



АССОЦИАЦИЯ
НЕЙРОХИРУРГОВ
РОССИИ

ISSN 2587-7569 (Online)

ISSN 1683-3295 (Print)

НЕЙРОХИРУРГИЯ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

RUSSIAN JOURNAL OF NEUROSURGERY

Хирургическое лечение
дистальных аневризм
головного мозга

Определение объема
субдуральной гематомы:
сравнительный анализ
методов расчета

Functional Outcome
at 6 Months of Surgical
Traumatic Brain Injury: A single
Caribbean Center Pilot Study

Трансциркулярная окклюзия
аневризмы задней нижней
мозжечковой артерии:
клиническое наблюдение

3

ТОМ 24

2022

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 .

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 Е.С. Самойлова
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.
№ 3. 1–116.
Сдано в печать: 05.09.2022.
© 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>

3 **ТОМ 24**
'22

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Гринь Андрей Анатольевич, чл.-корр. РАН, 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 Хамбалович, 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, академик 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

3 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 E.S. Samoylova
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 (FSTEC 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. 3. 1–116.
Submitted: 05.09.2022.

© 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., *Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, 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., *Academician 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)*

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНАЯ РАБОТА

- И.В. Сенько, В.В. Крылов, В.Г. Дашьян, И.В. Григорьев*
 Хирургическое лечение дистальных аневризм головного мозга 12
- В.В. Виноградов, Б.С. Чубун, Д.Е. Алексеев, А.А. Рафаелян, К.А. Диких, Д.В. Свистов*
 Определение объема субдуральной гематомы: сравнительный анализ методов расчета 23
- M.J. Encarnacion, I.P. Baez, J. Paulino, R.E. Barrientos Castillo, R. Nurmukhametov, I.E. Efe*
 Функциональные исходы хирургического лечения пациентов с черепно-мозговой травмой
 через 6 месяцев после операции: карибское одноцентровое пилотное исследование 32

ОБУЧЕНИЕ В НЕЙРОХИРУРГИИ

- К.Н. Бабичев, А.В. Станишевский, Р.С. Мартынов, Д.В. Свистов*
 Возможности микрохирургического тренинга с использованием стереомикроскопа
 и простого инструментария 38

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

- Р.А. Коваленко, Ю.И. Рюмина, В.Ю. Чербило, В.А. Кашин*
 Хирургическое лечение эпидуральной арахноидальной кисты II типа грудного и поясничного
 отделов позвоночника: наблюдение из практики 46
- В.М. Фениксов, Р.Л. Камбиев, Д.А. Николаев, Д.С. Глухов*
 Дистальная аневризма срединной артерии мозолистого тела: наблюдение из практики 52
- В.С. Киселев, Е.Д. Анисимов, Д.М. Галактионов*
 Трансциркулярная окклюзия аневризмы задней нижней мозжечковой артерии:
 наблюдение из практики 61
- С.С.-Х. Гаиров, И.А. Захарчук, А.С. Серобян, Е.В. Захарчук, Д.П. Воробьев, Р.Т. Ким*
 Нефункциональный вентрикулярный катетер как причина развития абсцесса головного мозга
 у ребенка: наблюдение из практики 68

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

- А.Ю. Дмитриев, М.В. Синкин, В.Г. Дашьян*
 Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии опухолей головного мозга
 супратенториальной локализации. Часть 2. Исследование сенсорной проводимости,
 влияние на исходы и ограничения метода 73
- А.М. Исмаилов, А.А. Зуев*
 Организация и современное представление о речевой функции головного мозга:
 обзор литературы 80

ЛЕКЦИЯ

- И.М. Алексеев, А.А. Зуев*
 Хирургическое лечение опухолей дополнительной моторной области 90

CONTENTS

ORIGINAL REPORT

<i>I. V. Senko, V. V. Krylov, V. G. Dashyan, I. V. Grigoriev</i>	
Surgical treatment of distal cerebral aneurysms	12
<i>V. V. Vinogradov, B. S. Chubun, D. E. Alekseev, A. A. Rafaelyan, K. A. Dikikh, D. V. Svistov</i>	
Determination of subdural hematoma volume: Comparative analysis of calculation methods	23
<i>M. J. Encarnacion, I. P. Baez, J. Paulino, R. E. Barrientos Castillo, R. Nurmukhametov, I. E. Efe</i>	
Functional outcome at 6 months of surgical traumatic brain injury: A single Caribbean Center pilot study	32

EDUCATION IN NEUROSURGERY

<i>K. N. Babichev, A. V. Stanishevskiy, R. S. Martynov, D. V. Svistov</i>	
Opportunities of microsurgical training using a stereomicroscope and simple instruments	38

FROM PRACTICE

<i>R. A. Kovalenko, Yu. I. Ryumina, V. Yu. Cherebillo, V. A. Kashin</i>	
Surgical treatment of epidural arachnoid cyst type II of the thoracic and lumbar spine: case report	46
<i>V. M. Feniksov, R. L. Kambiev, D. A. Nikolaev, D. S. Glukhov</i>	
Distal aneurysm of median artery of the corpus callosum: case report	52
<i>V. S. Kiselev, E. D. Anisimov, D. M. Galaktionov</i>	
Transcircular occlusion of the posterior inferior cerebellar artery aneurysm: a case report	61
<i>S. S.-Kh. Gaibov, I. A. Zacharchyk, A. S. Serobyanyan, E. V. Zacharchyk, D. P. Vorobyev, R. T. Kim</i>	
Non-functioning ventricular catheter as a cause of brain abscess in a child: case report	68

LITERATURE REVIEW

<i>A. Yu. Dmitriev, M. V. Sinkin, V. G. Dashyan</i>	
Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 2. Assessment of sensory conductivity, impact at outcomes and method restrictions	73
<i>A. M. Ismailov, A. A. Zuev</i>	
Organization and current understanding of speech function of the brain: literature review	80

LECTURE

<i>I. M. Alekseev, A. A. Zuev</i>	
Surgical treatment of tumors of the supplementary motor area	90

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДИСТАЛЬНЫХ АНЕВРИЗМ ГОЛОВНОГО МОЗГА

И.В. Сенько^{1,2}, В.В. Крылов^{1,2,3}, В.Г. Дашьян^{1,3}, И.В. Григорьев²

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

²ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» Федерального медико-биологического агентства России; Россия, 117513 Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 10;

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

Контакты: Илья Владимирович Сенько Senko.ilya@mail.ru

Введение. Дистальные аневризмы головного мозга – редкая патология. Имеется незначительное число публикаций, посвященных данной теме, и в основном они ограничиваются клиническими наблюдениями.

Цели исследования – определение анатомо-топографических особенностей дистальных аневризм, анализ результатов хирургического лечения с выявлением факторов риска неблагоприятного исхода, создание на этой основе алгоритма лечения пациентов, определение роли нейронавигации и ревааскуляризации в хирургии лечения дистальных аневризм головного мозга.

Материалы и методы. Проанализированы результаты хирургического лечения 153 больных с дистальными аневризмами головного мозга, поступивших в Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы в период с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2019 г.

Результаты. Дистальные аневризмы выявлены в 4,5 % случаев от всех аневризм головного мозга. В 81,7 % наблюдений пациенты поступали с разрывом аневризмы. Локализация дистальных аневризм – чаще в бассейне перикаллезной и средней мозговой артерий; структурные показатели – маленький размер (77,5 %), широкая шейка (31,8 %) и фузиформное строение (15,7 %). Выполнены клипирование аневризм (74,5 %), треппинг (23,5 %), ревааскуляризация (5,9 %). Основные факторы риска неблагоприятного исхода: локализация и размер аневризмы, тяжесть состояния пациента по шкале Всемирной федерации нейрохирургов (mWFNS), наличие выраженного церебрального ангиоспазма.

Заключение. Созданный алгоритм хирургического лечения дистальных аневризм головного мозга с учетом факторов риска неблагоприятного исхода, а также использование нейронавигации, контроля проходимости артерий и ревааскуляризации позволяют улучшить результаты лечения данной категории пациентов.

