологическому смещению при физической нагрузке или ортопозиции. Главное отличие «аксиального» БС при нестабильности – его связь с движениями, изменением положения тела, осевой нагрузкой на позвоночник. «Аксиальный» БС проходит или в значительной степени уменьшается в функционально выгодном положении (как правило, в положении лежа). Концепция возникновения нестабильности – важный аспект в процессе определения объема хирургического лечения больных со спинальными МС [12].

Шкала оценки нестабильности позвоночника SINS (Spinal Instability Neoplastic Score) может применяться для оценки стабильности позвоночника при опухолях (табл. 1) [13].

На основании балльной оценки клинических характеристик и данных нейровизуализации шкала SINS позволяет установить наличие нестабильности позвоночника до лечения или оценить риск ее развития после операции [14].

Наибольшая нестабильность и вероятность возникновения патологического перелома тела позвонка наблюдаются при литическом типе поражения и разрушении кортикального слоя на 40–50 % и более; в таких случаях опорная функция позвонка снижается на 60–90 % [12].

Среди неврологической симптоматики выделяется радикулопатия, сегментарная и проводниковая симптоматика. Радикулярная симптоматика возникает при

Таблица 1. Оценка нестабильности позвоночника при опухолях по шкале SINS

Table 1. Assessment of spinal instability in tumors on the SINS scale

Характеристика Component	Признак Feature	Оценка, баллы Score, points
Локализация Location	Подвижный сегмент соединения 2 отделов позвоночника (затылочная кость – C2, C7–T2, T11–L1, L5–S1) Junctional (occiput – C2, C7–T2, T11–L1, L5–S1)	3
	Подвижный свободный сегмент (C3–C6, L2–L4) Mobile spine (C3–C6, L2–L4)	2
	Полуригидный сегмент (T3–Th10) Semi-rigid (T3–T10)	1
	Ригидный сегмент (S2–S5) Rigid (S2–S5)	0
Болевой синдром возникает при движении в позвоночнике, проходит в положении лежа Pain relief with recumbency and/or pain with	Да Yes	3
	Нет (но иногда болевой синдром не связан с движением) No (occasional pain but not mechanical)	1
	Нет Pain free lesion	0
Тип поражения Bone lesion	Литический Lytic	2
	Смешанный (остеолитический/остеобластический) Mixed (lytic/blastic)	1
	Бластический Blastic	0
Данные нейровизуализации Radiographic spinal alignment	Подвывих/подвижность позвонка Subluxation/translation present	4
	Деформация <i>de novo</i> (кифоз/сколиоз) <i>De novo</i> deformity (kyphosis/scoliosis)	2
	Норма Normal alignment	0
Коллапс тела позвонка Vertebral body collapse	>50 % снижения высоты >50 % collapse	3
	<50 % снижения высоты <50 % collapse	2
	Нет снижения высоты, >50 % тела позвонка поражено No collapse with >50 % body involved	1
	Норма None of the above	0
Вовлечение задних элементов позвонков (фасеточные суставы, ножки позвонков, перелом позвоночно-реберных сочленений, их опухолевое поражение) Posterolateral involvement of the spinal elements (facet, pedicle or CV joint fracture or replacement with tumor)	Двухстороннее Bilateral	2
	Одностороннее Unilateral	1
	Норма None of the above	0
Интерпретация шкалы SINS Criteria of instability		Сумма баллов Total score
Нет нестабильности Stable spine		0–6
Возможно развитие нестабильности Potential unstable spine		7–12
Явная нестабильность Unstable spine		13–18

поражении нервных корешков и может быть представлена: БС с иррадиацией в область автономной зоны иннервации корешков; неврологическими (чувствительными и двигательными) расстройствами по периферическому типу [15, 16].

Сегментарная и проводниковая симптоматика возникает в результате поражения спинного мозга (СМ). Снижение силы в конечностях возникает у 60–85 % пациентов на момент установления диагноза. По данным V. DeVita и K. Tomita, высшая степень двигательных расстройств (параплегия) — плохой прогностический признак. Продолжительность параплегии более 72 ч — противопоказание для хирургического лечения [12, 17]. Следует обращать внимание и на скорость наступления неврологических расстройств: если они нарастают медленно, то и регресс возможен после более длительного периода расстройств [16]. Кроме того, при миеломной болезни (плазмочитома) даже длительное сдавление и параплегия не всегда ассоциированы с плохим неврологическим прогнозом [5]. В качестве предиктора регресса неврологических расстройств после операции можно использовать тест со стероидами (дексаметазон или метилпреднизолон) [5, 18].

Кроме «ортопедических» болей и неврологической симптоматики у пациентов с метастатическим поражением позвоночника выделяется негетерогенная группа с БС, связанным с паранеопластическим процессом [19, 20]. Генез развития паранеопластических болей не до конца ясен, предлагается множество теорий такого генеза: эндогенная интоксикация, оксидативный стресс, дисметаболические нарушения (как результат паразитирования опухоли), аутоиммунная реакция организма (выработка антител и инфильтрация иммунными клетками нервных структур). Известны отдельные опухоли, в большей степени ассоциированные с БС паранеопластического генеза: мелкоклеточный рак легких, карцинома молочной железы или яичников, остеобластокластома, лимфома, тимома и множественная миелома [15].

ПРИНЦИПЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ

Рекомендации Ассоциации ведущих онкологических центров по борьбе с онкологическими заболеваниями в США NCCN (National Comprehensive Cancer Network) диктуют необходимость диагностики и лечения пациентов с метастатическим поражением позвоночника в клинике, имеющей в своей структуре подразделение онкологии и онкопатоморфологии [16, 21]. Важно проведение всех исследований, диагностических процедур, современных методов лечения онкологических заболеваний и необходимых оперативных вмешательств на территории одного специализированного медицинского учреждения [16, 22].

В таком учреждении должны работать следующие специалисты [16, 21]:

- онколог, специалист в области заболеваний костей и мягких тканей;

- патоморфолог, специализирующийся на патологии костей и мягких тканей;
- радиотерапевт;
- торакальный хирург;
- пластический хирург;
- ангиохирург/рентгенэндоваскулярный хирург;
- нейрохирург.

При определении показаний к операции при спинальных МС выделяют три «шага» (алгоритм планирования операции).

Шаг 1. Диагностика, определение объема поражения.

Шаг 2. Виды лечения: лекарственное (химио-, иммуно-, гормонотерапия, таргетная терапия); лучевые методы; хирургия.

Шаг 3. Планирование операции на позвоночнике.

Мероприятия шага 1 направлены на определение распространенности опухолевого процесса. Диагноз устанавливается на основании сопоставления клинической картины, данных лабораторных методов исследования, нейровизуализации и результатов патогистологического изучения биопсийного материала. После выявления первичной опухоли, ее гистологической принадлежности и установления объема поражения на консилиуме при участии как минимум трех специалистов принимается решение о плане лечения данного пациента [2, 9].

Шаг 2 определяет лечение, которое может включать ряд методов: медикаментозные (химио-, иммунотерапия, таргетная, гормональная терапия), лучевое воздействие и хирургическое удаление [23]. Далее определяется последовательность применения каждого из методов.

Шаг 3: планируется операция на позвоночнике, если она требуется.

Подобное решение принимается при нескольких условиях:

- 1) верифицированная патоморфологическим исследованием опухоль и определение ее чувствительности к лучевой и медикаментозной терапии;
- 2) нестабильность позвоночника, вызванная метастатическим поражением;
- 3) компрессия СМ и/или его корешков, вызванная опухолевым процессом, смещением кости или деформацией позвоночника;
- 4) выраженный некупируемый БС, который резистентен к лучевой и медикаментозной терапии;
- 5) общее состояние пациента, позволяющее провести оперативное вмешательство.

Для выбора оптимального метода лечения пациентов со спинальными МС предложен алгоритм принятия решений на основе четырех характеристик системы принятия решений NOMS (neurologic, oncologic, mechanical, systemic):

- 1) компрессия дурального мешка (neurologic);
- 2) радиочувствительность опухоли (oncologic);

Таблица 2. Алгоритм определения тактики при спинальных метастазах с сужением позвоночного канала с помощью NOMS

Table 2. Algorithm for determining tactics in spinal metastases with the spinal canal obstruction using NOMS

Компрессия дурального мешка Neurologic	Чувствительность опухоли к лучевой терапии Oncologic	Стабильность позвоночника Mechanical	Соматический статус пациента: позволяет (или нет) провести резекцию очага Systemic	Тактика Decision
Отсутствие или умеренная* без миелопатии Low-grade ESCC* without myelopathy	Радиочувствительная Radiosensitive	Стабильный Stable	Да Yes	Лучевая терапия Conventional external beam radiation
		Нестабильный Unstable		Стабилизация с последующей лучевой терапией Stabilization followed by conventional external beam radiation
	Радиорезистентная Radioresistant	Стабильный Stable		Радиохирургия Stereotactic radiosurgery
		Нестабильный Unstable		Стабилизация с последующей радиохирургией Stabilization followed by stereotactic radiosurgery
Выраженная компрессия** с (без) миелопатией High-grade ESCC** with (without) myelopathy	Радиочувствительная Radiosensitive	Стабильный Stable	Да Yes	Лучевая терапия Conventional external beam radiation
		Нестабильный Unstable		Стабилизация с последующей лучевой терапией Stabilization followed by conventional external beam radiation
	Радиорезистентная Radioresistant	Стабильный Stable	Да Yes	Декомпрессия или стабилизация с последующей лучевой терапией Decompression/stabilization followed by conventional external beam radiation
			Нет No	Лучевая терапия Conventional external beam radiation
		Нестабильный Unstable	Да Yes	Декомпрессия или стабилизация с последующей радиохирургией Decompression/stabilization followed by stereotactic radiosurgery
			Нет No	Стабилизация с последующей лучевой терапией Stabilization followed by conventional external beam radiation

*Умеренная компрессия дурального мешка: по мнению авторов, это ситуации, когда можно проследить ликворную камеру между опухолью и спинным мозгом (0, 1-я степень по ESCC (Epidural Spinal Cord Compression — выраженность эпидуральной компрессии спинного мозга)).

**Выраженная компрессия — отсутствие ликворной камеры и/или деформации спинного мозга (2, 3-я степени по ESCC) [25].

*Low-grade ESCC: no spinal cord compression.

**High grade ESCC was defined as deformation of the spinal cord with partial (ESCC Grade 2) or complete (ESCC Grade 3) obliteration of the CSF space [25].

- 3) стабильность позвоночника (mechanical);
- 4) стабильность общего состояния пациента (systemic).

Следование правилам NOMS, прогностическим шкалам, а также скрупулезный индивидуализированный подход к каждому пациенту позволяют оценить и интерпретировать особенности БС, клинической картины и неврологического статуса больного [24]. Элементы системы принятия решений NOMS [24] представлены в табл. 2.

При составлении плана лечения необходимо учитывать прогноз, определяемый типом первичной опухоли, распространенностью процесса, состоянием

пациента и предполагаемой продолжительностью жизни [5, 18, 26].

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТАКТИКУ ЛЕЧЕНИЯ

В онкоverteбологии для прогнозирования и выбора лечения чаще всего применяется шкала Y. Tokuhashi и соавт. (табл. 3, 4) [26, 27].

Группа, возглавляемая К. Tomita и N. Kawahara, проводила ретроспективный анализ данных 67 пациентов, которые получали различное лечение, и еще в 2001 г. предложила новую прогностическую шкалу (табл. 5, 6) [28].

Таблица 3. Обновленная шкала прогноза выживаемости Tokuhashi (2005)

Table 3. Revised Tokuhashi score (2005)

Прогностический фактор Predictive factor	Характеристика Feature	Оценка, баллы Score, points
Общее состояние (по шкале Карновского) General condition (KPS)	Плохое (≤ 40 %) Poor (≤ 40 %)	0
	Удовлетворительное (50–70 %) Moderate (50–70 %)	1
	Хорошее (80–100 %) Good (80–100 %)	2
Число экстрапозвоночных метастазов Number of extraspinal bone metastases foci	≥ 3	0
	1–2	1
	1	2
Число пораженных тел позвонков Number of metastases in the vertebral body	≥ 3	0
	1–2	1
	1	2
Метастазы во внутренние органы Metastases to the major internal organs	Невозможно удалить Unremovable	0
	Возможно удалить Removable	1
	Отсутствуют No metastases	2
Первичный очаг Primary tumor	Легкие, остеосаркома, хондросаркома, желудок, мочевого пузыря, пищевод, поджелудочная железа Lung, osteosarcoma, stomach, bladder, esophagus, pancreas	0
	Печень, желчный пузырь, не идентифицирован первичный очаг Liver, gallbladder, unidentified	1
	Другие Others	2
	Почки, мочеточники Kidney, uterus	3
	Прямая кишка Rectum	4
	Щитовидная железа, молочная железа, предстательная железа, саркома мягких тканей Thyroid, prostate, breast, carcinoid tumor	5
Выраженность неврологических нарушений (по шкале Frankel) Spinal cord palsy (Frankel scale)	Параплегия Complete (Frankel A, B)	0
	Парапарез Incomplete (Frankel C, D)	1
	Отсутствие неврологических осложнений None (Frankel E)	2

В настоящее время данную прогностическую шкалу наиболее часто используют совместно со шкалой Y. Tokuhashi и соавт. [15, 27].

В 1995 г. Н. Вауер и соавт. внедрили в клиническое использование достаточно простую и доступную шкалу (табл. 7, 8), созданную на основе оценки лечения 153 больных с МС рака различных локализаций в костях конечностей и 88 пациентов с МС в позвоночник.

Таблица 4. Прогноз предполагаемой выживаемости по шкале Tokuhashi и выбор лечения

Table 4. Prognosis of mean survival periods according to Tokuhashi scale and the ways of management

Сумма баллов Total points	Прогноз предполагаемой выживаемости, мес Prognosis of mean survival periods, mo	Лечение Treatments
0–8	<6 мес <6 mo	Симптоматическое лечение, включая паллиативную хирургию Symptomatic, including palliative surgery
9–11	>6 мес (у 30 % пациентов >12 мес) >6 mo (in 30 % patients >12 mo)	Паллиативное или субтотальное хирургическое лечение Palliative or subtotal surgical removal
12–15	>12 мес >12 mo	Тотальное хирургическое лечение Total surgical removal

Для определения достоверности вышеперечисленных шкал проводилось множество исследований. В Khon Kaen University (Тайланд) в исследовании 54 пациентов проводилась оценка трех основных шкал прогноза выживаемости пациентов с МС в позвоночник (Tokuhashi, Tomita и Bauer). Все больные были оценены по нескольким основным характеристикам: число пораженных позвонков и МС в другие органы, тип и органная принадлежность опухоли, описание неврологического дефицита и его длительность, прогноз выживаемости больных по представленным выше шкалам. Период наблюдения пациентов составил 5 лет. Выживаемость этой группы больных составила в среднем $11,68 \pm 8,7$ месяца, единственный признак, который оказал влияние на выживаемость, — тип первичной опухоли. При сопоставлении кривых выживаемости в исследуемой группе с помощью предложенных шкал и метода Каплана–Майера лучшей прогностической шкалой стала шкала Tomita ($p < 0,01$), по сравнению с шкалами Bauer и Tokuhashi [29].

По данным исследования, проведенного в Университетской клинике г. Грац (Австрия) в 2006 г., шкала Вауер считается достаточно точной [30].

Анализ применения шкалы Leithner и соавт. (2008 г.) и Wibmer и соавт. (2011 г.) показал, что все семь

Таблица 5. Прогностическая шкала Tomita

Table 5. Tomita score scale

Фактор Prognostic factors	Оценка, баллы Score, points
Степень злокачественности первичной опухоли Primary tumor	
Медленный рост (рак молочной железы, предстательной и щитовидной железы и т.д.) Slow growth (cancer of breast, thyroid, etc.)	1
Умеренный рост (рак почки, матки, желчного пузыря и т.д.) Moderate growth (cancer of kidney, uterus, etc.)	2
Быстрый рост (рак легкого, печени, желудка, толстой кишки, мочевого пузыря и т.д.) Rapid growth (cancer of lung, liver, stomach, colon, bladder etc.)	4
Висцеральные метастазы Visceral metastases	
Нет None	0
Потенциально излечимые Treatable	2
Неизлечимые Untreatable	4
Костные метастазы Bone metastases	
Одиночные или изолированные позвоночные Solitary or isolated	1
Множественные Multiple	2

Таблица 6. Выбор тактики лечения по шкале Tomita

Table 6. Surgical management according the Tomita score

Оценка, баллы Score, points	Выбор тактики лечения Choice of treatment tactics
2–3	Тотальное хирургическое удаление Total surgical removal
4–5	Экскохлеация, кюретаж, краевая резекция Partial surgical removal
6–7	Паллиативное хирургическое лечение Palliative surgery
8–10	Консервативное лечение No surgery

имеющихся прогностических шкал, включая шкалы Tokuhashi, Tomita и Linden, могут применяться для определения прогноза заболевания. Шкала Bauer точнее отображает прогноз заболевания после 4 лет и более от лечения первичной опухоли (распределение пациентов в группы умеренного и благоприятного прогноза) [12].

Таблица 7. Модифицированная шкала H. Bauer

Table 7. Modified Bauer score

Оценка, баллы Score, points	Фактор Prognostic factors
1	Нет висцеральных метастазов No visceral metastases
1	Опухоли, исключая рак легкого Tumors, excluding lung cancer
1	Первичный очаг: рак молочной железы, рак почки, лимфома, множественная миелома Primary tumor (breast, kidney, lymphoma)
1	Один солитарный костный метастаз One solitary skeletal metastasis

Таблица 8. Интерпретация результатов шкалы H. Bauer

Table 8. Surgical management according the Bauer score

Оценка, баллы Score, points	Цель лечения Aim of management	Тактика хирургического лечения Surgical management
0–1	Паллиативное лечение Palliative care	Консервативное лечение No surgery
2	Короткий срок ожидаемой продолжительности жизни Expected short survival	Паллиативное хирургическое лечение, задний доступ Palliative surgical care (Stabilization/decompression)
3–4	Средний срок ожидаемой продолжительности жизни Expected dot short survival	Тотальное хирургическое удаление опухоли (en-block резекция, комбинированный доступ) Total surgical removing

Предпочтительно одномоментное применение нескольких шкал у одного пациента. Предлагаемые шкалы не учитывают длительность безметастатического периода, степень злокачественности опухоли, чувствительность к лекарственному лечению и лучевой терапии, лечебный патоморфоз. При формировании этих шкал выживаемость при метастатическом поражении позвоночника была низка. На увеличение продолжительности жизни онкологических больных влияет целый ряд факторов: более ранняя диагностика заболеваний; развитие медикаментозной терапии и генной инженерии; усовершенствование медицинского оборудования и техники хирургического вмешательства; мультидисциплинарный подход в лечении опухолей; совершенствование онкологической помощи [16].

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ

С 1960-х по 1990-е годы наблюдается рост (с 28 до 39 %) хирургической активности в отношении МС позвоночника, несмотря на развитие лучевой терапии

и появление новых препаратов медикаментозного лечения.

Цели хирургического лечения:

- получение материала для патогистологического, иммуногистохимического исследования (биопсия);
- уменьшение интенсивности БС, повышение или сохранение на прежнем уровне качества жизни;
- предупреждение нарушения или восстановление опорной функции позвоночника;
- сохранение функции СМ и/или его корешков;
- уменьшение объема опухоли (циторедукция) для возможности проведения адъювантной терапии, достижения временного локального контроля над опухолью и увеличение продолжительности жизни.

В 60-х годах XX в. было пересмотрено и расширено понятие удаления органа, пораженного злокачественным образованием, основанное на методах абластики, сформулированных в начале XX в. [31]. Метод абластики широко применяется по отношению к злокачественным опухолям. Нужно отметить, что кускование опухоли не является абластикой, даже если опухоль была удалена данным способом в пределах здоровой ткани [16]. Абластика — это мероприятия, направленные на предупреждение распространения опухолевых клеток в зоне хирургического вмешательства [16]. Во время операции абластика реализуется следующими путями [8]:

- основательное отграничение зоны оперативного вмешательства;
- применение электро- или лазерного скальпеля, местных химиопрепаратов;
- однократное использование тупферов, шариков;
- смена или мытье перчаток и инструментов каждые 30–40 мин;
- перевязка и пересечение сосудов до начала мобилизации органа;
- удаление метастатических очагов в пределах заведомо здоровых тканей en-block с регионарными лимфатическими узлами и окружающей их клетчаткой;
- не вскрытие капсулы опухоли.

Хирургические методы

В классификации GSTSG выделяют следующие хирургические методы лечения МС позвоночника [32]:

- 1) паллиативные — направлены на декомпрессию нервных структур или/и стабилизацию позвоночника (вертебро-, кифопластика, вентральная или дорсальная инструментальная фиксация, радиочастотная абляция);
- 2) субтотальные — предполагают парциальное удаление опухоли для создания наибольшей декомпрессии нервных структур (ляминэктомия, корпэктомия с фиксацией или без нее);
- 3) тотальные (en-block-резекции).

1. Паллиативное лечение метастазов позвоночника.

Выполнение этих методов направлено на сохранение качества жизни данной группы пациентов [33–35].

Основные показания к проведению вертебропластики или кифопластики:

- связанный с физической нагрузкой БС;
- угроза или наличие патологического перелома тела позвонка, вызванные остеолитическим поражением при отсутствии нестабильности по шкале SINS;
- поражение тела позвонка онкогематологическим заболеванием (множественная миелома, лимфома и др.) [36–38].

Компрессия СМ мягкотканым компонентом опухоли, снижение высоты тела позвонка более чем на 50–70 %, спинальный стеноз более чем на 30 % окружности служат противопоказанием к вертебропластике [39–41]. В некоторых случаях противопоказанием к проведению вертебропластики считают дефект задней стенки тела позвонка, так как он значительно увеличивает риск попадания цемента в позвоночный канал [42, 43]. В таких случаях для уменьшения БС и локального контроля опухоли может использоваться радиочастотная абляция [44]. Вертебропластика не проводится при наличии бластических очагов, так как в большинстве случаев в данной ситуации методика показала себя малоэффективной [45]. Стабильные патологические переломы тел позвонков без выраженного БС не служат показанием к вертебропластике [46, 47].

Клинический пример применения вертебропластики в лечении с метастатическим поражением позвоночника представлен на рис. 1.

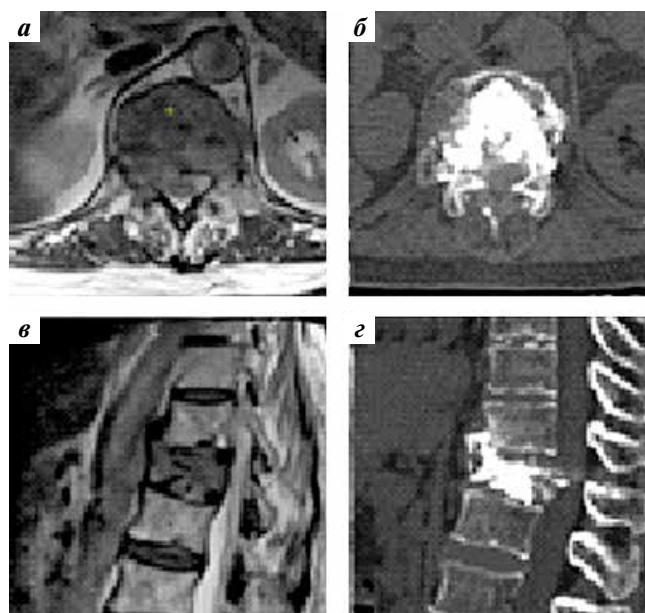


Рис. 1. Клинический пример: пациентка 69 лет, МС аденокарциномы кишечного типа в тело L1-позвонка, осложненный патологическим переломом без значимой компрессии СМ. Из бипедикулярного доступа выполнена вертебропластика полиметилметакрилатом, достигнут регресс БС. Изображения: а, б — МРТ до вмешательства; в, г — КТ после вертебропластики

Fig. 1. Clinical case: 69 years old patient with L1 metastasis from bowel adenocarcinoma without spinal cord compression. Vertebroplasty was performed, pain decreased. Images: а, б — MRI before procedure; в, г — CT after procedure

При множественных переломах не рекомендуется одновременно вводить цементирующий состав более чем в три позвонка, так как высок риск «стрессовых» переломов из-за резкого многоуровневого изменения высоты структур позвоночника. Такие манипуляции следует проводить в несколько этапов [39]. Инструментальная фиксация позвоночника (вентральная или дорсальная) выполняется при доказанной его нестабильности по шкале SINS [32].

Систематический обзор Р.А. Hulme и соавт. (2006) показал, что обезболивающие результаты вертебропластики и кифопластики одинаковы, но последняя предотвращает вытекание цемента за пределы тела позвонка, а также развитие экстравазаций и эмболию сосудов [48].

А.К. Валиев и соавт. (2009) опубликовали результаты применения вертебропластики у 168 пациентов с метастатическим поражением позвоночника. До вертебропластики БС отмечался у 146 (87 %) больных. После операции боль уменьшилась у 141 (84 %), из них у 72 (43 %) пациентов БС купировался полностью. До вертебропластики качество жизни было нарушено у 144 (86 %), после операции улучшение качества жизни отмечено у 124 (74 %) больных. До вертебропластики неврологический дефицит отмечался у 20 (12 %), после процедуры неврологическая симптоматика регрессировала у 11 (7 %) пациентов [37].

Согласно метаанализу Р.Е. Kaloostian и соавт. (2014), общий уровень снижения БС составил 91 % после лечения 864 пациентов, перенесших вертебропластику, а уровень увеличения мобильности — 62 %. Нарастание БС произошло в 1 % случаев. Также в этом исследовании проведен анализ результатов лечения 277 пациентов, перенесших кифопластику. Общий уровень улучшения мобильности составил 69 %, уровень снижения БС — 93 %. Ни один пациент не заявил об усилении болей [49].

Р. Hasserius и соавт. (2003) на основании клинического наблюдения за группой из 598 больных с патологическими переломами тел позвонков выявили, что в группе больных, не получавших лечение по поводу патологических переломов, риск перелома смежных позвонков увеличивался на 20 % [50].

Еще более многообещающие результаты по контролю БС и локальному контролю опухоли могут быть достигнуты при сочетании радиочастотной абляции или брахитерапии с аугментацией позвонка полиметилметакрилатом [44, 51, 52]. Если невозможно выполнить малоинвазивное локальное лечение на позвоночнике, то у пациентов в группе неблагоприятного прогноза с радиочувствительными опухолями следует проводить лучевую терапию, для которой характерны хорошие как непосредственные, так и отдаленные функциональные результаты локального лечения сроком до 6 мес.

2. Субтотальные операции. При множественном метастатическом поражении иногда основная цель

нейрохирургического лечения — улучшение качества оставшейся жизни пациентов: уменьшение БС, сохранение и по возможности улучшение неврологического статуса, достижение локального контроля опухолевого роста в пораженном позвонке, создание стабильности в позвоночнике и продолжение основного лечения (радиотерапия, медикаментозная терапия) [42, 53, 54]. Хирургическое лечение у этих больных не может носить радикальный характер. Однако при возникновении симптомов компрессии невралжных структур за счет костных отломков или опухолевой ткани при МС необходимо выполнение открытых операций [55, 56]. Проведение декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств предотвращает прогрессирование неврологического дефицита, создает условия для восстановления функций и уменьшения БС, вызванного компрессией невралжных структур и/или нестабильностью позвоночника [12, 57]. Сохранение стабильности позвоночника и интактности СМ и/или его корешков — наиболее важные факторы для поддержания приемлемого качества жизни у этой категории пациентов. Хирургическое лечение целесообразно проводить больным с более благоприятным прогнозом [42]. Визуальные данные до и после такой операции представлены на рис. 2.

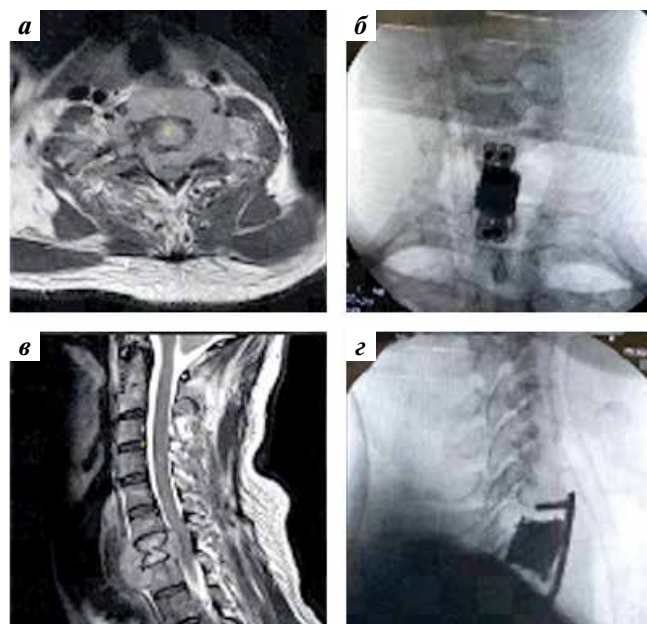


Рис. 2. Клинический пример: пациент 52 лет; МС почечно-клеточной карциномы в С7-позвонок, осложненный компрессией СМ, с клиникой умеренного тетрапареза и выраженным БС (больной не может встать, нуждается в постоянном уходе). Выполнена вентральная декомпрессия, опорный межтеловой спондилодез С6 — Т1 полиметилметакрилатовым кейджем с фиксацией пластиной. После операции пациент самостоятельно передвигается, встает, обслуживает себя. Изображения: а, б — МРТ до вмешательства; в, г — рентгенограммы после операции

Fig. 2. Clinical case: 52 years old patient with C7 injured by renal carcinoma with spinal cord compression and low functional conditions due to severe pain. Ventral decompression and spondylodesis C6 — T1 were performed. Improvement of functional conditions achieved. Images: а, б — MRI before surgery; в, г — X-ray after surgery

3. **Тотальное хирургическое удаление.** Пациентам с благоприятным онкологическим прогнозом, ожидаемой продолжительностью жизни более 12 мес, солитарным поражением показано проведение хирургического лечения спондилэктомии или вертебрэктомии (en-block-резекция по Tomita) [12, 58]. Такие «агрессивные вмешательства» применяются, например, при олигометастатических проявлениях рака почки, когда таргетная терапия приводит к существенному увеличению продолжительности жизни [16, 59]. Основные трудности, связанные с применением en-block-резекции: интенсивное кровотечение, повреждение крупных сосудов в процессе слепого рассечения позвонков, возможная контаминация опухолевыми клетками (особенно при разрезе ножки внутри поражения) [60].

Пример тотального удаления опухоли позвонка представлен на рис. 3.

Сдавленный опухолью СМ исключительно чувствителен. Для предупреждения повреждения СМ необходимо минимально травматическое обращение с ним. Необходимо избегать механического повреждения невралжных структур: избыточной тракции, прямого удара [18]. Скручивание СМ приводит к необратимому повреждению, чрезмерное вытяжение нервных кореш-

ков может привести к их отрыву, что также повреждает СМ [61].

Рассечение передней части тела позвонка — еще одна трудность применения en-bloc-резекции из одиночного заднего доступа. Основное решение этой проблемы — хорошее знание вертебрологом анатомии и осторожное постепенное рассечение тела позвонка [60].

Для хирургии позвоночных опухолей характерны большие объемы операционной кровопотери, достигающие, например, при раке почки средних значений в диапазоне 6500–8500 мл [21, 62]. Базовые способы снижения интраоперационной кровопотери: поэтапная диссекция тканей с использованием увеличительной оптики; ранняя коагуляция продольных венозных коллекторов позвоночного канала; применение современных гемостатических материалов (оксицеллюлозная вата, гемостатические губки, пенообразующая композиция и др.). Возможно использование фибринового клея эпидурально в краниокаудальном направлении от пораженного позвонка в объеме 1,5–2,0 мл сразу после ламинэктомии en-bloc [60, 63]. Для снижения кровопотери применяется гипотензивная анестезия (систолическое давление 80–90 мм рт. ст.), которая не оказывает влияния на кровоснабжение СМ. Использование золедроновой кислоты в лечении пациентов с МС в позвоночник может также способствовать предотвращению массивной кровопотери [16, 64].

Уменьшает интраоперационную кровопотерю и методика предоперационной эмболизации сосудов опухоли [14, 44, 50]. В качестве эмболизирующих агентов используются калиброванные сферические частицы, спирали и жидкие композиции [16]. Так, А.А. Тарханов и соавт. (2014, 2015) провели оценку результатов эмболизации у пациентов со спинальными МС [21, 62]. Все операции были разделены на следующие типы: декомпрессия позвоночного канала с фиксацией (в некоторых вариантах с открытой вертебротомией); декомпрессия позвоночного канала с парциальной резекцией тела позвонка, созданием межтеловой опоры и дорсальной фиксацией; спондилэктомия (циркулярная резекция позвонка из одного или двух доступов). Средний объем кровопотери составил: при декомпрессии позвоночного канала с фиксацией (в некоторых вариантах с открытой вертебротомией) — 156,2 мл; при декомпрессии позвоночного канала с парциальной резекцией опухоли, созданием межтеловой опоры и дорсальной фиксацией — 1070,0 мл; при тотальных операциях (en-block-резекция с фиксацией) — 1586,0 мл [62]. Не зафиксировано госпитальной летальности, связанной с объемом интраоперационной кровопотери, осложнений в виде постэмболизационного некроза не было. После эндоваскулярного вмешательства развились осложнения: неврологический дефицит — у 1; постэмболизационный синдром — у 6 пациентов. На фоне терапии у всех больных данные симптомы

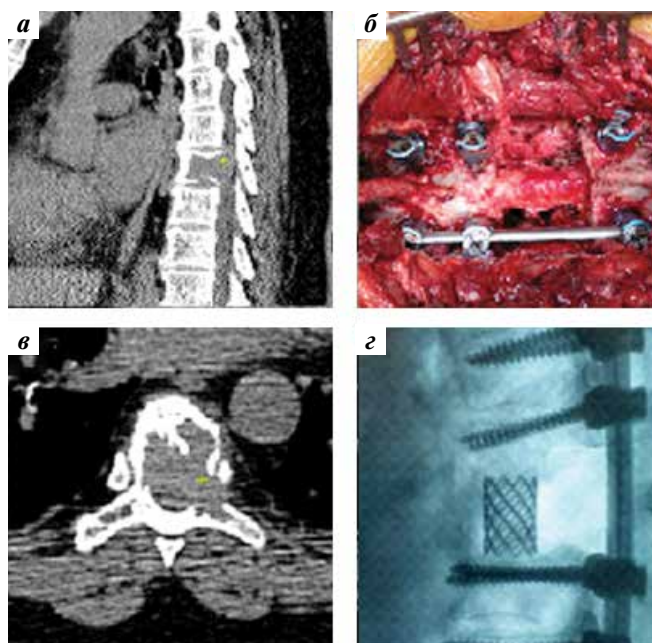


Рис. 3. Клинический пример: пациентка 59 лет, метастатическое поражение Th7-позвонка, осложненное компрессией СМ с клиникой нижнего умеренного парализа; гистологическое исследование: почечно-клеточный рак; нефрэктомия в анамнезе. Выполнена спондилэктомия T7-позвонка, транспедикулярная фиксация, межтеловой спондилодез. Изображения: а, б — КТ до вмешательства; в — интраоперационная фотография после спондилэктомии; г — рентгенограмма после операции

Fig. 3. Clinical case: 59 years old patient with metastatic Th7 injury with spinal cord compression. Primary tumor — renal-cell cancer (nephrectomy was performed before). Spondylectomy and spondylodesis were performed. Images: a, b — CT before surgery; в — intraoperative photo; г — CT after surgery

регрессировали [21]. При выполнении хирургического вмешательства в сроки до 2 сут после эмболизации средний объем кровопотери составил 160,0 мл. Увеличение интервала от эмболизации до операции (>2 сут) провоцирует возрастание объема кровопотери до 1012,5 мл.

Эффективность процедуры предоперационной эмболизации при МС в позвоночник показали М.А. Wilson и соавт. (2010) [36]. В случае частичной или тотальной эмболизации сосудистой сети опухоли в группе пациентов с гиповаскулярными МС не выявлено статистически значимого различия в объеме интраоперационной кровопотери (2319 и 1945 мл соответственно). В группе больных с гипervasкулярными очагами тотальность эмболизации коррелировала с уменьшением кровопотери (3460 и 1821 мл соответственно). Исследователи обращают внимание на уменьшении кровопотери при эмболизации сегментарных артерий выше и ниже пораженного уровня. Объем кровопотери при выполнении операции в течение 2 сут после эмболизации и в период более 2 сут составил 2608 и 3282 мл соответственно, тогда как в группе пациентов с гиповаскулярными опухолями статистически значимой вариации не было.

В работе С. Clausen и соавт. (2015) установлено, что предоперационная эмболизация не влияет на объем интраоперационной кровопотери при хирургическом лечении спинальных МС, осложненных компрессией СМ [65]. Оценка результатов хирургического лечения подгруппы больных с гипervasкулярными новообразованиями позвоночника, а также с умеренным их кровоснабжением, выявила статистически значимое различие в объеме интраоперационной кровопотери среди пациентов анализируемой подгруппы (645 мл) и пациентов контрольной группы (902 мл). Авторы отмечают, что в группе пациентов с МС из следующих первичных очагов — рак почки, молочной железы, легких, толстой кишки, меланомы, опухоли головы и шеи — в 76 % (по данным ангиографии) верифицирована высокая васкуляризация очагов.

Резекция гипervasкуляризованных опухолей должна выполняться, насколько это возможно, в ранние сроки после эмболизации — в течение 2–3 сут [65, 66].

Для уменьшения риска лучевой миелопатии и возможности проведения адекватной лучевой терапии может применяться сепарационная хирургия. В литературе показано, что применение данного подхода с использованием стереотаксической высокодозной лучевой терапии позволяет добиться риска локальной прогрессии менее 5 % в течение первого года, даже при опухолях с низкой лучевой чувствительностью [67].

Должен учитываться факт, что наличие металлических имплантов рядом с опухолью снижает эффективность радиационной терапии, поэтому актуальными становятся вопросы замены титановых конструкций

на импланты на основе пластика. Карбоновые винты вносят меньше помех в процесс облучения, а значит, повышают эффективность лучевого лечения [68].

Основываясь на анализе лечения 337 пациентов с IV стадией, исследователи заметили, что 16 % пациентов, которым проведено тотальное хирургическое удаление по поводу солитарных МС различных локализаций, прожили 5 лет и более [16]. В других исследованиях показаны еще более оптимистические результаты: 5- и 10-летняя выживаемость больных, которым проведено тотальное хирургическое удаление по поводу костных МС, составила 39,3 и 18 % соответственно [69].

По результатам исследования В.Р. Walcott и соавт. (2011), выживаемость пациентов с МС в позвоночник и хорошими показателями по шкале Американской ассоциации спинальной травмы ASIA (American Spinal Injury Association) и больных, у которых не развились осложнения хирургического лечения, была существенно выше [70]. Это требует особых знаний и навыков от вертебралогов, занимающихся спинальными МС.

Таким образом, к целям хирургического лечения в объеме вертебрэктомии/en-block-резекции можно отнести: улучшение локального контроля опухоли; предотвращение развития неврологического дефицита; улучшение или сохранение удовлетворительного качества жизни; улучшение прогноза онкологических заболеваний [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показания к хирургическому лечению спинальных метастазов в последние десятилетия значительно расширились. Во-первых, это связано с внедрением современных методов диагностики и лечения онкологических заболеваний, способствующих увеличению продолжительности жизни этой группы пациентов. Во-вторых, с совершенствованием хирургических методов, снижением травматичности операций. Хирургия при метастатическом поражении позвоночника редко служит радикальным методом, однако в комбинации с другими методами позволяет добиться не только улучшения качества жизни, но и увеличения ее продолжительности.