Ключевые слова: дистальная аневризма мозга, хирургическое лечение, факторы риска, нейронавигация, ревааскуляризация

Для цитирования: Сенько И.В., Крылов В.В., Дашьян В.Г., Григорьев И.В. Хирургическое лечение дистальных аневризм головного мозга. Нейрохирургия 2022;24(3):12–22. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-12-22

Surgical treatment of distal cerebral aneurysms

I.V. Senko^{1,2}, V.V. Krylov^{1,2,3}, V.G. Dashyan^{1,3}, I.V. Grigoriev²

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

²Federal Brain and Neurotechnology Center, Federal Medical and Biological Agency of Russia; Bld. 10, 1 Ostrovityanova St., Moscow 117513, 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: Ilya Vladimirovich Senko Senko.ilya@mail.ru

Background. Distal cerebral aneurysms are very rare. To date, there are very few publications on distal cerebral aneurysms and they are mostly limited to clinical case series.

Aim. To analyze anatomical characteristics of distal cerebral aneurysms and surgical outcomes, as well as to identify risk factors for a poor outcome and develop a treatment algorithm on this basis; to determine the role of neuronavigation and revascularization in the surgical treatment of distal cerebral aneurysms.

Materials and methods. We performed a retrospective analysis of surgical outcomes of 153 patients with distal cerebral aneurysms treated in N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine (Moscow Healthcare Department) between January 1, 2000 and December 31, 2019.

Results. Distal cerebral aneurysms were identified in 4.5 % cases of all cerebral aneurysms; 81.7 % of patients with distal cerebral aneurysms were admitted to the hospital with ruptured aneurysms. The most frequent locations of distal cerebral aneurysms were pericallosal and middle cerebral arteries. Distal cerebral aneurysms were usually small (77.5 %), had a wide neck (31.8 %), and fusiform structure (15.7 %). Aneurysm clipping was performed in 74.5 % cases; parent artery trapping, in 23.5 % of patients; revascularization, in 5.9 % of patients. The main risk factors for a poor outcome included aneurysm size and location, patient grade on the modified scale of the World Federation of Neurosurgical Societies (mWFNS), and presence of severe vasospasm.

Conclusion. The developed surgical algorithm for distal cerebral aneurysms (based on the assessment of a poor outcome risk factors, the use of neuronavigation, arterial patency control, and revascularization) could improve surgical outcomes of patients with distal cerebral aneurysms.

Keywords: distal cerebral aneurysm, surgical treatment, risk factors, neuronavigation, revascularization

For citation: Senko I.V., Krylov V.V., Dashyan V.G., Grigoriev I.V. Surgical treatment of distal cerebral aneurysms. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2022;24(3):12–22. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-12-22

ВВЕДЕНИЕ

Дистальные аневризмы (ДА) головного мозга встречаются в 4–10 % от всех случаев аневризм головного мозга. Наиболее частые локализации ДА — бассейны следующих артерий: перикаллезной (ПКА), средней мозговой (СМА), задней мозговой (ЗМА) и задней нижней мозжечковой (ЗНМА) [1–3]. Часто ДА имеют маленький размер, широкую шейку и фузiformное строение, могут располагаться вне делений артерий и быть связаны с системной патологией соединительной ткани, атеросклерозом и бактериальной диссеминацией [2, 4–7]. Большое морфологическое и топографическое разнообразие ДА требует индивидуального подхода к выбору хирургической тактики. Результаты лечения пациентов с ДА отличаются у разных авторов и зависят от структуры исследуемых групп пациентов. Лучшие результаты лечения описаны у больных с ДА СМА, худшие — с аневризмами ПКА [3, 8].

Цель работы — создание алгоритма хирургического лечения пациентов с дистальными аневризмами головного мозга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на анализе результатов хирургического лечения пациентов с аневризмами головного мозга в ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы» за 20 лет (с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2019 г.).

В анализ включены 2 группы пациентов, оперированных в НИИ скорой помощи по поводу ДА головного мозга:

1) группа сравнения — 100 больных, получивших хирургическое лечение с 1 января 2000 по 31 декабря 2016 г.;

2) контрольная группа — 53 больных, пролеченных с 1 января 2017 г. по 31 декабря 2019 г. Данная группа выделена ввиду большей частоты использования ассистирующих методик, таких как нейронавигация (73,6 %), методы контроля проходимости артерий (75,4 %) и реваккуляризирующие методики (15 % случаев).

Критерии включения пациентов в исследование:

- дистальная локализация аневризмы головного мозга;
- клиническое состояние пациента, позволяющее выполнить открытое хирургическое вмешательство (более 8 баллов по шкале комы Глазго);
- отсутствие сочетания ДА с артериовенозной мальформацией головного мозга, болезнью moyama и другими сосудистыми пороками развития.

Большинство (81,7 %) больных с ДА головного мозга поступили в институт в экстренном порядке с признаками разрыва аневризмы. Плановая госпитализация пациентов с ДА была связана с псевдотуморозным типом клинического течения и/или высоким риском разрыва аневризмы. Больные с ДА эмболического типа течения были госпитализированы как в экстренном, так и в плановом порядке.

Всем пациентам при поступлении проводили клиническое обследование и неврологический осмотр; тяжесть состояния оценивали по модифицированной шкале mWFNS (modified World Federation of Neurosurgical Societies), утвержденной и опубликованной в 2016 г. [9].

При обследовании больных с разорвавшимися ДА головного мозга оценивали интенсивность внутричерепного базального кровоизлияния по шкале С.М. Fisher, внутрижелудочкового кровоизлияния — по шкале D.A. Graeb.

При компьютерной томографии (КТ) внутрисосудовых и церебральной ангиографии (ЦАГ) определяли сегментарную локализацию аневризмы согласно классификации, предложенной A. Rodriguez-Hernandez и соавт. (2013) [3]. Оценивали форму аневризмы (мешотчатая, фузиформная), размер аневризмы и ее шейки.

Пациентам с разрывами ДА операции проводились в экстренном порядке, остальным — в плановом.

Для хирургического доступа использовали систему нейронавигации Brainlab (Brainlab AG, Германия) или Medtronic StealthStation S7 (Medtronic, США). Проходимость несущих аневризмы сосудов и созданных анастомозов проверяли рядом способов:

- метод пинцетов — тест Окленда (Acland's test);
- контактная микродопплерография, система MultiDop-P (DWL, Германия);
- флоуметрия, флоуметр HT323 Transonic flow-QC meter (Transonic Systems Inc., США);
- интраоперационная ангиография с использованием индоцианина зеленого, микроскоп Pentero с модулем Infrared 800 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Германия).

В большинстве случаев удалось выполнить реконструктивное клипирование аневризмы, реже — окутывание и треппинг аневризмы с дистальной реваскуляризацией или без нее.

Основные типы реваскуляризирующих методов при ДА представлены на рис. 1.

Перед выпиской из стационара оценивали функциональные исходы после хирургического лечения по шкале исходов Глазго.

Статистический анализ данных велся на персональном компьютере под управлением операционной системы MacOS Sierra (Apple Inc., США) с использованием программы IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., США). Применялись описательные непараметрические методы статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проанализированы особенности клинической картины, инструментального обследования и хирургического лечения 153 пациентов с ДА головного мозга, находившихся на лечении в отделении нейрохирургии НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского с 1 января 2000 по 31 декабря 2019 г.

1. Клинико-инструментальная картина

Пациенты с ДА: мужчины — 53 (34,6 %), женщины — 100 (65,4 %). Возраст — от 20 до 76 (медиана — 48) лет.