Лечение пациентов с метастатическим поражением позвоночника остается сложной мультидисциплинарной задачей, находящейся на стыке таких специальностей, как онкология, неврология, ортопедия и нейрохирургия. Определяющими факторами служат все компоненты NOMS-алгоритма (неврологический, онкологический, механический и системный). Несомненно, важен опыт команды, которая занимается лечением пациентов с метастатическим поражением позвоночника. Главным приоритетом при выборе тактики остается сохранение качества жизни больного.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Состояние онкологической помощи населению России в 2020 году. Под ред. А.Д. Каприна, А.О. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2021. 239 с. [The state of cancer care for the population of Russia in 2020. Eds.: A.D. Kaprin, A.O. Starinskiy, A.O. Shakhzadova. Moscow: MNI OI im. P.A. Gertsena – filial FGBU "NMITs radiologii" Minzdrava Rossii, 2021. 239 p. (In Russ.)].
2. Коновалов Н.А., Назаренко А.Г., Асютин Д.С. и др. Комплексная оценка исходов хирургического лечения пациентов с метастатическими поражениями позвоночника. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2015;79(3):34–44. [Konovalov N.A., Nazarenko A.G., Asyutin D.S. et al. Comprehensive assessment of the outcomes of surgical treatment of patients with metastatic spinal cord injuries. Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2015;79(3):34–44. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/neiro201579334-44.
3. Коновалов Н.А., Назаренко А.Г., Асютин Д.С. и др. Применение интраоперационных средств нейровизуализации и системы навигации в хирургическом лечении первичных и метастатических опухолей позвоночника. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2016;80(2):5–14. [Konovalov N.A., Nazarenko A.G., Asyutin D.S. et al. The use of intraoperative neuroimaging tools and a navigation system in surgical treatment of primary and metastatic tumors of the spine. Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery 2016;80(2):5–14. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/neiro20168025-14.
4. Бывальцев В.А. Метастазы шейного отдела позвоночника: способы коррекционного лечения. Клиническая неврология 2008;4:30–33. [Byvaltsev V.A. Metastases of the cervical spine: methods of corrective treatment. Klinicheskaya nevrologiya = Clinical Neurology 2008;4:30–33. (In Russ.)].
5. Миронова Ю.А., Шершевер А.С., Дубских А.О. и др. Комбинированное лечение пациентов с метастазами злокачественных опухолей в позвоночник и болевым синдромом. Уральский медицинский журнал 2012;4(96):97–102. [Mirinova Y.A., Shershever A.S., Dubskih A.O. et al. Combined treatment for patients with cancer vertebral metastases and spine pain. Uralskiy meditsinskiy zhurnal = Ural Medical Journal 2012;4(96):97–102. (In Russ.)].
6. Мануковский В.А., Кравцов М.Н., Федоренков А.В. и др. Чрескожная вертебропластика с2 позвонка при метастазе рака молочной железы. Нейрохирургия 2008;4:61–68. [Manukovsky V.A., Kravtsov M.N., Fedorenkov A.V. et al. Percutaneous vertebroplasty of the vertebra C2 in a patient with breast cancer metastasis. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2008;4:61–68. (In Russ.)].
7. North R.B., LaRocca V.R., Schwartz J. et al. Surgical management of spinal metastases: analysis of prognostic factors during a 10-year experience. J Neurosurg Spine 2005;2(5):564–73. DOI: 10.3171/spi.2005.2.5.0564.
8. Бывальцев В.А., Барза П. Возможности хирургического лечения при метастазах в шейном отделе позвоночника. Хирургия позвоночника 2009;1:42–8. [Byvaltsev V.A., Barza P. Capabilities of surgical treatment for cervical spine metastases. Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery 2009;1:42–8. (In Russ.)]. DOI: 10.14531/ss2009.1.42-48.
9. Бажанов С.П., Гуляев Д.А., Ульянов В.Ю. и др. Тактика хирургического лечения при метастатическом поражении верхнешейного отдела позвоночника. Саратовский научно-медицинский журнал 2018;14(3 Suppl):498–501. [Bazhanov S.P., Gulyaev D.A., Ulyanov V.Yu. et al. The tactics of surgical treatment in metastatic lesions of upper cervical spine. Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal = Saratov Journal of Medical Scientific Research 2018;14(3):498–501. (In Russ.)].
10. Воронович И.Р., Пашкевич Л.А. Клинико-рентгеноморфологическая диагностика гигантоклеточной опухоли позвоночника. Журнал Гродненского государственного медицинского университета 2010;2(30):125–8. [Vorovich I.R., Pashkevich L.A. Clinical X-ray-morphological diagnostics of giant cell tumor of the spine. Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University 2010;2(30):125–8. (In Russ.)].
11. Валиев А.К., Мусаев Э.Р., Сушенцов Е.А. и др. Опухоли позвоночника и перспективы их лечения на современном этапе развития вертебрологии. Травматология и ортопедия России 2010;16(2):126–8. [Valiev A.K., Musaev E.R., Sushentsov E.A., Borzov K.A., Aliev M.D. Spinal tumors and its treatment perspectives in our days. Travmatologiya i ortopediya Rossii = Traumatology and Orthopedics of Russia 2010;16(2):126–8. (In Russ.)].
12. Борзов К.А., Валиев А.К., Мусаев Э.Р., Кулага А.В. Выбор тактики хирургического лечения пациентов с метастазами рака почки в позвоночнике. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2018;(2):14–27. [Borzov K.A., Valiev A.K., Musaev E.R., Kulaga A.V. Surgical treatment tactics for patients with metastases of renal cancer in the spine. Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin 2018;(2):14–27. (In Russ.)].
13. Fisher C.G., DiPaola C.P., Ryken T.C. et al. A novel classification system for patients with metastases of renal cancer in the spine. Spine (Phila Pa 1976) 2010;35(22):E1221–9. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e16ae2.
14. Мусаев Э.Р., Степанова А.М., Гуроров С.Л. и др. Функциональные и отдаленные результаты локального лечения метастазов рака молочной железы в позвоночник. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2015;(3):12–8. [Musaev E.R., Stepanova A.M., Gutorov S.L. et al. Functional results and follow up after the local treatment of the breast cancer metastases to the spinal column. Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin 2015;(3):12–8. (In Russ.)].
15. Sasu-Tenkoramaa J., Fudin J. Neuropathy in the cancer patient: causes and cures. Pract Pain Manag 2013;13(3):53–67.
16. Королишин В.А. Комбинированное лечение метастатических опухолей позвоночника. Дис. ... канд. мед. наук. М., 2016. 185 с. [Korolishin V.A. Combined treatment of patients with metastatic lesions of the spine. Diss. ... candidate of medical sciences. Moscow, 2016. 185 p. (In Russ.)].
17. Боровикова И.А., Дубских А.О., Горных К.А. и др. Качество жизни пациентов после хирургического лечения метастатического поражения позвоночника. Уральский медицинский журнал 2018;11(166):10–5. [Borovikova I.A., Dubskih A.O., Gornyykh K.A. et al. Quality of life of patients after surgical treatment of spinal metastases. Uralskiy meditsinskiy zhurnal = Ural Medical Journal 2018;11(166):10–5. (In Russ.)]. DOI: 10.25694/URMJ.2018.11.12.
18. Дубских А.О., Ошурков П.А., Горных К.А. и др. Оценка частоты лечебных и диагностических оперативных вмешательств, выполняемых по поводу метастатического поражения позвоночного столба, а также выявление групп интереса для проведения дополнительных исследований в указанной

- группе пациентов. Уральский медицинский журнал 2015;7(130):13–5. [Dubskikh A.O., Oshurkov P.A., Gornyykh K.A. et al. Assessment of frequency of the medical and diagnostic surgeries which are carried out concerning metastatic damage of the spine column, and also identification of groups of interest for carrying out additional researches in the specified group of patients. *Uralskiy meditsinskiy zhurnal* = *Ural Medical Journal* 2015;7(130):13–5. (In Russ.)].
19. Левина Д.С., Меркулов Ю.А., Биглова А.Н., Меркулова Д.М. Болевой синдром при паранеопластической и химио-индуцированной полиневропатии: пути оптимизации патогенетической терапии. Медицинский алфавит 2018;3(27):13–20. [Levina D.S., Merkulov Yu.A., Biglova A.N., Merkulova D.M. Pain syndrome in paraneoplastic and chemotherapy-induced polyneuropathy: ways of optimizing pathogenetic therapy. *Literature review. Meditsinskiy alfavit* = *Medical Alphabet* 2018;3(27):13–20. (In Russ.)].
 20. Алексеева О.П., Михайлова З.Д. Паранеопластические синдромы в клинике внутренних болезней. Н. Новгород: Изд-во ПИМУ, 2017. 122 с. [Alexeeva O.P., Mikhailova Z.D. *Paraneoplastic syndromes in the clinic of internal diseases*. Nizhny Novgorod: Izd-vo PIMU, 2017. 122 p. (In Russ.)].
 21. Тарханов А.А., Дубских А.О., Миронова Ю.А. и др. Эффективность предоперационной эмболизации у пациентов с метастазами почечноклеточного рака в позвоночник. Вестник Уральской медицинской академической науки 2014;1(47):43–7. [Tarkhanov A.A., Dubskikh A.O., Mironova Yu.A. et al. Efficiency of the preoperative embolization of patients with metastases from renal cell carcinoma in the spinal column. *Vestnik Uralskoi Meditsinskoi Akademicheskoi Nauki* = *Journal of Ural Medical Academic Science* 2014;1(47):43–7. (In Russ.)].
 22. Krakoff I.H. Systemic treatment of cancer. *CA Cancer J Clin* 1996;46(3):134–41. DOI: 10.3322/canjclin.46.3.134.
 23. Миронова Ю.А., Бенцион Д.Л., Баянкин С.Н. и др. Стереотаксическая лучевая терапия в комбинированном лечении метастазов в позвоночник в Свердловской области. Исследования и практика в медицине 2019;6(S):192–3. [Mironova Yu.A., Bentsion D.L., Bayankin S.N. et al. Stereotactic radiotherapy in the combined treatment for spine metastases in the Sverdlovsk region. *Issledovaniya i praktika v meditsine* = *Research'n Practical Medicine Journal* 2019;6(1 Suppl):192–3. (In Russ.)]. DOI: 10.17709/2409-2231-2019-6-S1-192-193.
 24. Laufer I., Rubin D.G., Lis E. et al. The NOMS framework: approach to the treatment of spinal metastatic tumors. *Oncologist* 2013;18(6):744–51. DOI: 10.1634/theoncologist.2012-0293.
 25. Bilsky M.H., Laufer I., Fourny D.R. et al. Reliability analysis of the epidural spinal cord compression scale. *J Neurosurg Spine* 2010;13(3):324–8. DOI: 10.3171/2010.3.SPINE09459.
 26. Балаев П.И., Люлин С.В., Мещерягина И.А. Малоинвазивные хирургические вмешательства в лечении больных с метастатическим поражением позвоночника. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2016;3:22–5. [Balaev P.I., Lyulin S.V., Meshcheryagina I.A. Minimally invasive surgical techniques in the treatment of metastatic lesions in the spinal column. *Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi* = *Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin* 2016;3:22–5. (In Russ.)].
 27. Tokuhashi Y., Uei H., Oshima M., Ajiro Y. Scoring system for prediction of metastatic spine tumor prognosis. *World J Orthop* 2014;5(3):262–71. DOI: 10.5312/wjo.v5.i3.262.
 28. Tomita K., Kawahara N., Kobayashi T. et al. Surgical strategy for spinal metastases. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(3):298–306. DOI: 10.1097/00007632-200102010-00016.
 29. Maranzano P., Latini E., Beneventi S. et al. Comparison of two different radiotherapy schedules for spinal cord compression in prostate cancer. *Tumori* 1998;84(4):472–7.
 30. Tokuhashi Y. et al. A revised scoring system for preoperative evaluation of metastatic spine tumor prognosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(19):2186–91. DOI: 10.1097/01.brs.0000180401.06919.a5.
 31. Снахо Б.А., Синянская М.П., Карамизова М.И. и др. Возможности хирургического лечения метастатических поражений позвоночника. Международный научно-исследовательский журнал 2018;6–1(72):76–80. [Snakho B.A., Sinyanskaya M.P., Karamizova M.I. et al. Possibilities of surgical treatment of metastatic lesions of spine. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = *International Research Journal* 2018;6–1(72):76–80. (In Russ.)]. DOI: doi.org/10.23670/IRJ.2018.72.6.014.
 32. Choi D., Crookard A., Bungler C. et al. Review of metastatic spine tumour classification and indications for surgery: the consensus statement of the Global Spine Tumour Study Group. *Eur Spine J* 2010;19(2):215–22. DOI: 10.1007/s00586-009-1252-x.
 33. Кравцов М.Н., Низковолос В.Б., Алексеев Е.Д. и др. Демонстрация: метод пункционной транскutánной криодеструкции патологических очагов в лечении больных с метастатическими поражениями позвоночника. Нейрохирургия 2015;2:100. [Kravtsov M.N., Nizkovolos V.B., Alekseev E.D. et al. Demonstration: method of punctional and transcutaneous cryodestruction of pathological focals in the treatment of patients with metastatic spine lesions. *Neyrokhirurgiya* = *Russian Journal of Neurosurgery* 2015;2:100. (In Russ.)].
 34. Парфёнов В.Е., Мануковский В.А., Алексеев Е.Д. и др. Пункционная чрескожная вертебропластика в лечении патологии позвоночника. В кн.: Сборник лекций по актуальным вопросам нейрохирургии. СПб., 2008. С. 386–419. [Parfenov V.E., Manukovskiy V.A., Alekseev E.D. et al. Punctional percutaneous vertebroplasty in treatment of spine pathology. In: *Collection of lectures on topical issues of neurosurgery*. Saint Petersburg, 2008. P. 386–419. (In Russ.)].
 35. Ноздрин В.М., Хаиров Р.З., Мяснянкин А.А. и др. Вертебропластика в клинической практике. В кн.: Актуальные вопросы тканевой и клеточной трансплантологии. VII Всероссийского симпозиума с международным участием: Сборник тезисов. Астрахань, 2017. С. 235–239. [Nozdrin V.M., Khairov R.Z., Myasnyankin A.A. et al. Vertebroplasty in clinical practice. In: *VII All-Russian Symposium with International Participation "Topical issues of tissue and cell transplantology"*: Collection of abstracts. 2017. P. 235–239. (In Russ.)].
 36. Wilson M.A., Cooke D.L., Ghodke B., Mirza S.K. Retrospective analysis of preoperative embolization of spinal tumors. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31(4):656–60. DOI: 10.3174/ajnr.A1899.
 37. Валиев А.К., Мусаев Э.Р., Сушенцов Е.А., Борзов К.А. Чрескожная вертебропластика при метастатическом поражении позвоночника. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2009;1:23–7. [Valiev A.K., Musaev E.R., Sushentsov E.A., Borzov K.A. Treatment of spinal metastasis by percutaneous vertebroplasty. *Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi* = *Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin* 2009;1:23–7. (In Russ.)].
 38. Дуров О.В., Шевелев И.Н., Тиссен Т.П. Вертебропластика при лечении опухолей позвоночника. Хирургия позвоночника 2004;4:68–73. [Durov O.V., Shevelev I.N., Thyssen T.P. Vertebroplasty for spinal tumors. *Khirurgiya pozvonochnika* = *Spine Surgery* 2004;4:68–73. (In Russ.)].
 39. Нагайцева А.А., Жариков Ю.О. Минимально инвазивные методики лечения компрессионных переломов позвоночника при миеломной болезни (обзор). Медицинский академический журнал 2019;19(1):29–34. [Nagaitseva A.A., Zharikov Yu.O. Minimally invasive treatment of spinal compression fractures in multiple myeloma (review).

- Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal = Medical Academic Journal 2019;19(1):29–34. (In Russ.)). DOI: 10.17816/MAJ19129-34.
40. Валиев А.К., Каллистов В.Е., Мусаев Э.Р. и др. Малоинвазивные методы диагностики и лечения больных с метастатическим поражением позвоночника. Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН 2010;21(4):3–8. [Valiev A.K., Kallistov V.E., Musaev E.R. et al. Low invasive approaches to the diagnosis and treatment of patients with spinal metastases. Vestnik RONTs im. N.N. Blokhina RAMN = Journal of N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center RAMS 2010;21(4):3–8. (In Russ.)].
 41. Хомченков М.В., Мещерягина И.А., Россик О.С. Наш опыт применения перкутанной вертебропластики тел грудного и поясничного отдела позвоночника. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук 2011;4(80):112. [Khomchenkov M.V., Meshcheryagina I.A., Rossik O.S. Our experience of application of percutaneous vertebroplasty of thoracic and lumbar centrum. Byulleten Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal) 2011;4(80):112. (In Russ.)].
 42. Кулага А.В., Мусаев Э.Р., Жукова Л.Г. и др. Локальное лечение пациентов с метастатическим поражением позвоночника при раке легкого. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2019;11(1):5–14. [Kulaga A.V., Musaev E.R., Zhukova L.G. et al. Local treatment approach of metastatic spine in lung cancer patients. Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin 2019;11(1):5–14. (In Russ.)].
 43. Валеев Е.К., Валеев И.Е. Пункционная вертебропластика (осложнения и пути их предупреждения). Практическая медицина 2012;8–2(64):22–4. [Valeev E.K., Valeev I.E. Paracetic vertebroplasty (complications and their warnings). Prakticheskaya meditsina = Practical Medicine 2012;8–2(64):22–4. (In Russ.)].
 44. Mayer T., Cazzato R.L., de Marini P. et al. Spinal metastases treated with bipolar radiofrequency ablation with increased (>70°C) target temperature: pain management and local tumor control. Diagn Interv Imaging 2021;102(1):27–34. DOI: 10.1016/j.diii.2020.04.012.
 45. Валиев А.К., Алиев М.Д. Роль чрескожной вертебропластики и биопсии в диагностике и лечении больных с опухолевым поражением позвоночника. Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи 2012;2:3–9. [Valiev A.K., Aliev M.D. Role of percutaneous vertebroplasty and biopsy in diagnostics and treatment of patients with spinal tumors. Sarkomy kostey, myagkikh tkaney i opukholi kozhi = Bone and Soft Tissue Sarcomas, Tumors of the Skin 2012;2:3–9. (In Russ.)].
 46. Джинджихадзе Р.С., Лазарев В.А., Горожанин А.В. и др. Перкутанная вертебропластика. Нейрохирургия 2005;1:36–40. [Gingihadze R.S., Lazarev V.A., Gorozhanin A.V. et al. Percutaneous vertebroplasty. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2005;1:36–40. (In Russ.)].
 47. Хамидуллин Ф.Г., Ермолаев Ю.Ф., Петров С.И. и др. Чрескожная вертебропластика в нейрохирургической практике. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук 2011;1–2(77):275–7. [Khamidullin F.G., Ermolaev Yu.F., Petrov S.I. et al. Percutaneous vertebroplasty in neurosurgical practice. Byulleten Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal) 2011;1–2(77):275–7. (In Russ.)].
 48. Hulme P.A., Krebs J., Ferguson S.J., Berlemann U. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies. Spine (Phila Pa 1976) 2006;31(17):1983–2001. DOI: 10.1097/01.brs.0000229254.89952.6b.
 49. Kaloostian P.E., Yurter A., Zadnik P.L. et al. Current paradigms for metastatic spinal disease: an evidence-based review. Ann Surg Oncol 2014;21(1):248–62. DOI: 10.1245/s10434-013-3324-8.
 50. Hasserijs R., Karlsson M.K., Nilsson B.E. et al. Prevalent vertebral deformities predict increased mortality and increased fracture rate in both men and women: a 10-year population-based study of 598 individuals from the Swedish cohort in the European Vertebral Osteoporosis Study. Osteoporos Int 2003;14(1):61–8. DOI: 10.1007/s00198-002-1316-9.
 51. Kam N.M., Maingard J., Kok H.K. et al. Combined vertebral augmentation and radiofrequency ablation in the management of spinal metastases: an update. Curr Treat Options Oncol 2017;18(12):74. DOI: 10.1007/s11864-017-0516-7.
 52. Li M., Zhang Y., Zhang X. Effects of surgery and radiofrequency ablation in the treatment of spinal metastases and analysis of the influencing factors of prognosis. Exp Ther Med 2020;19(2):1072–8. DOI: 10.3892/etm.2019.8310.
 53. Жуковец А.Г., Касюк А.А., Бабкин А.В., Мазуренко А.Н. Хирургическое лечение пациентов с метастатическим поражением позвоночника. Онкологический журнал 2012;6(3):5–8. [Zhukovets A.G., Kasiuk A.A., Babkin A.V., Mazurenko A.N. Surgical treatment of patients with metastatic involvement of the spine. Onkologicheskii zhurnal = Oncological Journal 2012;6(3):5–8. (In Russ.)].
 54. Керимбаев Т.Т., Алейников В.Г., Туйгынов Ж.М., Махамбетов Е.Т. Тотальное удаление гигантской опухоли (карциномы) крестца. Нейрохирургия и неврология Казахстана 2017;4(49):48–53. [Kerimbaev T.T., Aleynikov V.G., Tuygynov Zh.M., Makhambetov E.T. Total remov of giant tumor of the sacrum. Case report. Neyrokhirurgiya i neurologiya Kazakhstan = Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan 2017;4(49):48–53. (In Russ.)].
 55. Орлов В.П., Идричан С.М., Кравцов М.Н. и др. Опыт хирургического лечения больных с опухолями позвоночника и спинного мозга в специализированном стационаре. Вестник Российской Военно-медицинской академии 2014;2(46):63–6. [Orlov V.P., Idrichan S.M., Kravtsov M.N. et al. Experience of surgical treatment of patients with spine and spinal cord tumours in specialized intreatment facility. Vestnik Rossiyskoy Voenno-meditsinskoy akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy 2014;2(46):63–6. (In Russ.)].
 56. Суфианов А.А., Манашук В.И., Набиев Д.Н. и др. Хирургическое лечение пациентов с первичными и метастатическими опухолями позвоночника с использованием мобильного интраоперационного компьютерного томографа О-ARM. Нейрохирургия. 2019;21(4):39–49. [Sufianov A.A., Manashchuk V.I., Nabiev D.N. et al. Surgical treatment of patients with primary and metastatic spinal tumor with use of the O-Arm intraoperative portable computed tomography scanner. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2019;21(4):39–49. (In Russ.)]. DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-4-39-49.
 57. Коновалов Н.А., Назаренко А.Г., Асютин Д.С. и др. Анализ эффективности применения интраоперационного конусно-лучевого компьютерного томографа «О-ARM» и современной системы навигации в хирургическом лечении заболеваний позвоночника и спинного мозга. Хирургия позвоночника 2014;3(54):59. [Konovalov N.A., Nazarenko A.G., Asyutin D.S. et al. Efficacy of intraoperative cone-beam O-ARM computed tomography and modern navigation system in the spine and spinal cord surgery. Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery 2014;3(54):59. (In Russ.)]. DOI: 10.14531/ss2014.3.54-59.
 58. Монашенко Д.Н., Бадалов В.И., Кистень В.К. Интраоперационные осложнения в спинальной хирургии.

- Вестник Российской Военно-медицинской академии 2016;4(56):217–23. [Monashenko D.N., Badalov V.I., Kisten V.K. Intraoperative complications in spinal surgery. Vestnik Rossiyskoy Voenno-meditsinskoy akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy 2016;4(56):217–23. (In Russ.)].
59. Заборовский Н.С., Кострицкий С.В., Пташников Д.А., Широкопад В.И. Метастатическое поражение позвоночника на фоне почечно-клеточного рака: результаты лечения и выживаемость после удаления опухоли. Хирургия позвоночника 2017;14(4):110–6. [Zaborowsky N.S., Kostritskiy S.V., Ptashnikov D.A., Shirokorad V.I. Metastatic lesion of the spine due to renal cell carcinoma: outcomes and survival after tumor resection. Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery 2017;14(4):110–6. (In Russ.)]. DOI: 10.14531/ss2017.4.110-116.
60. Ардашев И.П., Рерих В.В. Тотальная спондилэктомия в лечении опухолей позвоночника. Хирургия позвоночника 2009;1:49–56. [Ardashev I.P., Roerich V.V. Total spondylectomy for the treatment of spinal tumors. Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery 2009;1:49–56. (In Russ.)]. DOI: 10.14531/ss2009.1.49-56.
61. Гуца А.О., Коновалов Н.А., Арестов С.О. и др. Тактика и результаты хирургического лечения пациентов с первичными опухолями позвоночника. Хирургия позвоночника 2015;12(3):72–82. [Gushcha A.O., Konovalov N.A., Arestov S.O. et al. Surgical treatment of primary spinal tumors: tactics and results. Khirurgiya pozvonochnika = Spine Surgery 2015;12(3):72–82. (In Russ.)]. DOI: org/10.14531/ss2015.3.72-82.
62. Тарханов А.А., Герасимов М.В., Гребенев Е.А. и др. Роль предоперационной эмболизации в снижении интраоперационной кровопотери и в профилактике гематологических осложнений у пациентов с метастазами почечно-клеточного рака в позвоночник. Вестник Уральской медицинской академической науки 2015;3(54):48–55. [Tarkhanov A.A., Gerasimov M.V., Grebenov E.A. et al. The effect of preoperative embolization of the blood loss decrease and prevention of hematological complications in patients with metastases from renal cell carcinoma in the spinal column. Vestnik Uralskoi Meditsinskoi Akademicheskoi Nauki = Journal of Ural Medical Academic Science 2015;3(54):48–55. (In Russ.)].
63. Валеев Е.К., Огурцов С.В., Валеев И.Е., Бикмуллин Т.А. Оперативные вмешательства при опухолях позвоночника. Практическая медицина 2017;8(109):39–43. [Valeev E.K., Ogurtsov S.V., Valeev I.E., Bikmullin T.A. Surgical interventions in spinal tumors. Prakticheskaya meditsina = Practical Medicine 2017;8(109):39–43. (In Russ.)].
64. Wu J., Zheng W., Tan Y. et al. Zoledronic acid may reduce intraoperative bleeding in spinal tumors: a prospective cohort study. Biomed Res Int 2015;2015:936307. DOI: 10.1155/2015/936307.
65. Clausen C., Dahl B., Frevert S.C. et al. Preoperative embolization in surgical treatment of spinal metastases: single-blind, randomized controlled clinical trial of efficacy in decreasing intraoperative blood loss. J Vasc Interv Radiol 2015;26(3):P402–12.E1. DOI: 10.1016/j.jvir.2014.11.014.
66. Назаров А.С., Орлов А.Ю., Улитин А.Ю. и др. Предоперационная эмболизация в хирургическом лечении метастатической болезни позвоночника: современное состояние проблемы. Обзор литературы. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова 2020;12(4):80–9. [Nazarov A.S., Orlov A.Yu., Ulitin A.Yu. et al. Preoperative embolization in surgery of metastatic spinal disease: current state of the problem. A literature review. Rossiyskiy neyrokhirurgicheskiy zhurnal im. prof. A.L. Polenova = Russian Neurosurgical Journal named after Professor A.L. Polenov 2020;12(4):80–9. (In Russ.)].
67. Laufer I., Iorgulescu J.B., Chapman T. et al. Local disease control for spinal metastases following “separation surgery” and adjuvant hypofractionated or high-dose single-fraction stereotactic radiosurgery: outcome analysis in 186 patients. J Neurosurg Spine 2013;18(3):207–14. DOI: 10.3171/2012.11.SPINE12111.
68. Tedesco G., Gasbarrini A., Bandiera S. et al. Composite PEEK/Carbon fiber implants can increase the effectiveness of radiotherapy in the management of spine tumors. J Spine Surg 2017;3(3):323–9. DOI: 10.21037/jss.2017.06.20.
69. Семков А.С., Махсон А.Н., Петерсон С.Б. и др. Хирургическое лечение костных метастазов рака почки. Онкоурология 2010;6(4):10–5. [Semkov A.S., Makhson A.N., Peterson S.B. et al. Surgical treatment for bone metastases of kidney cancer. Onkourologiya = Cancer Urology 2010;6(4):10–5. (In Russ.)]. DOI: 10.17650/1726-9776-2010-6-4-10-15.
70. Walcott B.P., Cvetanovich G.L., Barnard Z.R. et al. Surgical treatment and outcomes of metastatic breast cancer to the spine. J Clin Neurosci 2011;18(10):1336–9. DOI: 10.1016/j.jocn.2011.02.020.

Вклад авторов

А.Ю. Ермолаев: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
А.В. Яриков: литературный обзор, обработка данных, написание статьи;
А.Я. Алейник: анализ данных, описание клинических примеров;
А.О. Дубских: анализ данных, описание клинических примеров;
И.И. Смирнов: литературный обзор;
О.А. Перльмуттер: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
А.Г. Соснин: анализ данных;
А.М. Ермолаева: разработка дизайна исследования, написание статьи;
А.П. Фраерман: разработка дизайна исследования.

Authors' contributions

A.Yu. Ermolaev: research design of the study, scientific editing of the article;
A.V. Yarikov: literature review, data analysis, article writing;
A.Ya. Aleynik: data analysis, description of clinical examples;
A.O. Dubskikh: data analysis, description of clinical examples;
I.I. Smirnov: literature review;
O.A. Pelmutter: research design of the study, scientific editing of the article;
A.G. Sosnin: data analysis;
A.M. Ermolaeva: research design of the study, article writing;
A.P. Fraerman: research design of the study.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.Ю. Ермолаев / A.Yu. Ermolaev: <https://orcid.org/0000-0001-5326-9685>

А.В. Яриков / A.V. Yarikov: <https://orcid.org/0000-0002-4437-4480>

А.Я. Алейник / A.Ya. Aleynik: <https://orcid.org/0000-0002-1761-1022>

А.О. Дубских / A.O. Dubskikh: <https://orcid.org/0000-0003-4796-1768>

И.И. Смирнов / I.I. Smirnov: <https://orcid.org/0000-0002-1766-9515>

О.А. Перльмуттер / O.A. Pelmutter: <https://orcid.org/0000-0002-7934-1437>

А.Г. Соснин / A.G. Sosnin: <https://orcid.org/0000-0003-1370-3904>

А.М. Ермолаева / A.M. Ermolaeva: <https://orcid.org/0000-0001-9549-9841>

А.П. Фраерман / A.P. Fraerman: <https://orcid.org/0000-0003-3486-6124>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

ОПУХОЛИ ПОЗВОНОЧНИКА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Д.Е. Закондырин¹, А.А. Гринь^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1;

²ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3

Контакты: Дмитрий Евгеньевич Закондырин russiandoctor@mail.ru

Рассмотрены вопросы эпидемиологии, классификации, диагностики и методов лечения опухолей позвоночника. Приведены данные о частоте встречаемости и особенностях различных гистологических форм доброкачественных и злокачественных новообразований позвонков. Обсуждаются особенности диагностики опухолей позвоночника, классические рентгенографические признаки и современные неинвазивные визуализационные и инвазивные (биопсия) методы. Проанализированы литературные данные о методах и возможностях хирургического лечения. Исследованы современные тенденции в выборе степени радикальности хирургического вмешательства в зависимости от вида опухоли позвоночника с использованием классификаций стадийности новообразований по Enneking, Weinstein–Boriani–Biagini и Tomita. Уделено внимание современным показаниям к проведению радикальной резекции en bloc на позвоночнике, выполняемой в ограниченном числе случаев. Обсуждаются технологии MISS-хирургии: от вертебропластики, радиочастотной абляции и интервенционного удаления метастатической опухоли до сепарационной хирургии при эпидуральной компрессии. Помимо хирургического лечения, рассматриваются методы неoadъювантной и адъювантной лучевой терапии новообразований позвонков: конвенциональная, конформная, в том числе стереотаксическая, ЛТ и радиохирургия. Представлены данные о современных тенденциях в выборе тактики лечения в зависимости от гистологической природы опухоли, ее радиочувствительности и возможности постлучевой злокачественной трансформации. Медикаментозное лечение, в частности химиотерапия, служит незаменимым методом в лечении вторичных и некоторых первичных злокачественных опухолей позвоночника. Приводятся данные о химиочувствительности различных новообразований и тактике комбинированного и комплексного лечения. Очевидно, что современная тенденция – уменьшение степени хирургической инвазии и выбор в сторону малоинвазивных методов хирургического лечения. При этом сделан вывод, что с учетом биологической природы гемопозитических опухолей и некоторых сарком позвоночника на современном этапе хирургическое лечение не служит основным методом лечения данных злокачественных новообразований.

Ключевые слова: опухоль позвоночника, хирургическое лечение, лучевая терапия, химиотерапия, нейрохирургия

Для цитирования: Закондырин Д.Е., Гринь А.А. Опухоли позвоночника: обзор литературы. Нейрохирургия 2022; 24(2):94–104. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-94-104.

Spinal tumors: literature review

D.E. Zakondyrin¹, A.A. Grin^{1,2}

¹A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia;

²N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia

Contacts: Dmitriy Evgenevich Zakondyrin russiandoctor@mail.ru

Problems epidemiology, classification, diagnosis, and treatment of spinal tumors are considered. Data on morbidity and characteristics of different histological forms of benign and malignant vertebral tumors are presented. Features of spinal tumor diagnosis, classic radiological signs, and current noninvasive visualization and invasive (biopsy) techniques are discussed. Literature data on techniques and capabilities of surgical treatment are analyzed. Current trends in selection of surgical intervention radicality level depending on the type of spinal tumor using staging classifications by Enneking, Weinstein–Boriani–Biagini and Tomita are described. Current indications for radical en bloc resection performed in a limited number of cases is considered. Minimally invasive spine surgery is discussed: from vertebroplasty, radiofrequency ablation and intervention removal of metastatic tumor to separation surgery for epidural compression. Apart from

surgical treatment, neoadjuvant and adjuvant radiotherapy of vertebral tumors are analyzed: conventional, conformal, including stereotactic, beam therapy and radiosurgery. Data on current trends in treatment selection depending on histological nature of the tumor, its radiosensitivity and probability of post-radiation malignant transformation are presented. Drug treatment, in particular chemotherapy, is an indispensable in treatment of secondary and some primary spinal tumors. Data on chemosensitivity of various tumors and tactics of combination and complex treatment are presented. Evidently, the current trend is to decrease the level of surgical invasiveness and selection of minimally invasive methods of surgical treatment. Moreover, it is concluded that considering the biological nature of hemopoietic tumors and some sarcomas, currently surgical treatment is not the main method of treatment of these malignant tumors.

Key words: spinal tumor, surgical treatment, radiation therapy, chemotherapy, neurosurgery

For citation: Zakondyrin D.E., Grin A.A. Spinal tumors: literature review. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2022;24(2):94–104. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-94-104.

ВВЕДЕНИЕ

Новообразования (НО) позвоночного столба встречаются значительно реже по сравнению с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями и травмами позвоночника — с частотой 2,5–8,5 случаев на 100 тыс. населения в течение 1 года [1]. Большинство специалистов (неврологи, травматологи-ортопеды, нейрохирурги) не склонны рассматривать их как возможную причину болей в спине, считая крайне редкой патологией, что приводит к отсроченной постановке правильного диагноза. Таким образом, проблема диагностики и выбора тактики лечения опухолей позвоночника продолжает оставаться актуальной проблемой клинической медицины в целом и вертебрологии в частности.

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ ОПУХОЛЕЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Новообразования позвоночника могут возникать из местных источников, т. е. быть первичными опухолями костной, жировой, фиброзной, нервной ткани, нервных оболочек, смежных паравертебральных мягких тканей и лимфатических сосудов. Но могут быть и вторичными, или метастатическими, опухолями, когда клетки НО попадают в позвоночник гематогенным или лимфатическим путем из отдаленных злокачественных очагов.

Метастатические образования значительно преобладают над первичными, составляя до 97 % от всех НО [2]. Поскольку позвоночник хорошо васкуляризован и имеет тесную связь с регионарными лимфатическими и венозными дренажными сосудами, он, как правило, подвержен метастазированию. Исследования показывают, что почти у 70 % пациентов с наиболее распространенными злокачественными новообразованиями (ЗНО) — рак молочной железы, легких, предстательной железы — выявляются метастазы в костях, в том числе в позвоночнике. Метастатическое поражение костей скелета встречается у 70–80 % больных раком молочной железы или раком простаты и у 40 % пациентов с распространенным раком легкого [3].

Первичные опухоли позвоночника встречаются редко, часто асимптомны, поэтому реальная частота их встречаемости неизвестна. Среди первичных добро-

качественных опухолей (ДНО) наиболее часто встречаются гемангиомы (93,8 %), которые, по данным литературы, обнаруживаются у 10–14 % пациентов [3]. В 12 % случаев наблюдается агрессивный рост гемангиомы с мягкотканевым компонентом, прорастающим в позвоночный канал и сдавливающим невральные структуры.

Кроме гемангиом, наиболее распространенными среди ДНО позвоночника считаются следующие: остеод-остеома, остеобластома, остеохондрома, гигантоклеточная опухоль, аневризматическая киста, эозинофильная гранулема, или гистиоцитоз X, и нейрофиброма. Остеобластомы — наиболее распространенные (до 10 %) доброкачественные костные опухоли позвоночника [4]. Преимущественно поражают задние элементы позвонка — ножку дуги и дужку. Гистологически они неотличимы от остеод-остеом, но отличаются по клиническому течению. Остеод-остеомы обычно не превышают 1,5 см, а остеобластомы, как правило, больше 2 см в диаметре и склонны к прорастанию в позвоночный канал. Гигантоклеточная опухоль, аневризматическая киста также склонны к агрессивному росту. Гигантоклеточная опухоль поражает преимущественно крестец; аневризматическая костная киста — задние элементы позвонков [2] и может быть первичным НО или возникать на фоне других доброкачественных костных опухолей (остеобластомы, хондробластомы, гигантоклеточной опухоли) [5].

В группе первично злокачественных НО позвоночника преобладают гемопозитические опухоли и хордома. В структуре заболеваемости пациентов с поражением позвоночника опухолями гемопозитической и лимфоидной тканей множественная миелома составляет 40–45 % от всех первичных ЗНО этого костного отдела, в то время как другие нозологии составляют лишь незначительную ее часть. Вторая по частоте группа опухолей кроветворной и лимфоидной тканей, при которых наблюдается поражение позвоночника, — первичные костные лимфомы: поражение ими позвоночника встречается у 1,7 % больных. Вторичное вовлечение костной ткани в опухолевый процесс при лимфоме Ходжкина происходит у 5–15 %, при неходжкинских лимфомах — у 30–53 % пациентов [6].

Хордома — наиболее часто (около 20 %) встречающееся ЗНО позвоночника, причем в отличие от других опухолей локализуясь только в позвоночнике. Хордома встречается в крестце (50–55 %), основании черепа (35 %) и реже — в груднопоясничном отделе позвоночника (10–15 %) [7].

Саркомы в позвоночнике развиваются редко. В их структуре преобладают остеосаркома, саркома Юинга и хондросаркома. Хондросаркома составляет от 7 до 12 % всех ЗНО позвоночника, остеосаркома — от 3 до 14 %, саркома Юинга — от 5 до 8 % [8].

КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОПУХОЛЕЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Наиболее частый симптом при опухолях позвоночника — боль (у 84 % больных). Боль возникает на фоне незначительной травмы или видимого благополучия и чаще всего локальная; обычно не регрессирует на фоне консервативного лечения и усиливается в течение нескольких недель. Патогномоничный симптом для опухолей позвоночника — усиление болей в горизонтальном положении (в ночное время) [9], что связано с расширением эпидуральных вен над очагом поражения и застоем в них крови или раздражением периостальных нервных окончаний при прорастании опухоли в позвоночник [2].

Резкое усиление болей возникает при патологическом переломе тела позвонка вследствие остеодеструкции на фоне опухолевого процесса.

ДИАГНОСТИКА

Диагностика НО позвоночного столба включает в себя неинвазивные и инвазивные методы.

Неинвазивные методики

К ним относят рентгенологические исследования — рентгенографию, компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), а также радиологический метод — сцинтиграфию.

Классическая рентгенография позвоночного столба служит 1-й линией диагностики и широко применяется в амбулаторном звене. Информативность выявления крупных ДНО позвонков составляет 80 %, метастатических опухолей — 40 % [2]. В большинстве случаев ДНО дают достаточно специфическую картину изменения позвонков. Остеоид-остеома, как и остеобластома, имеет участки разреженной костной ткани и зону ее склероза. Гемангиома рентгенологически определяется по вертикальным трабекулам в виде пчелиных сот, наиболее часто — в теле позвонка. Хондробластома выглядит на снимках как обширная область остеолитического, окруженная зоной остеосклероза, а гигантоклеточная опухоль — как четко отграниченная зона лизиса костной ткани без остеосклерозного ободка. Остеохондрома обладает достаточно специфичной рентгенологической картиной: на кости присутствует

«шапочка» (экзостоза), напоминающая по структуре цветную капусту. Аневризматическая костная киста на рентгенограммах характеризуется вздутием и истончением коркового слоя и специфическими «пузырями» (множественные камеры кисты). При метастатическом поражении и гемопозитических опухолях на рентгенограммах преимущественно диагностируются литические формы (чаще это метастазы рака легкого, щитовидной железы и почки), выглядящие как зоны деструкции кости, дефекты кортикального слоя ножек дуг и замыкательных пластин тел позвонка, а также приводящие к патологическим переломам тел позвонков.

По сравнению с классической рентгенографией:

- КТ обладает большей информативностью вследствие большей разрешающей способности и возможности построить изображение в различных проекциях;
- МРТ не позволяет в полной мере оценивать степень костных деструкций, но дает возможность более точно определять размеры мягкотканевого компонента опухоли, его взаимоотношения с нервными и сосудистыми структурами, а также кровоизлияния в строуму НО; позволяет дифференцировать патологические переломы остеопорозной и опухолевой природы в отсроченном периоде после перелома.

Так, при МРТ-исследовании через 3–6 нед после перелома позвонка, при опухолевой природе компрессии отмечается низкая интенсивность изображения зоны перелома в режиме T1 и высокая в режиме T2 (при остеопорозной природе отмечается низкая интенсивность сигнала в обоих режимах). В остром периоде дифференцировка характера патологического перелома возможна только с использованием остеосцинтиграфии.

Инвазивная диагностика

Предполагается выполнение биопсии НО. Выделяют 4 вида биопсии:

- 1) тонкоигольная аспирационная;
- 2) трепанобиопсия (толстой иглой с забором столбика ткани);
- 3) открытая инцизионная (забор фрагмента НО);
- 4) эксцизионная (тотальное удаление НО с биопсией).

Открытая инцизионная биопсия — стандарт во всех случаях отсутствия уверенности в гистологическом характере опухоли [9, 10].

МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОПУХОЛЕВЫМ ПОРАЖЕНИЕМ ПОЗВОНОЧНИКА

1. Хирургический метод

Современное хирургическое лечение (ХЛ) обеспечивает локальный контроль за распространением опухоли, декомпрессию нервных структур и ликвидацию нестабильности позвоночного столба. Спектр

оперативных вмешательств при опухолях позвоночно-го столба велик: от перкутанной радиочастотной абляции до резекции en bloc.

Принципиальные факторы при выборе хирургического метода — предполагаемая природа опухоли и степень ее распространенности. W.F. Enneking и соавт. (1980) сформулированы 4 метода ХЛ опухолей костей:

- 1) внутриопухолевое удаление (кюретаж и кускование);
- 2) краевая резекция;
- 3) широкая резекция (в пределах здоровых тканей);
- 4) радикальная резекция en bloc [11].

При ДНО возможности ХЛ наиболее высоки. При остеоид-остеомах вследствие их небольших размеров активно применяют методы перкутанной абляции (радиочастотной, лазерной) [12]. При гемангиомах ХЛ показано при агрессивном типе течения [13]. J.D. Laredo и соавт. (1986) определили понятие «агрессивность гемангиом» [14] и предложили рассматривать гемангиому как агрессивную при наличии 3 и более из 7 рентгенологических признаков:

- 1) расположение на уровне Th3—Th9-позвонков;
- 2) тотальное поражение тела позвонка;
- 3) распространение опухолевого процесса на ножку дуги позвонка;
- 4) костная экспансия с выпячиванием кортикального слоя с нечеткими краями;
- 5) неравномерная трабекулярная структура гемангиомы;
- 6) наличие эпидурального или паравerteбрального компонента опухоли;
- 7) низкий сигнал на T1- и высокий — на T2-взвешенном изображении на МРТ, накопление контрастного препарата при проведении КТ.

Метод выбора — пункционная вертебропластика. Выделяют 2 клинические формы агрессивных гемангиом: осложненные (с экстравертебральным компонентом и клиническими признаками сдавления спинного мозга и корешков спинномозговых нервов) и неосложненные. Осложненные агрессивные гемангиомы встречаются крайне редко (1 % случаев) и требуют применения декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств [15, 16].

При ДНО, склонных к локальному инвазивному росту, общепринятой считается агрессивная хирургическая тактика. При остеобластомах рекомендуют радикальное удаление опухоли, которое дает лучшие результаты, чем внутриопухолевый кюретаж с послеоперационной лучевой терапией (ЛТ), кроме того, рекомендуют предоперационную эмболизацию сосудов опухоли, учитывая ее обильную васкуляризацию [4]. При аневризматической костной кисте методом выбора служит радикальная резекция или удаление en bloc, так как частичное удаление и внутриопухолевый кюретаж дают большой рецидив НО (до 25–35,7 %) [17]. В качестве дополнения к нерадикальному хирургическому удалению аневризматической костной кисты

P. Tsagozis и соавт. (2015) рекомендуют склеротерапию или предоперационную эмболизацию сосудов опухоли [18]. H. Aiba и соавт. (2018), напротив, сообщают о допустимости использования методики внутриопухолевого эндоскопического кюретажа при отсутствии риска патологического перелома [19]. При гигантоклеточной опухоли радикальная резекция также служит методом выбора, в отличие от кюретажа опухоли как единственного метода лечения (18 % риска рецидива vs. 71 %) [20]. При невозможности выполнения радикальной операции методом выбора, по мнению С. Martin и E.F. McCarthy (2010), служит предоперационная эмболизация и последующий внутриопухолевый кюретаж [21].

Классификация опухолей

При злокачественных образованиях позвоночника хирургическая тактика определяется как степенью распространенности опухоли, так и прогнозом заболевания и состоянием пациента. W.F. Enneking и соавт. (1980) предложили классификацию ЗНО по степени их распространения в кости и предпочтительным методам ХЛ:

- IA стадия — низкая степень злокачественности, НО не выходит за пределы пораженной кости;
- IB стадия — низкая степень злокачественности, НО выходит за пределы кости;
- II A стадия — высокая степень злокачественности, НО не выходит за пределы пораженной кости без метастазов;
- II B стадия — высокая степень злокачественности, НО выходит за пределы пораженной кости без метастазов;
- III стадия — НО кости с метастазами.

Доброкачественные опухоли в дальнейшем добавили в доработанную классификацию Enneking. Стадийность ДНО в данной доработанной классификации принято обозначать арабскими цифрами: 1-я стадия — латентная, 2-я — активная, 3-я — агрессивная [11]. Сводная классификация представлена в таблице.

K. Tomita и соавт. (2001) предлагали выполнять радикальную резекцию en bloc при всех видах ЗНО [22]. Однако S. Boriani (2018) показал, что радикальная резекция en bloc должна применяться при ДНО 3-й степени (с агрессивным ростом, например, остеобластомы и гигантоклеточные опухоли), злокачественных — при низкой степени злокачественности (IA и IB) (например, хондрома и хондросаркома) [23]. Однако при ЗНО II A и B (например, остеосаркома и саркома Юинга) радикальная резекция en bloc не имеет преимуществ перед ЛТ и химиотерапией (ХТ) [23].

Вследствие неполного соответствия Enneking-классификации задачам ХЛ опухолей позвонков в 1997 г. была разработана другая шкала S. Boriani и соавт. [24]. Данная шкала Weinstein—Boriani—Biagini имеет

Классификация опухолей позвоночника по W.F. Enneking

Classification of spinal tumors per W.F. Enneking

Тип опухоли Tumor type	Стадия Stage	Рекомендуемый вид лечения Recommended treatment
Доброкачественная Benign	1	Нехирургическое (за исключением случаев, когда требуется декомпрессия и/или стабилизация) Nonsurgical (except for cases requiring decompression and/or stabilization)
	2	Внутриопухолевое удаление Intralesional excision
	3	Краевая резекция Marginal excision
Злокачественная Malignant	IA IB	Широкая резекция Wide en bloc excision
	IIA IIB	Широкая резекция с адъювантной терапией Wide en bloc excision with adjuvant therapy
	III	Паллиативная хирургия и адъювантная терапия Palliative surgery with adjuvant therapy

12 секторов (на циферблате часов) и проецируется на горизонтальный срез позвонка в зоне поражения опухоли: в зависимости от расположения опухоли по отношению к позвоночному каналу возможно определение предпочтительного доступа. На поперечном срезе выделены следующие уровни:

- А — экстраоссальное распространение;
- В — поверхностный периферический отдел кости;
- С — глубокая внутрикостная (центральная) локализация, прилежащая к позвоночному каналу;
- D — экстраоссальное эпидуральное распространение;
- E — интрадуральное распространение опухоли;
- F (только для шейного отдела) — поражение опухолью канала позвоночной артерии.

Предпочтительный доступ для удаления: опухоли, расположенные в секторах 3–10 — задний доступ; небольшие опухоли, расположенные в телах грудных и поясничных позвонков — изолированный передний доступ; в случаях других локаций опухолей — необходима комбинация доступов [23].

К. Tomita и соавт. (2001) предложили свою классификацию опухолей позвоночника, включающую 7 типов распространения опухоли в зависимости от ее расположения относительно границ пораженного позвонка [22]. В той же работе авторами предложена балльная прогностическая шкала для больных с метастатическим поражением позвоночника, основанная на гистологическом типе первичной опухоли, наличии метастазов в кости и внутренние органы (легкие, печень, почки и головной мозг). Y. Tokuhashi и соавт. (2005) предложена прогностическая балльная система с учетом клинических факторов: первичной опухоли,

наличия парализации, статуса по шкале Karnofsky, числа метастазов — экстраспинальных костных, в позвонки и внутренние органы [25]. Авторы предлагали выполнять удаление опухоли при хорошем прогнозе (13–15 баллов), паллиативное ХЛ — при промежуточном прогнозе (9–11 баллов), консервативное лечение — у пациентов, набравших 8 и менее баллов. Z. Pennington и соавт. (2018) на основе анализа доступных публикаций делают вывод и подчеркивают, что большинство авторов считают ХЛ целесообразным при ожидаемой продолжительности жизни не менее 3–6 мес [26].

Объем ХЛ при метастатическом поражении позвоночника — тема, вызывающая дискуссии. Термин *en bloc spondylectomy* введен К. Tomita и соавт. (1994) [27]. Согласно предложенной ими шкале, больным с хорошим прогнозом (2–3 балла) рекомендована широкая резекция опухоли, при 4–5 баллах — краевая или внутриопухолевая резекция, при 6–7 баллах — паллиативные вмешательства, при плохом прогнозе (8–10) баллов — отказ от ХЛ. По мнению S. Boriani (2018), радикальная резекция *en bloc* при метастатическом поражении должна проводиться только в ограниченном числе случаев [23]. Одним из показаний к использованию данной методики может быть единичный метастаз резистентной к ЛТ опухоли (рак почки, гепатоцеллюлярный рак, рак толстой кишки, щитовидной железы, немелкоклеточный рак легкого и меланома) или гормонпродуцирующей опухоли (феохромоцитома, карциноид, параганглиома, хориокарцинома) [28]. М. Ohashi и соавт. (2019) указывают на тот факт, что блок-резекция эффективна в отношении локального контроля метастазов, но только при условии выполнения ее в пределах здоровых тканей, и неспособна предотвратить прогрессирование метастатического поражения в целом. Проблемы применения спондилектомии *en bloc* — техническая сложность и высокая частота интра- и послеоперационных осложнений (от 40 до 76,5 %) [29].

Малоинвазивные методики

Малоинвазивные методики, направленные на декомпрессию невралгических структур в комбинации с адъювантными методами, в последние годы становятся популярной эффективной альтернативой радикальным вмешательствам [30, 31]. S. Spinazze и соавт. (2005) ввели термин «эпидуральная компрессия спинного мозга» (*epidural spinal cord compression, ESCC*) для наиболее частых осложнений с неврологическими проявлениями при метастазах в позвоночник [32]. М. Bilsky и М. Smith (2006), члены Spine Oncology Study Group (SOSG), предложили шкалу степени эпидуральной компрессии, в которой 5 градаций-стадий:

- 0 — поражены только кости;
- 1a — распространение в эпидуральное пространство без деформации дурального мешка;

- 1b — деформация дурального мешка без признаков воздействия на спинной мозг;
- 1с — деформация и компрессия спинного мозга с сохранением резервных ликворных пространств;
- 3 — компрессия спинного мозга без сохранения ликворных пространств [33].

Учитывая положительный эффект декомпрессии невралгических структур и известные ограничения для проведения ЛТ, авторами сделан вывод, что у больных с метастатическими опухолями позвоночника рекомендовано проводить минимальное (циторедуктивное) хирургическое удаление опухоли лишь с целью отделения ее края от спинного мозга на 2–3 мм для дальнейшего использования стереотаксической ЛТ. Так появился термин *separation surgery* [33]. Авторы описали стандартную методику — ламинэктомию на 3 уровнях (на уровне опухоли, а также на уровень выше и ниже ее) и стабилизацию (по необходимости).

Малоинвазивные технологии в хирургии спинальных метастазов — второй современный тренд. Травматичность классических доступов к грудным и поясничным позвонкам может быть уменьшена применением торакоскопической хирургии, эндоскопической ассистенции и малоинвазивных открытых доступов [31, 34]. Внедрение опыта MISS-хирургии — минимально инвазивной спинальной хирургии (*minimally invasive spine surgery, MISS*) — в практику лечения метастазов в позвоночник предполагает использование транскутаных методик стабилизации, мини-доступов с использованием тубулярных ретракторов [35]. Z.C. Pennington и соавт. (2018), проанализировав результаты лечения больных с метастазами в позвоночник, оперированных с использованием стандартных и MISS-методик, пришли к выводу, что малоинвазивная хирургия служит методом выбора для той категории пациентов, которые в силу тяжести не подлежат открытому вмешательству с большими продолжительностью и интраоперационной кровопотерей [26].

Паллиативные малоинвазивные хирургические вмешательства при болевом синдроме на фоне метастатического поражения позвонков — вертебропластика, кифопластика и радиочастотная абляция — третий важный тренд [30]. Пункционная вертебропластика признана эффективным вмешательством при остеолитических метастазах в тела позвонков, особенно при множественном поражении и патологических переломах позвонков, в том числе в составе комбинированного лечения [6]. Радиочастотная абляция метастазов в позвоночник предложена М.Р. Goetz и соавт. (2004) [36]. Методика наиболее эффективна в комбинации с вертебропластикой и не должна применяться как изолированный метод лечения.

Н.М. Song и соавт. (2014) предложили новый метод паллиативного ХЛ метастазов в позвоночник — интервенционное удаление опухоли [37]. В зону вмешательства в конце операции проводится инъекция несколь-

ких миллилитров костного цемента (вертебропластика). Авторы методики оценили ее эффективность и безопасность по сравнению с обычной вертебропластикой в ходе проспективного исследования на 124 пациентах, выявив значительный регресс болевого синдрома в послеоперационном периоде и увеличение мобильности пациентов [38].

Основное проявление множественной миеломы — формирование множественных очагов остеодеструкции в плоских костях скелета и, в частности, в позвонках. Основной метод ХЛ — пункционная вертебро- и кифопластика [6, 39], которая служит паллиативным вмешательством, выполняемым на фоне проведения адъювантной терапии. При выраженных разрушениях позвонков с развитием нестабильности показаны декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства [40]. Солитарная плазмоцитома — первичная локальная опухоль, поэтому основным методом ХЛ служит резекция новообразования. Рекомендуются радикальная или краевая резекция опухоли, а при внутриопухолевом удалении необходима адъювантная ЛТ [39]. Роль ХЛ при лимфоме до конца не определена, вследствие высокой химиолучевой чувствительности опухоли ряд авторов даже отрицают целесообразность хирургической декомпрессии при сдавлении спинного мозга [41]. Е. Harris и соавт. (2014) считают необходимым начинать лечение с комбинированной химиолучевой терапии, а операцию выполнять лишь при клиническом ухудшении [42].

Хордома отличается практически полной нечувствительностью к ЛТ и ХТ, поэтому основным методом лечения в ее случае — хирургический. И для первичной, и для рецидивной хордомы методом выбора служит радикальная резекция *en bloc* [42]. Особенность опухоли — склонность к упорному рецидивированию, частота которого даже после радикальной операции составляет в среднем около 40 % [43]. Технически радикальное удаление опухоли вызывает значительные трудности, поэтому в литературе встречаются сообщения о внутриопухолевой и частичной резекции НО, а также о влиянии радикальности удаления только на частоту локального рецидивирования, но не продолжительность жизни [44].

Среди сарком, поражающих позвонки, хондросаркома обладает гистологическим полиморфизмом, имея несколько форм, отличающихся по степени злокачественности (от GI до GIII). Хондросаркома малочувствительна к ЛТ и ХТ, поэтому основным методом лечения в ее случае — хирургический, как и при хордоме. На практике вследствие технических трудностей при удалении данного новообразования часто ограничиваются частичным удалением.

Остеосаркома и саркома Юинга относятся к опухолям с высокой степенью злокачественности (GII). Общепринятый стандарт ХЛ, принятый на основании мультицентровых исследований, — радикальное удаление

en bloc и для остеосаркомы [45], и для саркомы Юинга [46], обеспечивающее достоверно лучший локальный контроль по сравнению с внутриопухолевым удалением. По мнению S. Bogiani и соавт. (2018), внутриопухолевое удаление саркомы Юинга в комбинации с адъювантной ХТ или ЛТ даже менее эффективно, чем ЛТ или ХТ как единственный метод лечения [23].

2. Лучевой метод

В ряде случаев ЛТ может не только дополнять ХЛ (адъювантная терапия), но и предшествовать ему (неоадъювантная терапия) или служить основным методом лечения.

В настоящее время ЛТ принципиально представлена 3 методиками: дистанционная, контактная (брахитерапия) и системная (радионуклидная). В лечении опухолей позвоночника актуальна дистанционная радиотерапия (external beam radiotherapy). Условно все методы дистанционной радиотерапии можно разделить на 2 группы: конвенциональное облучение (conventional irradiation); конформное (conformal irradiation) [47]. Основное отличие конформной ЛТ от конвенциональной — создание поля облучения заданной формы с минимальным воздействием на окружающие ткани. Конформная ЛТ — современный метод, имеющий несколько разновидностей:

- с модуляцией интенсивности мощности дозы в динамике (RapidArc);
- с контролем по изображению (IGRT);
- стереотаксическая ЛТ (SRT);
- стереотаксическая радиохирургия (SRS);
- корпускулярная ЛТ (particle RT) [48].

Большинство радиологических отделений России продолжают применять конвенциональную ЛТ [48].

В лечении ДНО позвоночника послеоперационную ЛТ рекомендуют применять после внутриопухолевого удаления в случаях агрессивного роста новообразования (Enneking — 3) и невозможности радикальной резекции en bloc только при остеобластоме [4, 23]. При гигантоклеточной опухоли и аневризматической костной кисте облучение показано только при рецидиве новообразований, что обусловлено их радиочувствительностью и возможностью саркоматозной трансформации [5, 18]. Показания к применению ЛТ при агрессивных гемангиомах в послеоперационном периоде: заполнение полиметилметакрилатом менее 80 % от общего объема гемангиомы, а также наличие остаточного паравертебрального компонента новообразования [15].

Радиочувствительность во многом определяет тактику лечения ЗНО позвонков. По своей чувствительности к конвенциональной ЛТ злокачественные опухоли подразделяются на 3 группы:

- 1) высокочувствительные (миелома и лимфома);

- 2) умеренно радиочувствительные (рак молочной железы, простаты, яичника и нейроэндокринные опухоли, мелкоклеточный рак легкого);

- 3) радиорезистентные (рак почки, щитовидной железы, гепатоцеллюлярный рак, немелкоклеточные опухоли легких и меланомы).

При множественной миеломе ЛТ считается паллиативным методом, оказывает исключительно симптоматический эффект, не влияя на выживаемость таких больных [49]. При лимфоме позвонков ЛТ — основной метод лечения [50].

Традиционно стандартом лечения метастатической эпидуральной компрессии спинного мозга считалось применение кортикостероидов и конвенциональной радиотерапии, что у 50 % больных позволяло получить клинически значимое восстановление моторных функций [51]. Существует 2 схемы назначения ЛТ: короткий и длинный курс. D. Rades и соавт. (2016) изучили эффективность коротких курсов радиотерапии (8 Гр за 1 фракцию; 20 Гр за 5 фракций) и длинных (30 Гр за 10 фракций; 37,5 Гр за 15 фракций) и пришли к выводу о сопоставимости функциональных исходов. Выбор между длинным и коротким курсом ЛТ должен основываться на прогнозе выживаемости больного: длинный курс показан больным с прогнозом выживаемости более 6 мес [50].

В настоящее время конформные методы ЛТ в лечении метастазов в кости вытесняют конвенциональную ЛТ, так как возможность концентрации дозы облучения без ее увеличения при конформной ЛТ в области опухоли служит, в том числе, и способом преодоления радиорезистентности опухоли. Однако J.H. Lee, S.H. Lee (2019) подчеркивают преимущество современной конвенциональной ЛТ (по сравнению с конформными методами), обусловленное более коротким периодом подготовки больного, необходимым для планирования облучения [52]. Альтернативой изолированного применения стереотаксической ЛТ стала технология сепарационной хирургии (операции отделения) — separation surgery, описанная выше.

Хордома и хондросаркома — радиорезистентные опухоли: для достижения значимого клинического эффекта при адъювантной ЛТ в случаях неполного или внутриопухолевого удаления новообразования необходима доза не менее 60–65 Гр [53]. Анализ результатов лечения 863 больных с хондросаркомой и 715 — с хондромой, получавших протонную или конвенциональную ЛТ в дозе от 20 до 80 Гр с периодом наблюдения 15 мес, показал, что увеличение дозы облучения и протонная терапия коррелируют с улучшением выживаемости пациентов [54].

В лечении остеосаркомы роль ЛТ окончательно не определена, так как остеосаркома не считается опухолью с высокой радиочувствительностью [45]. Напротив, саркома Юинга — радиочувствительна, и некоторые авторы отмечают хорошие показатели локального

контроля (у 84 % пациентов) при использовании радиохирургии как единственного метода ее лечения [55].

3. Медикаментозный метод

Среди современных разновидностей медикаментозной терапии ЗНО позвоночника выделяют ХТ, иммунотерапию и таргетную терапию.

Химиотерапия — наиболее значимый метод и, так же как и ЛТ, может дополнять ХЛ (неoadъювантная или адъювантная терапия) или быть единственным методом лечения. I. H. Krakoff (1977) выделил 3 группы опухолей по степени чувствительности:

1) высокочувствительные опухоли:

- лимфома;
- хориокарцинома;
- тестикулярная карцинома;
- острая промиелолитическая лейкемия;
- нефробластома;
- саркома Юинга;
- рабдомиосаркома;

2) условно чувствительные к ХТ:

- аденокарцинома молочной железы;
- неходжкинская лимфома;
- остеосаркома;
- карцинома предстательной железы;
- колоректальный рак;
- рак шейки матки, рак эндометрия и рак яичников;

3) минимально чувствительные к ХТ опухоли:

- низкодифференцированный эндокринный рак;
- злокачественная меланома;
- гепатоцеллюлярная карцинома;
- рак почки;
- рак поджелудочной железы [56].

Гемопозитические опухоли традиционно считают чувствительными к радиотерапии и ХТ. Обязательные компоненты ХТ-лечения множественной миеломы с поражением позвонков — глюкокортикоидные гормоны (дексаметазон или преднизолон) и цитостатики, а также бифосфонаты — блокаторы резорбции кости (золедроновая кислота и т. д.), блокаторы протеасом (бортезомиб), иммуномодулирующие препараты и пересадка костного мозга [49]. Стандартной для В-клеточной неходжкинской лимфомы считается иммунохимиотерапевтическая схема R-СНОР, включающая несколько химиопрепаратов (доксорубин, винкристин, полицикламид), гормональный препарат (преднизолон) и синтетический аналог моноклональных антител, обладающих специфичностью к CD20-антигену В-лимфоцитов (ритуксимаб) [57].

Остеосаркома и саркома Юинга чувствительны к ХТ, обязательному компоненту комбинированного лечения [58]. Неoadъювантная ХТ, дополняемая хирургическим вмешательством, признана стандартом лечения остеосаркомы с поражением позвонков [7, 45].

Наиболее распространены схемы из комбинации антрациклинового антибиотика (доксорубин, адриамицин) и цитостатика (цисплатин), а также комбинации указанных препаратов и антиметаболита (метотрексат) [58]. Для саркомы Юинга ХТ также служит основным методом лечения и включает набор препаратов из доксорубина, винкристина и циклофосфида, комбинируемых с этопозидом и ифосфамидом [58].

В лечении метастатического поражения позвоночника в качестве дополнения к другим методам комбинированного лечения применяется ХТ в составе комплекса медикаментозной терапии, включающего также применение стероидных гормонов и бифосфонатов. Наиболее эффективна ХТ при раке груди, предстательной железы и мелкоклеточном раке легкого [59].

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многочисленных публикаций позволяет оценить состояние проблемы лечения опухолей позвоночника на сегодняшний день. А. С. Disch и соавт. (2020) [10] провели опрос членов крупнейшего в Европе Немецкого общества спинальных хирургов (German Spine Society), представляющих 84 центра, где оказывают хирургическую помощь пациентам с опухолями позвоночника. Авторы выяснили, что подавляющее большинство хирургических вмешательств ($85 \pm 18,7$ %) носило паллиативный характер и выполнялось при диссеминированных ЗНО, 2/3 вмешательств были открытыми. В большинстве учреждений проводилась нео- или адъювантная химиотерапия, а в 62 из 84 стационаров стандартно применяли послеоперационную конвенциональную ЛТ при метастатическом поражении позвоночника радиочувствительными ЗНО.

Учитывая паллиативный характер большинства операций при опухолях позвоночника, внедрение малоинвазивных технологий — один из трендов развития спинальной онкологии. Спектр малоинвазивных вмешательств достаточно широк, и выбор конкретной методики определяется характером патологии и целями вмешательства (лечение боли, нестабильности или устранение эпидуральной компрессии спинного мозга). Нестабильность позвоночника, возникшая на фоне разрушения опухолью костных структур позвоночного столба, служит показанием для паллиативного ХЛ при радио- и химиочувствительных ЗНО и распространенных ДНО. Перспективно внедрение перкутанных методик транспедикулярной фиксации, дополняемых при необходимости вертебропластикой.

Удаление опухоли путем радикальной резекции en bloc продолжает оставаться «золотым стандартом» в ХЛ инвазивно растущей опухоли позвонка, но практика показывает невозможность такого выполнения в большинстве случаев. Вмешательство дает большое число послеоперационных осложнений, сопровождается большой интраоперационной кровопотерей

и не дает 100 % гарантии, что опухоль не будет рецидивировать. Рациональное уменьшение радикальности удаления новообразования за счет комбинации ХЛ и ЛТ (в том числе и современных конформных методик), а в ряде случаев и ХТ, также становится трендом спинальной онкологии. Принятие решения о внутриопухолевом удалении новообразования значительно расширяет возможности минимализации операционной травмы за счет использования тубулярных систем (уменьшение операционного доступа), эндоскопической техники (подход к передним отделам тел позвонков), интервенционного удаления и радиочастотной абляции опухоли.

Большое количество публикаций посвящено возможностям стереотаксической ЛТ, и особенно радиохирургии, в комплексе комбинированного лечения ЗНО, в том числе и радиорезистентных. Техническая возможность фокусирования большей части дозы облучения на опухоли с минимальным воздействием на такие радиочувствительные структуры, как спинной мозг, привела к появлению методики сепарационной хирургии. При эпидуральной компрессии опухолью в процессе операции достаточно создать минимальный зазор между патологической тканью и твердой мозго-

вой оболочкой (около 2–3 мм), которого достаточно для предотвращения лучевого поражения невралжных структур при адьювантном облучении. Проблемы: неширокая доступность радиохирургии для большинства пациентов, даже за рубежом, вследствие дороговизны метода и сложностей, связанных с необходимостью планирования сеанса облучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, важным вектором развития спинальной онкологии стала минимализация операционной травмы за счет применения как современных хирургических технологий, так и адьювантных методов с учетом радио- и химиочувствительности различных новообразований. Научно-технический прогресс значительно расширил возможности лучевой терапии, как пример: внедряются конформные методы облучения с возможностью концентрации дозы облучения в ограниченной зоне, позволяющей преодолеть проблемы радиорезистентности некоторых новообразований. Комбинация возможностей радиохирургии и малоинвазивной декомпрессии позвоночного канала привела к созданию нового направления в лечении метастатической эпидуральной компрессии — сепарационной хирургии.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Dregghorn C.R., Newman R.J., Hardy G.J., Dickson R.A. Primary tumours of the axial skeleton. Experience of the Leeds Regional Bone Tumour Registry. *Spine (Phila Pa 1976)* 1990;15(2):137–40. DOI: 10.1097/00007632-199002000-00018.
2. Ciftedemir M., Kaya M., Selcuk E., Yalniz E. Tumors of the spine *World J Orthop* 2016;7(2):109–16. DOI: 10.5312/wjo.v7.i2.109.
3. Заборовский Н.С., Пташников Д.А., Топузов Э.Э и др. Эпидемиология опухолей позвоночника у пациентов, получивших специализированную ортопедическую помощь. *Травматология и ортопедия России* 2019;25(1):104–12. [Zaborovsky N.S., Ptashnikov D.A., Topuzov E.E. et al. Spine tumor epidemiology in patients who underwent orthopaedic surgery. *Travmatologiya i ortopediya Rossii = Traumatology and orthopedics of Russia* 2019;25(1):104–12. (In Russ.)]. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-104-112.
4. Galgano M.A., Goulart C.R., Iwenofu H. et al. Osteoblastomas of the spine: a comprehensive review. *Neurosurg Focus* 2016;41(2):E4. DOI: 10.3171/2016.5.FOCUS16122.
5. Mesfin A., McCarthy E.F., Kebaish K.M. Surgical treatment of aneurysmal bone cysts of the spine. *Iowa Orthop J* 2012;32:40–5.
6. Валиев А.К., Соколовский А.В., Неред А.С., Мусаев Э.Р. Малоинвазивные хирургические технологии при поражениях позвоночника в онкогематологии. *Клиническая онкогематология* 2013;6(2):177–94. [Valiyev A.K., Sokolovskiy A.V., Nered A.S., Musaev E.R. Minimally invasive surgical techniques in hematological malignancies with spinal involvement. *Klinicheskaya onkogematologiya = Clinical oncohematology* 2013;6(2):177–94. (In Russ.)].
7. Мусаев Э.Р. Первичные опухоли позвоночника: обзор литературы. *Практическая онкология* 2010;11(1):19–24. [Musaev E.R. Primary spine tumors: a comprehensive review. *Prakticheskaya onkologiya = Practical oncology* 2010;11(1):19–24 (In Russ.)].
8. Cho W., Chang U.-K. Survival and recurrence rate after treatment for primary spinal sarcomas. *J Korean Neurosurg Soc* 2013;53(4):228–34. DOI: 10.3340/jkns.2013.53.4.228.
9. Гуца А.О., Коновалов Н.А., Арестов С.О и др. Тактика и результаты хирургического лечения пациентов с первичными опухолями позвоночника. *Хирургия позвоночника* 2015;12(3):72–82 [Gushcha A.O., Kononov N.A., Arestov S.O. et al. Surgical treatment of primary spinal tumors: tactics and results. *Hirurgiya pozvonocnika = Spine Surgery* 2015;12(3):72–82. (In Russ.)]. DOI: 10.14531/ss2015.3.72-82.
10. Disch A.C., Kleber C., Redemann D. et al. Current surgical strategies for treating spinal tumors: results of a questionnaire survey among members of the German Spine Society (DWG). *Eur J Surg Oncol* 2020;46(1):89–94. DOI: 10.1016/j.ejso.2019.08.019.
11. Enneking W.E., Spanier S.S., Goodman M.A. A System for the surgical staging of musculoskeletal sarcoma. *Clin Orthop Relat Res* 1980;(153):106–20.
12. Tomasian A., Wallace A.N., Jennings J.W. Benign spine lesions: advances in techniques for minimally invasive percutaneous treatment. *Am J Neuroradiol* 2017;38(5):852–61. DOI: 10.3174/ajnr.A5084.
13. Wang B., Meng N., Zhuang H. et al. The role of radiotherapy and surgery in the management of aggressive vertebral hemangioma: a retrospective study of 20 patients. *Med Sci Monit* 2018;24:6840–50. DOI: 10.12659/MSM.910439.
14. Laredo J.D., Reizine D., Bard M., Merland J.J. Vertebral hemangiomas: radiologic evaluation. *Radiology* 1986;161(1):183–9. DOI: 10.1148/radiology.161.1.3763864.
15. Климов В.С., Косимшов М.А., Евсюков А.В и др. Результаты дифференцированного хирургического лече-

- ния агрессивных гемангиом позвонков. Хирургия позвоночника 2018;15(1):79–90. [Klimov V.S., Kosimshoev M.A., Evsyukov A.V. et al. Results of differentiated surgical treatment of aggressive vertebral hemangiomas. *Hirurgia Pozvonocnika = Spine Surgery* 2018;15(1):79–90. (In Russ.)]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2018.1.79-90>.
16. Vasudeva V.S., Chi J.H., Groff M.W. Surgical treatment of aggressive vertebral hemangiomas. *Neurosurg Focus* 2016;41(2):E7. DOI: [10.3171/2016.5.FOCUS16169](https://doi.org/10.3171/2016.5.FOCUS16169).
 17. Parker J., Soltani S., Boissiere L. et al. Spinal aneurysmal bone cysts (ABCs): optimal management. *Orthop Res Rev* 2019;11:159–66. DOI: [10.2147/ORR.S211834](https://doi.org/10.2147/ORR.S211834).
 18. Tsagozis P., Brosjo O. Current strategies for the treatment of aneurysmal bone cysts. *Orthop Rev (Pavia)* 2015;7(4):6182. DOI: [10.4081/or.2015.6182](https://doi.org/10.4081/or.2015.6182).
 19. Aiba H., Kobayashi M., Waguri-Nagaya Y. et al. Treatment of aneurysmal bone cysts using endoscopic curettage. *BMC Musculoskelet Disord* 2018;19(1):268. DOI: [10.1186/s12891-018-2176-6](https://doi.org/10.1186/s12891-018-2176-6).
 20. Li G., Fu D., Chen K. et al. Surgical strategy for the management of sacral giant cell tumors: a 32-case series. *Spine J* 2012;12(6):484–91. DOI: [10.1016/j.spinee.2012.06.014](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.06.014).
 21. Martin C., McCarthy E.F. Giant cell tumor of the sacrum and spine: series of 23 cases and review of the literature. *Iowa Orthop J* 2010;30:69–75.
 22. Tomita K., Kawahara N., Kobayashi T. et al. Surgical strategy for spinal metastases. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(3):298–306. DOI: [10.1097/00007632-200102010-00016](https://doi.org/10.1097/00007632-200102010-00016).
 23. Boriani S. En bloc resection in the spine: a procedure of surgical oncology. *J Spine Surg* 2018;4(3):668–76. DOI: [10.21037/jss.2018.09.02](https://doi.org/10.21037/jss.2018.09.02).
 24. Boriani S., Weinstein J.N., Biagini R. Primary bone tumors of the spine. Terminology and surgical staging. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997;22(9):1036–44. DOI: [10.1097/00007632-199705010-00020](https://doi.org/10.1097/00007632-199705010-00020).
 25. Tokuhashi Y., Matsuzaki H., Oda H. et al. A revised scoring system for preoperative evaluation of metastatic spine tumor prognosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(19):2186–91. DOI: [10.1097/01.brs.0000180401.06919.a5](https://doi.org/10.1097/01.brs.0000180401.06919.a5).
 26. Pennington Z., Ahmed A.K., Molina C.A. et al. Minimally invasive versus conventional spine surgery for vertebral metastases: a systematic review of the evidence. *Ann Transl Med* 2018;6(6):103. DOI: [10.21037/atm.2018.01.28](https://doi.org/10.21037/atm.2018.01.28).
 27. Tomita K., Toribatake Y., Kawahara N. et al. Total en bloc spondylectomy and circumspinal decompression for solitary spinal metastasis. *Paraplegia* 1994;32(1):36–46. DOI: [10.1038/sc.1994.7](https://doi.org/10.1038/sc.1994.7).
 28. Howell E.P., Williamson T., Karikari I. et al. Total en bloc resection of primary and metastatic spine tumors. *Ann Transl Med* 2019;7(10):226. DOI: [10.21037/atm.2019.01.25](https://doi.org/10.21037/atm.2019.01.25).
 29. Ohashi M., Hirano T., Watanabe K. et al. En bloc spondylectomy for spinal metastases: detailed oncological outcomes at a minimum of 2 years after surgery. *Asian Spine J* 2019;13(2):296–304. DOI: [10.31616/asj.2018.0145](https://doi.org/10.31616/asj.2018.0145).
 30. Deng Z., Xu B., Jin J. et al. Strategies for management of spinal metastases: a comprehensive review. *Cancer Translational Medicine* 2015;1(3):94–100. DOI: [10.4103/2395-3977.159536](https://doi.org/10.4103/2395-3977.159536).
 31. Conti A., Acker G., Kluge A. et al. Decision making in patients with metastatic spine. The role of minimally invasive treatment modalities. *Front Oncol* 2019;9:915. DOI: [10.3389/fonc.2019.00915](https://doi.org/10.3389/fonc.2019.00915).
 32. Spinazze S., Caraceni A., Schrijvers D. et al. Epidural spinal cord compression. Critical Reviews in Oncology/Hematology 2005;56(3):397–406. DOI: [10.1016/j.critrevonc.2005.04.005](https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2005.04.005).
 33. Bilsly M., Smith M. Surgical approach to epidural spinal cord compression. *Hematol Oncol Clin North Am* 2006;20(6):1307–17. DOI: [10.1016/j.hoc.2006.09.009](https://doi.org/10.1016/j.hoc.2006.09.009).
 34. Dalbayrak S., Yaman O., Ozer A.F. Minimally invasive approaches in metastatic spinal tumor surgery. *Turk Neurosurg* 2015;25(3):357–61. DOI: [10.5137/1019-5149.JTN.8990-13.1](https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.8990-13.1).
 35. Barzilai O., Boriani S., Fisher C.G. et al. Essential concepts for the management of metastatic spine disease: what the surgeon should know and practice. *Global Spine J* 2019;9(1 Suppl):98S–107S. DOI: [10.1177/2192568219830323](https://doi.org/10.1177/2192568219830323).
 36. Goetz M.P., Callstrom M.R., Charbonneau J.W. et al. Percutaneous image-guided radiofrequency ablation of painful metastases involving bone: a multicenter study. *J Clin Oncol* 2004;22(2):300–6. DOI: [10.1200/JCO.2004.03.097](https://doi.org/10.1200/JCO.2004.03.097).
 37. Song H.-M., Gu Y.-F., Li Y.-D. et al. Interventional tumor removal: a new technique for malignant spinal tumor and malignant vertebral compression fractures without epidural involvement. *Acta Radiol* 2014;55(8):976–84. DOI: [10.1177/0284185113508761](https://doi.org/10.1177/0284185113508761).
 38. Gu Y.-F., Tian Q.-H., Li Y.-D. et al. Percutaneous vertebroplasty and interventional tumor removal for malignant vertebral compression fractures and/or spinal metastatic tumor with epidural involvement: a prospective pilot study. *J Pain Res* 2017;10:211–8. DOI: [10.2147/JPR.S122211](https://doi.org/10.2147/JPR.S122211).
 39. Surgeon's Committee of the Chinese Myeloma Working Group of the International Myeloma Foundation. Consensus on surgical management of myeloma bone disease. *Orthop Surg* 2016;8(3):263–9. DOI: [10.1111/os.12267](https://doi.org/10.1111/os.12267).
 40. Guzik G. Oncological and functional results of the surgical treatment of vertebral metastases in patients with multiple myeloma. *BMC Surg* 2017;17(1):92. DOI: [10.1186/s12893-017-0288-9](https://doi.org/10.1186/s12893-017-0288-9).
 41. Peng X., Wan Y., Chen Y. et al. Primary non-Hodgkin's lymphoma of the spine with neurologic compression treated by radiotherapy and chemotherapy alone or combined with surgical decompression. *Oncol Rep* 2009;21(5):1269–75. DOI: [10.3892/or_00000350](https://doi.org/10.3892/or_00000350).
 42. Harris E., Butler J.S., Cassidy N. Aggressive plasmablastic lymphoma of the thoracic spine presenting as acute spinal cord compression in a case of asymptomatic undiagnosed human immunodeficiency virus infection. *Spine J* 2014;14(7):e1–5. DOI: [10.1016/j.spinee.2013.12.018](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.12.018).
 43. Denaro L., Berton A., Ciuffreda M. et al. Surgical management of chordoma: a systematic review. *J Spinal Cord Med* 2020;43(6):797–812. DOI: [10.1080/10790268.2018.1483593](https://doi.org/10.1080/10790268.2018.1483593).
 44. Varga P.P., Szoverfi Z., Fisher C.G. et al. Surgical treatment of sacral chordoma: prognostic variables for local recurrence and overall survival. *Eur Spine J* 2015;24(5):1092–101. DOI: [10.1007/s00586-014-3728-6](https://doi.org/10.1007/s00586-014-3728-6).
 45. Dekutoski M.B., Clarke M.J., Rose P. et al. Osteosarcoma of the spine: prognostic variables for local recurrence and overall survival, a multicenter ambispective study. *J Neurosurg Spine* 2016;25:59–68. DOI: [10.3171/2015.11.SPINE15870](https://doi.org/10.3171/2015.11.SPINE15870).
 46. Charest-Morin R., Dirks M.S., Patel S. et al. Ewing sarcoma of the spine: prognostic variables for survival and local control in surgically treated patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43(9):622–9. DOI: [10.1097/BRS.0000000000002386](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002386).
 47. Овчинников В.А., Углыница К.Н., Волков В.Н. Современные методы лучевого лечения онкологических больных. Журнал ГрГМУ 2010;1(29):93–7. [Ovchinnikov V.A., Uglyanitsa K.N., Volkov V.N. Modern methods of radiotherapy of oncological patients. *Zhurnal GrGMU = Journal of the Grodno State Medical University* 2010;1(29):93–7. (In Russ.)].
 48. Трофимова О.П., Ткачев С.И., Юрьева Т.В. Прошлое и настоящее лучевой терапии в онкологии. Клиническая онкогематология 2013;6(4):355–64. [Trofimova O.P., Tkachev S.I., Yuryeva T.V. Past and present of radiotherapy in management of malignancies. *Klinicheskaya onkogematologiya = Clinical oncohematology* 2013;6(4):355–64. (In Russ.)].
 49. Sharma A.M., Sackett M., Bueddefeld D. et al. Incidence of spinal disease and role of spinal radiotherapy in multiple

- myeloma. *Curr Oncol* 2018;25(6):e539–44. DOI:10.3747/co.25.4188.
50. Rades D., Conde-Moreno A.J., Cacicedo J. et al. Radiation therapy alone provides excellent outcomes for spinal cord compression from vertebral lymphoma. *Anticancer Res* 2016;36:3081–3.
 51. Patchell R.A., Tibbs P.A., Regine W.F. et al. Direct decompressive surgical resection in the treatment of spinal cord compression caused by metastatic cancer: a randomised trial. *Lancet* 2005;366(9486):643–8. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)66954-1.
 52. Lee J.-H., Lee S.H. Selecting the appropriate radiation therapy technique for malignant spinal cord compression syndrome. *Front Oncol* 2019;9:65. DOI: 10.3389/fonc.2019.00065.
 53. Boriani S., Saravanja D., Yamada Y. et al. Challenges of local recurrence and cure in low grade malignant tumors of the spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(22 Suppl):S48–57. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181b969ac.
 54. Palm R.F., Oliver D.E., Yang G.Q. et al. The role of dose escalation and proton therapy in perioperative or definitive treatment of chondrosarcoma and chordoma: an analysis of the National Cancer Data Base. *Cancer* 2019;125(4):642–51. DOI: 10.1002/cncr.31958.
 55. Chang U.K., Lee D.H., Kim M.S. Stereotactic radiosurgery for primary malignant spinal tumors. *Neurol Res* 2014;36(6):597–606. DOI: 10.1179/1743132814Y.0000000381.
 56. Krakoff I.H. Cancer chemotherapeutic agents. *CA Cancer J Clin* 1977;27(3):130–43.
 57. Tomita N., Takasaki H., Miyashita K. et al. R-CHOP therapy alone in limited stage diffuse large B-cell lymphoma. *Br J Haematol* 2013;161(3):383–8. DOI: 10.1111/bjh.12281.
 58. Алиев М.Д., Бохан А.Ю., Иванов С.М. и др. Клинические рекомендации по диагностике и лечению больных с первичными злокачественными опухолями кости Ассоциации онкологов России. М., 2014. 25 с. [Aliev M.D., Bokhyan A.Yu., Ivanov S.M. et al. Clinical recommendations for the diagnosis and treatment of patients with primary malignant bone tumors of the Association of Oncologists of Russia. Moscow, 2014. 25 p. (In Russ.)].
 59. Makatsoris T., Kalofonos H.P. The role of chemotherapy in the treatment of bone metastases. In: *Bone Metastases. Cancer Metastasis – Biology and Treatment*. Eds.: D. Kardamakis, V. Vassiliou, E. Chow. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. Pp. 287–98. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9819-2_14.