В 81,7 % ($n = 125$) случаев больные поступили с разорвавшейся ДА. При этом у 7,2 % такая аневризма сочеталась с неразорвавшейся проксимальной аневризмой (ПА). Также у пациентов ($n = 16$) с ДА выявили

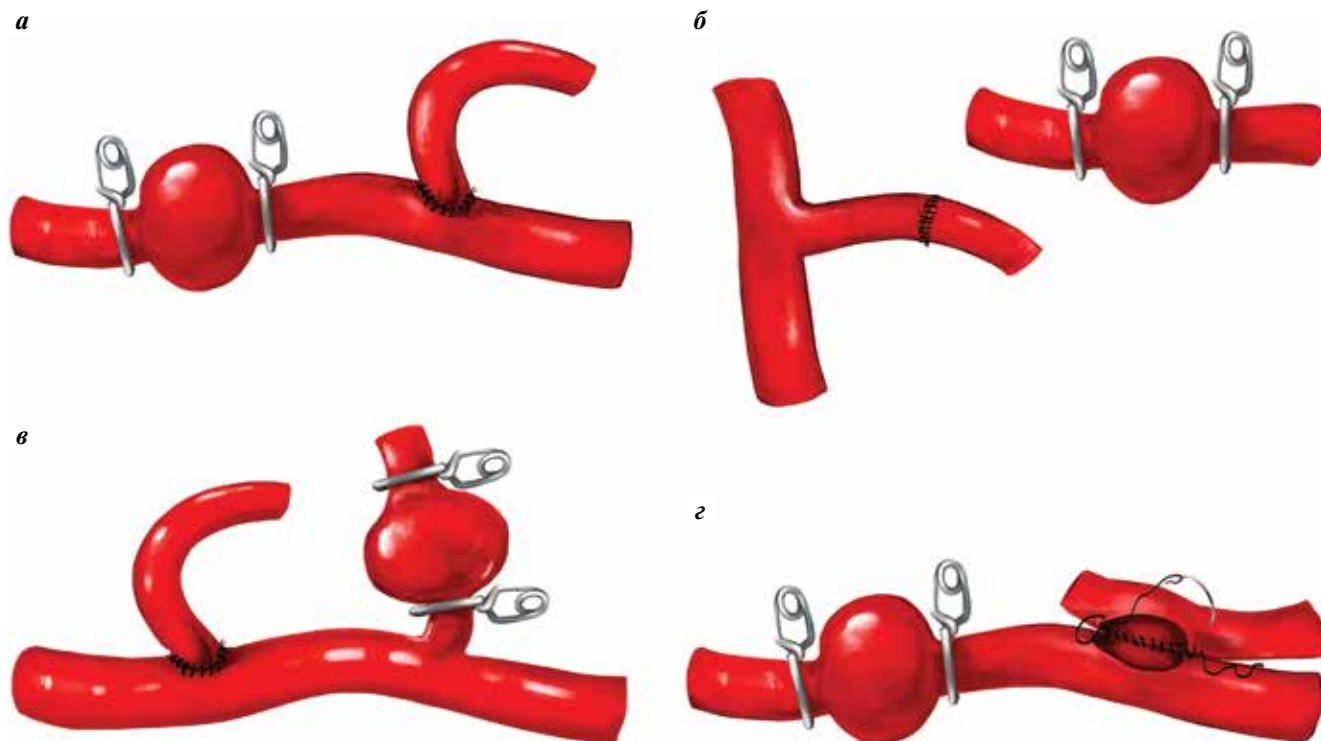


Рис. 1. Типы операций реваскуляризации в хирургии ДА головного мозга: а — экстра-интракраниальный анастомоз; б — реанастомоз; в — реимплантация; г — bypass in situ (не применялось в нашей работе)

Fig. 1. Different revascularization techniques used in patients with distal cerebral aneurysms: а — extracranial-intracranial bypass; б — reanastomosis; в — reimplantation; г — in situ bypass (not performed in our series)

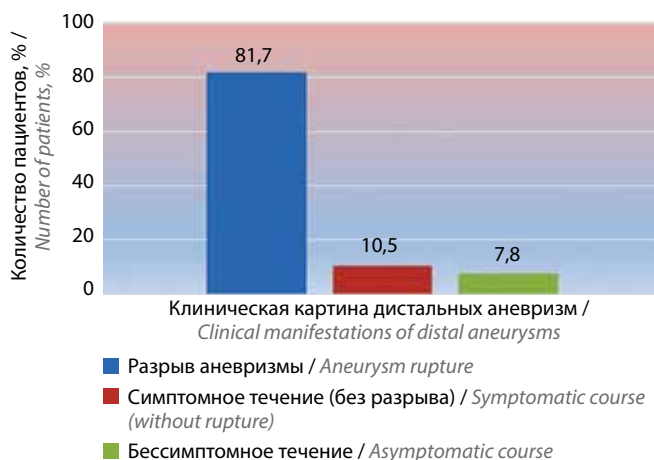


Рис. 2. Клинические проявления ДА головного мозга (n = 153)

Fig. 2. Clinical manifestations of distal cerebral aneurysms (n = 153)

псевдотуморозный тип течения в 5,9 %, эмболический тип – в 2,6 %, судорожный синдром – в 2 % наблюдений. У 7,8 % больных аневризмы были выявлены случайно (n = 12) (рис. 2).

Все пациенты без разрыва аневризмы (n = 28) поступили без нарушения уровня бодрствования.

У больных с разорвавшимися аневризмами (n = 125) наблюдалось угнетение уровня бодрствования в 39,2 % случаев: из них умеренное оглушение – 19,2 %, глубокое оглушение – 12,8 %, сопор – 7,2 %. Тяжесть состояния пациентов с разрывом аневризм по шкале mWFNS представлена на рис. 3.

Общемозговая и менингеальная симптоматика выявлена у всех больных с разрывом аневризмы головного мозга. На головную боль жаловались 24 % пациентов без разрыва ДА.

Очаговая симптоматика проявилась у 22 (17,6 %) больных с разорвавшейся ДА и у 7 (25 %) – без разрыва аневризмы. Чаще наблюдалась очаговая неврологическая симптоматика при разрывах ДА ЗМА и СМА, а также при аневризмах без разрыва ЗМА.

При разрывах ДА чаще выявлено субарахноидальное кровоизлияние IV типа по С.М. Fisher (рис. 4). Это связано с глубинным расположением данных аневризм и непосредственным прилеганием их к веществу головного мозга. Частота встречаемости внутримозговых гематом (ВМГ) при разрывах ДА составила 39,2 %, внутрижелудочковых кровоизлияний (ВЖК) – 27,2 %. Чаще ВМГ формировались при разрыве аневризм ПКА, а ВЖК – при аневризмах ЗНМА.

Объем ВМГ варьировал от 0,8 до 70 (Me = 14,0) см³. Выявлено ВЖК легкой степени тяжести (по шкале D. Graeb 1–4 балла) у 24 (70,6 %), средней степени тяжести (по шкале D. Graeb 5–8 баллов) – у 9 (26,4 %), тяжелой степени тяжести (по шкале D. Graeb 9–12 баллов) – у 1 (3 %) пациента. Окклюзионная гидроцефалия при разрывах ДА выявлена у 12 (9,6 %), дислокация мозга – у 22 (17,6 %), отек мозга – у 40 (32 %),

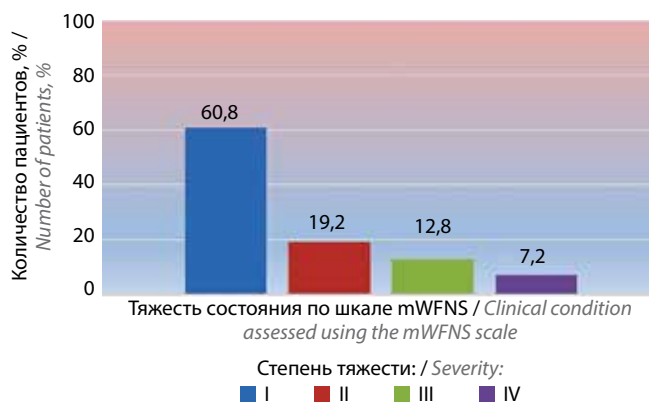


Рис. 3. Тяжесть состояния пациентов с разорвавшимися ДА (n = 125) при поступлении в стационар по модифицированной шкале mWFNS