Вклад авторов

Д.Е. Закондырин: литературный обзор, написание статьи;

А.А. Гринь: разработка дизайна исследования.

Authors' contributions

D.E. Zakondyrin: literature review, article writing;

A.A. Grin: research design of the study.

ORCID авторов / ORCID of authors

Д.Е. Закондырин / D.E. Zakondyrin: <https://orcid.org/0000-0002-0925-415X>

А.А. Гринь / A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ХИРУРГИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА СУПРАТЕНТОРИАЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ. ЧАСТЬ 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

А.Ю. Дмитриев^{1,2}, М.В. Синкин^{1,2}, В.Г. Дашьян^{1,2}

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; Россия, 127473 Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1

Контакты: Александр Юрьевич Дмитриев dmitriev@neurosklif.ru

Мониторинг моторных вызванных потенциалов в хирургии супратенториальных опухолей оценивает целостность корковых двигательных центров и подкорковых проводящих путей. При механическом повреждении и ишемии двигательных нейронов происходит нарушение моторных вызванных потенциалов, при этом снижение их амплитуды более чем на 50 % служит предиктором стойких неврологических нарушений.

Картирование коры головного мозга дает возможность обнаружить функционально значимые центры до их резекции. Для выявления двигательных центров оценивают эффект активирующего влияния электростимуляции, для выявления центров речи и чувствительности – угнетающего. Позитивное картирование позволяет исключить техническую ошибку при подборе порога электростимуляции, но требует широкой краниотомии. Негативное картирование более распространено, позволяет обойтись небольшой трепанацией черепа, что снижает травматичность операции и ее продолжительность.

Один из главных факторов при картировании мозга – выбор порога электростимуляции. При монополярной стимуляции «пачками» импульсов ток силой 1 мА распространяется на глубину около 1 мм. При резекции опухолей функционально значимых зон безопасным считают ее прекращение при значениях силы тока 3–5 мА.

При картировании коры монополярная стимуляция по точности сопоставима с биполярной, но требует меньше времени для локализации функционально значимых центров мозга и реже приводит к возникновению интраоперационных судорог. Комбинация монополярного электростимулятора и аспиратора дает возможность непрерывно локализовать пирамидный тракт при резекции опухоли.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, ИОНМ, моторные вызванные потенциалы, МВП, картирование мозга, опухоль функционально значимой зоны

Для цитирования: Дмитриев А.Ю., Синкин М.В., Дашьян В.Г. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии опухолей головного мозга супратенториальной локализации. Часть 1. Исследование двигательной проводимости. Нейрохирургия 2022;24(2):105–112. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-105-112.

Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 1. Assessment of motor conductivity

A. Yu. Dmitriev^{1,2}, M. V. Sinkin^{1,2}, V. G. Dashyan^{1,2}

¹N. V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²A. I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

Contacts: Aleksandr Yurevich Dmitriev dmitriev@neurosklif.ru

Monitoring of motor evoked potentials in surgery of supratentorial tumors estimates integrity of cortical motor centers and subcortical pathways. Violation of motor evoked potentials takes place in mechanical injury or ischemia of motor neurons. Decrease of amplitude of motor evoked potentials more than 50 % is predictor of permanent neurological deficit.

Cortical mapping gives a possibility to discover eloquent brain areas before their resection. To reveal motor centers activating stimulation is applied, to find out speech or sensory areas – the inhibiting one. Positive brain mapping allows to exclude technical fault in selection of stimulation threshold but it demands a wide craniotomy. Negative mapping is more widespread, gives opportunity to use tailored craniotomy that reduces surgical injury and duration of operation. One of the most valuable factors in cortical and subcortical brain mapping is the stimulation threshold. With monopolar “train” stimulation current 1 mA spreads into approximately 1 mm. The safe value of current intensity during tumor resection in eloquent areas is 3–5 mA.

Monopolar stimulation demands less time for location of eloquent brain areas, it is as accurate as the bipolar mapping and more rarely leads to intraoperative seizures. Combination of monopolar stimulator with aspirator gives opportunity to continuously allocate pyramidal tract in tumor resection.

Key words: intraoperative neuromonitoring, IONM, motor evoked potentials, MEP, brain mapping, tumor of eloquent brain area

For citation: Dmitriev A.Yu., Sinkin M.V., Dashyan V.G. Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 1. Assessment of motor conductivity. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):105–12. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-105-112.

ВВЕДЕНИЕ

Расположение функционально значимых центров головного мозга и подкорковых проводящих путей определяют на этапе подготовки к хирургическому вмешательству с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (МРТ), транскраниальной магнитной стимуляции, позитронно-эмиссионной томографии и трактографии. Эти методы получили широкое распространение с внедрением нейронавигации. Совмещение анатомических изображений с функциональными носит название функциональной навигации [1]. Ее роль неопределима в предоперационном планировании и выполнении хирургического доступа. Метод расширил показания к операции при некоторых опухолях и артериовенозных мальформациях [2–5].

Главное препятствие для качественной функциональной нейронавигации – интраоперационное смещение мозга, достигающее нескольких сантиметров при больших новообразованиях [6]. Это делает неактуальными данные о локализации функционально значимых зон (ФЗЗ) головного мозга. Из-за нелинейного характера сдвига мозга только интраоперационная МРТ способна отобразить новое точное расположение этих центров [7]. Но даже на эти данные нельзя полностью полагаться, так как между сканированием и возобновлением операции возможна дальнейшая церебральная дислокация [8].

Интраоперационное нейрофизиологическое картирование считают «золотым стандартом» локализации ФЗЗ головного мозга, к тому же это единственный способ оценки их расположения в реальном времени [9]. За 80 лет метод претерпел значительные усовершенствования, теперь он позволяет определять расположение двигательных, чувствительных, зрительных центров головного мозга и контролировать их целост-

ность во время операции даже во время наркоза. Однако локализация зон речи, когнитивных функций, внимания, памяти и калькуляции чисел по-прежнему требует пробуждения пациента [10].

Методы интраоперационного нейрофизиологического мониторинга можно классифицировать двумя способами. При первом – анатомическом, способе критерием разделения служит направление, в котором распространяется стимулирующий импульс. В этом случае выделяют методики для исследования чувствительного и двигательного проведения. При оценке сенсорной функции раздражают периферический отдел соответствующего анализатора, а ответ регистрируют с коры мозга. При исследовании двигательного проведения стимулируют кору мозга или подкорковые проводящие пути и с помощью электронейромиографии регистрируют такие спровоцированные мышечные сокращения, которые называют моторными вызванными потенциалами (МВП).

Второй – функциональный, способ: интраоперационные нейрофизиологические исследования делят на методы локализации (картирования) функционально значимых центров мозга или подкорковых трактов и методы мониторинга их функций. Двигательную проводимость оценивают для обнаружения и проверки целостности двигательных центров и проводящих путей. Выделяют мониторинг с помощью МВП и картирование двигательной коры, кортико-спинального и кортико-бульбарного трактов.

МОНИТОРИНГ КОРТИКАЛЬНЫХ МОТОРНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Для такого мониторинга проводят транскраниальную или корковую стимуляцию. В первом случае используют скальповые электроды (фиксируют на мягких тканях головы), во втором – кортикальные

(устанавливают на поверхность головного мозга субдурально) [11].

Снижение амплитуды МВП служит прогностическим фактором послеоперационных двигательных нарушений. Необратимое уменьшение МВП чаще приводит к стойкому неврологическому дефициту, тогда как обратимые нарушения — к временным расстройствам. Полное исчезновение МВП прогностически хуже их снижения. Стойкое исчезновение ответов обычно происходит при повреждении пирамидного пути на подкорковом уровне, а снижение — при поражении коры первичного двигательного центра. Падение амплитуды МВП позволяет хирургу вовремя остановить резекцию и предотвратить более тяжелый послеоперационный дефицит [12–15].

Снижение амплитуды ответа в диапазоне от 25 до 50 % от исходного должно насторожить хирурга, но не может служить поводом для прекращения резекции опухоли, так как существует вероятность ложноположительных результатов, вызванных давлением на стимулирующие электроды, их ирригацией и смещением [16].

Принцип падения амплитуды МВП «все или ничего», практикуемый в спинальной нейрохирургии, нельзя применить при краниальных операциях. Нарастание двигательных нарушений после хирургических вмешательств чаще происходит при снижении амплитуды более чем на 50 %. У большинства больных такие дисфункции транзиторные [11].

О повреждении пирамидного пути также свидетельствует внезапное и не объяснимое другими причинами увеличение латентности МВП более 10 % [13].

Сохранность амплитуд МВП на протяжении всей операции точно прогнозирует отсутствие послеоперационных двигательных нарушений. Редкие моторные дисфункции (транзиторные — 9 %, постоянные — 4 %) могут быть обусловлены отеком, кровоизлияниями, неполным мониторингом всех мышц и синдромом дополнительной двигательной зоны (синдром SMA, supplemental motor area). Отсутствие изменений при МВП во время удаления опухолей ФЗЗ вселяет в хирурга уверенность в сохранности двигательных центров, что повышает радикальность операции [13, 16]. При этом МВП могут не зарегистрировать развитие ишемии при повреждении сосудов, так как на микроуровне происходит отсроченное снижение перфузии [16].

При удалении метастазов около моторной зоны прогностически значимым критерием послеоперационного дефицита служит необратимое падение амплитуды МВП более чем на 80 %. Обратимое снижение величины ответов более чем на 80 % обычно не приводит к стойким послеоперационным нарушениям. Неврологический исход у таких больных также зависит от локализации метастаза, но не от типа опухоли. Другие факторы риска — наличие предопераци-

онного пареза и предшествующая операции лучевая терапия [17].

При слишком высокой силе тока транскраниальные МВП могут активировать подкорковые проводящие пути, минуя кору, приводя к ложноотрицательным результатам (повреждение коры мозга остается нераспознанным). Для предотвращения этого устанавливают субдуральный стимулирующий электрод на двигательную зону, хотя он может мешать хирургическим манипуляциям. В таком случае мониторинг моторной коры заменяют периодическим кортикальным картированием отдельным стимулирующим зондом с шагом 2 мм [18].

Значимое снижение МВП может происходить не только из-за прямого хирургического воздействия на корковые центры и подкорковые проводящие пути, но и вследствие повреждения сосудов (особенно центральных перфорантов) с формированием очагов ишемии. У 70 % пациентов отграниченные инфаркты мозга в моторной зоне служат причиной стойких послеоперационных двигательных нарушений с падением МВП более чем на 50 %. Чаще такие изменения возникают при ревизионных операциях после перенесенной лучевой терапии. Поэтому при снижении амплитуды МВП более чем на 50 % нужно принять меры по нормализации перфузии мозга, включающие остановку резекции, удаление шпателей, ирригацию мозга теплым раствором Рингера и нимодипином, повышение артериального давления. Корковые МВП, полученные при помощи субдурального электрода, позволяют обнаружить такие ишемические нарушения лишь в 71 % случаев. Видимо, у оставшихся 29 % пациентов очаги ишемии формируются позднее, после окончания мониторинга. Применение транскраниальных МВП после удаления кортикальных электродов позволяет вести нейромониторинг и во время закрытия операционной раны [19].

Снижение амплитуды МВП свидетельствует о механическом или ишемическом повреждении подкорковых трактов, однако возможны и ложноположительные результаты. Это происходит при смещении стимулирующего субдурального электрода, западении мозга и образовании воздушной прослойки между черепом и мозгом. Одновременное снижение транскраниальных МВП должно всегда насторожить хирурга и послужить поводом для выполнения прямой электростимуляции зондом [20–22].

Ограничение мониторинга МВП методами электростимуляции коры заключается в том, что при полном исчезновении моторного ответа возможность восстановления целостности кортико-спинального тракта уже отсутствует. Это отличает мониторинг двигательных путей от картирования, при котором перед резекцией проводят электростимуляцию моторной ФЗЗ, что позволяет предотвратить ее непреднамеренное повреждение [11].

КАРТИРОВАНИЕ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Картирование коры проводят однократно при выборе места энцефалотомии. По клиническим проявлениям ее влияние в ответ на электрическую стимуляцию может быть активирующим и угнетающим.

Для локализации моторной зоны применяют низкочастотную стимуляцию, приводящую к сокращению мышц, соответствующих соматотопическому расположению их представительства в контралатеральной прецентральной извилине. Это активирующее влияние стимуляции, и ее можно проводить во время наркоза при отсутствии мышечных релаксантов [23, 24].

Для определения центров речи и чувствительности больной должен быть в сознании, понимать и выполнять задания. В процессе картирования пациент называет изображения на поочередно показываемых картинках, а в это время хирург прикладывает стимулятор к разным участкам коры. Это угнетающее проявление стимуляции, которое приводит к нарушению нормальной проводимости сигнала по нейронной сети. Те зоны, при воздействии на которые возникают речевые или чувствительные нарушения, участвуют в синтезе речи и являются ФЗЗ [23, 24].

По методологии проведения выделяют позитивное и негативное картирование. При позитивном выполняют широкую краниотомию, обязательно выявляют ФЗЗ, после чего проводят энцефалотомию для удаления опухоли. При таком подходе можно быть уверенным в правильно подобранном пороге электростимуляции и отсутствии технической ошибки. При негативном картировании размер трепанации ограничен, превышая размеры опухоли лишь на 3 см. Нейростимуляцию проводят только в зоне предполагаемой резекции мозга и не ставят задачу обязательного обнаружения его функциональных центров. Энцефалотомию выполняют при отсутствии электрографических и клинических признаков значимых зон. Такой подход более распространен, поскольку его применение позволяет снизить травматичность операции, достичь высокой радикальности хирургического вмешательства с хорошими функциональными исходами, не уступающими результатам позитивного картирования [25].

Зону стимуляции считают ФЗЗ при регистрации двух воспроизводимых ответов при ее повторной стимуляции. Однако не следует раздражать кору более двух раз подряд во избежание судорог [26]. При хирургии с наркозом у пациентов с судорогами в анамнезе требуется бо́льшая сила тока для получения моторного ответа, чем без наркоза (24 и 18,5 мА соответственно) [27].

Определение порога стимуляции — один из основных факторов, обеспечивающий безопасность резекции опухоли и радикальность операции. Снижение силы тока приводит к уменьшению расстояния, при котором могут быть выявлены функциональные цен-

тры, что увеличивает радикальность резекции, но ухудшает функциональные исходы. По данным S.S. Prabhu и соавт. (2011), при резекции опухолей, расположенных в непосредственной близости к двигательной коре, безопасным считается порог электростимуляции 5 мА [28], а по мнению K. Seidel и соавт. (2012), — 3 мА [18]. Согласно работе Н. Duffau (2012), при удалении диффузных глиом прекращать резекцию необходимо лишь в случае прямого контакта с функционально значимой корой, и нет необходимости оставлять 5–10 мм ткани мозга вокруг нее. Неврологические нарушения при такой тактике почти всегда преходящие, а частота постоянных — не превышает 2 % [29].

Регистрация коркового зонда-стимулятора в навигационной системе облегчает ориентацию в ране, ускоряет обнаружение ФЗЗ и позволяет фиксировать их координаты в навигационной системе. Но точность совмещения снижается при нарастании сдвига мозга [28, 30]. Дополнительно необходимо обращать внимание на регистрационную ошибку и невозможность оценить глубину борозды при кортикальной стимуляции [31].

Основное преимущество электростимуляции коры головного мозга — высокая точность и специфичность данного метода, фактически делающие его «золотым стандартом» для выявления функционально значимых корковых центров. Недостаток — сложность стимуляции глубинных частей извилин, а они составляют 2/3 от всей поверхности коры головного мозга [23].

Изолированная стимуляция коры мозга в процессе резекции глиом ФЗЗ, проведенная без последующего исследования проводящих путей, в 43 % случаев сопровождается нарастанием очаговых симптомов после операции, при этом 21 % из них — стойкие [32].

МОНИТОРИНГ И КАРТИРОВАНИЕ ПОДКОРКОВЫХ ПРОВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Повреждение подкорковых трактов — основная причина появления очаговых неврологических нарушений после операции. Об этом одним из первых указали М.А. Naeser и соавт. (1989) [33].

Повреждение подкорковых трактов — причина ухудшения состояния в 90 % случаев. Такие нарушения чаще более стойкие [26].

На точность обнаружения проводящих путей влияют параметры стимуляции, поскольку затухание электрического тока в ткани мозга происходит нелинейно и зависит от типа нейростимуляции и длительности импульсов. Наиболее эффективна катодная монополярная стимуляция «пачками» из 4–5 импульсов с общей длительностью 0,5–0,7 мс. Это связано с лучшим проникновением катодного тока сквозь ткани. Кроме этого, именно такие параметры картирования позволяют максимально близко приблизиться к линейной зависимости между силой тока

и расстоянием до проводящих путей, что соответствует «золотому правилу» нейрофизиологии: 1 мА = 1 мм [34].

Это предположение первыми подтвердили S. Ohue и соавт. (2012), сравнивая результаты подкорковой стимуляции с послеоперационной трактографией [35]. Авторы определяли силу тока, при которой происходила активация пирамидного тракта, после чего оставляли резекцию, а при контрольной МРТ измеряли расстояние между кортикоспинальным трактом и краем полости удаленной опухоли. Сила тока 5 мА соответствовала расстоянию 5,0, 10 мА – 10,2, 15 мА – 15,3, 20 мА – 20,5 мм. Таким образом, вероятность обнаружения пирамидного пути и расстояние до него зависят от силы стимулирующего тока [35].

При резекции опухолей, расположенных вблизи пирамидного тракта, при монополярной стимуляции «пачками» импульсов минимальная сила тока 5 мА, соответствующая расстоянию 5 мм, служит пограничной для прекращения операции без нарастания неврологического дефицита. Этот показатель одинаков для операций как с пробуждением, так и с наркозом [28, 36].

По данным G. Plans и соавт. (2017), фактор риска появления стойких неврологических нарушений при картировании пирамидного тракта – получение МВП при стимуляции минимальной силой тока 3 мА [37]. Частота неврологических осложнений при этом варьирует от 85 до 100 %. В таких случаях необходимо немедленно остановить хирургические манипуляции в этой зоне. Особенно важно соблюдать это требование при расположении опухоли в местах с низкой плотностью проводящих путей из-за возможности возникновения селективного пареза в немониторируемых мышцах. Преоперационный парез увеличивает частоту нарастания неврологических осложнений у таких больных в 2,3 раза, а стойких дисфункций – в 7,3 раза [36, 37]. Характеристика подкорковой стимуляции с силой тока 3 мА: чувствительность в обнаружении кортикоспинального пути – 83 %, специфичность – 95 %, положительная прогностическая значимость – 71 %, а отрицательная – 97 % [36].

Другого мнения придерживаются K. Seidel и соавт. (2013) [38]. Прооперировав 100 больных с глиомами и метастазами (в пределах 1 см от пирамидного тракта), авторы описали возможность применения порога стимуляции при подкорковом картировании всего в 1–3 мА с развитием стойких двигательных нарушений лишь у 8 % пациентов. Но такую стимуляцию необходимо проводить совместно с мониторингом корковых МВП, сохранение которых свидетельствует о сохранности кортико-спинального пути на всем протяжении. Это особенно важно для исключения его ишемии вследствие повреждения лентикюлостриарных артерий. Кроме того, при такой малой дистанции до пирамидного тракта необходима тщательная стимуляция с интервалом в 1 мм, что увеличивает



Интеграция монополярного зонда и аспиратора. Используется для непрерывного картирования корковых центров и подкорковых проводящих путей в процессе резекции опухоли

Integration of monopolar coagulator and aspirator. It used for continuous mapping of cortical areas and subcortical tracts during tumor resection

продолжительность операции и часто технически затруднено из-за ограниченного пространства. Учитывая возможные различия импеданса тканей мозга вокруг опухоли, авторы не советуют использовать порог субкортикальной стимуляции менее 2 мА [38].

Модификация нейрохирургического аспиратора – его интеграция с монополярным зондом (см. рисунок), в результате которой на его изолированный кончик подается электрический стимул, приводит к тому, что аспиратор становится монополярным стимулятором. Такая трансформация позволяет совмещать мониторинг глубины расположения кортико-спинального тракта с одновременным удалением опухоли, что значительно облегчает и ускоряет основной этап операции [39].

Таким же образом можно модифицировать ультразвуковой дезинтегратор. Активация устройства приводит к незначительному увеличению силы тока (на 5–7 %), что не нарушает методологию субкортикального мониторинга [40].

СРАВНЕНИЕ БИПОЛЯРНОЙ И МОНОПОЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ

Картирование коры головного мозга можно выполнять би- или монополярным стимулирующим электродом. При использовании биполярного электростимулятора обычно применяют ток с частотой 50 Гц, силой 1–20 мА, длительностью одного стимула – 1 мс, максимальным временем стимуляции – 10 с, при этом расстояние между браншами электрода – 5 мм. При монополярной стимуляции используют ток с частотой 500 Гц, силой 1–20 мА и продолжительностью всего 50 мс. Сила тока зависит от вида анестезии. При операциях с наркозом применяют ток 6–18 мА, при операциях, когда пациент в сознании, – 2–6 мА. Биполярная стимуляция более локальная, но чаще вызывает судороги. При монополярной стимуляции можно

лоцировать проводящие пути на большем расстоянии, но это требует и большей силы тока. Из-за ограниченных размеров области исследования биполярная стимуляция требует большего времени для локализации функциональной зоны [18, 41, 42].

Биполярная подкорковая стимуляция может быть менее точной, чем монополярная. Причина в неомогенности тока за пределами браншей биполярного электрода. Ток при монополярной стимуляции распространяется одинаково во все стороны, входя в нейрон перпендикулярно аксону, что делает стимуляцию более эффективной [38].

Высокочастотная монополярная стимуляция, несмотря на большую силу тока, за счет более короткой продолжительности стимулов реже приводит к развитию интраоперационных судорог. Поэтому ее применение целесообразно при наличии в анамнезе эпилептических приступов, особенно при операциях в сознании [43].

По данным А.В. Косырьковой и соавт. (2020), результаты моно- и биполярной подкорковой стимуляции не различаются по пороговой силе тока, частоте положительных моторных ответов и количеству вовлекаемых в ответ мышечных групп. Число двигательных ответов зависит от силы тока при обоих методах [44].

Дополнительное преимущество высокочастотной монополярной стимуляции: с ее помощью возможно получить моторные ответы при более глубокой степени медикаментозной седации [45].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг моторных вызванных потенциалов позволяет оценить сохранность моторной коры и про-

водящих путей. Падение амплитуды моторных вызванных потенциалов более чем на 50 % служит фактором риска появления очаговых неврологических нарушений после операции и предиктором стойких неврологических нарушений. Раннее обнаружение снижения моторных вызванных потенциалов с немедленной остановкой хирургических манипуляций в этой зоне, ирригацией мозга теплым солевым раствором и повышением артериального давления дают возможность в ряде случаев предотвратить появление неврологического дефицита.

Корковое и подкорковое картирование позволяют обнаружить двигательный центр и пирамидный путь до начала их резекции, что дает возможность предотвратить деструкцию функционально значимых участков мозга. Поскольку субкортикальная стимуляция не способна определить повреждение коры, ее комбинируют с корковой электростимуляцией.

Корковое и подкорковое картирование повышают уверенность хирурга при манипуляциях возле моторной коры и пирамидного пути. Определение безопасного расстояния до них в 3–5 мм с помощью постоянной монополярной стимуляции повышает радикальность резекции при незначительном риске стойких двигательных нарушений после операции.

Из-за распространения тока во все стороны от зонда монополярная стимуляция происходит быстрее биполярной, не уступает ей в точности, а вследствие большей частоты тока реже приводит к возникновению интраоперационных судорог. Интеграция монополярного электростимулятора в хирургический аспиратор позволяет выполнять непрерывную локацию пирамидного пути в процессе резекции опухоли.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Nimsy C., Kuhnt D., Ganslandt O., Buchfelder M. Multimodal navigation integrated with imaging. *Acta Neurochir Suppl* 2011;109:207–14. DOI: 10.1007/978-3-211-99651-5_32.
2. Krishnan R., Raabe A., Hattingen E. et al. Functional magnetic resonance imaging-integrated neuronavigation: correlation between lesion-to-motor cortex distance and outcome. *Neurosurgery* 2004;55(4):904–15. DOI: 10.1227/01.neu.0000137331.35014.5c.
3. Cannestra A.F., Pouratian N., Forage J. et al. Functional magnetic resonance imaging and optical imaging for dominant-hemisphere perisylvian arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2004;55(4):804–14. DOI: 10.1227/01.neu.0000137654.27826.71.
4. Duffau H., Lopes M., Arthuis F. et al. Contribution of intraoperative electrical stimulations in surgery of low grade gliomas: a comparative study between two series without (1985–1996) and with (1996–2003) functional mapping in the same institution. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2005;76(6):845–51. DOI: 10.1136/jnnp.2004.048520.
5. Southwell D.G., Birk H.S., Han S.J. et al. Resection of gliomas deemed inoperable by neurosurgeons based on preoperative imaging studies. *J Neurosurg* 2018;129(3):567–75. DOI: 10.3171/2017.5.JNS17166.
6. Nimsy C., Ganslandt O., Cerny S. et al. Quantification of, visualization of, and compensation for brain shift using intraoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2000;47(5):1070–9. DOI: 10.1097/00006123-200011000-00008.
7. Seifert V., Gasser T., Senft C. Low field intraoperative MRI in glioma surgery. *Acta Neurochir Suppl* 2011;109:35–41. DOI: 10.1007/978-3-211-99651-5_6.
8. Bohinski R.J., Kokkino A.K., Warnick R.E. et al. Glioma resection in a shared-resource magnetic resonance operating room after optimal image-guided frameless stereotactic resection. *Neurosurgery* 2001;48(4):731–42. DOI: 10.1097/00006123-200104000-00007.
9. Ostry S., Belsan T., Otahal J. et al. Is intraoperative diffusion tensor imaging at 3.0T comparable to subcortical corticospinal tract mapping? *Neurosurgery* 2013;73(5):797–807. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000087.
10. Duffau H. Awake surgery for nonlanguage mapping. *Neurosurgery* 2010;66(3):523–8. DOI: 10.1227/01.NEU.0000364996.97762.73.

11. Zhou H.H., Kelly P.J. Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection. *Neurosurgery* 2001;48(5):1075–80. DOI: 10.1097/00006123-200105000-00021.
12. Szelenyi A., Hattingen E., Weidauer S. et al. Intraoperative motor evoked potential alteration in intracranial tumor surgery and its relation to signal alteration in postoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2010;67(2):302–13. DOI: 10.1227/01.NEU.0000371973.46234.46.
13. Neuloh G., Pechstein U., Cedzich C., Schramm J. Motor evoked potential monitoring with supratentorial surgery. *Neurosurgery* 2004;54(5):1061–70. DOI: 10.1227/01.neu.0000119326.15032.00.
14. Szelenyi A., Langer D., Kothbauer K. et al. Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome. *J Neurosurg* 2006;105(5):675–81. DOI: 10.3171/jns.2006.105.5.675.
15. Neuloh G., Pechstein U., Schramm J. Motor tract monitoring during insular glioma surgery. *J Neurosurg* 2007;106(4):582–92. DOI: 10.3171/jns.2007.106.4.582.
16. Krieg S.M., Shibani E., Droese D. et al. Predictive value and safety of intraoperative neurophysiological monitoring with motor evoked potentials in glioma surgery. *Neurosurgery* 2012;70(5):1060–70. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823f5ade.
17. Krieg S.M., Schaffner M., Shibani E. et al. Reliability of intraoperative neurophysiological monitoring using motor evoked potentials during resection of metastases in motor-eloquent brain regions: clinical article. *J Neurosurg* 2013;118(6):1269–78. DOI: 10.3171/2013.2.JNS121752.
18. Seidel K., Beck J., Stieglitz L. et al. Low-threshold monopolar motor mapping for resection of primary motor cortex tumors. *Operative Neurosurgery* 2012;71(1 Suppl Operative):104–14. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31824c02a0.
19. Gempt J., Krieg S.M., Hutteringer S. et al. Postoperative ischemic changes after glioma resection identified by diffusion-weighted magnetic resonance imaging and their association with intraoperative motor evoked potentials. *J Neurosurg* 2013;119(4):829–36. DOI: 10.3171/2013.5.JNS121981.
20. Жуков В.Ю., Горайнов С.А., Огурцова А.А. и др. Диффузионно-тензорная трактография и интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии внутримозговых опухолей. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2016;80(1):5–18. [Zhukov V.Yu., Goryaynov S.A., Ogurtsova A.A. et al. Diffusion tensor imaging tractography and intraoperative neurophysiological monitoring in surgery of intracranial tumors located near the pyramidal tract. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2016;80(1):5–18. (In Russ., In Eng.).] DOI: 10.17116/neiro20168015-18.
21. Зуев А.А., Коротченко Е.Н., Иванова Д.С. и др. Хирургическое лечение опухолей функционально значимых зон головного мозга с применением метода нейрофизиологического картирования речевых, моторных зон и проводящих путей. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2017;81(1):39–50. [Zuev A.A., Korotchenko E.N., Ivanova D.S. et al. Surgical treatment of eloquent brain area tumors using neurophysiological mapping of the speech and motor areas and conduction tracts. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2017;81(1):39–50. (In Russ.).] DOI: 10.17116/neiro201780739-50.
22. Suess O., Kombos T., Suess S. et al. The influence of intra-operative brain shift on continuous cortical stimulation during surgery in the motor cortex – an illustrative case report. *Acta Neurochir (Wien)* 2001;143(6):621–3. DOI: 10.1007/s007010070068.
23. Tharin S., Golby A. Functional brain mapping and its applications to neurosurgery. *Neurosurgery* 2007;60(4 Suppl 2):185–201. DOI: 10.1227/01.NEU.0000255386.95464.52.
24. Кобяков Г.Л., Лубнин А.Ю., Куликов А.С. и др. Краниотомия в сознании. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2016;80(1):107–16. [Kobyakov G.L., Lubnin A.Yu., Kulikov A.S. et al. Awake craniotomy. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2016;80(1):107–16. (In Russ., In Eng.).] DOI: 10.17116/neiro2016801107-116.
25. Sanai N., Mirzadeh Z., Berger M.S. Functional outcome after language mapping for glioma resection. *N Engl J Med* 2008;358(1):18–27. DOI: 10.1056/NEJMoa067819.
26. Trinh V.T., Fahim D.K., Shah K. et al. Subcortical injury is an independent predictor of worsening neurological deficits following awake craniotomy procedures. *Neurosurgery* 2013;72(2):160–9. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827b9a11.
27. Улитин А.Ю., Костенко И.А., Александров М.В. и др. Картирование моторной коры при симптоматической эпилепсии у пациентов с первичными глиальными опухолями. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова 2017;9(2):50–4. [Ulitin A.Yu., Kostenko I.A., Alexandrov M.V. et al. Motor cortex mapping and symptomatic epilepsy in patients with primary glial tumors. *Russian neurosurgical journal named after professor A.A. Polenov* 2017;9(2):50–4. (In Russ.).] DOI: 10.17116/2010.9.JNS10481.
28. Prabhu S.S., Gasco J., Tummala S. et al. Intraoperative magnetic resonance imaging-guided tractography with integrated monopolar subcortical functional mapping for resection of brain tumors. *Clinical article. J Neurosurg* 2011;114(3):719–26. DOI: 10.3171/2010.9.JNS10481.
29. Duffau H. Awake surgery for incidental WHO grade II gliomas involving eloquent areas. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(4):575–84. DOI: 10.1007/s00701-011-1216-x.
30. Suess O., Kombos T., Hoell T. et al. A new cortical electrode for neuronavigation-guided intraoperative neurophysiological monitoring: technical note. *Acta Neurochir (Wien)* 2000;142(3):329–32. DOI: 10.1007/s007010050042.
31. Krings T., Schreckenberger M., Rohde V. et al. Functional MRI and ¹⁸F FDG-positron emission tomography for presurgical planning: comparison with electrical cortical stimulation. *Acta Neurochir (Wien)* 2002;144(9):889–99. DOI: 10.1007/s00701-002-0992-8.
32. Kim S.S., McCutcheon I.E., Suki D. et al. Awake craniotomy for brain tumors near eloquent cortex: correlation of intraoperative cortical mapping with neurological outcomes in 309 consecutive patients. *Neurosurgery* 2009;64(5):836–45. DOI: 10.1227/01.NEU.0000342405.80881.81.
33. Naeser M.A., Palumbo C.L., Helm-Estabrooks N. et al. Severe nonfluency in aphasia: role of the medial subcallosal fasciculus and other white matter pathways in recovery of spontaneous speech. *Brain* 1989;112(1):1–38. DOI: 10.1093/brain/112.1.1.
34. Shibani E., Krieg S.M., Haller B. et al. Intraoperative subcortical motor evoked potential stimulation: how close is the corticospinal tract? *J Neurosurg* 2015;123(3):711–20. DOI: 10.3171/2014.10.JNS141289.
35. Ohue S., Kohno S., Inoue A. et al. Accuracy of diffusion tensor magnetic resonance imaging-based tractography for surgery of gliomas near the pyramidal tract: a significant correlation between subcortical electrical stimulation and postoperative tractography. *Neurosurgery* 2012;70(2):283–93. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823020e6.
36. Nossek E., Korn A., Shahar T. et al. Intraoperative mapping and monitoring of the corticospinal tracts with neurophysiological assessment and 3-dimensional ultrasonography-based navigation. *J Neurosurg* 2011;114(3):738–46. DOI: 10.3171/2010.8.JNS10639.
37. Plans G., Fernandez-Conejero I., Rifa-Ros X. et al. Evaluation of the high-frequency monopolar stimulation

- technique for mapping and monitoring the corticospinal tract in patients with supratentorial gliomas. A proposal for intraoperative management based on neurophysiological data analysis in a series of 92 patients. *Neurosurgery* 2017;81(4):585–94. DOI: 10.1093/neuros/nyw087.
38. Seidel K., Beck J., Stieglitz L. et al. The warning-sign hierarchy between quantitative subcortical motor mapping and continuous motor evoked potential monitoring during resection of supratentorial brain tumors. *J Neurosurg* 2013;118(2):287–96. DOI: 10.3171/2012.10.JNS12895.
39. Raabe A., Beck J., Schucht P., Seidel K. Continuous dynamic mapping of the corticospinal tract during surgery of motor eloquent brain tumors: evaluation of a new method. *J Neurosurg* 2014;120(5):1015–24. DOI: 10.3171/2014.1.JNS13909.
40. Shibani E., Krieg S.M., Obermueller T. et al. Continuous subcortical motor evoked potential stimulation using the tip of an ultrasonic aspirator for the resection of motor eloquent lesions. *J Neurosurg* 2015;123(2):301–6. DOI: 10.3171/2014.11.JNS141555.
41. Javadi S.A., Nabavi A., Giordano M. et al. Evaluation of diffusion tensor imaging-based tractography of the corticospinal tract: a correlative study with intraoperative magnetic resonance imaging and direct electrical subcortical stimulation. *Neurosurgery* 2017;80(2):287–99. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001347.
42. Mandonnet E., Winkler P.A., Duffau H. Direct electrical stimulation as an input gate into brain functional networks: principles, advantages and limitations. *Acta Neurochir (Wien)* 2010;152(2):185–93. DOI: 10.1007/s00701-009-0469-0.
43. Riva M., Fava E., Gallucci M. et al. Monopolar high-frequency language mapping: can it help in the surgical management of gliomas? A comparative clinical study. *J Neurosurg* 2016;124(5):1479–89. DOI: 10.3171/2015.4.JNS14333.
44. Косырькова А.В., Горайнов С.А., Огурцова А.А. и др. Сравнительный анализ поточечного моно- и биполярного картирования пирамидного тракта у пациентов с супратенториальными опухолями, прилежащими к моторным зонам головного мозга: сравнение данных в 64 точках стимуляции. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2020;84(5):29–40. [Kosyrkova A.V., Goryainov S.A., Ogurtsova A.A. et al. Comparative analysis of mono- and bipolar pyramidal tract mapping in patients with supratentorial tumors adjacent to motor areas: comparison of data at 64 stimulation points. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2020;84(5):29–40. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/neiro20208405129.
45. Kombos T., Suess O., Funk T. et al. Intraoperative mapping of the motor cortex during surgery in and around the motor cortex. *Acta Neurochir (Wien)* 2000;142(3):263–8. DOI: 10.1007/s007010050034.

Вклад авторов

А.Ю. Дмитриев: разработка дизайна исследования, литературный обзор, написание статьи;
М.В. Синкин: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи;
В.Г. Дашьян: научное редактирование статьи.

Authors' contributions

A.Yu. Dmitriev: research design of the study, literature review, article writing;
M.V. Sinkin: research design of the study, scientific editing of the article;
V.G. Dashyan: scientific editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

А.Ю. Дмитриев / A.Yu. Dmitriev: <https://orcid.org/0000-0002-7635-9701>
М.В. Синкин / M.V. Sinkin: <https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>
В.Г. Дашьян / V.G. Dashyan: <https://orcid.org/0000-0002-5847-9435>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

ОЦЕНКА ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КОЛЛАТЕРАЛЬНОГО СТАТУСА ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ АНГИОГРАФИИ ПРИ ИШЕМИЧЕСКОМ ИНСУЛЬТЕ: ОБЗОР МЕТОДОВ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ

Д.Д. Долотова^{1,2}, Е.Р. Благодосклонова², Г.Р. Рамазанов³, И.В. Архипов^{2,4}, С.С. Петриков³, А.В. Гаврилов^{2,4}

¹ОСП «Научно-исследовательский клинический институт педиатрии им. акад. Ю.Е. Вельтищева», ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 117997 Москва, ул. Островитянова, 1;

²ООО «Гаммамед-Софт»; Россия, 127473 Москва, 3-й Самотечный пер., 1, стр. 1;

³ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

⁴НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобелыцина, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; Россия, 119234 Москва, ул. Ленинские горы, 1, стр. 2

Контакты: Дарья Дмитриевна Долотова dolotova@multivox.ru

При ишемическом инсульте состояние церебрального коллатерального кровотока – один из ключевых факторов, определяющих исход заболевания. Дигитальную субтракционную ангиографию принято считать «золотым стандартом» оценки церебрального коллатерального кровотока. Однако компьютерно-томографическая ангиография – наиболее распространенный метод, характеризующийся высокой степенью согласованности с дигитальной субтракционной ангиографией. В настоящее время представлено несколько шкал визуальной оценки степени развитости церебрального коллатерального кровотока на изображениях компьютерно-томографической ангиографии. Шкалы описывают как бассейн инсульт-связанной церебральной артерии в целом, так и подробно отдельные характеризующие его различные области. Неоднократно показана связь балльной оценки с тяжестью неврологического дефицита, а также объемом церебральной ишемии. Однако единого мнения о наиболее надежном методе описания церебрального коллатерального статуса до сих пор не сложилось. Применение современных методов обработки медицинских изображений и искусственного интеллекта позволило сделать значительный шаг в сторону автоматизации оценки коллатерального статуса, несомненные преимущества которой – высокая скорость вычисления и неподверженность субъективному мнению. Несмотря на то что исследования в данном направлении немногочисленны, внедрение автоматизированных решений в практику уже показало свою эффективность. В рамках данного обзора рассмотрены шкалы для ручной оценки церебрального коллатерального статуса, приведены показатели их надежности, а также описаны современные направления решения задач автоматизированной оценки состояния коллатералей при ишемическом инсульте.

Ключевые слова: церебральный коллатеральный статус, ишемический инсульт, компьютерно-томографическая ангиография, лептоменингеальные артерии, искусственный интеллект

Для цитирования: Долотова Д.Д., Благодосклонова Е.Р., Рамазанов Г.Р. и др. Оценка церебрального коллатерального статуса по данным компьютерно-томографической ангиографии при ишемическом инсульте: обзор методов ручной и автоматизированной оценки. Нейрохирургия 2022;24(2):113–21. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-113-121.

Evaluation of cerebral collateral status using computed tomography angiography in ischemic stroke: review of manual and automated methods

D.D. Dolotova^{1,2}, E.R. Blagodoskloнова², G.R. Ramazanov³, I.V. Arkhipov^{2,4}, S.S. Petrikov³, A.V. Gavrilov^{2,4}

¹Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics, Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University); 1 Ostrovitianov St., Moscow 117997, Russia

²Gammamed-Soft; Bld. 1, 3rd Samotechnny lane, Moscow 127473, Russia;

³*N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;*

⁴*Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University; Bld. 2, 1 Leninskie gory Str., Moscow 119234, Russia*

Contacts: Darya Dmitrievna Dolotova dolotova@multivox.ru

In ischemic stroke, the condition of cerebral collateral circulation is one of the key factors determining the outcome. Digital subtraction angiography is considered the gold standard of evaluation of cerebral collateral circulation. However, computed tomography angiography is the most widely used method characterized by high level of conformity with subtraction angiography. Currently, several scales of visual evaluation of collateral circulation development in images obtained by computed tomography angiography are used. The scales describe the territory of stroke-associated cerebral artery, as well as details of various areas of the territory. The association between the score and severity of neurological deficit and volume of cerebral ischemia was demonstrated in numerous studies. However, consensus on the most reliable method of description of cerebral collateral status has not been reached. Use of modern methods of processing of medical images and artificial intelligence allowed to make a significant step towards automatization of collateral status evaluation with such benefits as high processing speed and resistance to subjective opinion. Despite low number of studies on this subject, implementation of automated solutions has already showed its effectiveness. In this review, scales for manual evaluation of cerebral collateral status are considered, their reliability is described, and current approaches to automated evaluation of collateral circulation in ischemic stroke are presented.

Key words: cerebral collateral status, ischemic stroke, computed tomography angiography, leptomeningeal arteries, artificial intelligence

For citation: Dolotova D.D., Blagosklonova E.R., Ramazanov G.R. et al. Evaluation of cerebral collateral status using computed tomography angiography in ischemic stroke: review of manual and automated methods. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):113–21. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-113-121.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно опубликованным данным различных стран, ишемический инсульт (ИИ) до сих пор остается одной из основных причин смертности и инвалидизации населения [1, 2]. Факторы, влияющие на исход заболевания, во многом определены, и важность их учета при выборе тактики ведения пациента неоднократно подчеркивалась в клинических рекомендациях и руководствах [3–5]. К таким факторам относят: время от момента появления симптомов заболевания до поступления в стационар; наличие сопутствующей патологии; исходная степень тяжести неврологического дефицита и др. Из признаков, выявляемых с помощью радиологических методов исследования, обязательно учитывают наличие прямых и косвенных свидетельств ИИ на нативной компьютерной томографии (КТ); выполняют оценку объема поражения по шкале ASPECTS (Alberta Stroke Program Early CT score — шкала оценки ранних КТ-признаков ишемического инсульта головного мозга); исключают окклюзию инсульт-связанной артерии при помощи компьютерно-томографической ангиографии (КТА).

Один из признаков, определяющих исход заболевания и эффективность лечения, — степень развитости церебральных коллатеральных сосудов в области поражения [6]. В ранее опубликованных исследованиях неоднократно показано, что наличие хорошо развитых церебральных коллатералей коррелирует с лучшим исходом заболевания [7, 8]. Кроме того, степень выраженности церебральных коллатералей служит предиктором итогового объема ишемии вне зависимости от того, была ли проведена реперфузионная терапия или нет [9].

«Золотым стандартом» определения церебрального коллатерального статуса принято считать дигитальную субтракционную ангиографию (ДСА). Однако данная процедура обладает такими важными недостатками, как инвазивность и высокая стоимость исследования. В то же время, КТА характеризуется высокой степенью согласованности с ДСА (более 90 %), при этом, не является инвазивной процедурой, и ее проведение сопряжено с меньшей лучевой нагрузкой. Магнитно-резонансная ангиография требует больше времени и длительной неподвижности пациента во время исследования. Таким образом, КТА можно считать наиболее перспективной модальностью оценки церебрального коллатерального статуса по ряду причин:

- 1) позволяет визуализировать сосуды в высоком пространственном разрешении;
- 2) широко распространена в связи со значительной степенью оснащенности медицинских учреждений КТ;
- 3) процедура непродолжительна и практически не увеличивает промежуток времени до начала ревазкуляризирующих вмешательств.

Различными авторскими коллективами предложено несколько качественных и полуколичественных шкал оценки церебральных коллатералей на изображениях КТА, а также проведены исследования, посвященные анализу их надежности и межэкспертной согласованности. Кроме того, в последнее время стали появляться программы автоматизированной оценки церебрального коллатерального статуса, что обусловлено стремительным развитием методов анализа медицинских изображений и цифровых технологий.

В рамках данной статьи рассматриваются основные шкалы оценки церебрального коллатерального статуса, обсуждаются их особенности и возможности, а также текущие разработки в области автоматизированной оценки.

РУЧНАЯ ОЦЕНКА ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ КОЛЛАТЕРАЛЕЙ ПО ШКАЛАМ

В настоящее время представлено не менее 8 шкал визуальной оценки состояния церебрального коллатерального статуса по данным КТА, число градаций в которых варьирует от 2 до 20. Наиболее ранние исследования предполагали использование исходных КТА-изображений (СТА-SI—СТ-angiography source image) без какой-либо дополнительной компьютерной обработки, однако в последующем в связи с увеличением функционала рабочих станций КТ стали чаще использовать мультипланарные реконструкции (MPR, multiplanar reconstruction) и проекцию максимальной интенсивности (MIP, maximum intensity projection). Подробное описание шкал представлено далее в порядке увеличения числа градаций в них.

Бинарные шкалы Р. Schramm и J.C. Tan

Впервые бинарная шкала оценки церебральных коллатералей предложена Р. Schramm и соавт. (2002) [8]. При анализе СТА-SI церебральные коллатерали вокруг области поражения характеризовали как хорошо или слабо развитые (Good/Poor). При этом на небольшой выборке из 20 пациентов с ИИ показано, что наличие церебральных коллатералей служит предиктором благоприятного исхода заболевания и не большого объема ишемии.

Данная шкала была применена J.C. Tan и соавт. (2007) для оценки коллатерального статуса у 55 пациентов по данным КТА на аксиальных срезах и на MPR, но без использования проекции максимальной интенсивности [9]. Значимой корреляции с итоговым объемом церебральной ишемии не установлено. Сделан вывод о предпочтительном использовании проекции максимальной интенсивности и более расширенной шкалы, которая будет рассмотрена далее.

3-балльные шкалы М. Knauth и F. Miteff

Одна из первых предложенных шкал — 3-балльная шкала М. Knauth и соавт. (1997), в которой на основе анализа исходных изображений и 3-мерной реконструкции предполагался выбор одной из следующих категорий: good — есть заполнение ветвей средней мозговой артерии (СМА) в Sylvian борозде (*s. Sylvii*); moderate — коллатерали видны, но не в *s. Sylvii*; absent — артерии после места окклюзии не видны [10]. Установлена высокая степень межэкспертной согласованности для данной шкалы (88 %), а также корреляция со степенью тяжести неврологического дефицита после лечения ($r = 0,46$) [11].

Использование проекции максимальной интенсивности и другие 3 варианта описания церебрального коллатерального статуса предложены F. Miteff и соавт. (2009) [12]. Наличие сосудов в бассейне СМА каждого из 92 пациентов характеризовалось с помощью ряда категорий: poor — обедненный кровоток, видимый только в поверхностных артериях; moderate — умеренный кровоток, видимый в поверхностных артериях и в сосудах *s. Sylvii*; good — хороший кровоток с наполнением сосуда сразу после места окклюзии. Показано, что степень неврологического дефицита, оцененная при помощи шкалы NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale — Национальные институты здравоохранения США), и степень выраженности церебральных коллатералей служат независимыми предикторами хорошего функционального исхода (0–2 балла по модифицированной шкале Рэнкина, mRS) спустя 3 мес после ИИ. При построении решающего правила на основе логистической регрессии авторы использовали бинарную разбивку, объединив варианты с обедненным и умеренным кровотоком, и показали, что она характеризуется большей мерой межэкспертной согласованности, чем 3-балльная шкала. Тем не менее, она вошла в литературу под названием шкалы Miteff и в последующем применялась в других исследованиях.

4-балльная шкала J.C. Tan

В качестве альтернативы бинарной шкалы J.C. Tan и соавт. предложили использовать шкалу J.J. Kim и соавт. (2004) [13], исходно предназначенную для анализа изображений ДСА и включающую 4 градации: 0 — отсутствие коллатералей; 1 — коллатерали представлены менее чем на 50 % территории пораженного бассейна; 2 — коллатерали заполняют более 50 % территории пораженного бассейна; 3 — коллатерали представлены на 100 % пораженной территории [9]. В дальнейших исследованиях (85 пациентов) показано, что данная оценка, выполненная по проекциям максимальной интенсивности, демонстрирует умеренную корреляцию с показателями перфузии ишемизированного участка, а при проведении регрессионного анализа была установлена связь с итоговым объемом ядра инсульта [7].

5-балльная шкала E.S. Rosenthal и 10-балльная шкала M.B. Maas

Впервые шкалу, подразумевающую сравнение коллатерального статуса инсульт-связанного бассейна с контралатеральным, предложили E.S. Rosenthal и соавт. (2008) [14]. Шкала включала 5 градаций, самый высокий балл соответствовал картине с сильно выраженными сосудами на пораженной стороне относительно интактного полушария (см. таблицу). При анализе данных 44 пациентов с ИИ существенного влияния церебрального коллатерального статуса на клинический исход заболевания не выявлено.

Однако в 2009 г. шкала Rosenthal была применена М.В. Маас и соавт. дифференцированно для сосудов *s. Sylvii* и лептоменингеальных артерий [15]. На выборке из 369 пациентов без тромболитической терапии исследователи показали, что вне зависимости от наличия окклюзии при хороших церебральных коллатералах (3–5 баллов) ухудшение неврологического статуса по NIHSS встречалось достоверно реже, чем у пациентов с отсутствующими или слабовыраженными коллатералами (1–2 балла). Частота клинического ухудшения более чем на 1 балл по NIHSS для случаев со слабовыраженными сосудами в *s. Sylvii*, лептоменингеальными артериями и при их комбинации составила 34,1, 45,8 и 55,6 % соответственно. В последующем данная шкала использовалась в других исследованиях под названием шкалы Маас.

20-балльная шкала на основе ASPECTS

Наиболее подробная шкала оценки церебрального коллатерального статуса — ее комбинация со шкалой ASPECTS [16]. Для базальных ганглиев (хвостатое ядро, внутренняя капсула, кора островка, чечевицеобразное ядро) и кортикальных регионов (на уровне базальных ганглиев — передняя кора (M1), кора латерального островка (M2), задняя кора (M3); на уровне желудочков над базальными ганглиями — передняя (M4), латеральная (M5) и задняя (M6) территории СМА) предполагается 3-балльная оценка нарушения прохождения контраста, в которой 0 соответствует отсутствию артерий, а 2 — наличию сосудов, эквивалентных или более выраженных, чем в контрлатеральном полушарии (см. таблицу). Таким образом, значения оценки по данной шкале варьируют от 0 до 20 баллов.

НАДЕЖНОСТЬ И СОГЛАСОВАННОСТЬ ШКАЛ ОЦЕНКИ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КОЛЛАТЕРАЛЬНОГО СТАТУСА

Поскольку в профессиональном сообществе до сих пор не сложилось общепринятого мнения о едином

подходе к оценке церебральных коллатералей, задачи проведения сравнительного анализа существующих шкал и поиска наиболее информативного и надежного способа оценки до сих пор актуальны и попытки их решения широко представлены в литературе [17, 18]. В исследовании L.L.L. Yeо и соавт. (2015), основанном на выборке из 200 пациентов с ИИ, проведено сравнение 4 шкал: Miteff, Маас, бинарной шкалы Tan и 20-балльной шкалы на основе ASPECTS [19]. Наибольшей надежностью в предсказании хорошего клинического исхода заболевания (mRs 0–2 балла) обладала шкала Miteff, однако по показателю межэкспертной согласованности ее незначительно превзошла бинарная шкала Tan (0,93 vs. 0,91, каппа-статистика). Показано, что ни одна из шкал не была значима в предикции летального исхода и симптомной геморрагической трансформации. В другой работе также было показано, что бинарная шкала обладает большими показателями межэкспертной согласованности (0,97 vs. 0,93 для шкалы Miteff) [12].

Проверка 4-балльной шкалы Tan показала ее не очень высокую межэкспертную согласованность (0,64 на основе данных 269 пациентов) [20], хотя исследователи рассчитали следующую межэкспертную корреляцию: ICC = 0,87 (95 % CI = 0,80–0,91) [7]. Подобные различия могут быть обусловлены как разнородным составом выборок, так и разным уровнем подготовки радиологов, выступавших в качестве экспертов.

Сводная информация по каждой из рассмотренных шкал с кратким описанием градаций в каждой из них представлена в таблице.

Объединяющая черта всех научных исследований, в которых применяли ту или иную шкалу оценки, — это работа с ретроспективными данными, но не с актуальными, полученными в процессе медицинской помощи пациенту. Публикаций, посвященных временным затратам на заполнение протокола КТА с включением оценки церебрального коллатерального статуса, в настоящее время не представлено.

Сводные данные о шкалах оценки церебрального коллатерального кровотока (по изображениям компьютерно-томографической ангиографии)
Summary of scales describing cerebral collateral circulation (using computed tomography angiography images)

Балльная шкала Score system	Параметры изображений Image parameters	Описание шкалы Description
Шкала Schramm, 2002 [8] Schramm Scale, 2002 [8]	CTA-SI	Развитость коллатералей в области ишемического инсульта: Collateral development in the area of ischemic stroke: poor — обедненные; poor — poorly developed; good — хорошо развитые good — well developed
Шкала Tan, 2007 [9] Modified Tan Scale, 2007 [9]	CTA, MPR	Развитость коллатералей в области ишемического инсульта: Collateral development in the area of ischemic stroke: poor — обедненные; poor — poorly developed; good — хорошо развитые good — well developed

Окончание таблицы

End of table

Балльная шкала Score system	Параметры изображений Image parameters	Описание шкалы Description
Шкала Knauth, 1997 [10] Knauth Scale, 1997 [10]	СТА-SI, 3D-реконструкция CTA-SI, 3D reconstruction	absent — артерии после окклюзии не видны; absent — arteries after occlusion are not visible; moderate — коллатерали видны, но не в <i>s. Sylvii</i> ; moderate — collaterals are visible but not in the <i>s. Sylvii</i> ; good — есть заполнение ветвей средней мозговой артерии в <i>s. Sylvii</i> good — filling of the branches of the medial cerebral artery in the <i>s. Sylvii</i> is present
Шкала Miteff, 2009 [12] Miteff System, 2009 [12]	СТА, MIP	Оценка кровотока: Circulation evaluation: poor — обедненный, видимый только в поверхностных артериях; poor — visible only in the superficial arteries; moderate — умеренный, видимый в поверхностных артериях и сосудах <i>s. Sylvii</i> ; moderate — visible only in the superficial arteries and vessels of the <i>s. Sylvii</i> ; good — хороший, с наполнением сосуда сразу после места окклюзии good — vessels directly near the occlusion area are filled
4-балльная шкала Tan, 2007 [9] Tan Scale, 2007 [9]	СТА, MIP	Коллатерали (часть заполненной ими территории пораженного бассейна): Collaterals (part of the territory of the affected system): 0 — отсутствие; 0 — absent; 1 — менее 50 %; 1 — less than 50 %; 2 — более 50 %; 2 — more than 50 %; 3—100 % 3—100 %
Шкала Rosenthal, 2008 [14] Rosenthal Scale, 2008 [14]	СТА-SI	Оценка сосудов, основанная на сравнении с интактной стороной: Evaluation of vessels based on comparison with the intact side: 1 — отсутствие сосудов; 1 — absence of vessels; 2 — менее выражены на пораженной стороне, чем на интактной; 2 — less pronounced on the affected side compared to the intact side; 3 — представлены в той же мере, что и на интактной стороне; 3 — same as at the intact side; 4 — на пораженной стороне больше выражены, чем на интактной; 4 — more pronounced on the affected side compared to the intact side; 5 — сильно выражены на пораженной стороне 5 — pronounced on the affected side
Шкала Maas, 2009 [15] Maas System, 2009 [15]	СТА-SI	Оценка, основанная на сравнении с интактной стороной. Оценка сосудов (отдельная для артерий <i>s. Sylvii</i> и лептоменингеальных артерий): Evaluation based on comparison with the intact side. Evaluation of vasculature (separate for arteries of the <i>s. Sylvii</i> and leptomeningeal arteries): 1 — отсутствие сосудов; 1 — absence of vessels; 2 — менее выражены на пораженной стороне, чем на интактной; 2 — less pronounced on the affected side compared to the intact side; 3 — представлены в той же мере, что и на интактной стороне; 3 — same as at the intact side; 4 — на пораженной стороне больше выражены, чем на интактной; 4 — more pronounced on the affected side compared to the intact side; 5 — сильно выражены на пораженной стороне 5 — pronounced on the affected side
Шкала на основе ASPECTS, 2016 [16] Regional Leptomeningeal Score (based on ASPECTS), 2016 [16]	СТА-SI	Оценка, основанная на сравнении с интактной стороной. Оценка артерий в 10 областях, идентичных областям шкалы ASPECTS: Evaluation based on comparison with the intact side. Evaluation of arteries in 10 areas identical to the areas of the ASPECTS scale: 0 — не видны; 0 — not visible; 1 — менее выражены, чем в контралатеральном полушарии; 1 — less pronounced than in the contralateral hemisphere; 2 — эквивалентны или более выражены, чем в контралатеральном полушарии 2 — equivalent or more pronounced than in the contralateral hemisphere

Другая тенденция в использовании шкал, предусматривающих от 3 и более категорий, — стремление привести их к бинарному виду при использовании в качестве прогностических переменных для решающих правил [12, 15].

Важно отметить, что работы с применением перечисленных шкал практически не встречаются в отечественных публикациях. Единственная шкала, упомянутая в российских рекомендациях по ведению пациентов с ИИ [4], — шкала Американского общества интервенционной и терапевтической радиологии (ACG) [21, 22], включающая 5 градаций, где 0 — отсутствие коллатералей к области ишемии, 4 — наличие быстрого и полного коллатерального кровотока по всей области ишемии. Однако данная шкала разработана исключительно для ДСА.

РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО КОЛЛАТЕРАЛЬНОГО СТАТУСА

Несмотря на редкую практику использования шкал в повседневной работе врачей-радиологов, перспективным представляется создание автоматизированных средств оценки коллатерального статуса с применением методов искусственного интеллекта. В последнее время появилось несколько разработок, уже получивших коммерческую реализацию и установленных

во многих лечебных учреждениях или находящихся на этапе программной реализации и валидации.

Одна из наиболее передовых разработок — модуль e-CTA от Brainomix, Великобритания (<https://www.brainomix.com/e-cta/>), оценивающий объем сосудистого русла и выдающий заключение в виде визуального представления области с обедненными коллатеральными и балльной оценки, соответствующей 4-балльной шкале Tap (рис. 1). Продемонстрировано, что при использовании Brainomix e-CTA межэкспертная согласованность о степени развитости коллатералей возрастает с 0,58 (0,46–0,67) до 0,77 (0,66–0,85; $p = 0,003$) [23]. В исследовании на данных 235 пациентов также был показан высокий уровень согласованности с экспертным мнением, причем в случае бинарной шкалы он достигал 0,853 [24].

Компания RapidAI (США), работающая над этой задачей с 2008 г. и получившая одобрение FDA (Food and Drug Administration, Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов), оценивает «плотность» сосудов в области интереса (<https://www.rapidai.com/>) и характеризует степень их обеднения относительно интактного полушария по 4 градациям (до 45, 45–60, 60–75, более 75 %), каждой из которых соответствует свой цвет (рис. 2).

О подобном функционале недавно также заявили разработчики приложения StrokeViewer (NicoLab, Нидерланды: <https://www.nico-lab.com/strokeviewer/>),



Рис. 1. Интерфейс программы e-CTA. Инструмент Brainomix e-CTA демонстрирует идентификацию и локализацию крупной окклюзии правой средней мозговой артерии, оценку коллатерального статуса и ослабление сигнала от сосудов, тепловую карту коллатерального дефицита (оранжевый) [25]

Fig. 1. e-CTA program interface. Brainomix e-CTA tool demonstrating identification and localization of a large vessel occlusion of the right middle cerebral artery, collateral score and collateral vessel attenuation, and a heat map of the collateral deficit (orange) [25]

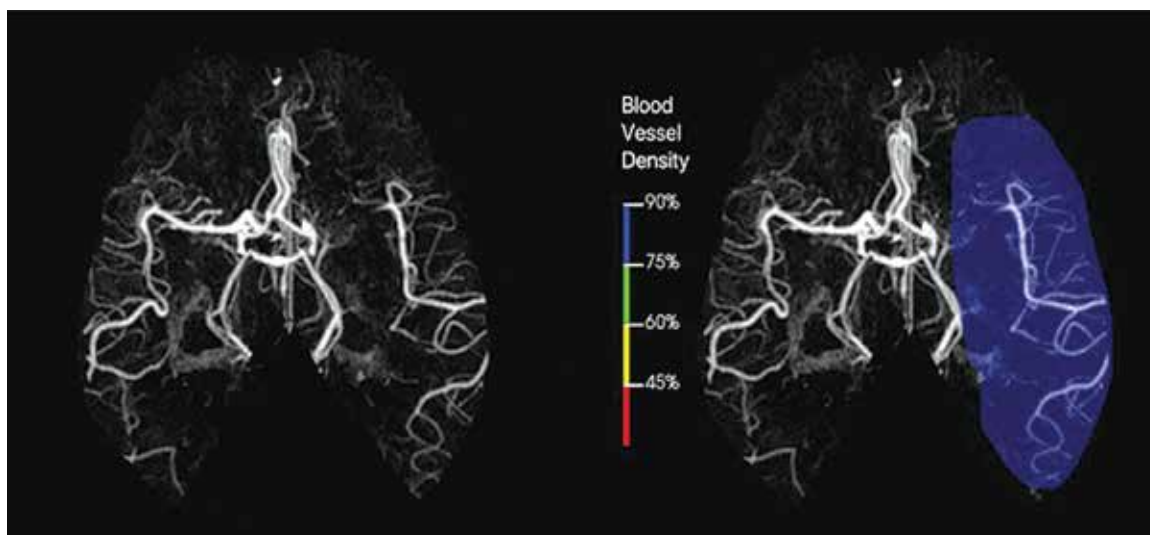


Рис. 2. Интерфейс программы RapidAI (изображение с официального сайта разработчиков: <https://www.rapidai.com/rapid-cta>)

Fig. 2. RapidAI software interface (image from the official site: <https://www.rapidai.com/rapid-cta>)

основу которого сформировали результаты исследования по созданию фильтра «сосудистости» (vesselness) [26]. Применение фильтра позволило сегментировать сосуды на пораженной и интактной стороне и вычислить церебральный коллатеральный статус (qCS) с учетом исходной интенсивности пикселей на КТА. При верификации этой оценки на данных регистра исследования MR Clean показана корреляция 0,68 с 4-балльной шкалой Tan, а в дальнейших исследованиях — с хорошим функциональным исходом через 3 мес после перенесенного ИИ [27].

Во всех программных решениях, упомянутых выше, предусмотрено и автоматическое определение места окклюзии церебральной артерии.

Также немногочисленны и научные работы, не получившие пока коммерческой реализации. В 2020 г. предложен вариант расчета церебрального коллатерального статуса, представляющего комбинацию 4 показателей: объема и длины коллатералей относительно интактной стороны, а также их взвешенные величины, учитывающие интенсивность вокселей [20]. Показано, что точность этого метода оценки сопоставима с точностью специалистов, выполнявших оценку на основе 4-балльной шкалы Тан (269 пациентов). Наилучшей показала себя модель на основе метода случайных лесов, позволяющего определить коллатеральный статус с точностью 80 %. Использование бинарной градации (объединение пациентов с баллами, равными 0 или 1, в одну группу и пациентов с 2 и более баллами во вторую группу) дает точность 90 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка церебрального коллатерального статуса — одна из наиболее важных составляющих при оказании помощи больным с ишемическим инсультом. Данная оценка особенно важна в контексте последних тенденций в изменении клинических протоколов оказания помощи, предусматривающих более широкий временной интервал, в течение которого могут быть проведены реваскуляризирующие вмешательства. Несмотря на упоминание в клинических рекомендациях важности оценки коллатерального кровотока, единое мнение о шкале, наиболее подходящей для этой цели, до сих пор отсутствует.

Применение шкал с большим числом градаций сопряжено с увеличением времени анализа изображений, что может быть фатально для пациента с ишемическим инсультом. Кроме того, такие шкалы характеризуются меньшими показателями межэкспертной надежности и во многом зависят от опыта работы врача-радиолога. Однако и простая бинарная шкала не получила распространения в повседневной рутинной практике написания протоколов компьютерно-томографической ангиографии. В решении проблемы оценки могут помочь разработка и внедрение программ автоматизированной оценки церебрального коллатерального статуса. Они не увеличивают нагрузку на врачей, а наоборот, своевременно дают подсказку и помогают выбрать оптимальную тактику ведения пациента с ишемическим инсультом в остром периоде.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танамян М.М. Инсульт. Пошаговая инструкция. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019. 272 с. [Piradov M.A., Maksimova M.Yu., Tanashyan M.M. Stroke. Step-by-step guidelines. Moscow: GEOTAR-Media, 2019. 272 p. (In Russ.).]
2. Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J. et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: a report from the American Heart Association. 2021; 143(8):e254–743. DOI:10.1161/CIR.0000000000000950.
3. Национальная ассоциация по борьбе с инсультом, Всероссийское общество неврологов, Ассоциация нейрохирургов России и др. Клинические рекомендации по ведению больных с ишемическим инсультом и транзиторными ишемическими атаками. 2017. 92 с. [National Association for Stroke Prevention, All-Russian Society of Neurologists, Association of Neurosurgeons of Russia et al. Clinical guidelines on management of patients with ischemic stroke and transient ischemic attacks, 2017. 92 p. (In Russ.).]
4. Ассоциация нейрохирургов России, Савелло А.В., Вознюк И.А. и др. Клинические рекомендации. Внутрисосудистое лечение ишемического инсульта в острейшем периоде. Клинические рекомендации. СПб., 2015. 36 с. [Association of Neurosurgeons of Russia, Savello A.V., Voznyuk I.A. et al. Intravascular treatment of ischemic stroke in the acute period. Clinical Guidelines. Saint Petersburg, 2015. 36 p. (In Russ.).]
5. Powers W.J., Rabinstein A.A., Ackerson T. et al. Guidelines for the Early Management of Patients with Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: a Guideline for Healthcare Professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. Stroke 2019;50(12):e344–418. DOI: 10.1161/STR.0000000000000211.
6. Liu L., Ding J., Leng X. et al. Guidelines for evaluation and management of cerebral collateral circulation in ischaemic stroke 2017. Stroke Vasc Neurol 2018;3(3):117–30. DOI: 10.1136/svn-2017-000135.
7. Tan I.Y.L., Demchuk A.M., Hopyan J. et al. CT angiography clot burden score and collateral score: correlation with clinical and radiologic outcomes in acute middle cerebral artery infarct. Am J Neuroradiol 2009;30(3):525–31. DOI: 10.3174/ajnr.A1408.
8. Schramm P., Schellinger P.D., Fiebach J.B. et al. Comparison of CT and CT Angiography Source Images with Diffusion-Weighted Imaging in patients with acute stroke within 6 hours after onset. Stroke 2002;33:2426–32. DOI: 10.1161/01.STR.0000032244.03134.37.
9. Tan J.C., Dillon W.P., Liu S. et al. Systematic comparison of perfusion-CT and CT-angiography in acute stroke patients. Ann Neurol 2007;61(6):533–43. DOI: 10.1002/ana.21130.
10. Knauth M., Kummer V., Jansen O., Ha S. Potential of CT angiography in acute ischemic stroke. Am J Neuroradiol 1997;18:1001–10.
11. Wildermuth S., Knauth M., Brandt T. et al. Role of CT angiography in patient selection for thrombolytic therapy in acute hemispheric stroke. Stroke 1998;29(5):935–8. DOI: 10.1161/01.str.29.5.935.
12. Miteff F., Levi C.R., Bateman G.A. et al. The independent predictive utility of computed tomography angiographic collateral status in acute ischaemic stroke. Brain 2009;132(8):2231–8. DOI: 10.1093/brain/awp155.
13. Kim J.J., Fischbein N.J., Lu Y. et al. Regional angiographic grading system for collateral flow: correlation with cerebral infarction in patients with middle cerebral artery occlusion. Stroke 2004;35(6):1340–4. DOI: 10.1161/01.STR.0000126043.83777.3a.
14. Rosenthal E.S., Schwamm L.H., Roccatagliata L. et al. Role of recanalization in acute stroke outcome: rationale for a CT angiogram-based “benefit of recanalization” model. Am J Neuroradiol 2008;29(8):1471–5. DOI: 10.3174/ajnr.A1153.
15. Maas M.B., Lev M.H., Ay H. et al. Collateral vessels on CTA predict outcome in acute ischemic stroke. Stroke 2009;40(9):3001–5. DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.552513.Collateral.
16. Menon B.K., Smith E.E., Modi J. et al. Regional leptomeningeal score on CT angiography predicts clinical and imaging outcomes in patients with acute anterior circulation occlusions. Am J Neuroradiol 2011;32(9):1640–5. DOI: 10.3174/ajnr.A2564.
17. Raymond S.B., Schaefer P.W. Imaging brain collaterals: quantification, scoring, and potential significance. Top Magn Reson Imaging 2017;26(2):67–75. DOI: 10.1097/RMR.0000000000000123.
18. Seker F., Potreck A., Mohlenbruch M. et al. Comparison of four different collateral scores in acute ischemic stroke by CT angiography. J Neurointerv Surg 2016;8(11):1116–8. DOI: 10.1136/neurintsurg-2015-012101.
19. Yeo L.L.L., Paliwal P., Teoh H.L. et al. Assessment of intracranial collaterals on CT angiography in anterior circulation acute ischemic stroke. Am J Neuroradiol 2015;36(2):289–94. DOI: 10.3174/ajnr.A4117.
20. Su J., Wolff L., van Es A.C.G.M. et al. Automatic Collateral Scoring From 3D CTA Images. IEEE Trans Med Imaging 2020;39(6):2190–200. DOI: 10.1109/TMI.2020.2966921.
21. Молохоев Е.Б., Закарян Н.В., Шелеско А.А. и др. Результаты эндоваскулярного лечения ишемического инсульта в зависимости от степени коллатерального кровотока головного мозга. В кн.: XXV Всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов. 2019. [Molokhoev E.B., Zakaryan N.V., Shelesko A.A. et al. Results of endovascular treatment of ischemic stroke depending on the level of cerebral collateral circulation. In: XXV All-Russian Congress of Cardiovascular Surgeons, 2019. (In Russ.).]
22. Zaidat O.O., Yoo A.J., Khatri P. et al. Recommendations on angiographic revascularization grading standards for acute ischemic stroke: a consensus statement. Stroke 2013;44(9):2650–63. DOI: 10.1161/STROKEAHA.113.001972.
23. Grunwald I.Q., Kulikovskiy J., Reith W. Collateral automation for triage in stroke: evaluating automated scoring of collaterals in acute stroke on computed tomography scans. Cerebrovasc Dis 2019;47(56):217–22. DOI: 10.1159/000500076.
24. Pfaff J., Seker F., Nagel S. et al. Evaluation of intracranial collaterals by a fully automated computer based algorithm compared to human readers. Eur Stroke J 2018;3(1 Suppl):77–8.
25. Soun J.E., Chow D.S., Nagamine M. et al. Artificial intelligence and acute stroke imaging. Am J Neuroradiol 2021;42(1):2–11. DOI: 10.3174/ajnr.A6883.
26. Boers AMM, Barros RS, Jansen IGH. et al. Quantitative collateral grading on CT angiography in patients with acute ischemic stroke. In: Molecular Imaging, Reconstruction and Analysis of Moving Body Organs, and Stroke Imaging and Treatment: 5th International Workshop, CMMI 2017 2nd International Workshop, RAMBO 2017 and 1st International Workshop, SWITCH 2017 Held in Conjunction with MICCAI 2017, Proceedings. 2017;10555:176–84. DOI: 10.1007/978-3-319-67564-0_18.
27. Boers A.M.M., Barros R.S., Jansen I.G.H. et al. Value of quantitative collateral scoring on CT angiography in patients with acute ischemic stroke. Am J Neuroradiol. 2018;39(6):1074–82. DOI: 10.3174/ajnr.A5623.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Acknowledgment. This work was supported by the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Lomonosov Moscow State University "Photonic and Quantum technologies. Digital medicine".

Вклад авторов

Д.Д. Долотова: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание статьи;

Е.Р. Благосклонова: сбор и обработка материала;

Г.Р. Рамазанов: научное редактирование статьи;

И.В. Архипов: анализ программного обеспечения, графическое представление;

С.С. Петриков: финальное научное редактирование статьи;

А.В. Гаврилов: финальное научное редактирование статьи, научное руководство.

Authors' contributions

D.D. Dolotova: research idea and design of the study, obtaining data for analysis, article writing;

E.R. Blagosklonova: obtaining data for analysis;

G.R. Ramazanov: scientific editing of the article;

I.V. Arkhipov: software analysis, graphical representation;

S.S. Petrikov: final scientific editing of the article;

A.V. Gavrilov: final scientific editing of the article, scientific leadership.

ORCID авторов / ORCID of authors

Д.Д. Долотова / D.D. Dolotova: <https://orcid.org/0000-0002-5538-1109>

Е.Р. Благосклонова / E.R. Blagosklonova: <https://orcid.org/0000-0002-4678-060X>

Г.Р. Рамазанов / G.R. Ramazanov: <https://orcid.org/0000-0001-6824-4114>

И.В. Архипов / I.V. Arkhipov: <https://orcid.org/0000-0003-4278-2285>

С.С. Петриков / S.S. Petrikov: <https://orcid.org/0000-0003-3292-8789>

А.В. Гаврилов / A.V. Gavrilov: <https://orcid.org/0000-0002-7838-584X>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-29-26007 (мк).

Financing. The study was supported by the grant from the Russian Foundation of Basic Research No. 18-29-26007 (мк).

SURGICAL TREATMENT OF SOLITARY BRAIN METASTASES

A.V. Stanishevskiy, Sh.Kh. Gizatullin, A.V. Smolin, E.V. Kryukov

Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Ministry of Defense of Russia; 3 Gospitalnaya Sq., Moscow 105094, Russia

Contacts: Artem Vadimovich Stanishevskiy, a-stan@mail.ru

Background. Brain metastasis occurs in 10–30 % of patients with different malignances. Despite of successes, achieved in the treatment of extracranial malignances in last decade, tendency to increase of the survival and duration of the disease-free period in patients with brain metastasis is absent. Several treatment modalities have been proposed: chemotherapy, radiation, immune and target therapy, stereotactic radiosurgery, different types of surgical procedures, however, an optimal combination of these methods remain unclear.

The aim of the study: to summarize experience of multimodal treatment of patients with brain metastases in hospital with opportunity of both surgical removal, chemo- and radiotherapy and review literature on the topic.

Materials and methods. The retrospective analysis of medical data of patients with brain metastases performed with assessment of: localization of primary tumor, metastasis volume, localization, median survival duration from metastasis revealing due to different types of therapy, main period of recurrences and hospital state duration, early and late complications. Inclusion criteria were: patients with surgical treatment of brain metastases, availability of medical data. Exclusion criteria were: multiple brain metastases, contraindications for surgical treatment, sensitive to chemo- and radiation therapy malignances (leukoses, lymphoma, germinative tumors etc.). The extent of metastasis resection was assessed by postop CT and MRI with intravenous enhancement or by operation records. Fluorescent intraoperative navigation with 5-aminolevulinic acid was used for further evaluation of tumor borders. In case of localization of metastasis in motor or eloquent regions intraoperative electrophysiological monitoring acquired. Few operations for metastasis localized in speech zones were made with “asleep – awake – asleep” method. Follow-up assessed by questioning of patients and their relatives. Statistical analyzes performed in IBM SPSS Statistics 23.

Results. 52 patients meet criteria and were included to the study. Male to female ratio was 1 : 1, main age – 60 years. The most common sources of brain metastases were (in decreasing order) melanoma, lung cancer, kidney cancer, breast cancer, colorectal cancer, prostate cancer, ovarian cancer and uterus cancer. Two patients had 2 brain metastases at the time of assessment, other 50 – single. Most common localizations of brain metastases (in decreasing order) were: parietal lobe, frontal lobe, cerebellum hemispheres, occipital lobe, temporal lobe, ventricular system and brain meninges. In 46 % of cases metastases significantly involves motor or eloquent areas of brain. Median volume of metastasis was 11 cm³; midline shift appeared in 65.4 % of cases; 6 patients have hemorrhage in the tumor, 2 – seizures, 2 – occlusive hydrocephalus. Main Karnofsky performance index – 73.8. Gross total resection performed in 84.6, subtotal – in 7.7 % of cases. Intraoperative fluorescent navigation used in 73 %. In 10 cases metastasis localized in motor and sensory areas, all these cases were treat with intraoperative neurophysiological monitoring. Postoperative hemiparesis noticed in 1 patient; 3 surgeries performed with awake; no postop aphasia mentioned. Follow-up was assessed in 44 patients, 20 of them were dead at the time of the study. Correlation of median survival rates with primary tumor localization performed. The following prognostic factors for brain metastases have been identified: its morphology and volume, extent of resection, Karnofsky performance index and early complications.

Conclusions. Most patients with brain metastasis are in satisfactory condition at the initial examination. Most frequent primary tumor localization: melanoma and lung cancer, they are characterized by poorer prognosis. Most metastasis are supratentorial, intracranial hypertension is obvious. Metastasis localization, time from its evaluation to surgery, significant functional areas involvement and primary tumor resection aren't fluent on survival.

Key words: metastasis, chemotherapy, radiation therapy, tumor, brain, melanoma, cancer, adenocarcinoma

For citation: Stanishevskiy A.V., Gizatullin Sh.Kh., Smolin A.V., Kryukov E.V. Surgical treatment of solitary brain metastases. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):17–24. (In Eng.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-17-24.

BACKGROUND

Ten to thirty percent of patients with different cancers develop brain metastases (BMs) [1, 2]. Only in 9 % of patients previously diagnosed with cancer, cerebral lesions are associated with primary cerebral tumors. The most common origins of BMs include lung cancer, melanoma, kidney cancer, breast cancer, and colorectal cancer [3].

According to the World Health Organization, the predicted global cancer burden will increase in 2012–2030. As of 2016, 19.1 % of all primary tumors are diagnosed at stage III, another 20.5 % – at stage IV. BMs are believed to be the most severe cancer complication significantly reducing the quality of life and characterized by high death rates.

The aim of the study: to analyze the experience of multimodal treatment for BMs in a multidisciplinary hospital and to summarize relevant scientific literature on current trends in BMs therapy.

MATERIALS AND METHODS

We performed retrospective analysis of medical records of patients treated between December 20, 2013 and January 1, 2020 at the Department of Neurosurgery and Department of Radiology, Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko.

Inclusion criteria were as follows:

- patients over 18 years with BMs;
- available data on patient's condition upon admission to hospital, as well as detailed information on treatment, its duration, and complications. Patient's condition was evaluated using the Modified Rankin Scale (mRs) upon admission and discharge;
- available results of preoperative contrast-enhanced magnetic resonance imaging (MRI).

Exclusion criteria were as follows:

- multiple BMs;
- no history of BMs removal.

In addition to that, we surveyed relatives of the study participant to collect the information on their outpatient treatment, BMs recurrence, time and cause of death.

The extent of BMs resection was assessed using postoperative computed tomography (CT), contrast-enhanced MRI, and the analysis of surgical intervention protocols.

Fluorescence diagnostics (FD) – fluorescent intraoperative navigation with 5-aminolevulinic acid – in addition to contrast-enhanced MRI was used in patients with no clear boundaries between metastasis and normal brain tissue. It was also used in patients whose were located in sensory, motor or eloquent areas of the brain, in addition to intraoperative electrophysiological monitoring (IOM) that ensured more precise identification of tumor boundaries and increases extent of resection. IOM was used for patients with located in the motor and sensory areas of the brain cortex, while patients with in the eloquent areas underwent awake surgery.

To assess median overall survival, patients were divided into 3 groups: with from melanoma, from lung cancer, and from other primary tumors (Table 1).