Fig. 3. Clinical condition of patients with ruptured distal cerebral aneurysms (n = 125) assessed using the mWFNS scale

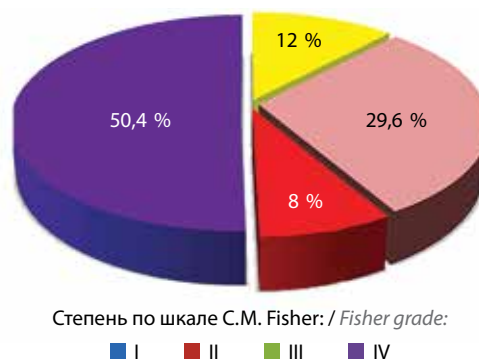


Рис. 4. Распределение пациентов с разными типами кровоизлияния при разрывах ДА по классификации С.М. Fisher (n = 125)

Fig. 4. Distribution of different types of hemorrhage caused by ruptured distal cerebral aneurysms assessed using the Fisher scale (n = 125)

перифокальный отек мозга – у 34 (27,2 %), полушарный отек – у 4 (3,2 %), тотальный – у 2 (1,6 %) больных.

Основные методы диагностики ДА: КТ-ангиография и ЦАГ, иногда их сочетание. В данном исследовании чувствительность в диагностике разорвавшихся ДА при выполнении цифровой субтракционной ЦАГ (n = 81) составила 100 %, при КТ-ангиографии внутричерепных сосудов (n = 80) – 95 %.

2. Анатомо-топографические особенности дистальных аневризм

Локализация. С 1 января 2000 г. до 31 декабря 2019 г. в НИИ скорой помощи Н.В. Склифосовского клипированы 3383 церебральные аневризмы (2836 пациентов), среди которых 153 аневризмы (4,5 %) дистальной локализации. Наш авторский коллектив провел анализ соотношения локализаций типичных ПА и ДА для каждой из мозговых артерий (табл. 1). В результате сделан вывод, что большую склонность к дистальному расположению имеют аневризмы вертебробазилярного бассейна. Так, каждая 4-я аневризма ЗМА или ЗНМА располагается дистально.

Таблица 1. Локализация проксимальных и дистальных аневризм (с января 2000 по декабрь 2019 г.)

Table 1. Distribution of cerebral aneurysms according to distal and proximal location (from Jan 1, 2000 to Dec 31, 2019)

Локализация аневризм* Aneurysm location*	ПА, n (%) PrCA, n (%)	ДА, n (%)** DCA, n (%)**	Всего Total
ПМА ACA	1353 (94,2)	83 (5,8 %)	1436
СМА MCA	849 (95,8)	37 (4,2 %)	886
ЗМА (+ бифуркация базилярной артерии) PCA (+ basilar artery bifurcation)	44 (73,4)	16 (26,6 %)	60
ЗНМА PICA	33 (70,2)	14 (29,8 %)	47
Всего Total	2279	150	2429

Примечание. ПА – проксимальные аневризмы; ДА – дистальные аневризмы; ПМА – передняя мозговая артерия; СМА – средняя мозговая артерия; ЗМА – задняя мозговая артерия; ЗНМА – задняя нижняя мозжечковая артерия.

Note. PrCA – proximal cerebral aneurysm; DCA – distal cerebral aneurysm; ACA – anterior cerebral artery; MCA – middle cerebral artery; PCA – posterior cerebral artery; PICA – posterior inferior cerebellar artery.

*Не включены аневризмы внутренних сонных артерий (n = 954). **Не учитывались «редкие» аневризмы (n = 3).

*Internal carotid artery aneurysms are not included (n = 954). **Rare aneurysms are not included (n = 3).

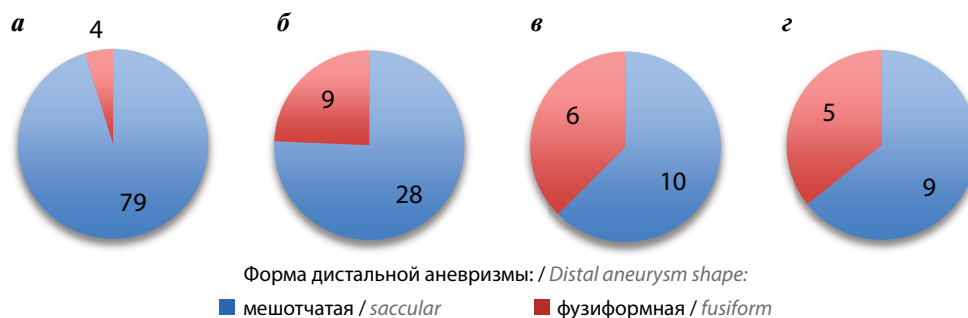


Рис. 5. Соотношение мешотчатых и фузиформных ДА (всего n = 150) разной локализации: а – ПМА (n = 83); СМА (n = 37); в – ЗМА (n = 16); г – ЗНМА (n = 14)

Fig. 5. Distribution of different distal cerebral aneurysms according to its location and shape: fusiform and saccular (total n = 150): а – ACA (n = 83); б – MCA (n = 37); в – PCA (n = 16); г – PICA (n = 14)

Проведен также анализ расположения ДА относительно сегментов соответствующих артерий. При распространении аневризмы на 2 сегмента мы относили ее к тому, где располагалась большая (>50 %) ее часть. Чаще ДА располагались на сегментах АЗ, М2 и Р2. Расположение ДА по сегментам ЗНМА было относительно равномерным (табл. 2).

Форма. Все ДА головного мозга отнесены к мешотчатым либо фузиформным. Частота фузиформных аневризм составила 15,7 %, однако их соотношение для каждой из исследуемых артерий было разным (рис. 5).

Чаще фузиформное строение имели ДА вертебро-базилярного бассейна. При этом фузиформные аневризмы более часто встречались в случаях неразорвавшихся аневризм.

Размеры. Размер ДА колебался от 1,4 до 34 (Me = 5,3) мм. В группах с мешотчатым и фузиформ-

ным строением размеры аневризм (рассмотрены только от 7 до 25 мм) различались: мешотчатые аневризмы чаще (77,5 %) были маленького размера (7 мм и менее), фузиформные – почти равномерно распределились по всем размерным категориям (табл. 3).

Значимой разницы между размерами разорвавшихся и неразорвавшихся мешотчатых аневризм в группах не выявлено. Важно отметить, что в исследовании ISUIA [10] размер разорвавшихся ДА в большинстве случаев меньше показателей, при которых рекомендуется хирургическое лечение.

Один из важных параметров ДА – размер шейки. Учитывая небольшой диаметр артерии, несущей ДА, широкой шейкой считали размер более 3 мм, и такие выявлены в 31,8 % наблюдений. Наличие широкой шейки, как и фузиформное строение ДА, служили отягощающими факторами выполнения реконструктивного клипирования.

Таблица 2. Локализация дистальных аневризм по сегментам артерий (153 пациента, НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, период с 1 января 2000 по 31 декабря 2019 г.)

Table 2. Location of distal cerebral aneurysms in different arterial segments (153 patients; N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; study period: from January 1, 2000 to December 31, 2019)

Локализация ДА головного мозга DCA location	Сегмент артерии Arterial segment	Число аневризм, n (%) Number of aneurysms, n (%)	Всего, n (%) Total, n (%)
ПМА ACA	A2 A3 A4 A5	14 (16,9) 68 (81,9) 1 (1,2) 0 (0)	83 (54,3)
СМА MCA	M2 M3 M4	21 (56,8) 13 (35,1) 3 (8,1)	37 (24,2)
ЗМА PCA	P2 P3 P4	11 (68,8) 4 (25) 1 (6,2)	16 (10,4)
ЗНМА PICA	P2 P3 P4 P5	4 (28,6) 4 (28,6) 4 (28,6) 2 (14,2)	14 (9,2)
«Редкие» аневризмы: Rare aneurysm location: ВМА SCA ПНМА AICA ЛСА LSA	s3 a3 —	1 (33,3) 1 (33,3) 1 (33,3)	3 (1,96)

Примечание. ДА — дистальные аневризмы; ПМА — передняя мозговая артерия; СМА — средняя мозговая артерия; ЗМА — задняя мозговая артерия; ЗНМА — задняя нижняя мозжечковая артерия; ВМА — верхняя мозжечковая артерия; ПНМА — передняя нижняя мозжечковая артерия; ЛСА — лентикюлостриарная артерия.