Table 1. The assessment of overall survival in patients with melanoma, lung cancer and another metastasis

Morphology of metastasis	Number of patients, %	Overall survival median, months	95 % CI
Melanoma	14	6.7	2.8–10.7
Lung cancer	14	9.6	5.4–13.8
Other*	24	13.4	7.4–19.4

*Cancer localization, number of patients (%): kidney cancer – 7, breast cancer – 6, rectal cancer – 5, prostate cancer – 3, ovarian cancer – 2, uterus cancer – 1.

Data processing and analysis was performed using the IBM SPSS Statistics 23 software. We performed Kaplan–Meier analysis to calculate median overall survival of patients with from melanoma, lung cancer, and other cancers.

RESULTS

A total of 52 patients with met the inclusion criteria and had all necessary medical information, including protocols of surgical interventions and results of pre- and postoperative examinations (CT and contrast-enhanced MRI of the brain).

Age and gender distribution of study participants is shown in Table 2. the majority of patients were admitted to hospital in a satisfactory condition (score 80–100 on the Karnofsky scale). Six (11.5 %) patients had hemorrhage into the tumor; 2 (3.85 %) patients had seizures; and 2 (3.85 %) patients had occlusive hydrocephalus.

Table 2. The gender and sex characteristics of included patients

Parameter	Value
Number of patients (%): male female	24 (46) 28 (54)
Age median (95 % CI), years	61.5 (56.5–63.1)
Karnofsky Index, %	70 (70–80)

Note. 95 % CI – confidence interval (possibility level 95 %).

The most common origins of in our patients were melanoma, lung cancer, kidney cancer, and breast cancer. Forty-four (84.6 %) patients had supratentorial tumors; 2 (3.85 %) patients had intraventricular tumors; and 2 (3.85 %) patients had solitary metastases located along the dura mater, initially diagnosed as meningiomas (Tables 3, 1).

Twenty-four (46.2 %) patients had in the functional areas of the brain. Thirty-four (65.4 %) patients presented with severe peritumorous edema that caused compression and shift of adjacent brain structures.

All patients underwent multimodal treatment, including excision followed by chemotherapy (CT), radiotherapy (RT) or both when indicated (Table 4).

Table 3. The characteristics of cerebral metastases

Parameter	Number of cases	
	abs.	%
Primary tumor:		
Melanoma	14	26.9
Lung cancer	14	26.9
Kidney cancer	7	13.5
Breast cancer	6	11.6
Rectal cancer	5	9.6
Prostate cancer	3	5.8
Ovarian cancer	2	3.8
Uterus cancer	1	1.9
Localization of metastasis:		
Parietal lobe	18	34.6
Frontal lobe	14	26.9
Cerebellum hemispheres	8	15.5
Occipital lobe	6	11.6
Temporal lobe	2	3.8
Ventricular system	2	3.8
Dura mater	2	3.8
Functional zones involvement		
Motor and sensory zones	10	19.2
Speech zones	6	11.6
Other*	6	11.6
Away SFA	30	57.6
Midline shift		
Takes place	34	65.4
None	18	34.6
Metastasis volume** mediane (95 % CI), cm ³	11 (10.1–19.8)	

Note. SFA – significant functional areas.

*Localization (significant functional areas): visual cortex, basal ganglia, cerebellum nuclei.

**Metastasis volume evaluate as $ABC/2$, where A , B , C – sizes of metastasis due to three MRI planes.

Forty-five (87 %) operations were performed with intraoperative FD (iFD). Among 22 (42.3 %) patients with affecting functionally significant areas of the brain, 10 (19.2 %) patients had their tumors located in the motor and sensory zones of the cortex, whereas 6 (11.5 %) patients had tumors in the eloquent areas. All 10 patients were operated on with intraoperative electrophysiological monitoring; 2 (3.85 %) patients of them developed transient hemiparesis that was partially regressed after postoperative Dexamethasone therapy; 1 patient developed persistent central hemiparesis that existed until patient's death 7.5 months postoperatively. Three patients with located in the eloquent areas underwent awake brain surgeries. None of them developed aphasia in the postoperative period. Among those who had conventional surgery, 3 patients presented with aphasia. In 2 of them, it resolved spontaneously within 1 week postoperatively, while 1 patient had persistent motor aphasia.

We managed to survey relatives of 44 study participants to obtain the information on their survival and complica-

tions developed after discharge. For the rest of the patients, we used only medical records.

The following complications were observed in the early postoperative period: ventilator-associated pneumonia ($n = 2$), intracerebral hemorrhage ($n = 2$), and meningoen- cephalitis ($n = 2$) (Table 5).

The survival analysis showed that patients with from melanoma and lung cancer had worse prognosis than other patients.

Linear regression analysis demonstrated that several factors significantly affected postoperative survival, including morphology and volume, brain compression and shift extent of BMs resection, patient's condition upon admission to hospital (Karnofsky score), and early complications.

DISCUSSION

Despite the advances in the treatment of extracerebral tumors achieved in the last 10 years, still significantly affect patient survival and their quality of life [5, 6]. There has been a paradoxical increase in incidence of metastatic lesions to the central nervous system along with the development

Table 4. The characteristics of treatment modalities of brain metastases

Parameter	Number of cases	
	abs.	%
Surgery		
Extent of resection:		
total	43	82.7
subtotal	9	17.3
Using of fluorescence guidance	45	87
Using of INM (in case of SFA involvement):		
motor and sensory zones	10	3
evolvment		
awake surgery	19.2	5.8
Radiation therapy		
Takes place	19	36.5
None	17	32.7
Data absent	16	30.8
Time after surgery, days	Mediane	95 % CI
	32	20–47
Chemotherapy		
Takes place	25	48
None	10	19.2
Data absent	17	32.8
Time after surgery, days	Mediane	95 % CI
	22	19–32

Note. INM – intraoperative neuromonitoring; SFA – significant functional areas of the brain.

Table 5. The characteristics of post-op period

Parameter	Value
Follow-up: duration mediane (95 % CI), month exitus lethalis*, n (%)	6.5 (6.3–13.5) 20 (38.5)
Overall treatment duration mediane (95 % CI), day	17.5 (17.2–22.0)
Earlier complications, n (%)	6 (11.5)

*Causes of death: 1 patient died from myocardial infarct, mortality was associated with intracranial tumor progression – 19 cases (with extracranial progression – 13, with multiple cerebral metastasis formation and leptomeningeal spreading – 6).

of effective treatments for primary tumors [7]. Without treatment, median overall survival after detection does not exceed 4–6 months [8].

In our study, primarily originated from lung cancer, breast cancer, melanoma, colorectal cancer, and kidney cancer, which is consistent with the results of other studies [7].

Treatment of patients with requires a multidisciplinary approach and combine the efforts of neurosurgeons, oncologists, neuroradiologists, and a number of other specialists.

Indications for surgery (evidence level A) include solitary, satisfactory condition of the patient (Karnofsky score >70), and absence of extracerebral metastases. Excision of solitary not only increases patient survival, but also improves their quality of life by eliminating intracranial hypertension and giving the opportunity to discontinue steroids. Several studies suggest that the excision of the most clinically significant in patients with multiple is appropriate [9]. Ensuring an acceptable quality of life after surgery is a priority task for a surgeon, even more important than supramarginal resection in patients with tumors located in the functionally significant areas of the brain. In such patients, it is recommended to use IOM and awake surgery. Tumor location in the functionally significant brain areas presumably does not affect postoperative survival, which can probably be attributed to the widespread use of IOM in combination with neuronavigation and microsurgical techniques allowing extensive tumor resection with a minimal risk of neurological deficit. the majority of in this study (82.7 %) were gross totally resected, which became possible primarily due to iFD that allowed us to estimate tumor invasion in case of infiltrative BMs.

Since metastatic brain lesions can progress very rapidly, adjuvant therapy should be initiated as soon as possible after surgery. Therefore, it is optimal to treat patients with BMs in multidisciplinary hospitals that can provide adjuvant immediately after BMs removal.

One of the issues in BMs treatment that has not yet been addressed is low permeability of the blood-brain barrier (BBB) [10] for most antitumor drugs. W.M. Pardridge (2005) demonstrated that 98 % of chemotherapeutic agents approved by FDA do not cross the BBB [11]. This problem

was partially solved (at least for glioblastoma) by a modified method of regional (intracarotide) chemoinfusion with temporary BBB disruption [12, 13]. It was found that intraarterial administration of bevacizumab ensures higher concentration of this drug in the brain tissue than intravenous administration [14].

Immune checkpoint inhibitors appear to be a promising treatment for cancers with BMs [15]. However, none of the patients from this study received these drugs.

The issue of optimal combination of different variants of CT and RT with targeted therapy, stereotactic radiosurgery, and novel treatments is still being discussed [16–18].

Whole brain radiation therapy is a basic treatment for patients with BMs. Researchers are currently trying to develop ways to overcome neurotoxic effects of RT, in particular cognitive impairment. NRG Oncology CC001, a randomized phase III trial, demonstrated that hippocampal avoidance during whole brain radiation therapy plus memantine significantly reduce cognitive impairments in patients after treatment [19].

Stereotactic radiosurgery has shown its effectiveness as a pre- and postoperative RT method that reduces the incidence complications associated with radiation [20, 21]. Moreover, stereotactic radiosurgery is believed to be an optimal method for multiple BMs. In this study, none of the participants underwent stereotactic radiosurgery in the pre- and postoperative periods.

Radiation necrosis after RT also remains one of the challenges. Recent studies analyzed the efficacy of bevacizumab [22] and hyperbaric oxygen therapy [23] has been studied as a supplementary treatment, and in patients with refractory tumors as an alternative to pulse steroid therapy.

MRI-guided laser interstitial thermal therapy (MRgLITT) is one of the novel minimally invasive methods used for BMs treatment [24, 25]. Although the theoretical basis of this method was developed in the 1970s, the largest case series published by 2015 included no more than 20 patients. This method is currently used as an additional option in combination with surgery, RT, and CT, but not as an independent treatment [26]. According to the literature, MRgLITT is recommended for patients with primary and recurrent deep BMs with a diameter of 1–3 cm, as well as tumors resistant to RT [7]. The authors are not aware whether MRgLITT is currently used in any healthcare institution in the Russian Federation.

Despite the existence of clinical guidelines regulating treatment of patients with metastatic brain lesions, there are very few studies with a high level of evidence analyzing treatment outcomes in patients with BMs. An optimal approach can be found in prospective studies involving larger groups or in meta-analysis of accumulated data.

CONCLUSION

Brain metastasis being more typical for melanoma and lung cancer and are characterized by a poorer prognosis. Most BMs are supratentorial and often cause compression and dislocation of adjacent brain structures. Neither location

of BMs, nor their proximity to the functionally significant areas affected patient survival. It is important to mention that there were no patients with brain stem tumors in our sample, and the time between BMs detection and their excision did not exceed 76 days. Linear regression analysis demonstrated that several factors significantly affected postoperative survival, including BMs morphology and volume, compression and dislocation of brain structures, effectiveness of tumor excision, patient's condition upon admission to hospital (Karnofsky score), and early complications.

Study limitations. Despite a significant number (about 350) of patients with BMs treated in the Centers of Neurosurgery and Radiology over the last 7 years, only 54 of them met the inclusion criteria. Further division of the sample into subgroups for comparison made some findings insignificant. In this study, we used no differentiation between patients with various morphological types of lung cancer, characterized by different proliferative activity of the primary tumor, sensitivity to systemic and radiation therapy and, as a result, prognosis.

REFERENCES

- DeAngelis L.M. Intracranial Metastases. In: Neurologic Complications of Cancer. *Neuro Oncol* 2009;11(1):96–7. DOI: 10.1215/15228517-2008-118.
- Patchell R.A., Tibbs P.A., Walsh J.W. et al. A randomized trial of surgery in the treatment of single metastases to the brain. *N Engl J Med* 1990;322(8):494–500. DOI: 10.1056/NEJM199002223220802.
- Golanov A.V., Banov S.M. et al. Treatment of patients with brain metastases. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii imeni N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2016;80(4):89–101. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro201680489-100.
- Dreval O.N. *Neurosurgery: A guide in 2 vol.* Moscow: GEOTAR-Media, 2013. 864 p. (In Russ.).
- O'Connell K., Romo C.G., Grossman S.A. Brain metastases as a first site of recurrence in patients on chemotherapy with controlled systemic cancers: An increasingly urgent clinical scenario. *J Clin Oncol* 2019;37(15_suppl):e13590. DOI: 10.1200/jco.2019.37.15_suppl.e13590.
- Gaidar B.V., Parfenov V.E., Shcherbuk Yu.A. et al. Treatment strategy for kidney cancer with CNS metastasis. *Prakticheskaya onkologiya = Practical oncology* 2005;6(3):172–7. (In Russ.).
- O'Halloran P.J., Gutierrez E., Kalyvas A. et al. Brain metastases: A modern multidisciplinary approach. *Can J Neurol Sci* 2021;48(2):189–97. DOI: 10.1017/cjn.2020.224.
- Rotin D.L. Clinico-morphological and molecular-biological aspects of cerebral metastases development. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii imeni N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2012;76(2):70–6. (In Russ.).
- Vogelbaum M.A., Suh J.H. Resectable brain metastases. *J Clin Oncol* 2006;24(8):1289–94. DOI: 10.1200/JCO.2005.04.6235.
- de Boer A.G., Gaillard P.J. Drug Targeting to the Brain. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 2007;47:323–55. DOI: 10.1146/annurev.pharmtox.47.120505.105237.
- Pardridge W.M. The blood-brain barrier: bottleneck in brain drug development. *NeuroRX* 2005;2(1):3–14. DOI: 10.1602/neurorx.2.1.3.
- Neuwelt E.A., Maravilla K.R., Frenkel E.P. et al. Osmotic blood-brain barrier disruption. Computerized tomographic monitoring of chemotherapeutic agent delivery. *J Clin Invest* 1979;64(2):684–8. DOI: 10.1172/JCI109509.
- van Tellingen O., Yetkin-Arik B., de Gooijer M.C. Overcoming the blood-brain tumor barrier for effective glioblastoma treatment. *Drug Resist Updat* 2015;(19):1–12. DOI: 10.1016/j.drug.2015.02.002.
- Zawadzki M., Walecki J., Kostkiewicz B. et al. Republished: Real-time MRI guidance for intra-arterial drug delivery in a patient with a brain tumor: technical note. *J Neurointerv Surg* 2019;11(8):e3. DOI: 10.1136/neurintsurg-2018-014469.rep.
- Hendriks L.E., Henon C., Auclin E. et al. Outcome of patients with non-small cell lung cancer and brain metastases treated with checkpoint inhibitors. *J Thorac Oncol* 2019;14(7):1244–54. DOI: 10.1016/j.jtho.2019.02.009.
- Hardesty D.A., Nakaji P. The current and future treatment of brain metastases. 2016;3:30. DOI: 10.3389/fsurg.2016.00030.
- Banov S.M., Smolin A.V., Naskhletas-hvili D.R. et al. Target therapy with radiosurgery in patients with cerebral metastasis. *Zlokachestvennye opukholi = Malignant tumours* 2016;4S1(21):74–80. (In Russ.). DOI: 10.18027/2224-5057-2016-4s1-74-80.
- Tokarev A.S., Evdokimova O.L., Rak V.A., Viktorova O.A. Radiosurgical treatment for brain metastases of ovarian cancer. *Lučevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic radiology and radiotherapy* 2020;11(3):104–10. (In Russ.). DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-3-104-110.
- Brown P.D., Gondi V., Pugh S. et al. Hippocampal avoidance during whole-brain radiotherapy plus memantine for patients with brain metastases: Phase III Trial NRG Oncology CC001. *J Clin Oncol* 2020;38(10):1019–29. DOI: 10.1200/JCO.19.02767.
- Vetlova E.R., Golanov A.V., Banov S.M. A modern strategy of combined surgical and radiation treatment in patients with brain metastases. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii imeni N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2017;81(6):108–15. (In Russ., In Engl.). DOI: 10.17116/neiro2017816108-115.
- Nikitin D.I., Zubatkina I.S., Ivanov P.I. Radiosurgical treatment of metastases of renal cell carcinoma on the apparatus "Gamma-knife". *Russkii meditsinskiy zhurnal = Russian medical journal* 2017;(16):1164–8. (In Russ.).
- Delishaj D., Ursino S., Pasqualetti F. et al. Bevacizumab for the treatment of radiation-induced cerebral necrosis: A systematic review of the literature. *J Clin Med Res* 2017;9(4):273–80. DOI: 10.14740/jocmr2936.
- Co J., de Moraes M.V., Katznelson R. et al. Hyperbaric oxygen for radiation necrosis of the brain. *Can J Neurol Sci* 2020;n47(1):92–9. DOI: 10.1017/cjn.2019.290.
- Jethwa P.R., Barrese J.C., Gowda A. et al. Magnetic resonance thermometry-guided laser-induced thermal therapy for intracranial neoplasms: initial experience. *Neurosurgery* 2012;71(1 Suppl):133–44;144–5. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31826101d4.
- Rahmathulla G., Recinos P.F., Kamian K. et al. MRI-guided laser interstitial thermal therapy in neuro-oncology: A review of its current clinical applications. *Oncology* 2014;87(2):67–82. DOI: 10.1159/000362817.
- Mirza F.A., Mitha R., Shamim M.S. Current role of laser interstitial thermal therapy in the treatment of intracranial tumors. *Asian J Neurosurg* 2020;15(4):800–8. DOI: 10.4103/ajns.AJNS_185_20.

Authors' contributions

A.V. Stanishevskiy: obtaining data and statistical analysis, article writing;
Sh.Kh. Gizatullin: research idea of the study, scientific editing of the article, overall leadership;
A.V. Smolin: research design of the study, statistical analysis, scientific editing of the article;
E.V. Kryukov: scientific editing of the article, overall leadership.

ORCID of authors

A.V. Stanishevskiy: <https://orcid.org/0000-0002-2615-269X>
Sh.Kh. Gizatullin: <https://orcid.org/0000-0002-2953-9902>
A.V. Smolin: <https://orcid.org/0000-0002-3023-0515>
E.V. Kryukov: <https://orcid.org/0000-0002-8396-1936>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF ENDOSCOPIC SURGERY AND EXTERNAL VENTRICULAR DRAINAGE IN PATIENTS WITH INTRAVENTRICULAR HEMORRHAGE

I.M. Godkov¹, V.G. Dashyan^{1,2}, A.V. Elfimov³, V.A. Khamurзов¹, A.A. Grin^{1,2}, V.V. Krylov^{1,2}, G.A. Nefedova¹, P.O. Svishcheva¹

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya Str., Moscow 127473, Russia;

³Yaroslavl Regional Clinical Hospital; 7 Yakovlevskaya Str., Yaroslavl 150062, Russia

Contacts: Ivan Mikhaylovich Godkov i.godkov@yandex.ru

The aim of the study is to perform comparative analysis of external ventricular drainage and endoscopic surgery results in patients with intraventricular hemorrhage.

Materials and methods. A retrospective analysis was performed in 29 patients with intraventricular hemorrhage who underwent surgery at the N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, and the Yaroslavl Regional Clinical Hospital. Endoscopic surgery for intraventricular hemorrhage was performed in 15 cases (treatment group), and in 3 cases endoscopic removal was accompanied by external ventricular drainage. External ventricular drainage without endoscopic surgery was performed in 14 cases (control group), and in 3 of these cases local fibrinolysis was also performed. In the treatment group, mean age was 59.6 ± 16.7 years, level of consciousness per the Glasgow Coma Scale prior to surgery was 9.9 ± 3.3 , severity of intraventricular hemorrhage per the Graeb Scale was 7.3 ± 2.5 . In the control group, mean age was 52.8 ± 9.6 years, level of consciousness per the Glasgow Coma Scale prior to surgery was 10.7 ± 3.2 , severity of intraventricular hemorrhage per the Graeb Scale was 5.0 ± 2.6 . Outcomes were assessed on the 30th day after hemorrhage using the modified Rankin Scale (mRS).

Results. Endoscopic method allows to effectively remove clots from the lateral and 3rd ventricles, decreasing the volume of intraventricular hemorrhage from 7.3 ± 2.5 to 3.9 ± 2.5 points per the Graeb Scale. Comparative analysis showed no difference in hydrocephalus resolution in the treatment and control groups. There were no intracranial infectious complications in the treatment group, but in the control group bacterial meningitis was diagnosed in 2 (14.3 %) of the 14 patients. Favorable outcome (score 0–2 per the mRS) was observed in 40.0 % of patients in the treatment group and 28.6 % in the control group. Mortality was 13.3 % in the treatment group and 57.1 % in the control group ($\chi^2 = 8.6$, $p < 0.01$).

Conclusion. Endoscopic surgery is an effective and safe method for intraventricular hemorrhage management and third ventriculostomy for occlusive hydrocephalus resolution, allowing to achieve better functional results and decrease mortality in patients with nontraumatic intraventricular hemorrhage.

Key words: intraventricular hemorrhage, endoscopic removal, third ventriculostomy, outcomes

For citation: Godkov I.M., Dashyan V.G., Elfimov A.V. et al. Comparative analysis of the results of endoscopic surgery and external ventricular drainage in patients with intraventricular hemorrhage. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):25–34. (In Eng.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-25-34.

INTRODUCTION

Intraventricular hemorrhage (IVH) is a severe form of intracranial hemorrhages caused by hypertensive disease. In most cases, IVH is a consequence of blood breakthrough into cerebral ventricles during formation of intracerebral hematoma (ICH). It is established, that IVH can lead to increased intracranial pressure, occlusion hydrocephalus

(OH) in the first days after hemorrhage, and communicating hydrocephalus in the long term [1–3]. If the signs of OH are present, surgical treatment usually consists of external ventricular drainage (EVD) which can be accompanied by local fibrinolysis (LF) of blood clots [2–4]. Endoscopic surgeries for IVH are still uncommon, though earlier studies showed that endoscopic surgeries can affect outcomes

by reducing mortality, frequency of communicating hydrocephalus and suppurative intracranial complications [3, 5–7].

The study objective is to compare our own results of external ventricular drainage and endoscopic operations in patients with intracranial hemorrhage.

MATERIALS AND METHODS

Retrospective analysis of the results of surgical treatment of patients with IVH was performed at the N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, and the Yaroslavl Regional Clinical Hospital. The treatment group consisted of 15 patients with IVH who underwent treatment using endoscopic technologies. In 12 of 15 patients, only endoscopic aspiration (EA) was performed, both with and without third ventriculostomy (TVS). In 3 of these 15 patients, EA (with and without TVS) was accompanied by EVD. All 15 patients were included in the treatment group because for all of them the following actions were performed during surgeries:

- 1) using endoscopic technologies, blood clots of varying sizes were removed which decreased the amount of blood and, in the long run, products of its decay, and decreased mass effect on the paraventricular structures of the brain;
- 2) most of the patients underwent TVS as prevention for OH in the postoperative period.

The control group consisted of patients who in 11 observations received EVD, in 3 observations received EVD and LF for IVH.

Patients were examined per the common scheme in accordance with the guideline protocol for treatment of patients with hemorrhagic stroke. At hospitalization, CT

of the brain was performed. In case of dynamic observation for 1 or more days, brain CT was repeated prior to surgery. After surgery, brain CT was performed in most cases on the first day and dynamically to exclude hydrocephalus.

There were no significant differences between the treatment and control groups in in-hospital length of stay, operative time, age, sex, OH severity, condition. Mean in-hospital length of stay of patients in the treatment group was 1.7 ± 1.1 days. Mean patient age was 59.6 ± 16.7 years. Level of consciousness per the Glasgow Coma Scale (GCS) [8] at hospitalization was 10.9 ± 3.5 . IVH severity per the Graeb scale [9] was 7.3 ± 2.5 . Most patients were diagnosed with OH, 2nd ventriculocranial ratio (VCR-2) was 23.0 ± 3.8 %. Surgeries were performed at day 2.9 ± 1.4 . Mean score per the GCS prior to surgery was 9.9 ± 3.3 . Mean in-hospital length of stay in the control group was 1.4 ± 1.1 days. Mean age was 52.8 ± 9.6 years. Level of consciousness per GCS at hospitalization was 11.1 ± 3.1 . IVH severity per Graeb was 5.0 ± 2.6 . All patients of the control group had OH, mean VCR-2 was 23.1 ± 4.4 %. Surgeries were performed at day 2.1 ± 1.8 . Mean GCS score prior to surgery was 10.7 ± 3.2 (Table 1).

In most patients, IVH was caused by blood breakthrough from the forming ICH into ventricle cavities. IVH was verified more frequently in ICH of the thalamus and cerebellum (sometimes of other locations), and in isolated IVH without ICH formation (Table 2). Types of endoscopic operations depending on IVH location in the treatment group are presented in Table 3.

Outcomes were assessed at day 30 after hemorrhage per the modified Rankin Scale (mRS) [10].

Table 1. Characteristics of patients with intraventricular hemorrhage who underwent different types of surgery

Parameter	Parameter in groups				Number of patients
	Treatment (EA)		Control (EVD)		
	without EVD	with EVD	without LF	with LF	
Age, years	58.3 ± 18.0	65.0 ± 10.6	52.3 ± 10.3	54.7 ± 7.5	—
Level of consciousness per GCS, score at hospitalization prior to surgery	11.2 ± 3.7 9.9 ± 3.5	9.7 ± 3.2 9.7 ± 3.2	10.3 ± 3.0 9.9 ± 3.1	14.0 ± 1.0 13.7 ± 0.6	— —
ICH volume, cm³	9.4 ± 10.9	7.2 ± 7.0	11.3 ± 7.5	16.7 ± 12.5	—
IVH severity per Graeb, score	6.9 ± 2.5	8.8 ± 2.3	4.4 ± 2.4	7.3 ± 2.5	—
Occlusion					
no occlusion	2	0	0	2	4
foramen of Monro	0	0	0	1	1
cerebral aqueduct	10	3	5	0	18
IV ventricle	0	0	6	0	6
VCR-2, %	22.8 ± 4.2	23.7 ± 2.1	24.6 ± 3.6	17.7 ± 2.1	—
Operation time, days	3.2 ± 1.3	1.7 ± 0.6	2.1 ± 2.0	2.0 ± 1.0	—
Total	12	3	11	3	29

Note. Here and in tables 2–6: EA – endoscopic aspiration; EVD – external ventricular drainage; LF – local fibrinolysis; GCS – Glasgow Coma Scale; ICH – intracerebral hematoma; IVH – intraventricular hemorrhage; VCR-2 – 2nd ventriculocranial ratio.

Table 2. Locations of intracerebral hematoma and intraventricular hemorrhages ($n = 29$)

ICH location	Number of patients with different localization of blood clots, ventricles				Total
	Lateral, III	Lateral, III, VI	III, VI	VI	
Lobar	1	0	0	0	1
Lateral	1	2	0	0	3
Thalamic	1	8	0	0	9
Mixed	0	2	0	0	2
Cerebellar	0	4	4	1	9
Brainstem	0	2	0	0	2
No ICH	0	2	1	0	3
Total	3	20	5	1	29

Statistical analysis was performed using the Statistica 12.0 (StatSoft, Inc., USA) software; comparative analysis was performed using nonparametric methods with χ^2 -test, Fisher's exact test, Kruskal–Wallis test, and Mann–Whitney U test. Intergroup differences were considered statistically significant at $p \leq 0.05$.

Table 3. Endoscopic surgeries depending on intraventricular hemorrhage location ($n = 15$)

Surgery type	Number of patients with different localization of blood clots, ventricles			Total
	Lateral, III	Lateral, III, IV	III, IV	
EA	1	3	1	5
EA + TVS	0	5	1	6
EA + TVS + DC PF	0	1	0	1
EA + TV + EVD	0	3	0	3
Total	1	12	2	15

Note. TV – third ventriculostomy; DC PF – decompressive craniectomy of the posterior fossa

RESULTS

Radicalness of blood clot removal in endoscopic surgeries

Only in the treatment group radicalness of IVH resolution was evaluated. In the control group, EVD was the most common surgery, IVH was not managed, therefore IVH volume did not change after surgery. In the treatment group, effectiveness of blood clot removal was evaluated (per the Graeb scale) by comparing IVH severity before and after surgery: prior to surgery it varied between 4 and 10, mean value was 7.3 ± 2.5 ; after surgery it varied between 0 and 10, mean value was 3.9 ± 2.5 . Considering that in most patients standard access to the ventricles from the Kocher point was used, during operation clots from the anterior horn of the lateral ventricle (or from the anterior horns of both lateral

ventricles), as well as 3rd ventricular cavity (which allowed to access its floor and perform TVS), were removed. Therefore, decrease in hemorrhage severity in EA was achieved through clot removal from the anterior horns of the lateral ventricles and anterior 1/2 or 2/3 of the 3rd ventricle. As a result, hemorrhage severity decreased by 4 points per the Graeb scale. In IVH in the 3rd and 4th ventricles, access through a burr hole made frontally from the Kocher point could be used to remove clots from the cavity of the 3rd ventricle through the aqueduct after aspiration. It is a less common operation which in favorable conditions allows to almost completely remove clots from the ventricular system.

Intraoperative complications

Intraoperative complications were observed in 3 (20 %) of 15 patients, who underwent EA of IVH. In 2 patients, arterial hypertension was observed, possibly associated with excessive irrigation of the ventricular cavities. In 1 patient, hemorrhage from the perforating artery branching from the basilar artery bifurcation was observed. Hemorrhage occurred during TVS and was stopped through expansion of Fogarty balloon catheter for 2 minutes. Outcomes in patients with intraoperative arterial hypertension were of types 4 and 5 per the mRS. In 1 patient after hemorrhage during TVS, convergence failure due to the left oculomotor nerve was observed. It could be caused by traction pressure on the 3rd nerve during Fogarty catheter expansion or ischemia of the oral segments of the brain stem after hemorrhage into the 3rd, 4th ventricles and development of tegmental syndrome. In the control group, no intraoperative complications were observed.

Effectiveness of surgical resolution of occlusion hydrocephalus

Prior to surgery, mean VCR-2 value in the treatment group (endoscopic surgery) was 23.0 ± 3.8 %, after surgery per CT data (performed on day 1 after operation) it was 18.5 ± 4.0 %. In the control group (with EVD) VCR-2 prior to surgery was 23.1 ± 4.4 %, after surgery (per CT data) it was 18.2 ± 5.2 %. Results show no differences in the treatment and control groups which demonstrates effectiveness of endoscopic surgeries in OH resolution.

Postoperative complications

Frequencies of postoperative complications in the treatment and control groups were similar but their structures were different. In 15 patients from the treatment group, 1 patient had IVH recurrence without consequences (she was discharged with favorable outcome), in 1 patient massive cerebellar infarction was caused by OH and axial brain dislocation which subsequently led to patient death. In the control group of 14 patients, 2 developed suppurative meningitis which caused death of 1 of them. The remaining complications in both groups were not surgical (Table 4).

Table 4. Postoperative complications in patients of the treatment and control groups

Postoperative complication	Number of patients in groups		Total
	Treatment (EA)	Control (EVD)	
No complications	9	9	18
Recurrence of IVH	1	0	1
Ischemic cerebellar stroke	1	0	1
Meningitis	0	2	2
Pneumonia	4	2	6
GIB	0	1	1
Total	15	14	29

Note. GIB – gastrointestinal bleeding.

Outcomes

Outcomes of the patients after EVD and EA were significantly different. In patients after EA, functional outcomes were better with lower mortality compared to patients after ECD (Table 5). Mortality after EVD was 57.1 %, after EA it was 13.3 % ($\chi^2 = 8.6$, $p < 0.01$). Causes of death are presented in Table 6. Of 15 patients of the treatment group, 2 died. Death of 1 patient was caused by massive ischemic cerebellar stroke which led to edema-ischemia, brain dislocation (outcome was reached at day 10 after hemorrhage). One patient with massive IVH in the lateral, 3rd and 4th ventricles with volume of 28 cm³ (Fig. 1) who underwent endoscopic removal of blood clots and TVS, died on day 30 after hemorrhage due to multiple organ failure. Autopsy showed minimal morphological changes in the periventricular brain matter at the level of lateral ventricles (Fig. 2).

For patients in the control group (EVD), deaths were primarily caused by cerebral edema and dislocation, less frequently due to brain stem hemorrhage, meningitis, pneumonia, and multiple organ failure. Causes of death in the control group should be considered closer.

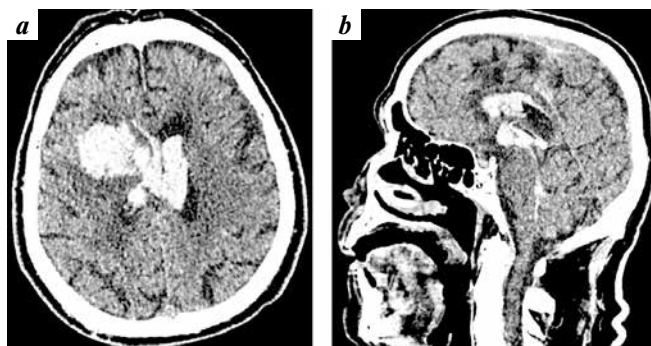


Fig. 1. CT scan of the patient N., 78 years old. Intracerebral hematoma of basal ganglia – 35 cm³, intraventricular hemorrhage in lateral, III and IV ventricles – 28 cm³: a – axial plain; b – sagittal reconstruction

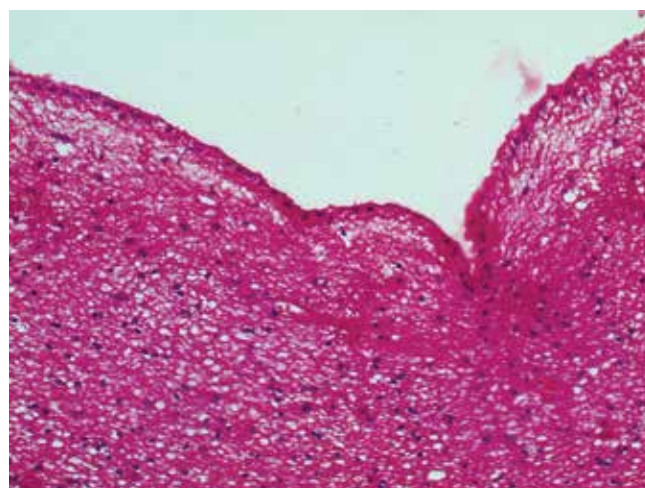


Fig. 2. Morphological research of lateral ventricle wall (hematoxylin and eosin, $\times 200$) on the 30th day after intraventricular hemorrhage and on the 27th day after endoscopic intraventricular clot removal from the lateral ventricle. Changes of the lateral ventricle wall are visualized, cuboidal epithelium of ependyma is preserved, no periventricular edema and ischemia

Table 5. mRS outcome after surgery in the treatment and control groups ($n = 29$)

Surgery type	mRS outcomes			Total, n (%)
	0–2	3–5	6	
EA	6 (40.0)	7 (46.7)	2 (13.3)	15 (100)
EVD	4 (28.6)	2 (14.3)	8 (57.1)	14 (100)
Total	10 (34.5)	9 (31.0)	10 (34.5)	29 (100)

Note. mRS – modified Rankin Scale.

Table 6. The structure of causes of death in patients from treatment and control groups

Cause of death	Group		Number of patients
	Treatment (EA)	Control (EVD)	
Cerebral edema and dislocation	1	4	5
Brainstem hemorrhage	0	1	1
Meningitis	0	1	1
Pneumonia	0	1	1
Multiple organ failure	1	1	2
Total	2	8	10

Edema-ischemia and brain dislocation caused deaths of 4 patients in the control group (after EVD). These patients passed on average on day 15.3 after hemorrhage. In 3 of 4 patients, OH was resolved after EVD, in 1 patient it was not. The last patient was hospitalized with ICH with volume

of 21 cm³, complicated by IVH in the 3rd and 4th ventricles with their tamponade which led to OH. At hospitalization the patient was in deep obtundation (GCS score was 11). Patient underwent EVD (2 lateral ventricles were drained) but ICH was not removed. During patient emergence from anesthesia, his condition had negative dynamics (GCS score was 4). CT data showed increased axial brain dislocation. Patient had been receiving intensive care for 3 weeks but despite all attempts, he could not be saved. In 3 other patients, EVD helped resolve OH but it did not prevent cerebral ischemia after brain dislocation, and cerebral edema and dislocation were stated as causes of death. In 1 patient of the control group, death was caused by primary hemorrhage in the brain stem which was the cause of OH and subsequent surgical intervention.

DISCUSSION

Nontraumatic IVH can occur as an isolated form of hemorrhage or as a result of blood breakthrough into the ventricular system during parenchymatous hemorrhage. Isolated IVH is observed in 3–15 % of cases [6, 11]. This IVH which in itself worsens prognosis in patients with hemorrhagic stroke [12, 13], is often complicated by acute OH with risk of death [1, 14]. Acute OH is an emergency condition requiring emergency surgical intervention. Depending on hospital facilities, patient can undergo EVD, LF with subsequent ventricular drainage, TVS, and endoscopic blood clot removal accompanied by TVS.

The first group to perform endoscopic IVH resolution were L.M. Auer et al. (1988). In their work [5], they presented results of successful endoscopic removal of 77 intracerebral and 13 intraventricular hemorrhages: in 12 % of observations, more than 90 % of clot volume was removed, in 88 % cases more than 50 % of the initial volume of clots. Technique of clot removal comprised of clot irrigation with physiological solution and its aspiration through endoscopic trocar. In the study by Z. Horvath et al. (2000), a biportal technique of ventricular clot removal in a patient with primary hemorrhage into the lateral ventricles and tamponade of the 3rd and 4th ventricles was proposed. Clot removal was performed by constant irrigation with physiological solution and aspiration with two endoscopes which allowed to better orient in the conditions of hemorrhage and poor visibility, and to remove clots from the lateral, 3rd ventricles and perform TVS without complications under “double visual control” [6].

Technique of hemorrhage resolution in the ventricular system depends on the volume, density, and location of blood clots. Loose clots can be removed by irrigation and soft aspiration using multichannel trocar with a possibility to regulate inflow and outflow of irrigation liquid. Denser clots are removed with microforceps through trocar channels [11, 15]. Using a multichannel trocar for breakage of dense clots, J.M. Oertel et al. (2006, 2008) also used ultrasound aspirator and water jet burr compatible with the Gaab trocar [16–18]. After clot breakage, clots could be

aspirated thorough relatively narrow channels of a multichannel trocar. P. Longatti and L. Basaldella (2013) successfully removed massive IVH of the lateral, 3rd and 4th ventricles using a flexible endoscope with diameter of the working channel of 1.2 mm which allowed for better maneuvering in the cavities of the lateral and 3rd ventricles [18].

As we have seen in our own experience, endoscopic aspiration of clots using a rigid endoscope is possible for the anterior horns, lateral ventricles, and cavity of the 3rd ventricle. Removal from the 4th ventricle is a technically complex but accomplishable task [19]. In this study to remove clots from the cavity of the 3rd ventricle and cerebral aqueduct, one-channel trocar of the Gaab ventruloscope and Certofix 14F catheter were used. Hard metal tips of a vacuum aspirator are less fitting for this kind of operation – removal of clots through a trocar – as endoscope cone at its base does not allow to manipulate the aspirator. For this task, only a flexible tip can be used. However, use of a transparent endoscopic port with diameter of 8 mm in some cases allowed us to effectively and quickly remove clots of varying density from the anterior horns and bodies of the lateral ventricles using a metal canula of a vacuum aspirator (Fig. 3). Removal of clots from the cavity of the 3rd ventricle technically remained the same: only through a trocar which can be inserted through the foramen of Monro.

The published studies show high effectiveness of endoscopic surgery, low complication risk, and favorable outcomes in most of the patients (on average, in 76 %) [3, 7, 11, 15, 20]. According to meta-analysis by Y. Li et al. (2013), which included 680 of operated patients, local clot fibrinolysis with EVD is less effective than endoscopic clot aspiration with EVD: in this case clot removal by 60 % and more can be achieved by endoscopic aspiration and EVD in 88.9 % of cases, while by local fibrinolysis and EVD only in 29.4 % of cases. Mortality after fibrinolysis and EVD, according to meta-analysis, is 14.1 %, after endoscopic aspiration and EVD – only 4.9 %. Effectiveness of EVD after successful endoscopic clot removal is not confirmed and selection of the approach to external drainage is left to the surgeon [3].

In this study we showed that endoscopic technique provides the following benefits:

- significant decrease in clot volume in the ventricular system (from mean score of 7.3 ± 2.5 to 3.9 ± 2.5 per the Graeb scale) which can frequently cause significant damage to the periventricular segments of the brain stem [21];
- allows to resolve OH;
- allows to increase the number of favorable outcomes and decrease mortality compared to outcomes in the control patient group.