Note. DCA — distal cerebral aneurysm; ACA — anterior cerebral artery; MCA — middle cerebral artery; PCA — posterior cerebral artery; PICA — posterior inferior cerebellar artery; SCA — superior cerebellar artery; AICA — anterior inferior cerebellar artery; LSA — lenticulostriate artery.

Таблица 3. Размеры дистальных аневризм в зависимости от формы аневризмы

Table 3. Size of distal cerebral aneurysms depending on their shape

Тип аневризмы Aneurysm type	Число аневризм, n (%), определенного размера (от 7 до 25), мм Number of aneurysms, n (%) of certain size (from 7 to 25), mm			
	≤ 7	7,1–15	15,1–25	≥ 25
Мешотчатый Saccular	100 (77,5)	18 (14)	8 (6,2)	3 (2,3)
Фузиформный Fusiform	7 (29,2)	8 (33,3)	3 (12,5)	6 (25)
Всего Total	107 (69,9)	26 (17)	11 (7,2)	9 (5,9)

3. Хирургическое лечение

В настоящее время доказано преимущество микрохирургии ДА головного мозга по сравнению с эндоваскулярным способом: для микрохирургического лечения характерны большая радикальность выключения аневризмы и большая вероятность сохранения просвета несущей артерии [1, 3, 11–17].

Локализация и анатомические особенности аневризмы послужили основными факторами, определяющими нашу тактику хирургического лечения. Хирургические доступы зависели от сегмента, на котором

располагалась ДА. Максимально часто при хирургических доступах использовали нейронавигацию.

Выявлены основные методы хирургического лечения — клипирование и треппинг (табл. 4).

Клипирование чаще удалось выполнить при аневризмах ПКА (91,6 %), треппинг и окутывание — при аневризмах ЗМА (68,8 % и 12,4 % соответственно). Дистальная ревааскуляризация проведена в 9 (5,9 %) наблюдениях. Треппинг или иссечение ДА чаще выполняли при фузиформном (79,2 %), чем мешотчатым (13,2 %) строении.

Таблица 4. Варианты хирургического лечения и частота их применения в зависимости от локализации дистальных аневризм

Table 4. Surgical options and their frequency depending on the location of distal cerebral aneurysms

Локализация ДА DCA location	Частота применения при разных методах хирургического лечения, n (%) Frequency of application of type of surgical treatment, n (%)			Всего аневризм, n Total number of aneurysms, n
	Клипирование Clipping	Треппинг/иссечение Trapping/Excision	Окутывание Enveloping	
ПМА ACA	76 (91,6)	6 (7,2)	1 (1,2)	83
СМА MCA	22 (59,5)	15 (40,5)	0 (0)	37
ЗМА PCA	3 (18,8)	11 (68,8)	2 (12,4)	16
ЗНМА PICA	11 (78,8)	3 (21,4)	0 (0)	14
Другие Other	2 (66,7)	1 (33,3)	0 (0)	3
Всего Total	114 (74,5)	36 (23,5)	3 (2)	153 (100)

Примечание. См. примечание к табл. 1.

Note. See the note for Table 1.

4. Нейронавигация в хирургии дистальных аневризм

За исследуемый период нейронавигацию применяли у 42 пациентов при ДА, локализующихся на ПКА, М2–М4-сегментах СМА и Р3–Р4-сегментах ЗМА.

Чаще использовали нейронавигацию в хирургии аневризм ПКА. Удалось снизить число осложнений (назальная ликворея, инфекция), связанных со вскрытием лобной пазухи, с 12,9 до 4,8 %. Расстояние от нижнего края костного окна до аневризмы в среднем уменьшили на 15,8 мм, тем самым оптимизировав хирургическую траекторию. Необходимый размер трепанационного окна стал меньше, благодаря пониманию четкой траектории до аневризмы, что привело к снижению травматичности хирургической операции.

Хирургия ДА СМА стала 2-й по частоте применения нейронавигации. Использование нейронавигации позволяет хирургу выполнить ограниченную диссекцию латеральной щели, тем самым уменьшая хирургическую агрессию. Особенно важно это при аневризме М3-, М4-сегментов СМА. Протяженность диссекции латеральной щели в нашей работе колебалась от 1,6 до 3,4 (Me = 2,1) см, при реваскуляризации – от 2,2 до 4,4 (Me = 3,1) см. Считаем, что использование нейронавигации также может привести к уменьшению размеров костного лоскута и снижению травматизации височной мышцы. В нашей работе нейронавигация помогла найти и выключить из кровотока ДА ЗМА. Все 3 операции выполнены из линейного разреза длиной не более 7 см.

5. Контроль проходимости артерий

и реваскуляризация в хирургии дистальных аневризм

Дистальные аневризмы головного мозга часто имеют маленький размер (77,5 %), широкую шейку (31,8 %)

и фузиформное строение (15,7 %). Все вышеперечисленные факторы указывают на необходимость использования интраоперационных методик, позволяющих контролировать проходимость связанных с аневризмой сосудов после клипирования аневризмы. Всего проведено 61 (39,9 %) исследование из 153 операций по поводу ДА головного мозга. Использование разных методов контроля проходимости артерий, несущих аневризму, привело к тому, что в 11 (18,1 %) наблюдениях выявлены нарушения разной степени выраженности. Коррекция: после проверки в 10,3 % изменили расположение клипса, в 3,1 % – провели наложение анастомоза. В 4,7 % случаев коррекция не проводилась, а было выполнено иссечение или треппинг аневризмы. Чаще нарушения проходимости после клипирования выявляли при ДА на ПКА и СМА.

В данной работе мы выполнили 9 реваскуляризирующих операций (5,9 % от всех операций при ДА), из них 8 – прямая реваскуляризация, 1 – непрямая (энцефалодуромиясинангиоз). Все операции выполнены только в бассейнах ПМА ($n = 2$) и СМА ($n = 7$).

Нейронавигация, контроль проходимости артерий и реваскуляризация стали шире использоваться в современной хирургии ДА (рис. 6). Считаем, и это подкрепляется нашим опытом, что развитие метода реваскуляризации в бассейне ЗНМА и ЗМА весьма перспективно.

6. Результаты хирургического лечения

Для проведения подробного анализа результатов хирургического лечения всех пациентов разделили на 2 группы: с разрывом аневризмы и без него. Кроме этого, важно было сравнить больных, которых оперировали до 2017 г. (группа сравнения) и после (контрольная группа).

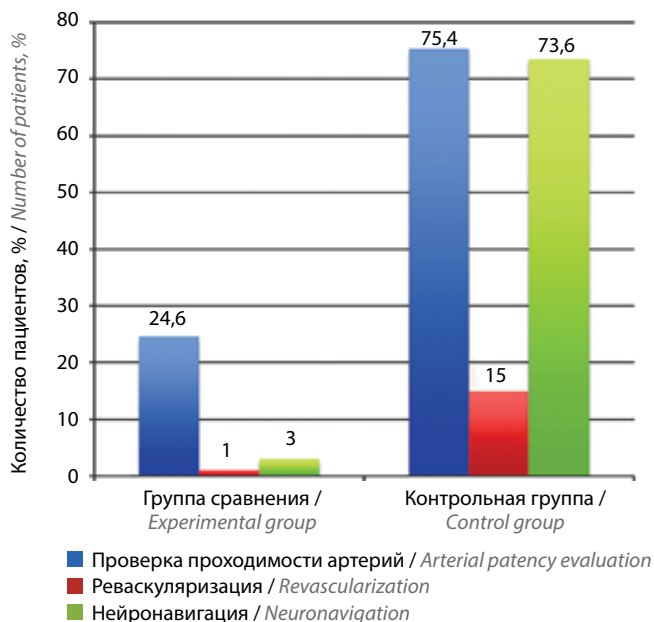


Рис. 6. Частота использования методов проверки проходимости артерий, реваскуляризации и нейронавигации в группах: сравнения (n = 100; 2000–2016 гг.) и контрольной (n = 53; 2017–2019 гг.)