One of the advantages of endoscopic operations is ability to perform TVS which removes the necessity of external draining or shortens the time of drain presence in the

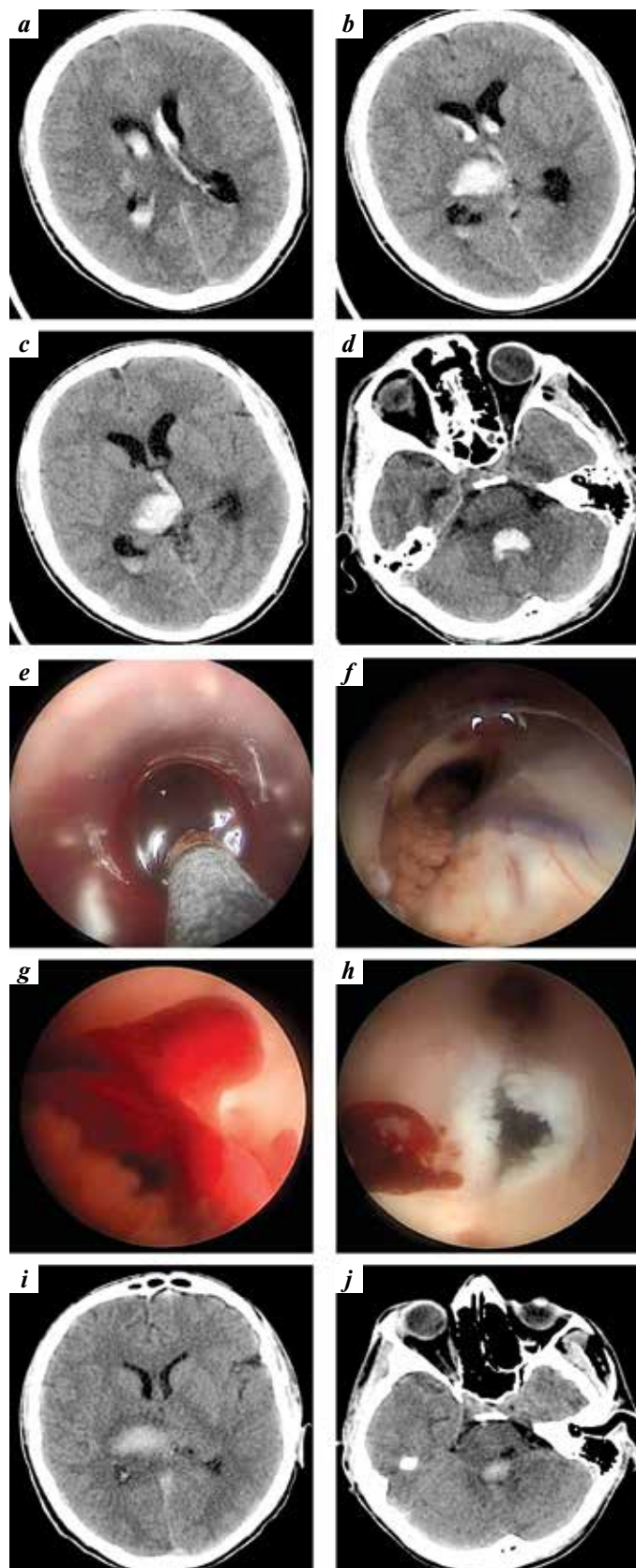


Fig. 3. Endoscopic intraventricular hemorrhage resolution and third ventriculostomy in patient A., 24 years old, on the 3^d day after hemorrhagic stroke. CT scan of the brain: a–d – intracerebral hematoma (6 cm³), intraventricular hemorrhage in lateral, III and IV ventricles (12 cm³) (Graeb score – 6); e, f – intraventricular hemorrhage resolution from lateral ventricles; g, h – intraventricular hemorrhage resolution in the III ventricle and ventriculostomy; i, j – CT scan of the brain 7 days after surgery

ventricles and allows to decrease the frequency of ventriculitis from 10–17 to 0–2.9 % [22]. However, some authors state that endoscopic aspiration should be accompanied by external ventricle drainage, especially if intracranial pressure should be controlled and corrected with ventricular draining [2, 7]. This study did not include evaluation of long-term treatment results, therefore the question of advisability and risks of EVD after endoscopic aspiration of IVH should be studied further.

CONCLUSION

Endoscopic surgery is an effective and safe method of intraventricular hemorrhage management and 3rd ventriculostomy for occlusion hydrocephalus resolution. The study shows that this method allows to achieve better functional results and decrease mortality in patients compared with external ventricular drainage. Selection criteria for supplementation of endoscopic surgery with external ventricular drainage require further investigation.

REFERENCES

- Stein M., Luecke M., Preuss M. et al. Spontaneous intracerebral hemorrhage with ventricular extension and the grading of obstructive hydrocephalus: the prediction of outcome of a special life-threatening entity. *Neurosurgery* 2010;67(5):1243–51. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3181ef25de.
- Zhang Z., Li X., Liu Y. et al. Application of neuroendoscopy in the treatment of intraventricular hemorrhage. *Cerebrovasc Dis* 2007;24(1):91–6. DOI: 10.1159/000103122.
- Li Y., Zhang H., Wang X. et al. Neuroendoscopic surgery versus external ventricular drainage alone or with intraventricular fibrinolysis for intraventricular hemorrhage secondary to spontaneous supratentorial hemorrhage: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2013;8(11):e80599. DOI: 10.1371/journal.pone.0080599.
- Krylov V.V., Burov S.A., Dashian V.G., Galankina I.E. Local fibrinolysis in surgical treatment of non-traumatic intracranial hemorrhages. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk = Annals of the Russian academy of medical sciences* 2013;68(7):24–31. (In Russ.). DOI: 10.15690/vramn.v68i7.708.
- Auer L.M., Holzer P., Ascher P.W., Heppner F. Endoscopic neurosurgery. *Acta Neurochir (Wien)* 1988;90(1–2):1–14.
- Horvath Z., Veto F., Balas I. et al. Biportal endoscopic removal of a primary intraventricular hematoma: case report. *Minim Invasive Neurosurg* 2000;43(1):4–8. DOI: 10.1055/s-2000-8410.
- Oertel J.M., Mondorf Y., Baldauf J. et al. Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus due to intracranial hemorrhage with intraventricular extension. *J Neurosurg* 2009;111(6):1119–26. DOI: 10.3171/2009.4.JNS081149.
- Jennett B., Bond M. Assessment of outcome after severe brain damage. *Lancet* 1975;1(7905):480–4. DOI: 10.1016/s0140-6736(75)92830-5.
- Graeb D.A., Robertson W.D., Lapointe J.S. et al. Computed tomographic diagnosis of intraventricular hemorrhage. Etiology and prognosis. *Radiology* 1982;143(1):91–6. DOI: 10.1148/radiology.143.1.6977795.
- van Swieten J.C., Koudstaal P.J., Visser M.C. et al. Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. *Stroke* 1988;19(5):604–7. DOI: 10.1161/01.str.19.5.604.
- Obaid S., Weil A.G., Rahme R., Bojanowski M.W. Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus due to intraventricular hemorrhage. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg* 2015;76(2):99–111. DOI: 10.1055/s-0034-1382778.
- Hemphill J.C. 3rd, Bonovich D.C., Besmertis L. et al. The ICH score: a simple, reliable grading scale for intracerebral hemorrhage. *Stroke* 2001;32(4):891–7. DOI: 10.1161/01.str.32.4.891.
- Godoy D.A., Pinero G., Di Napoli M. Predicting mortality in spontaneous intracerebral hemorrhage: can modification to original score improve the prediction? *Stroke* 2006;37(4):1038–44. DOI: 10.1161/01.STR.0000206441.
- Cho D.-Y., Chen C.-C., Lee W.-Y. et al. A new Modified Intracerebral Hemorrhage score for treatment decisions in basal ganglia hemorrhage – a randomized trial. *Crit Care Med* 2008;36(7):2151–6. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318173fc99.
- Schulz M., Bührer C., Pohl-Schickinger A. et al. Neuroendoscopic lavage for the treatment of intraventricular hemorrhage and hydrocephalus in neonates. *J Neurosurg Pediatr* 2014;13(6):626–35. DOI: 10.3171/2014.2.PEDS13397.
- Oertel J., Gen M., Krauss J.K. et al. The use of waterjet dissection in endoscopic neurosurgery. Technical note. *J Neurosurg* 2006;105(6):928–31. DOI: 10.3171/jns.2006.105.6.928.
- Oertel J., Krauss J.K., Gaab M.R. Ultrasonic aspiration in neuroendoscopy: first results with a new tool. *J Neurosurg* 2008;109(5):908–11. DOI: 10.3171/JNS/2008/109/11/0908.
- Longatti P., Basaldella L. Endoscopic management of intracerebral hemorrhage. *World neurosurg* 2013;79(2 Suppl):S17. e1–7. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.02.025.
- Dashyan V.G., Godkov I.M. Endoscopic surgery of hypertensive intracerebral and intraventricular hemorrhages: variants of the technique. *Neyrokhirurgiya = Russian journal of neurosurgery* 2020;22(2):83–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2020-22-2-83-89.
- Chen C.-C., Liu C.-L., Tung Y.-N. et al. Endoscopic surgery for intraventricular hemorrhage (IVH) caused by thalamic hemorrhage: comparisons of endoscopic surgery and external ventricular drainage (EVD) surgery. *World Neurosurg* 2011;75(2):264–8. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.07.041.
- Simanov Y.V., Dobrovolskiy G.F. Topographic-anatomical changes of median cerebral structures and cerebrospinal fluid circulation system in patients with hypertensive intracranial hemorrhages. *Neyrokhirurgiya = Russian journal of neurosurgery* 2005;4:37–40. (In Russ.).
- Lozier A.P., Sciacca R.R., Romagnoli M.F., Connolly E.S. Jr. Ventriculostomy-related infections: a critical review of the literature. *Neurosurgery* 2008;62(Suppl 2):688–700. DOI: 10.1227/01.neu.0000316273.35833.7c.

Authors' contributions

I.M. Godkov: research idea and design of the study, obtaining data and statistical analysis, writing and scientific editing of the article;
V.G. Dashyan: research idea and design of the study, obtaining data and statistical analysis, writing and scientific editing of the article;
A.V. Elfimov: research idea of the study, scientific editing of the article;
V.A. Khamurzov: obtaining data for analysis;
A.A. Grin: research idea of the study, scientific editing of the article;
V.V. Krylov: research idea of the study, scientific editing of the article;
G.A. Nefedova: obtaining data for analysis;
P.O. Svishcheva: obtaining data for analysis.

ORCID авторов / ORCID of authors

I.M. Godkov: <https://orcid.org/0000-0001-8651-9986>
V.G. Dashyan: <https://orcid.org/0000-0002-5847-9435>
A.V. Elfimov: <https://orcid.org/0000-0002-9773-6828>
V.A. Khamurzov: <https://orcid.org/0000-0001-6605-0746>
A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>
V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0003-4136-628X>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department.

TREATMENT STRATEGY FOR PATIENTS WITH THORACIC AND LUMBAR SPINE FRACTURES WITH DURA MATER TEAR

A.G. Martikyan^{1,2}, A.A. Grin^{1,3}, A.E. Talypov¹, A.Yu. Kordonskiy¹, I.S. Lvov¹, O.A. Levina¹, A.V. Prirodov¹

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department; 3 Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²Hospital for War Veterans No. 2, Moscow Healthcare Department; 168 Volgogradskiy Ave., Moscow 109472, Russia;

³A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

Contacts: Avetik Gurgenovitch Martikyan amartikyan@mail.ru

Background. The dura mater tear are quite common in patients with thoracic and lumbar fractures. Prevention of cerebrospinal fluid leakage and sealing of the dura mater suture is an important stage in the treatment of such patients.

Objective: to find an optimal surgical tactics for patients with fractures of the thoracic and lumbar spine and dura mater tear.

Materials and methods. This study included 167 patients operated on for fractures of the thoracic and lumbar spine with concomitant traumatic spinal canal stenosis. We analyzed their clinical data and results of instrumental examination. All patients underwent laminectomy at the level of their fractures and transpedicular fixation. The main group included 55 patients with dura mater tear, whereas the control group comprised 112 patients without dura mater tear.

Results. Dura mater tear was found in 32.9 % of patients with fractures of the thoracic and lumbar spine. Of them, 21.8 % had compression of the spinal cord or nerve roots at the sites of dura mater tear. This fact should be taken into account when performing decompression and the reduction maneuver to prevent additional injuries to the neural structures.

Thirty-three (60.0 %) patients underwent direct suturing aimed to restore the dura mater integrity. Their mean size of the dura mater tear was $13.2 \pm 7.4 \text{ mm}^2$. Thirteen patients (23.6 %) with larger dural tear ($27.5 \pm 6.3 \text{ mm}^2$) underwent their repair using either a fragment of dura mater from a deceased donor ($n = 2$), Reperen implants ($n = 5$), or Durepair patches ($n = 6$). In 9 patients (16.4 %), the integrity of dura mater was restored without suturing (the "sandwich"-sealing method) (mean size of the dura mater defect $5.0 \pm 2.6 \text{ mm}^2$). Twenty-one patients had additional sealing of dura mater suture using bioglu.

Postoperative wound cerebrospinal fluid leakage was registered in 5 out of 55 patients from the main group. Cerebrospinal fluid leakage was most common in patients who had undergone dura mater repair with implants (23.1 %), while those who had undergone direct dura mater suturing were less likely to develop it (6.1 %). No cerebrospinal fluid leakage was observed in patients with small defects ($\leq 3 \text{ mm}^2$) and in those whose dural tears were located at the nerve root cuffs. Patients with postoperative cerebrospinal fluid leakage had no additional sealing of dura mater suture using bioglu.

Postoperative wound infection was registered in 4 (7.3 %) patients from the main group and 6 (5.4 %) patients from the control group.

Conclusion. Sealing of dura mater sutures with glue compositions is an effective method to prevent postoperative cerebrospinal fluid leakage. Sealing of dura mater sutures with a collagen sponge does not prevent wound cerebrospinal fluid leakage.

Key words: spinal cord injury, dura mater, cerebrospinal fluid leakage, vertebral motor segment

For citation: Martikyan A.G., Grin A.A., Talypov A.E. et al. Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2):35–42. (In Eng.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.

BACKGROUND

Surgical treatment of spinal cord injury (SCI) always aims to ensure complete decompression of the neurovascular structures of the spine. In case of tear to the dura mater

(DM), it also aims to restore its integrity and preserve the subdural space to normalize cerebrospinal fluid (CSF) circulation. All surgeries include mandatory retraction and reposition of the injured spinal segments to achieve normal

anatomical and physiological parameters of the spinal canal and normal spinal fusion. Decompression is important to preserve the spinal cord and spinal nerves, as well as to create conditions for their recovery [1–4]. According to different authors, between 7.7 and 64.0 % of patients with injuries of the thoracic and lumbar spine also have DM tear, which is usually diagnosed at laminectomy [5–10]. Among patients with injuries of the thoracic and lumbar spine, DM tears are most frequently observed in case of combination fractures of the vertebral body and its lamina and displacement of the fragments [7, 9, 11–15]. In such patients, laminectomy is associated with an increased risk of intraoperative damage to the DM, spinal cord, and spinal nerves. Early diagnosis of DM tear is crucial to choose an optimal surgical strategy. Preoperative identification of risk factors for DM tear is extremely important. They include [7, 9, 12–14]:

- less than 50 % narrowing of the spinal canal at the level of fracture;
- increased interpedicular distance of the fractured vertebra;
- presence of laminar fractures;
- the maximal separation distances of the edges in laminar fractures;
- fractures at several levels;
- severity of concomitant injuries;
- severity of neurological disorders.

Very few publications describe the methods of DM restoration and their effectiveness [7, 8, 11–14]. The choice of an optimal surgical technique for DM tear repair integrity and its impermeability is still challenging.

MATERIALS AND METHODS

A total of 350 patients with thoracic ($n = 124$) and lumbar ($n = 226$) fractures underwent surgeries at the Department of Emergency Neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine between 01.01.2014 and 12.31.2018. Seventy-three of them had transpedicular fixation of the affected spinal segments and postural reduction of the spine without laminectomy. In 84 of them, the supportability of the spinal motion segment was restored by anterior spinal fusion, while 26 patients had vertebroplasty, a total of 167 individuals underwent posterior decompression at the level of fracture with laminectomy and transpedicular fixation of the affected spinal segments. The level of fracture varied between Th3 and L5, but most of the patients had fractures at the level of Th12–L3. Posterior spinal decompression was performed from 3 hours to 23 days after the trauma.

This was a retrospective study. Its participants were divided into two groups. The main group included 55 (32.9 %) patients who had DM tear caused by fragments of vertebral fracture. The control group consisted of 112 patients without DM tear.

The AO Spine Thoracolumbar Spine Injury Classification System (AOSpine), 2013 was used to assess the type

of injury [16]. Neurological disorders were evaluated using the American Spinal Injury Association (ASIA) scale [17].

The indications for decompression surgery via the posterior approach using laminectomy and transpedicular fixation of the affected spinal segments include:

- unstable spinal fracture with a high risk of secondary damage to the spinal cord or Cauda equina;
- clinical signs of spinal cord and/or Cauda equina compression.

All patients underwent extended laminectomy and transpedicular fixation of the affected spinal segments. In case of destruction of the anterior column of a broken vertebra, the surgery was divided into two stages. In 78 (46.7 %) patients, the second stage included anterior spinal fusion within a period of 2–6 weeks.

All patients received intraoperative antibiotics. If the operation lasted more than 6 hours or the blood loss was more than 1000 mL, the antibiotic dose was 1 g.

The choice of surgical tactics was based on the type of injuries of the spine and neural structures assessed by CT and/or MRI. Extended laminectomy was done at the level of the fractured vertebra, also partially involving the vertebra located above the fractured one. In case of fracture dislocations, laminectomy was done at the level of dislocated vertebra and the vertebra located below and using a high-speed electric drill and Kerrison rongeur. We performed decompression of the neural structures located between the fragments of the broken vertebra. Then we removed bone and disc fragments and all substrates causing compression of the dural sac, nerve roots, and the spinal cord. Ventral decompression of the dural contents was performed via the posterior approach without a pronounced lateral traction during the manipulation.

During the decompression, 19 patients were found to have neural structures between the fragments of the broken vertebra. In 12 patients of them, the spinal cord or spinal roots were prolapsed and strangulated at the sites of DM tear (Fig. 1).

We performed revision of the subdural space to assess the condition of the spinal cord and/or its roots. The next stage included restoration of DM integrity and patency of subdural space. After matching the edges of the damaged area of the DM, we carefully sutured the DM and/or performed its repair using interrupted or continuous sutures with nonresorbable polypropylene threads (Prolene 5/0 or 6/0).

Titanium transpedicular and/or laminar systems were used for spinal fusion. Their installation was controlled by an electron-optical converter. Following complete decompression of neural structures and restoration of DM integrity or confirmation that it was intact, we performed reposition, restored normal positions of the vertebrae and normal spinal axis, eliminated deformations and installation transpedicular fixation.

Data processing and analysis was performed using the SPSS Statistics 22.0 for Windows. The Pearson χ^2 -test was used to estimate differences between the groups.

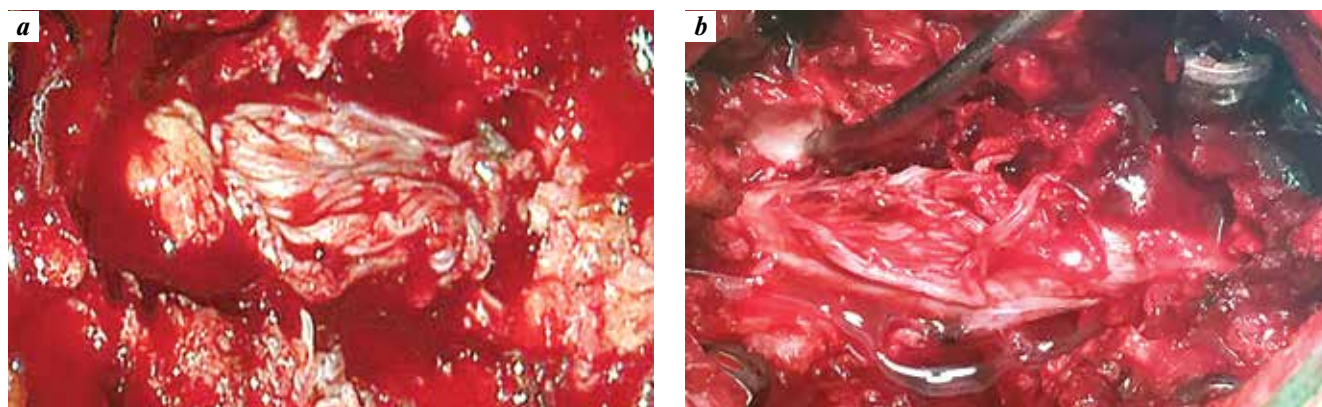


Fig. 1. Intraoperative pictures: *a* – nerve roots prolapse through the injured dura mater; *b* – nerve roots injured by bone fragments

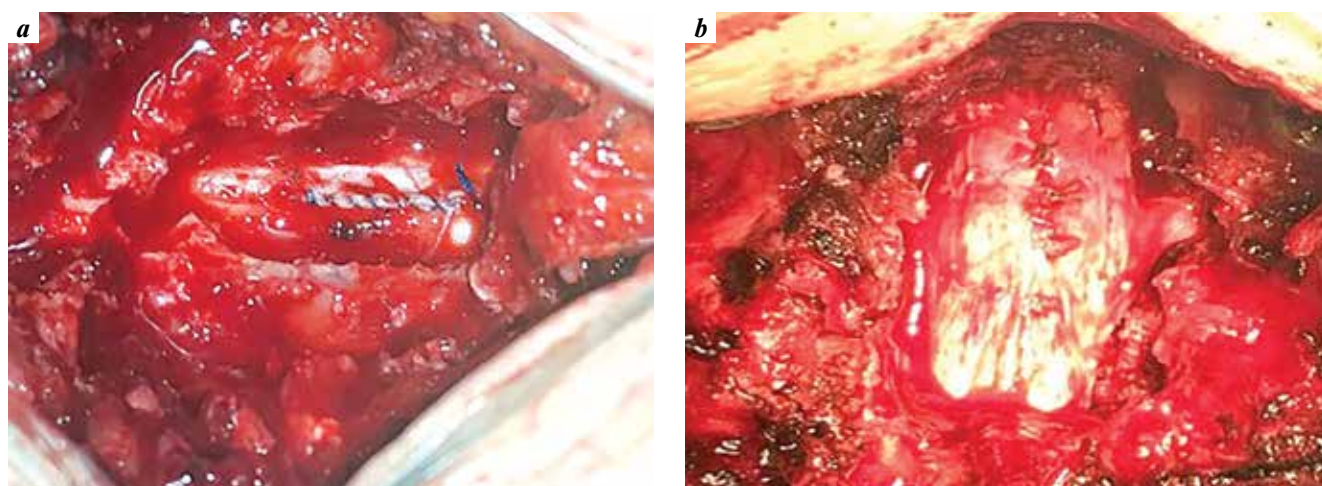


Fig. 2. Dura mater repair (intraoperative pictures): *a* – using continuous suture; *b* – using interrupted suture

RESULTS

Mean patient age was 38 years (range 17–80 years, $n = 167$). The sampled population included 101 (60.5 %) males and 66 (39.5 %) females. All patients underwent pre-operative CT of the spine; 43 patients additionally had MRI. All patients were diagnosed with posttraumatic spinal canal stenosis between 23 and 100 %.

DM tear was found on the posterior and/or posterio-lateral surface of the dural sac in all cases. The area of DM tear varied between 2 and 38 mm² (mean 15.2 ± 9.9 mm²). The choice of surgical tactics for restoring the integrity of the DM depended on the location, size of the dural tear, and the presence of disintegration of the DM wall.

Methods of restoring DM integrity

1. DM suturing. Thirty-three out of 55 (60.0 %) patients underwent direct DM suturing without an expanding plastic. Mean size of the affected DM tear was 13.2 ± 7.4 mm² (range: 3.0–28.0 mm²) (Fig. 2).

In 25 patients, we used the TachoComb® sponge (Takeda Austria GmbH, Austria) to ensure additional sealing of the suture. The sponge was placed by a single block to overlap the edge of the DM suture by 1–1.5 cm

(Fig. 3 *a*). In 8 patients, sutures were additionally sealed by glue (Fig. 3 *b*).

2. DM repair by expanding plastic surgery. Thirteen out of 55 (23.6 %) patients underwent DM repair with expanding plastic, because large size of the defect and loss of DM fragments did not allow us to suture without narrowing of the dural sac. Mean size of the affected DM tear in these patients was 27.5 ± 6.3 mm² (range: 18.0–38.0 mm²). Two patients had their DM repaired using fragments of cadaverous lyophilized DM, whereas the remaining 11 patients had their DM repaired using synthetic material: Reperen implants ($n = 5$), or Durepair patches ($n = 6$). The implant of the appropriate size was attached to the edges of the DM tear using a continuous suture, creating an additional space of the dural sac. In 5 patients, TachoComb® sponge was placed by a single block to overlap the edge of the DM suture by 1–1.5 cm to seal it. In the remaining 8 patients, the DM suture was reinforced by glue (Fig. 4).

3. Without DM suturing. In 9 (16.4 %) patients, the DM integrity was restored without suturing (the “sandwich”-sealing method). Their mean size of the DM tear was 5.0 ± 2.6 mm² (range: 2.0–10.0 mm²). Five patients had their DM defects located at the nerve root cuffs (mean size

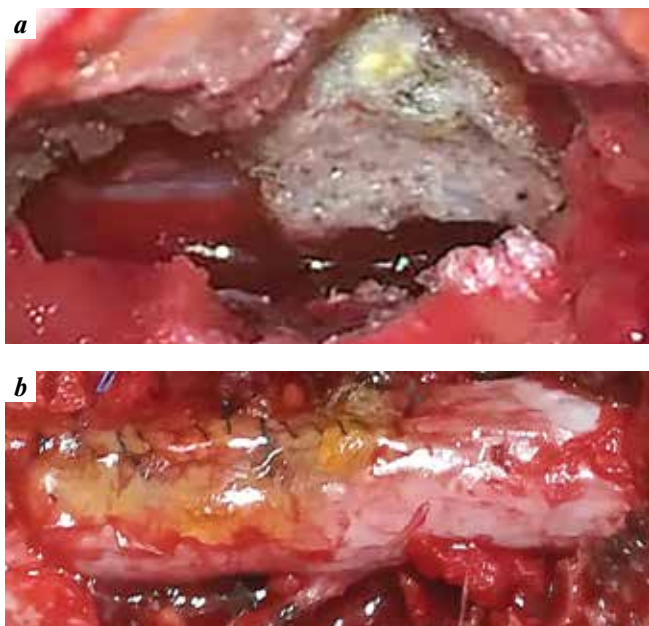


Fig. 3. Sealing the dura mater suture (intraoperative pictures): *a* – using TachoComb (Takeda Austria GmbH, Austria); *b* – using BioGlue (CryoLife, Inc., USA)



Fig. 4. Repair of the dura mater defect by inserting and suturing an artificial implant (intraoperative picture)

$6.6 \pm 2.3 \text{ mm}^2$). These patients underwent no DM suturing due to the high risk of dural sac stenosis and root compression. Small DM tears ($<3 \text{ mm}^2$) were identified in 4 patients, including 2 with single, and 2 with multiple tears. These patients also had no DM suturing; their defects were covered by the fragment of fat/muscle tissue and collagen material (the “sandwich”-sealing method). In 5 patients, DM sutures were additionally sealed with bioglue placed directly on the DM using (the “sandwich”-sealing method). In total, 21 patients had their DM sutures sealed with biological adhesive (glue) compositions, including 8 patients from the group of DM suturing, 8 patients from the group of DM repair with expanding plastic, and 5 patients from the no suturing group using the “sandwich”-sealing method.

The Queckenstedt test was used for intraoperative control of CSF leakage after DM integrity restoration by one of the abovementioned methods. Repeated sealing was performed in case of CSF leakage.

Redon drainage (up to 0.5 cm in diameter) was placed in the epidural space for passive liquid outflow. In patients

with DM defects, especially in case of large DM tears, the drainage was left for 2–5 days to prevent postoperative CSF leakage. Different methods of DM integrity restoration are shown in the Table.

Patient distribution by the method of dura mater (DM) integrity restoration

Method of DM integrity restoration	Mean size of the DM defect, mm^2	Number of cases	
		abs.	%
DM suturing	13.2 ± 7.4	33	60.0
DM repair (plastic surgery)	27.5 ± 6.3	13	23.6
Without DM suturing (the “sandwich”-sealing method)	5.0 ± 2.6	9	16.4
Total	15.2 ± 9.9	55	100

CSF leakage in the early postoperative period was registered in 5 (9.1 %) patients with DM tear. It was diagnosed on average after 4.6 ± 2.1 days postoperatively (min on day 2, max on day 7, $n = 5$). Patients with small DM tears ($\leq 3 \text{ mm}^2$) or tears located at the nerve root cuffs had no postoperative CSF leakage. Among 33 patients who underwent conventional DM suturing, 2 (6.1 %) patients developed CSF leakage. Three out of 13 patients from the group of DM repair with expanding plastic (23.1 %) had CSF leakage. Postoperative wound CSF leakage developed only in patients who additionally had a collagen sponge (TachoComb®) placed on the suture line, while DM suture sealing with glue prevented wound CSF leakage in all of the patients.

All 5 patients with postoperative CSF leakage underwent revision of the surgical wound. CSF leakage through the DM suture was detected using the Queckenstedt test. The DM area (with CSF leakage) was tamponed with either a free fragment of muscle ($n = 3$) or fat tissue ($n = 2$). All patients with wound CSF leakage underwent additional DM sealing using a biological two-component glue. The postoperative wound in all 5 patients was sutured in layers. The drainage tube was installed through a contraincision in the subfascial space and was left for 3–5 days. All patients underwent lumbar punctures in the postoperative period with the removal of 30–50 mL CSF for 3–5 days. None of the patients had recurrent cerebrospinal cyst (pseudomeningocele) of soft tissues, according to ultrasound, or CSF leakage.

Ten out of 167 (5.9 %) patients developed postoperative wound infection. Complications were detected on an average of 7.4 ± 2.2 days (range: 4–11 days, $n = 10$) postoperatively. Postoperative wound infection was registered in 4 out of 55 patients with DM tear (7.3 %) and 6 out of 112 patients without DM tear (5.4 %). There was no significant difference in the incidence of postoperative wound infection between the groups ($\chi^2 = 0.24$, $P = 0.624$). All patients with postoperative wound infection underwent wound revision,

its debridement, and drainage tube installation. The tube was removed after 3–5 days. Wound healing in this group of patients was observed after 21.8 ± 2.4 days on average (min – on day 18, max – on day 26, $n = 10$). Two patients with severe concomitant injuries died on days 10 and 13 due to complications not related to surgery.

DISCUSSION

Unstable spinal fractures are characterized by deformation of the spinal canal and compression of the dural sac contents, which might cause neurological disorders [18, 19]. Decompression of the neurovascular structures of the spine is required to preserve neural structures and create conditions for their recovery. Patients with unstable spinal fractures in combination with a fracture of the posterior structures are at risk of hernial protrusion of neural structures between the fragments of the broken vertebra. Therefore, all patients first undergo decompression of neural structures via the posterior approach using extended laminectomy, without attempting postural reduction and spine distraction. It allows decompression of the neural structures located between broken vertebral fragments. Patients with DM tear require restoration of its integrity, otherwise they are at risk of compression of the neural structures located between the fragments of the broken vertebra during spinal reduction, which may cause new tears to the DM, spine, and spinal nerves. The reduction maneuver can be performed only after complete decompression of the neural structures [7–10, 13]. In our study, DM tears were identified in 55 (32.9 %) patients. Nineteen individuals were found to have their neural structures located between the fragments of a broken vertebra at the decompression stage. Twelve patients out of 55 with DM tear (21.8 %) were diagnosed with compression of the spinal cord or its roots at the sites of DM tear.

At the stage of laminectomy, surgeons often observed CSF leakage from the damaged DM area, usually at the level of the affected vertebra [6, 20]. Nevertheless, pseudomeningocele after DM tear is quite rare in patients with vertebral fractures (unlike in patients with iatrogenic DM damage), which is associated with active inflammation and hematoma development in the injured area [21, 22]. Only one case of pseudomeningocele in a patient with lumbar spine fracture and DM tear has been reported so far [22]. Sealing of the teared DM area in SCI patients is needed to prevent postoperative infections that can (compromise) significantly worsen treatment outcomes [23]. We observed no significant differences in the incidence of postoperative wound infection between the groups ($p = 0.624$). Four (7.3 %) patients in the main group and 6 (5.4 %) patients

in the control group developed postoperative wound infection. There is a lack of data on the incidence of surgical wound infections in SCI patients with DM tears.

Restoration of DM integrity is more difficult in patients with SCI than in patients with iatrogenic damage [21], because the affected area often has an irregular shape and might have DM disintegration. No “gold standard” for DM restoration in SCI patients has been developed so far because of the significant variability of tear shapes and difficulties associated with DM repair with implants and sealing [7, 8, 11–14].

Many surgeons prefer to restore DM integrity by its direct suturing if the tear is located on the posterior surface [9, 13, 24]. However, in case of large dural tear or DM disintegration, it is recommended to perform DM repair using different materials. In our study, 33 (60.0 %) patients underwent direct DM suturing. Thirteen patients had their DM tears repaired using either a fragment of dura mater from a deceased donor ($n = 2$), Reperen implants ($n = 5$), and Durepair patches ($n = 6$). In 9 patients (16.4 %) with small dural tears and tears located at the nerve root cuffs, the DM integrity was restored without suturing (the “sandwich”-sealing method).

DM tear sealing without its direct suturing (the “sandwich”-sealing method) was effective in all patients: with small DM tears ($\leq 3 \text{ mm}^2$) and tears located at the nerve root cuffs. CSF leakage was most common (23.1 %) among patients with large DM defects that could not be directly sutured and required repair with implants. Only 2 out of 33 (6.1 %) patients developed CSF leakage after direct DM suturing. Additional sealing with glue prevented CSF leakage in 100 % of cases regardless of the method used for DM integrity restoration (direct suturing or repair with implants).

CONCLUSION

DM tears were observed in 32.9 % of patients with thoracic and lumbar vertebral fractures. Every 5th (21.8 %) patient had compression of the spinal cord or its roots at the sites of DM tear. This fact should be taken into account when performing decompression and the vertebral reduction maneuver to prevent additional injuries to the neural structures.

DM tear sealing without its direct suturing (the “sandwich”-sealing method) can be effective to prevent CSF leakage in patients with small DM tears ($\leq 3 \text{ mm}^2$), including those located at the nerve root cuffs. Suture sealing with a collagen sponge does not prevent CSF leakage in patients with DM tears. The presence of DM tears had no impact on the incidence of postoperative wound infection: it was observed in 7.3 % of patients with DM tears and 5.4 % of patients without DM tears.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Krylov V.V., Grin A.A. Trauma of the spine and spinal cord. Moscow: Print-Studio, 2014. 420 p. (In Russ.).
- Rerikh V.V., Borzykh K.O., Rakhmatillaev Sh.N. Surgical treatment of burst fractures of the thoracic and lumbar spine accompanied with spinal canal narrowing. *Khirurgiya pozvonochnika = Spine surgery* 2007;(2):8–15. (In Russ.).
- Muratore M., Allasia S., Viglierchio P. et al. Surgical treatment of traumatic thoracolumbar fractures: A retrospective review of 101 cases. *Musculoskelet Surg* 2021;105(1):49–59. DOI: 10.1007/s12306-020-00644-0.
- Waddell W.H., Gupta R., Stephens B.F. Thoracolumbar Spine Trauma. *Orthop Clin North Am* 2021;52(4):481–9. DOI: 10.1016/j.joc.2021.05.014.
- Keenen T.L., Antony J., Benson D.R. Dural tears associated with lumbar burst fractures. *J Orthop Trauma* 1990;4(3):243–5. DOI: 10.1097/00005131-199004030-00001.
- Silvestro C., Francaviglia N., Bragazzi R. et al. On the predictive value of radiological signs for the presence of dural lacerations related to fractures of the lower thoracic or lumbar spine. *J Spinal Disord* 1991;4(1):49–53.
- Xu J.-X., Zhou C.-W., Wang C.-G. et al. Risk factors for dural tears in thoracic and lumbar burst fractures associated with vertical laminar fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43(11):774–9. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002425.
- Skiak E., Karakasli A., Harb A. et al. The effect of laminae lesion on thoraco-lumbar fracture reduction. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015;101(4):489–94. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.02.011.
- Park J.K., Park J.W., Cho D.C., Sung J.K. Predictable factors for dural tears in lumbar burst fractures with vertical laminar fractures. *J Korean Neurosurg Soc* 2011;50(1):11–6. DOI: 10.3340/jkns.2011.50.1.11.
- Yoshiiwa T., Miyazaki M., Koderia R. et al. Predictable imaging signs of cauda equine entrapment in thoracolumbar and lumbar burst fractures with greenstick lamina fractures. *Asian Spine J* 2014;8(3):339–45. DOI: 10.4184/asj.2014.8.3.339.
- Aydinli U., Karaeminogullari O., Tiskaya K., Ozturk C. Dural tears in lumbar burst fractures with greenstick lamina fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(18):E410–5. DOI: 10.1097/00007632-200109150-00012.
- Cammisa F.P.Jr, Eismont F.J., Green B.A. Dural laceration occurring with burst fractures and associated laminar fractures. *J Bone Joint Surg Am* 1989;71(7):1044–52.
- Ozturk C., Ersozlu S., Aydinli U. Importance of greenstick lamina fractures in low lumbar burst fractures. *Int Orthop* 2006;30(4):295–8. DOI: 10.1007/s00264-005-0052-0.
- Lee I.S., Kim H.J., Lee J.S. et al. Dural tears in spinal burst fractures: predictable MR imaging findings. *AJNR* *Am J Neuroradiol* 2009;30(1):142–6. DOI: 10.3174/ajnr.A1273.
- Shi X., Xiang S., Dai B., He Zh. Association of the presence and its types of lamina fractures with posterior dural tear and neurological deficits in traumatic thoracic and lumbar burst fractures. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):300. DOI: 10.1186/s12891-021-04178-9.
- Vaccaro A.R., Oner C., Kepler C.K. et al. AO Spine thoracolumbar spine injury classification system: Fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38(23):2028–37. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182a8a381.
- Maynard F.M.Jr, Bracken M.B., Creasey G. et al. International Standards for neurological and functional classification of spinal cord injury. *American Spinal Injury Association. Spinal Cord* 1997;35(5):266–74. DOI: 10.1038/sj.sc.3100432.
- Hashimoto T., Kaneda K., Abumi K. Relationship between traumatic spinal canal stenosis and neurologic deficits in thoracolumbar burst fractures. *Spine (Phila Pa 1976)* 1988;13(11):1268–72. DOI: 10.1097/00007632-198811000-00011.
- Wu L.-Y., Huang X.-M., Wang Y. et al. Posterior spinal canal decompression with screw fixation and reconstruction of three vertebral column for thoracolumbar burst fractures complicated with nerve injury. *Zhongguo Gu Shang* 2018;31(4):322–7. (In Chin.). DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.04.006.
- Pau A., Silvestro C., Carta F. Can lacerations of the thoraco-lumbar dura be predicted on the basis of radiological patterns of the spinal fractures? *Acta Neurochir (Wien)* 1994;129(3–4):186–7.
- Luszczek M.J., Blaisdell G.Y., Wiater B.P. et al. Traumatic dural tears: what do we know and are they a problem? *Spine J* 2014;14(1):49–56. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.03.049.
- Kandathil J.C., George M. Dural tear and pseudomeningocele due to lumbar burst fractures: Detection by multidetector computed tomography and magnetic resonance imaging. *Hong Kong J Radiol* 2011;14(2):84–8.
- Grin A.A., Kaykov A.K., Krylov V.V. The prophylaxis and treatment of various complications at patients with spinal trauma. Pt 2. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2015;(1):55–66. (In Russ.).
- Lee J.Ch., Kim Y.-I., Shin B.-J. Dural tear and rootlet entrapment in the lumbar burst fractures associated with the laminar fracture. *Spine J* 2005;5(4 Suppl):S143. DOI: 10.1016/j.spinee.2005.05.285.

Authors' contributions

A.G. Martikyan: literature review, article writing;
 A.A. Grin: research design of the study, scientific editing of the article;
 A.E. Talypov: research design of the study, scientific editing of the article;
 A.Yu. Kordonskiy: research design of the study, data analysis;
 I.S. Lvov: data analysis, literature review;
 O.A. Levina: scientific editing of the article;
 A.V. Prirodov: scientific editing of the article.

ORCID of authors

A.G. Martikyan: <https://orcid.org/0000-0002-4831-4055>
 A.A. Grin: <https://orcid.org/0000-0003-3515-8329>
 A.E. Talypov: <https://orcid.org/0000-0002-6789-8164>
 A.Yu. Kordonskiy: <https://orcid.org/0000-0001-5344-3970>
 I.S. Lvov: <https://orcid.org/0000-0003-1718-0792>
 O.A. Levina: <https://orcid.org/0000-0002-4811-0845>
 A.V. Prirodov: <https://orcid.org/0000-0003-2444-8136>

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the Intercollegiate Ethics Committee (protocol No. 11-20 from 15.07.2020).

Article submitted: 16.11.2021. **Accepted for publication:** 01.02.2022.