Fig. 6. Frequency of using arterial patency evaluation, revascularization, neuronavigation in groups: experimental (n = 100; 2000–2016) and control (n = 53; 2017–2019)

Результаты хирургического лечения оказались предсказуемо хуже в группе с разорвавшимися ДА (рис. 7).

Проанализированы результаты хирургического лечения в зависимости от использования во время операции нейронавигации, контроля проходимости несущих аневризму артерий и применения реваскуляризации при деструктивных методах клипирования. Несмотря на то что статистически значимой разницы не выявлено (ввиду малочисленности и гетерогенности групп), прослеживается общая тенденция на улучшение результатов хирургического лечения (табл. 5).

Таким образом, очевидно, что отказ от использования данных методик служит своеобразным фактором, ухудшающим результаты хирургического лечения.

7. Создание алгоритма лечения

Определение факторов риска неблагоприятного исхода позволяет разработать алгоритм хирургического лечения данной категории больных и в некоторых ситуациях выбрать альтернативные (эндоваскулярные) методы лечения.

Пациенты с ДА, как и больные с ПА, имеют схожие факторы риска неблагоприятного исхода: наличие разрыва аневризмы, тяжесть состояния больного перед операцией (по шкале mWFNS), выраженность кровоизлияния (по шкале С.М. Fisher), наличие ВМГ, ВЖК, дислокации мозга и окклюзионной гидроцефалии, наличие и выраженность церебрального ангиоспазма, пожилой возраст пациента, локализация, размер и форма аневризмы. Однако статистически значимы-

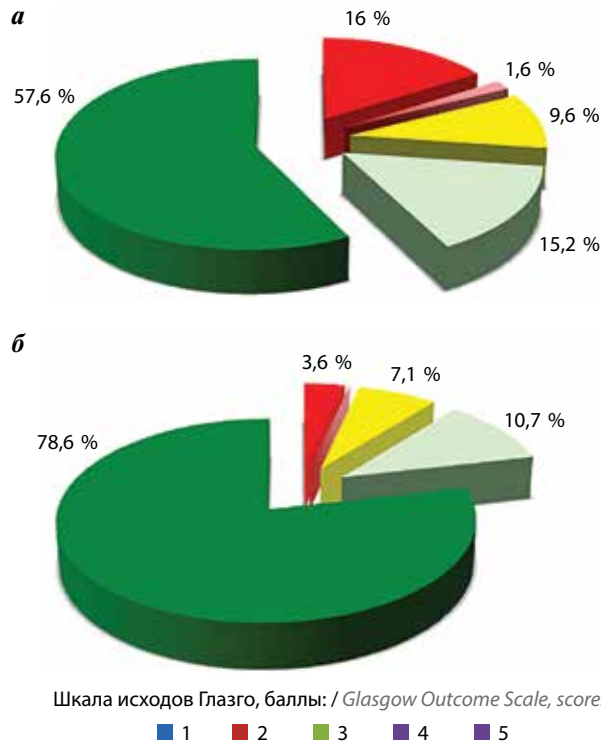


Рис. 7. Результаты (по шкале исходов Глазго) хирургического лечения аневризм головного мозга: а – ДА с разрывом; б – ДА без разрыва

Fig. 7. Surgical outcomes (Glasgow Outcome Scale) in patients with distal cerebral aneurysms: а – ruptured aneurysms; б – unruptured aneurysms

ми факторами, влияющими на исход хирургического лечения пациентов с разорвавшимися ДА в нашей работе, оказались 3 фактора: локализация аневризмы ($p = 0,005$), тяжесть состояния при поступлении по шкале mWFNS ($p = 0,002$) и наличие выраженного церебрального ангиоспазма в периоперационном периоде ($p = 0,04$). Для пациентов с неразорвавшимися ДА выявлено 2 статистически значимых фактора, влияющих на исход хирургического лечения: локализация аневризмы ($p = 0,025$) и ее размер ($p = 0,03$).

С учетом анатомо-топографических особенностей ДА, факторов риска неблагоприятного исхода и результатов хирургического лечения был разработан алгоритм лечения больных с разорвавшимися (рис. 8) и неразорвавшимися (рис. 9) ДА.

Основные дирекционные факторы алгоритма: при разорвавшихся аневризмах – жизнеугрожающая дислокация мозга и локализация аневризмы; при неразорвавшихся аневризмах – наличие масс-эффекта и локализация аневризмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования уточнены анатомо-топографические особенности дистальных аневризм головного мозга (локализация, форма и размер аневризмы), которые влияют на выбор хирургического доступа и использование разных методов выключения аневризмы из кровотока (клипирование/треппинг).

Таблица 5. Зависимость результатов хирургического лечения дистальных аневризм от использования нейронавигации, контроля проходимости несущих аневризму артерий и применения реваскуляризации

Table 5. Correlation between surgical outcomes in patients with distal cerebral aneurysms and the use of neuronavigation, artery patency evaluation, and revascularization

Методики Methods	Исходы по шкале исходов Глазго, % Outcomes on the Glasgow outcome scale, %				
	1	2	3	4	5
Нейронавигация ($p^* = 0,076$) Neuronavigation ($p^* = 0,076$)					
Да ($n = 39$) Yes ($n = 39$)	5,1	0	5,1	10,3	79,5
Нет ($n = 114$) No ($n = 114$)	16,7	1,8	10,5	15,7	55,3
Контроль проходимости артерий ($p^* = 0,41$) Arterial patency control ($p^* = 0,41$)					
Да ($n = 61$) Yes ($n = 61$)	11,5	1,6	4,9	11,5	70,5
Нет ($n = 92$) No ($n = 92$)	15,2	1,1	12	16,3	55,4
Реваскуляризация после треппинга аневризмы ($p^* = 0,92$) Trapping followed by revascularization ($p^* = 0,92$)					
Да ($n = 8$) Yes ($n = 8$)	12,5	0	0	0	87,5
Нет ($n = 28$) No ($n = 28$)	14,3	0	17,9	28,5	39,3

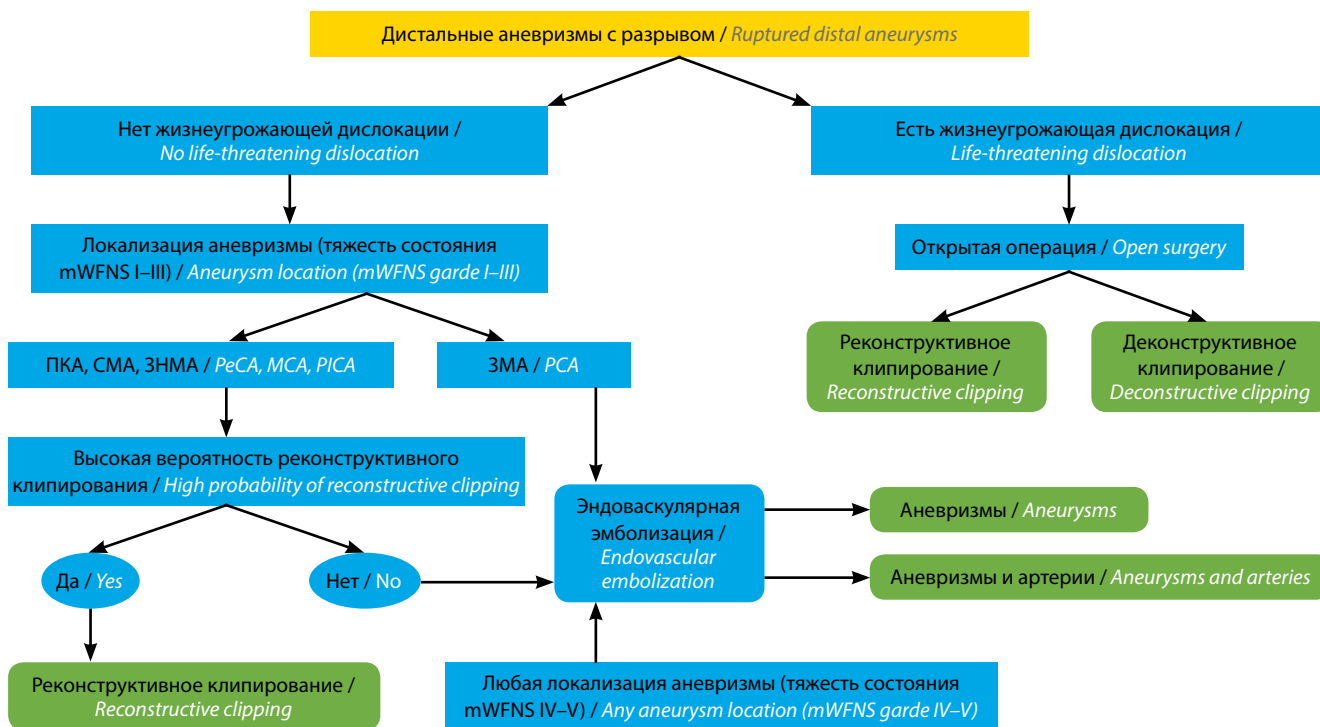
* p – критерий Краскела–Уоллиса.* p – Kruskal–Wallis test.**Рис. 8.** Алгоритм хирургического лечения пациентов с разорвавшимися ДА. См. примечание к табл. 1

Fig. 8. Algorithm of surgical treatment of patients with ruptured distal cerebral aneurysms. PeCA – pericallosal artery. See the note for Table 1

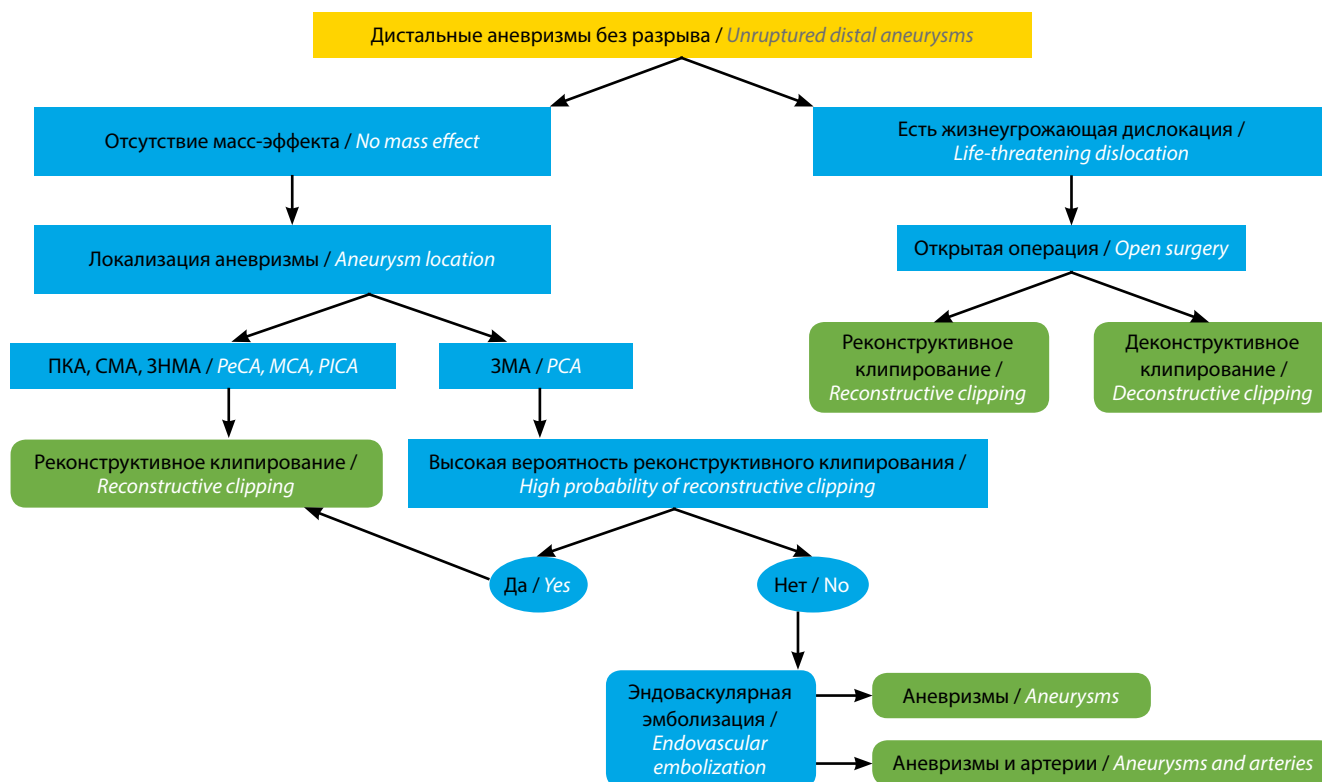


Рис. 9. Алгоритм хирургического лечения пациентов с неразорвавшимися ДА. См. примечание к табл. 1

Fig. 9. Algorithm of surgical treatment of patients with unruptured distal cerebral aneurysms. See the note for Table 1

Продemonстрировано, что использование нейронавигации в хирургии дистальных аневризм приводит к уменьшению травматичности операции, снижению частоты осложнений и улучшению результатов лечения. Выявлена необходимость выполнения контроля проходимости артерий и реваскуляризации в хирургическом лечении дистальных аневризм головного мозга. Применение данных методов в совокупности с нейронавигацией привело к снижению летальных исходов в среднем на 5 %.

Определены факторы риска неблагоприятного исхода хирургического лечения пациентов с дистальными аневризмами головного мозга: локализация и размер аневризмы, тяжесть состояния пациента по шкале mWFNS, наличие выраженного церебрального ангиоспазма.

Разработан алгоритм хирургического лечения дистальных аневризм головного мозга с учетом анатомо-топографических характеристик аневризмы и факторов риска неблагоприятного исхода.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Хирургия аневризм головного мозга. Под ред. В.В. Крылова. М.: Изд-во Т.А. Алексеева, 2011. Т. 2. 516 с.
Surgery for cerebral aneurysms. Ed. by V.V. Krylov. Moscow: Izd-vo T.A. Alekseeva, 2011. V. 2. 516 p. (In Russ.).
2. Nussbaum E.S., Madison M.T., Goddard J.K. et al. Peripheral intracranial aneurysms: management challenges in 60 consecutive cases. J Neurosurg 2009;110(1):7–13. DOI: 10.3171/2008.6.JNS0814
3. Rodriguez-Hernandez A., Zador Z., Rodriguez-Mena R., Lawton M.T. Distal aneurysms of intracranial arteries: application of numerical nomenclature, predilection for cerebellar arteries, and results of surgical management. World Neurosurg 2013;80(1–2): 103–12. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.09.010
4. Biondi A., Jean B., Vivas E. et al. Giant and large peripheral cerebral aneurysms: etiopathologic considerations, endovascular treatment, and long-term follow-up. Am J Neuroradiol 2006;27(8):1685–92.
5. Horiuchi T., Tanaka Y., Hongo K. et al. Characteristics of distal posteroinferior cerebellar artery aneurysms. Neurosurgery 2003;53(3):589–95; discussion 595–6. DOI: 10.1227/01.neu.0000079493.50657.1d
6. Goehre F., Jahromi B.R., Hernesniemi J. et al. Characteristics of posterior cerebral artery aneurysms: an angiographic analysis of 93 aneurysms in 81 patients. Neurosurgery 2014;75(2):134–44. DOI: 10.1227/NEU.00000000000000363
7. Aguiar P., Estevao I.A., Pacheco C.C. et al. Distal anterior cerebral artery (pericallosal artery) aneurysms: report of 19 cases and literature review. Turk Neurosurg 2017;27(5):725–31. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.17412-16.2
8. Wu C., Sun Z., Wang F. et al. Surgical managements of peripheral intracranial aneurysms. Zhonghua Yi Xue Za Zhi 2014;94(9):698–700. (In Chin.).