EXPERIENCE OF USING INTRAOPERATIVE MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE SURGICAL TREATMENT OF BRAIN GLIOMAS

I.V. Grigorev¹, G.B. Akopyan¹, S.A. Melchenko¹, I.V. Senko¹, I.L. Gubskiy¹, A.A. Kalandari¹, O.O. Kordonskaya¹, Zh.N. Sermagambetova¹, V.V. Krylov^{1,2}

¹Federal Brain and Neurotechnology Center, Federal Medical and Biological Agency of Russia; Bld. 10, 1 Ostrovityanova St., Moscow 117342, Russia;

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of Russia; Bld. 1, 20 Delegatskaya St., Moscow 127473, Russia

Contacts: Ilya Vladimirovich Grigorev grigoriev.iliya@gmail.com

Introduction. Volume of glioma resection positively correlates with treatment results. Advance in extent of resection due to various additive methods leads to prolonged overall survival and delays progression. Our aim was to evaluate the value of intraoperative magnetic resonance imaging.

Objective – to present the first experience of using intraoperative magnetic resonance imaging and evaluate the effectiveness and safeness of this technique in surgery of glial brain tumors.

Material and methods. Prospective analysis of surgical interventions performed using the intraoperative magnetic resonance imaging and the results of neuroimaging in 9 patients with different grade brain gliomas treated in Federal Brain and Neurotechnology Center was carried out.

Results. In all patients we detect variable residual tumor volume after first resection. Additional resection was performed in all cases after the intraoperative magnetic resonance imaging. Mean scan time were 45 minutes overall time for scan were decreasing as we gain experience in using intraoperative magnetic resonance imaging.

Conclusion. Intraoperative high-field intraoperative magnetic resonance imaging can be successfully used in the surgery of brain gliomas. the technique allows increasing the radicality of tumor removal without increasing the risk of complications.

Key words: glioma, brain tumor, MRI, iMRI, intraoperative MRI, intraoperative monitoring

For citation: Grigorev I.V., Akopyan G.B., Melchenko S.A. et al. Experience of using intraoperative magnetic resonance imaging in the surgical treatment of brain gliomas. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(2): 43–53. (In Eng.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-43-53.

INTRODUCTION

Gliomas are the most common primary tumors of the central nervous system (CNS) comprising 80 % of malignant tumors, and in the recent years the rate of their diagnosis has been increasing [1–3]. Increased frequency of CNS tumor diagnosis is associated with improvements in diagnostic techniques, higher cancer alertness in local practitioners, and widespread use of tomographs. Despite improvements in surgical techniques, chemotherapy, and radiation protocols, in the last 30 years no significant increase in the life span of these patients was achieved. a direct dependence of survival, time of malignant transformation, and recurrence-free survival on radicality of glioma resection was demonstrated, and completeness of tumor resection is the main predictor of survival. Currently, the gold standard of glioma therapies is maximally radical tumor resection using neuronavigation under light microscopy control. It

includes complete resection of hyperintense (FLAIR mode of magnetic resonance imaging (MRI) area in tumors not accumulating contrast agent, as well as full resection of accumulation area in T1-weighted imaging in tumors which retain contrast agent [1, 3, 4]. However, surgeon's first impression on completeness of tumor resection can be erroneous which frequently leads to partial resection of tumor tissue and negatively affects outcomes of surgical treatment [4]. Use of intraoperative control of completeness of tumor resection allows to increase radicality of the intervention; one of these techniques is intraoperative MRI (iMRI) which allows to achieve optimal resection radicality of tumors of varying differentiation grade [4–6].

MATERIALS AND METHODS

The trial had the following inclusion criteria: glial nature of the tumor, tumor location in the cerebral hemispheres or

basal ganglia, iMRI examination. The trial was performed between 4/12/2021 and 11/11/2021. Unselected patients were included in the trial. Patients with intracerebral tumors of non-glial nature with contraindications for MRI were excluded. Using these criteria, 9 patients were selected: 6 (67 %) males, 3 (33 %) females. Mean age was 45 (between 23 and 65) years. All patients were lucid, had focal neurological deficit (67 %) and cerebral symptoms (33 %) of varying severity. Mean functional score per the Karnofsky index was 90 (between 70 to 100). Standard preoperative examination was performed including examinations by specialists (neurologist, ophthalmologist, general practitioner), lab and instrumental tests of hospital profile. All patients underwent MRI before, after and during operation in the same device.

In all patients, osteoplastic trepanation was performed, tumor was resected using microsurgical techniques under magnification of the Zeiss OPMI Pentero 900 surgical microscope (Carl Zeiss, Germany); Medtronic Navigation StealthStation S7 (Medtronic, USA) was used for intraoperative navigation; Neuro-IOM 32/B station (Neurosoft, Russia) was used for neurophysiological monitoring.

Examinations were performed using high field (3.0 T) MRI device Discovery MR750w (General Electric Healthcare, USA), 16-channel GEM Flex Medium coil (General Electric Healthcare, USA) was used for scanning. Algorithm of pre- and postoperative MRI did not differ from the standard contrast-enhanced MRI program for brain tumors. Tumor volume before, during and after surgery was assessed by contrasted part for contrast-positive tumors and by hyperintense signal on T2-weighted and FLAIR images for tumors not accumulating contrast agent. Prior to surgery, tumor volume was measured in mL, and after primary resection it was assessed using iMRI measuring total volume of pathological tissue (in mL), and its change was compared to the preoperative volume (in %). Postoperative MRI was also used to measure residual tumor volume (in mL) and to calculate its change compared to tumor volume on iMRI (in %).

The following main parameters were evaluated: presence of residual tumor after primary resection and after surgery, volume of residual tumor and its change compared to preoperative volume; scan time; presence of complications associated with iMRI.

Intraoperative scan procedure

Hybrid operating room in the Federal Center of Brain and Neurotechnologies of the Federal Medical-Biological Agency of Russia is equipped with an MRI device installed as a "side room" with automatic sliding doors isolating the Faraday cage from the operating space. Control room is connected to the MRI examination room and allows to break the seal of the isolating cage without scan disruption during opening of the doors (in case of emergency need to access the patient or equipment). Relative disadvantage of this organization is the necessity to bring patient

to the MRI machine, however this is achieved using rotating operating table and mobile MRI table with common rail system for moving patient carriage between them. Benefits of this type of organization are absence of the necessity for additional magnetic field shimming and shielding of other rooms, use of any MRI-incompatible equipment in the operating room (which is economically expedient due to lower expenses), absence of the necessity to conform with safety rules, unlimited access to the patient, ability to install other equipment in the operating room.

When, in surgeon's opinion, radical resection is achieved or another necessity appears (severe brain dislocation, complex anatomical location, suspicion of complications, questionable neurophysiological monitoring data), the patient is prepared for examination: hemostasis of the intraoperative wound is performed, it is abundantly irrigated from hemorrhagic substrate, the cavity is filled with physiological solution (to leave the postresection cavity expanded) and/or markers are attached to the areas of interest (small fragments of patient's adipose tissue/bone wax), the wound is covered with a bone flap (the margins should be cleaned of metallic particles left from craniotomy) with partial juxtaposition of the dura mater and skin, all MRI-incompatible objects are removed from the area of interest. Then the patient's head is wrapped in a sterile single-use plastic bag, patient is disconnected from the ventilator and connected to the mechanical manual device for temporary pulmonary ventilation. Neurosurgical table is attached to the MRI table where the patient is transferred. Above the area of interest, a radiofrequency coil is installed locked in place by belts or bandages. Patient on the MRI table is transferred to the procedure room where the table is attached to the MRI machine, patient is connected to the MRI-compatible ventilator and vitals monitor, as well as contrast agent injector. Scan is then started.

Full examination protocol including transfer takes 30–40 minutes on average, patient transfer with their settling and connection to MRI-compatible equipment takes 5–10 minutes (after wrapping of the patient's head in a sterile bag), necessary preparation for resection continuation takes 15–20 minutes.

Every patient undergoes at least 3 MRI scans: preoperative (at least a day prior for elimination of the contrast agent from the brain matter prior to surgical intervention), intraoperative (one or more if necessary), postoperative (control).

It should be noted that preoperative and control MRI are multiparameter routine examinations: DWI (diffusion-weighted MRI), T1 FSE (fast spin echo) before and after contrast enhancement, T2 FSE, T2 FLAIR, SWAN, DSC-PWI, tractography, and single voxel spectroscopy. The volume of intraoperative examination depends on the context, obtained information, as well as surgeon's and neuro-radiologists's decisions.

Intraoperative data are analyzed by a surgeon and a neuro-radiologist, and if necessary they are integrated into

the neuronavigation system for further additional tumor resection.

Examination of the area of postoperative intervention

In the early postoperative period, edema of the soft tissues of the scalp with varying volumes of fluid (serous fluid, blood, cerebrospinal fluid (CSF) can give a complex MRI signal) and air in different proportions is a typical observation.

Frequently, extra- and intracranial air (hypointense in all modes), most commonly in the subdural space above the frontal cortex (examination is performed when patient is lying on their back), as well as in the postoperative defect area, CSF space, soft tissues is observed during postoperative examination. Dynamic monitoring shows relatively fast elimination of even large volumes of air.

Detection of small quantity of blood in the soft tissues of the sculp, epidural clusters, and postresection cavity is typical during surgery. Some blood can be observed in the subarachnoid spaces of the sulci and ventricular system of the brain (due to regurgitation).

It should be noted that differentiation of hemostatic agents soaked in blood from true hemorrhages is a complex problem, though the latter are characterized by a more complex signal which changes on images from different impulse sequences, and cooperative interpretation with a neurosurgeon simplifies this task.

Soft tissues of the sculp (injured muscles), dura mater, as well as cerebral parenchyma at resection margins, can demonstrate early thin reactive accumulation of the contrast agent if intraoperative scan with intravenous contrast was performed.

The result of the operation is a cavity with varying volumes of CSF, blood, and hemostatic material. These cavities can change in size with time (for example, if they are connected to the ventricular system).

During evaluation of the postresection cavity, small local areas of ischemia are commonly detected. Usually, they are adjacent and appear due to use of bipolar coagulation. For detection of this phenomenon, combined analysis of DWI and ADC maps is usually sufficient, but MRI perfusion can help if difficulties are encountered.

Ischemic areas can lead to overevaluation of the volume of residual tumor tissue if during combined analysis MRI perfusion and DW data are not considered, as a small mass effect and elevated signal on T2-weighted images can imitate tumor tissue. Attentive analysis of all obtained data also allows to differentiate ischemic area from vasogenic edema.

Cerebral edema is an inevitable postoperative phenomenon (irrespective of the type of intervention) but in most cases this edema is not clinically relevant and is resolved with time.

The main cause of iMRI artifacts, in our experience, is disruption of magnetic field heterogeneity due to paramagnetic

(even in extremely small concentrations) presence in the body (metallic particles, some plastics and more standard — titanium implants/craniofixes/instruments), enhancement of natural interfaces due to surgical intervention (postresection cavity with air, hemorrhagic component or extensive connection with cranial air cells etc.).

RESULTS

Mean iMRI examination time was 45 minutes and varied between 36 and 55 minutes. With experience of performing intraoperative scans, total time of iMRI decreased.

Preoperative tumor volume varied between 3.8 and 135 mL with mean value of 51.4 mL. According to iMRI data after primary resection, residual tumors tissue was detected in all 9 (100 %) patients. Residual tumor volume was between 0.05 (0.2 %) and 40 (44 %) mL (mean value was 7.2 mL) and did not depend on histological subtype of the tumor. Therefore, radicality of primary resection varied between 56 and 99.8 % with mean value of 84.2 %. In 3 (33.3 %) of 9 patients, volume of residual tumor was significantly higher: more than 12 % from the baseline. Analysis of these cases showed that in 1 male patient glioblastoma resection was a repeat operation and was performed after radiation therapy; 1 female patient had deep cystic-solid tumor located in the subcortical nuclei and brain stem; 1 patient had highly differentiated tumor of low volume. These characteristics could complicate orientation in the white matter causing higher volume of residual tumor.

According to postoperative MRI data, final resection radicality was 99.8 %, residual tumor tissue of minimal volume was observed in 1 patient with glioma of the thalamus and mesencephalon. No complications associated with iMRI procedures were observed. None of the patients had suppurative and inflammatory complications in the postoperative period. Summary data are presented in the Table.

CLINICAL EXAMPLES

Male patient no. 6: 33 years. *Diagnosis: intracerebral tumor of the right frontal lobe. Operation was performed: craniotomy of the frontal area, microsurgical removal of the tumor. iMRI showed residual tumor fragment on the posterior wall of the resected tumor cavity (Fig. 1). After examination, additional resection of the residual tumor tissue was performed. Histological conclusion: astrocytoma, WHO grade 2. Control MRI showed no residual tumor. Total scan time was 51 minutes.*

Male patient no. 3: 61 years. *Diagnosis: intracerebral tumor of the left frontal lobe. Intraoperative iMRI (Fig. 2) showed residual tumor fragments in the anterior and posterior parts of the resection zone. Consequently, resection of the residual fragment of the tumor was performed. Control MRI after surgery showed total resection of the tumor. Histological conclusion: glioblastoma, WHO grade 4. Scan time was 46 minutes.*

Female patient no. 7: 27 years. *Diagnosis: intracerebral tumor of the left frontal lobe. After primary tumor resection, iMRI (Fig. 3) was performed: residual fragments of the tumor*

Characteristics of patients who have undergone intraoperative MRI

Patient no.	Age, years	Gender, m/f	Tumor localization (lobe)	Tumor WHO Grade	Scanning time, min	Preoperative tumor volume, ml	Residual tumor volume, ml (%)	Residual tumor volum, ml (%)
1	64	m	Frontal	4	55	81	0.2 (0.25)	0
2	55	m	Temporal	4	48	90.2	40 (44)	0
3	61	m	Frontal	4	46	42.4	4.9 (11.5)	0
4	65	m	Insular	4	45	34.7	2.2 (6.4)	0
5	32	f	Thalamus	2	36	27	10 (37)	0.3 (1.1)
6	33	m	Frontal	2	51	18	0.05 (0.2)	0
7	27	f	The same	3	38	30.6	2.45 (8)	0
8	48	m	— « —	4	44	135	4.1 (3)	0
9	23	f	— « —	2	42	3.8	1.2 (31.5)	0

Note. M — male, f — female.

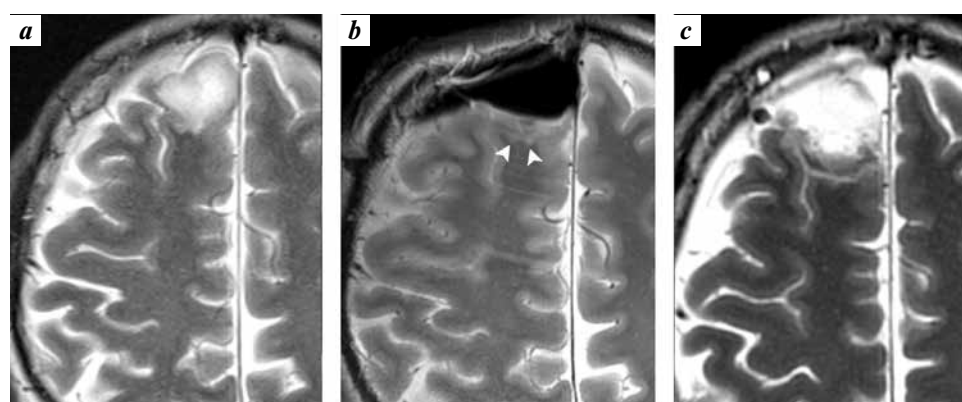


Fig. 1. Brain MRI (Patient no. 6). Axial T2 non-contrast images: a — preoperative MRI with diffuse intrinsic frontal lobe tumor; b — intraoperative images with residual tumor (arrowheads); c — postoperative MRI, no signs of residual tumor mass after additional resection

on the walls of the resection cavity are visible. Additional resection of pathological tissue detected during intraoperative scan was performed. Control postoperative MRI should no residual tumor tissue. Histological conclusion: astrocytoma, IDH-mutant, WHO grade 3. Intraoperative scan time was 38 minutes.

DISCUSSION

Surgeons' dissatisfaction with the radicality of performed operations in case of using standard techniques promotes search for new approaches to intraoperative control. One of such promising approaches is intraoperative neurovisualization. The first approach of this type was use of stationary and later mobile computed tomography machines. With technological advances, intraoperative CT ceased to satisfy neurosurgeons' demands due to its poor image quality, and it was replaced by MRI. One of the first reports describes intraoperative use of an open MRI machine with 0.2 T magnetic field in 1998 [7].

M. Lacroix et al. (2001) proposed the concept of maximum extent of resection (EOR). In the study (cohort

of 416 patients with histologically confirmed glioblastoma and tumor resection), the authors concluded that removal of 89 % and more of baseline tumor volume is a necessary predictor of increased survival, and resection of 98 % of volume is a significant independent predictor of survival in multidimensional data analysis. A new concept was established: the larger the volume of resected tumor mass, the better prognosis in patients with glioblastoma [8]. This concept promoted intensive studies and lead to publication of data showing similar connection between resection volume, volume of residual tumor tissue, and patient survival [9–12].

Surgeon's opinion on the radicality of tumor resection can be erroneous which negatively affects treatment outcomes in the presence of residual tumor [4]. In our trial, iMRI was performed after the surgeon concluded that the tumor was totally resected. Radicality of primary resection was 84.2 %, and residual tumor tissue of varying volume was detected in all 9 (100 %) patients. All patients of the studied group underwent additional resection of residual tumor fragments which increased final radicality to 99.8 %.

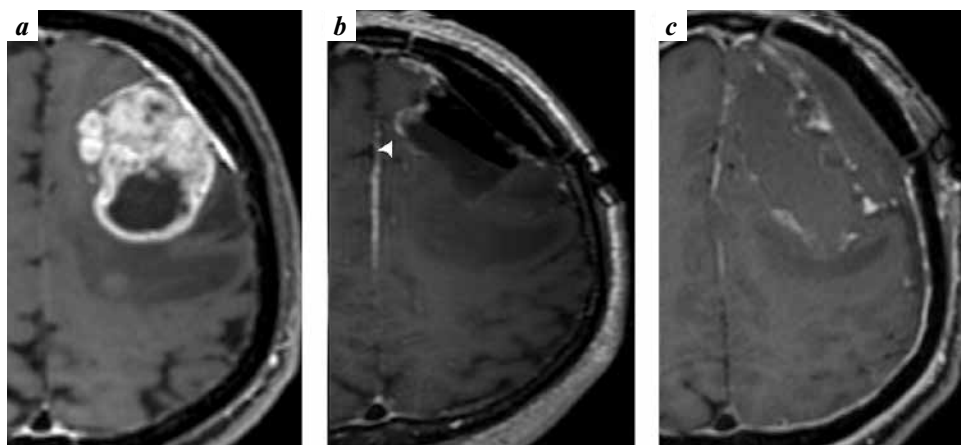


Fig. 2. Brain MRI (Patient no. 3). Axial T1 contrast-enhanced images: *a* – preoperative MRI, high-grade frontal lobe tumor; *b* – intraoperative scan, residual tumor (arrowhead); *c* – postoperative MRI, no signs of tumor after additional resection

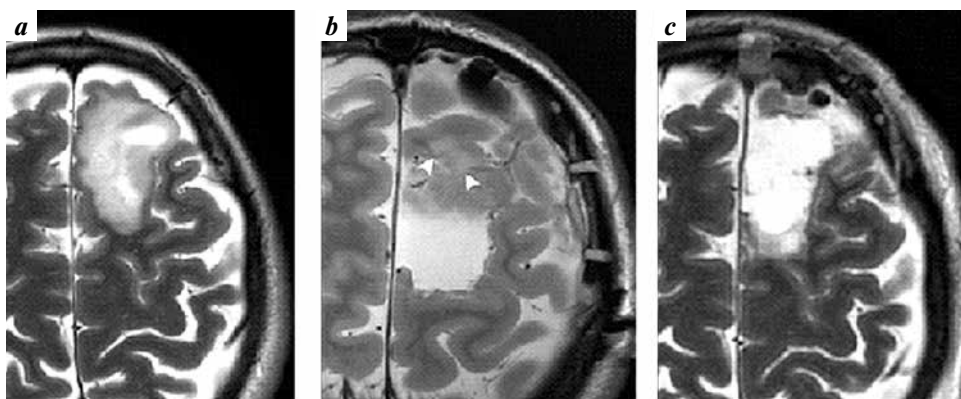


Fig. 1. Brain MRI (Patient 7). Axial T2 non-contrast images: *a* – preoperative scan, frontal lobe tumor in premotor area; *b* – intraoperative MRI, residual tumor in anterior aspect of resection cavity (arrowheads); *c* – postoperative MRI with no signs of tumor after additional resection

First quantitative meta-analysis establishing the connection between resection radicality and survival of patients with glioblastoma was published by T.J. Brown et al. (2016) [13]. the analysis included 37 articles published between January of 1996 and December of 2015 and showed that complete resection increases probability of 1-year survival by 61 % compared to subtotal resection, while 2-year survival increases by 19 %, progression-free survival for 12 months by 51 % [13]. The researchers concluded that for gliomas with low malignancy grade, increased resection volume increases survival and significantly decreases probability of recurrence (by 1.5 times) or malignization [14–16]. This is very important because residual tumor matter gradually degenerates into poorly differentiated astrocytoma which significantly decreases patients' expected life span.

Currently, the standard of postoperative control of the radicality of glioma resection is CT or MRI (with or without contrast enhancement) performed 24 to 72 hours after surgery [1, 3, 17]. These timelines result from appearance of reactive lesions of contrast accumulation in the long term after surgery which do not correspond to tumor changes; even with high field scanners frequency of such changes can reach 30 % [17]. iMRI can minimize the number

of such false positive lesions [17]. iMRI methods are superior to postoperative MRI in relation to determination of resection radicality due to lower number of artefacts. the difference can vary between 22.7 % for contrast-accumulating tumors to 37.5 % for tumors without contrast-positive fragments [17].

Intraoperative MRI allows to assess the presence of residual tumor tissue during operation when the surgeon can still change surgical tactics and selectively remove residual tumor fragments [6]. Use of iMRI leads to more frequent additional resection: in up to 70 % of cases [4, 6, 18]. The effectiveness of the approach was confirmed in a randomized study with level of evidence I: patient group with iMRI had higher operation radicality and associated survival time compared to patients who underwent standard resection with neuronavigation [6]. Additional resection was performed in 70 % of cases with iMRI use, mean volume of residual tumor was $3.16 \pm 0.38 \text{ cm}^3$. No effect of surgeon's experience on the volume of residual tumor or frequency of repeat resection after iMRI was shown. Residual tumor volume was more common in large tumors, highly differentiated gliomas (grade 1–2), and tumors in the functionally significant areas [4, 5].

In a prospective study of the effectiveness of iMRI in glioma resection, T. Finck et al. (2020) showed that use of intraoperative visualization significantly increases the radicality of tumor resection: from 76 to 96 % [19]; in a study by M.A. Hatiboglu et al. it increased from 83 to 98 % [7]. During evaluation of the effectiveness of iMRI in patients with gliomas of the language zone, J. Zhang et al. noted that increase in resection volume from 89.8 to 95.5 % leads to two-fold increase in recurrence-free period from 6.6 to 12.5 months (the changes are statistically significant) [18]. In the study by T. Finck et al., residual tumor tissue was observed in 34.8 % of cases with iMRI, total resection was achieved in 45.2 % of patients, in 20 % of patients, tumor fragment was left intentionally as it was located in a functional zone [19].

Currently, surgery of gliomas has 2 main trends developing side by side: pursuit for increased radicality of interventions and preservation of functional status. the gold standard responsible for preservation of neurological status is neuromonitoring in all of its variations; metabolic and frameless neuronavigation is responsible for increased radicality.

Effectiveness of frameless neuronavigation is low in cases of pronounced brain dislocation associated with surgical manipulation, CSF aspiration, or cerebral edema. iMRI does not have this disadvantage as the surgeon sees the image in real time [20].

In the late 1990s, metabolic neuronavigation with 5-aminolevulinic acid (5-ALA) entered neurosurgical practice. Products of 5-ALA metabolism selectively accumulate in tumor cells and fluoresce in blue light (5-ALA FN). In a meta-analysis dedicated to comparative evaluation of the radicality of brain tumor resection, no advantages of metabolic navigation compared to iMRI were demonstrated [2]. Combination of these methods allowed to achieve maximal oncological radicality which significantly surpassed the effectiveness of standard neuronavigation [2]. Strong point of 5-ALA is better sensitivity in the tumor infiltration zone, as well as lower cost. However, 5-ALA does not accumulate in all tumors, so its use is limited (only 20 % of highly differentiated gliomas accumulate 5-ALA) [2].

During resection of highly differentiated tumors (Grade 1, 2), it is difficult to determine the margin of tumor expansion and infiltration zone. Standard control techniques (examination through a light microscope in white light, ultrasound scan, or metabolic navigation in the absence of 5-ALA accumulation) can fail to provide the necessary data. In this case, differential diagnosis can be performed using high field iMRI machines with additional modes including DWI, PWI (perfusion-weighted MRI), MR spectroscopy [20].

However, iMRI has its weak points: increased operation time, necessity of costly equipment, presence of artifacts which can imitate residual tumor or hide infarction lesions [4, 17, 21].

Complications in evaluation of postcontrast T1-weighted images obtained using iMRI stem from differentiation between changes caused by surgical manipulations and residual tumor tissue [7]. As a result, it is advisable to move from resection to iMRI after careful hemostasis. It is very important not to leave blood clots or hemostatics in the cavity of the removed tumor [7].

Minimal residual zone of contrast accumulation on the walls of the resection cavity does not always correspond to residual tumor. Histological verification showed that such zones can appear after outflow of the contrast agent from small vessels into the cavity of the resected tumor [7].

The most common artefacts during iMRI are new area of contrast agent accumulation not associated with the tumor or areas of new hyperintensity in T2-weighted images. These changes are called reactive: they arise from the brain's reaction to surgical trauma and flow of the contrast agent from the vessels in the resection zone due to disturbed permeability of the blood-brain barrier [4, 5, 17, 22]. Use of dynamic contrast allows to reliably differentiate reactive postoperative changes from residual tumor tissue [22]. However, some researchers show that use of so-called black blood sequences allows to better evaluate such transitional areas due to some unique characteristics of iMRI [19]. Such specific problems are contrast extravasation zones, areas of blood clot formation [19].

In a study by M. Knauth et al. (1999) [23], 4 types of changes associated with surgical manipulations observed during T1-weighted contrast-enhanced iMRI were described, and these changes can be observed in 100 % of cases. Their main sign is absence of such changes in the post-contrast series obtained prior to surgery which is explained by reaction to the operation. These artifacts of contrast accumulation can be located in the dura, ventricular vascular plexuses, resection margins, parenchyma near the area of tumor resection, and are observed in 100, 13.7, 80.4, 9.8 % of cases, respectively. Leptomeningeal pattern is characterized by linear areas of paramagnetic accumulation and is observed in 100 % of patients at first scan and does not change during iMRI; in the postoperative MRI, it either becomes more intense or does not change. Enhanced contrast of ventricular plexuses at the surgery site is observed in 13.7 % of patients (in all of the patients, ventricle was dissected during surgery); it was shown that intensity of the changes does not change or increases with time. In 80.4 % of patients, linear enhancement of resection margins and increased signal from the fluid in the resection cavity was observed; during postoperative scan, these changes disappeared or became less pronounced. In 9.8 % of cases, parenchymal areas of contrast accumulation near the resection zone were observed; they do not change with time, and in most patients, they were associated with areas of electrocoagulation; in the postoperative series, such changes are not visible or are less pronounced [23].

Gadolinium-based contrast agent used in iMRI can have neurotoxic effect. In a small number of patients, for

whom iMRI showed subarachnoid contrast accumulation and contrast accumulation in the resection cavity, increased frequency of focal seizures and epileptic status was observed. In all patients of this group, surgeons noted increased blood flow to the tumor and difficulty achieving hemostasis [24].

The main objective of iMRI is detection of residual tumor tissue. In surgery of contrast-positive tumors, we note the area of disruption of the blood-brain barrier – area of contrast accumulation in standard T1-weighted images. All imaging techniques should be directed towards improved detection of this particular area [19]. Despite advances in MRI, they are still not widespread in the world and in Russia, and one of the reasons is high cost of the equipment.

Compared to low field iMRI systems, high field devices have several important advantages: better image quality and signal-to-noise ratio lead to better presentation of the perifocal infiltration zone, they allow to perform tractography and functional MRI, have shorter scan times and better spatial resolution [18, 20].

Use of iMRI can help diagnose various complications (hemorrhages, occlusion of CSF pathways) during surgery and help change operative tactics in accordance with the diagnosis [20].

Another research topic is safety during iMRI. Increased resection volume can increase risk of complications. According to data from S. Voglis et al. (2021), additional resection after iMRI leads to statistically significant increase in the volume of ischemic changes (from 0.4 to 3 cm³ according to DWI data) around the resection area, however no effect on the frequency of neurological deficit was observed [25]. In itself, use of iMRI and subsequent additional resection, according to data gathered by many researchers, are not associated with increased neurological deficit

even during interventions in functionally significant zones [4, 6, 7, 18]. One of the potential advantages of iMRI is early detection of complications, for example, ischemia or hemorrhage in the resection zone or at a distance from it [20].

Another problem associated with iMRI is intraoperative neurophysiological monitoring (IOM). IOM is successfully used in resection of various CSN tumors and allows to increase safety of the intervention and its radicality [26]. a well-known effect of metal heating during MR scan is frequently unpredictable for different devices. There are no officially approved subcutaneous electrodes for MRI, and in many clinics the electrodes are removed prior to iMRI and then reimplanted. However, this approach increases operative time and creates danger of contaminating sterile space. a study of safety of use of standard subdermal electrodes for IOM showed minimal tissue heating near the electrodes. Therefore, they can be safely used during iMRI if they are located outside the scanning coil, the patient gave their consent, and it was approved by the local ethics committee. Electrodes made of iridium and platinum cause smaller number of artifacts and lesser heating in the area of their installation [26].

CONCLUSION

Surgeon's impression of the radicality of tumor resection can be erroneous which leads to partial tumor resection and negatively affects treatment outcomes and patients' survival. Scans with intraoperative magnetic resonance imaging during resection of gliomas of the brain can increase oncological radicality without increased surgical risk. It was shown that it does not lead to complications associated with increased operative time and patient transfer from the operating room to the magnetic resonance imaging room and back.

REFERENCES

1. Absalyamova O.V., Bekyashev A.Kh., Golanov A.V. et al. Primary central nervous system tumors: Clinical recommendations, 2019. Available at: https://ruans.org/Text/Guidelines/primary_brain_tumors.pdf. (In Russ.).
2. Golub D., Hyde J., Dogra S. et al. Intraoperative MRI versus 5-ALA in high-grade glioma resection: a network meta-analysis. *J Neurosurg* 2020;(21):1–15. DOI: 10.3171/2019.12.JNS191203.
3. Weller M., van den Bent M., Hopkins K. et al. EANO guideline for the diagnosis and treatment of anaplastic gliomas and glioblastoma. *Lancet Oncol* 2014;15(9):e395–403. DOI: 10.1016/S1470-2045(14)70011-7.
4. Scherer M., Jungk C., Younsi A. et al. Factors triggering an additional resection and determining residual tumor volume on intraoperative MRI: analysis from a prospective single-center registry of supratentorial gliomas. *Neurosurg Focus* 2016;40(3):E4. DOI: 10.3171/2015.11.FOCUS15542.
5. Leroy H.-A., Delmaire C., le Rhun E. et al. High-field intraoperative MRI and glioma surgery: results after the first 100 consecutive patients. *Acta Neurochir (Wien)* 2019;161(7):1467–74. DOI: 10.1007/s00701-019-03920-6.
6. Senft C., Bink A., Franz K. et al. Intraoperative MRI guidance and extent of resection in glioma surgery: a randomised, controlled trial. *Lancet Oncol* 2011;12(11):997–1003. DOI: 10.1016/S1470-2045(11)70196-6.
7. Hatiboglu M.A., Weinberg J.S., Suki D. et al. Impact of intraoperative high-field magnetic resonance imaging guidance on glioma surgery: a prospective volumetric analysis. *Neurosurgery* 2009;(64):1073–81. DOI: 10.1227/01.NEU.0000345647.58219.07.
8. Lacroix M., Abi-Said D., Fourney D.R. et al. A multivariate analysis of 416 patients with glioblastoma multiforme: prognosis, extent of resection, and survival. *J Neurosurg* 2001;95(2):190–8. DOI: 10.3171/jns.2001.95.2.0190.
9. Stummer W., Reulen H.-J., Meinel T. et al. Extent of resection and survival in glioblastoma multiforme: identification of and adjustment for bias. *Neurosurgery* 2008;62(3):564–76. DOI: 10.1227/01.neu.0000317304.31579.17.
10. Chaichana K.L., Cabrera-Aldana E.E., Jusue-Torres I. et al. When gross total resection of a glioblastoma is possible, how much resection should be achieved? *World*

- Neurosurg 2014;82(1–2):e257–65.
DOI: 10.1016/j.wneu.2014.01.019.
11. Sanai N., Berger M.S. Glioma extent of resection and its impact on patient outcome. *Neurosurgery* 2008;62(4):753–64. DOI: 10.1227/01.neu.0000318159.21731.cf.
 12. McGirt M.J., Chaichana K.L., Gathinji M. et al. Independent association of extent of resection with survival in patients with malignant brain astrocytoma. *J Neurosurg* 2009;110(1):156–62. DOI: 10.3171/2008.4.17536.
 13. Brown T.J., Brennan M.C., Li M. et al. Association of the extent of resection with survival in glioblastoma: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Oncol* 2016;2(11):1460–9. DOI: 10.1001/jamaoncol.2016.1373.
 14. Smith J.S., Chang E.F., Lamborn K.R. et al. Role of extent of resection in the long-term outcome of low-grade hemispheric gliomas. *Clin Oncol* 2008;26:1338–45. DOI: 10.1200/JCO.2007.13.9337.
 15. Claus E.B., Horlacher A., Hsu L. et al. Survival rates in patients with low-grade glioma after intraoperative magnetic resonance image guidance. *Cancer* 2005;103(6):1227–33. DOI: 10.1002/cncr.20867.
 16. Bradley W.G. Achieving gross total resection of brain tumors: intraoperative MR imaging can make a big difference. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002;23(3):348–9.
 17. Masuda Y., Akutsu H., Ishikawa E. et al. Evaluation of the extent of resection and detection of ischemic lesions with intraoperative MRI in glioma surgery: is intraoperative MRI superior to early postoperative MRI? *J Neurosurg* 2018;131(1):209–16. DOI: 10.3171/2018.3.JNS172516.
 18. Zhang J., Chen X., Zhao Y. et al. Impact of intraoperative magnetic resonance imaging and functional neuronavigation on surgical outcome in patients with gliomas involving language areas. *Neurosurg Rev* 2015;38(2):319–30. DOI: 10.1007/s10143-014-0585-z.
 19. Finck T., Gempt J., Krieg S.M. et al. Assessment of the extent of resection in surgery of high-grade glioma—evaluation of black blood sequences for intraoperative Magnetic Resonance Imaging at 3 Tesla. *Cancers (Basel)* 2020;12(6):1580. DOI: 10.3390/cancers12061580.
 20. Ginat D.T., Swearingen B., Curry W. et al. 3 Tesla intraoperative MRI for brain tumor surgery. *J Magn Reson Imaging* 2014;39(6):1357–65. DOI: 10.1002/jmri.24380.
 21. Dmitriev A.Yu., Dashyan V.G. Intraoperative magnetic resonance imaging in surgery of brain gliomas. *Zhurnal Voprosy Neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2022;86(1):121–7. (In Russ.).
 22. Ozduman K., Yildiz E., Dincer A. et al. Using intraoperative dynamic contrast-enhanced T1-weighted MRI to identify residual tumor in glioblastoma surgery. *J Neurosurg* 2014;120(1):60–6. DOI: 10.3171/2013.9.JNS121924.
 23. Knauth M., Aras N., Wirtz C.R. et al. Surgically induced intracranial contrast enhancement: potential source of diagnostic error in intraoperative MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20(8):1547–53.
 24. Lauer M., Lauer A., You S.-J. et al. Neurotoxicity of subarachnoid Gd-based contrast agent accumulation: a potential complication of intraoperative MRI? *Neurosurg Focus* 2021;50(1):E12. DOI: 10.3171/2020.10.FOCUS20402.
 25. Voglis S., Muller T., van Niftrik C.H.B. et al. Impact of additional resection on new ischemic lesions and their clinical relevance after intraoperative 3 Tesla MRI in neuro-oncological surgery. *Neurosurg Rev* 2021;44(4):2219–27. DOI: 10.1007/s10143-020-01399-9.
 26. Darcey T.M., Kobylarz E.J., Pearl M.A. et al. Safe use of subdermal needles for intraoperative monitoring with MRI. *Neurosurg Focus* 2016;40(3):E19. DOI: 10.3171/2015.12.FOCUS15555.

Author's contributions

I.V. Grigorev: research design of the study, data obtaining, collection and analysis, article writing;
G.B. Akopyan: research design of the study, data obtaining, collection and analysis, article writing;
S.A. Melchenko: data obtaining, collection and analysis;
I.V. Senko: research design of the study, scientific editing of the article;
I.L. Gubskiy: obtaining data for analysis;
A.A. Kalandari: data obtaining, collection and analysis;
O.O. Kordonskaya: article writing;
Zh.N. Sermagambetova: data obtaining, collection and analysis;
V.V. Krylov: research design of the study, scientific editing of the article.

ORCID of authors

I.V. Grigorev: <https://orcid.org/0000-0002-1320-5772>
G.B. Akopyan: <https://orcid.org/0000-0003-2889-3405>
S.A. Melchenko: <https://orcid.org/0000-0001-7060-0667>
I.V. Senko: <https://orcid.org/0000-0002-5743-8279>
I.L. Gubskiy: <https://orcid.org/0000-0003-1726-6801>
A.A. Kalandari: <https://orcid.org/0000-0003-4161-0940>
O.O. Kordonskaya: <https://orcid.org/0000-0003-0432-2915>
Zh.N. Sermagambetova: <https://orcid.org/0000-0001-6546-1711>
V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0001-5256-0905>

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Financing. The study was performed without external funding.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee.

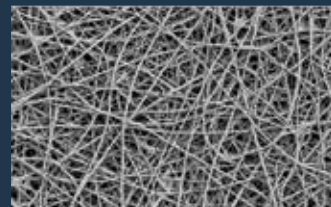
NeoDura™

ЗАМЕНИТЕЛЬ ТМО НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

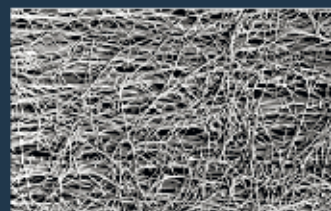
Биомиметическая матрица для восстановления твёрдой мозговой оболочки



NeoDura™



Нативная ТМО



- ⦿ Высокая механическая прочность
- ⦿ Исключительные конформность, мягкость и прозрачность
- ⦿ Обеспечивает надежное шовное/бесшовное применение
- ⦿ Эффективное предупреждение ликвореи
- ⦿ Полная резорбция
- ⦿ Быстрая регенерация ТМО
- ⦿ Адгезивность в 3 раза выше, чем у коллагеновых ТМО

Производство компании:
Medprin Biotech GmbH (Германия)

Официальный дистрибьютор в РФ:
ООО «Малти-Системс Текнолоджи»
119435, г. Москва, ул. Малая Пироговская,
д. 18, стр. 1, офис 101



MEDPRIN

mst
MULTI-SYSTEMS TECHNOLOGY

Тел.: +7 (495) 737 81 26
info@mst.ru
www.mst.ru

**Cios Spin***

Новые перспективы. Полный контроль.

siemens-healthineers.com/ru

- Точная 3D-визуализация с объемом 16 см x 16 см x 16 см благодаря Retina 3D¹
- Полные пациенты и плотные ткани в высоком качестве 3D-изображения благодаря High Power 3D²
- Эффективность рабочего процесса при 3D-навигации благодаря NaviLink 3D³
- Плавная интеграция интраоперационного 3D в хирургическую практику посредством Easy 3D⁴
- Автоматическая локализация и точная визуализация шурупов посредством Screw Scout⁵
- Достаточное пространство для выполнения 3D-сканов даже при громоздких аксессуарах благодаря широкому пространству С-дуги
- Оптимальное позиционирование спиц Киршнера и других приспособлений для остеосинтеза благодаря Target Pointer⁶

* Аппарат передвижной рентгеновский цифровой С-дуга «Cios Spin» с принадлежностями. РУ № РЗН 2019/8664

¹ Программный режим Retina 3D для получения КТ-подобных изображений

² Высокочастотный генератор мощностью 25кВТ с модулем накопления энергии

³ Программный режим NaviLink 3D для передачи изображений в навигационную систему. Опция

⁴ Программный режим 3D-измерений: углы и расстояния

⁵ Программный режим Screw Scout для автоматического обнаружения и отображения ортопедических винтов. Опция

⁶ Программный режим расчета и навигации вспомогательных устройств. Опция



SUGITA T2

Титановые клипсы для аневризм

- Постепенно суживающиеся атравматичные бранши
- Максимально возможная ширина открытия
- Ультратонкий клипс для любой ситуации
- Индивидуальный серийный номер
- Совместимость с МРТ до 3 Тесла



ТЕЛ./ФАКС: 8-800-1000-248 (ЗВОНОК ПО РОССИИ БЕСПЛАТНЫЙ)
WWW.TERSAMED.RU