9. Sano H., Inamasu J., Kato Y. et al. Modified world federation of neurological societies subarachnoid hemorrhage grading system. *Surg Neurol Int* 2016;7(Suppl 18):S502–3. DOI: 10.4103/2152-7806.187491
10. Wiebers D.O., Whisnant J.P., Huston J. 3rd et al. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, risk of surgical and endovascular treatment. International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators. *Lancet* 2003;362(9378):103–10. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)13860-3
11. de Sousa A.A., Dantas F.L., de Cardaso G.T., Costa B.S. Distal anterior cerebral artery aneurysms. *Surg Neurol* 1999;52(2): 128–36. DOI: 10.1016/S0090-3019(99)00066-X
12. Sejkorova A., Cihlar F., Hejci A. et al. Microsurgery and endovascular treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms. *Neurosurg Rev* 2016;39(1):159–68. DOI: 10.1007/s10143-015-0659-6
13. Mascitelli J.R., Yaeger K., Wei D. et al. Multimodality treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms. *World Neurosurg* 2017;106:493–503. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.07.024
14. el Beltagy M., Muroi C., Imhof H.G., Yonekawa Y. Peripheral large or giant fusiform middle cerebral artery aneurysms: report of our experience and review of literature. *Acta Neurochir Suppl* 2008;103:37–44. DOI: 10.1007/978-3-211-76589-0_8
15. Kalani M.Y.S., Ramey W., Albuquerque F.C. et al. Revascularization and aneurysm surgery: techniques, indications, and outcome in the endovascular era. *Neurosurgery* 2014;74(5):482–97; discussion 497–8. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000312
16. Petr O., Coufalova L., Bradac O. et al. Safety and efficacy of surgical and endovascular treatment for distal anterior cerebral artery aneurysms: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2017;100:557–66. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.11.134
17. Petr O., Sejkorova A., Bradac O. Safety and efficacy of treatment strategies for posterior inferior cerebellar artery aneurysms: a systematic review and meta-analysis. *Acta Neurochir (Wien)* 2016;158(12):2415–28. DOI: 10.1007/s00701-016-2965-3

Вклад авторов

И.В. Сенько: разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных, написание статьи;

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

В.Г. Дашьян: разработка дизайна исследования, научное редактирование;

И.В. Григорьев: редактирование статьи.

Author's contribution

I.V. Senko: research design of the study, data collection and analysis, article writing;

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

V.G. Dashyan: research design of the study, scientific editing of the article;

I.V. Grigoriev: editing of the article.

ORCID авторов/ ORCID of authors:

И.В. Сенько / I.V. Senko: <https://orcid.org/0000-0002-5743-8279>

В.В. Крылов / V.V. Krylov: <https://orcid.org/0000-0001-5256-0905>

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

И.В. Григорьев / I.V. Grigoriev: <https://orcid.org/0000-0002-1320-5772>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. All patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 21.03.2022. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 21.03.2022. **Accepted for publication:** 25.05.2022.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА СУБДУРАЛЬНОЙ ГЕМАТОМЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

В.В. Виноградов, Б.С. Чубун, Д.Е. Алексеев, А.А. Рафаелян, К.А. Диких, Д.В. Свистов

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России; Россия, 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

Контакты: Вячеслав Вадимович Виноградов Slava-Vinograd@yandex.ru

Введение. При диагностике субдуральных гематом травматического, сосудистого и иного генеза часто возникает сложность в точном расчете их объема, что создает затруднения при выборе оптимальной тактики нейрохирургического лечения.

Цель исследования – провести сравнительный анализ точности различных способов вычисления объема субдуральных гематом для повышения качества оценки результатов лучевых методов исследования при выборе хирургической тактики.

Материалы и методы. Использованы данные предоперационной компьютерно-томографической диагностики 20 пациентов (15 мужчин и 5 женщин в возрасте от 20 до 60 лет) с подтвержденным диагнозом субдуральной гематомы, находившихся на обследовании и лечении в клинике нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. Было сформировано 4 группы в зависимости от того, какой метод расчета применяли: с использованием формул расчета объема – эллипсоида или выпукло-вогнутой линзы (форма которой наиболее соответствует форме субдуральной гематомы); электронный алгоритм расчета объема (программа Gamma MultiVox D2, ООО «Гаммамед-Софт», Россия); контрольный метод (ручной посрезовый подсчет площадей сформированных структур с последующей суммацией).

Результаты. Отклонения полученных значений отмечались в диапазоне от +18 до –16 %. Отклонения при расчетах по формуле объема эллипсоида составили +46 и –19 %; по формуле выпукло-вогнутой линзы +38 и –35 % соответственно. Электронный алгоритм расчета (Gamma MultiVox D2) показал себя как наиболее точный метод по сравнению с остальными исследуемыми, а также с контрольным.

Заключение. При сравнительном анализе точности исследуемых методик вычисления объема субдуральной гематомы установлено, что медианы результатов статистически не отличаются, что допускает использование и выбор данных методов в зависимости от собственных предпочтений нейрохирурга.

Исследование алгоритма по формуле объема эллипсоида позволяет говорить о низкой специфичности данного метода, сравнительно высоких отклонениях результата от истинного с тенденцией к завышению значений.

Метод расчета по формуле объема выпукло-вогнутой линзы показал средний результат, если форма гематомы соответствует идеальной форме фигуры, заключенной между двумя сегментами шара. В случае несоответствия формы наблюдались значительные отклонения в сторону как переоценки, так и недооценки объема гематомы.

Расчет с помощью программного обеспечения Gamma MultiVox D2 показал наибольшую точность, наименьший диапазон отклонения от контрольных данных, универсальность, независимость как от формы и локализации субдуральной гематомы, так и от выбора среза, на котором в других алгоритмах необходимо проводить соответствующие измерения.

Отметим, что точность определения объема субдуральной гематомы исследуемыми методами прямо пропорциональна количеству времени, затраченному на расчет.

Ключевые слова: субдуральная гематома, расчет объема, сравнительный анализ, черепно-мозговая травма, Gamma MultiVox D2

Для цитирования: Виноградов В.В., Чубун Б.С., Алексеев Д.Е. и др. Определение объема субдуральной гематомы: сравнительный анализ методов расчета. Нейрохирургия 2022;24(3):23–31. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-23-31

Determination of subdural hematoma volume: Comparative analysis of calculation methods

V.V. Vinogradov, B.S. Chubun, D.E. Alekseev, A.A. Rafaelyan, K.A. Dikikh, D.V. Svistov

Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6 Akademika Lebedeva St., Saint-Petersburg 194044, Russia

Contacts: Vyacheslav Vadimovich Vinogradov *Slava-Vinograd@yandex.ru*

Background. Accurate calculation of the volume of subdural hematomas of traumatic, vascular, and other origins during diagnosis is complicated which leads to difficulties in selection of optimal tactics of neurosurgical treatment.

Aim. To preform comparative analysis of accuracy of different methods of subdural hematoma volume calculations to increase the quality of evaluation of the results of radiological methods in selection of surgical tactics.

Materials and methods. Data from preoperative computed tomography of 20 patients (15 men and 5 women between the ages of 20 and 60 years) with confirmed diagnosis of subdural hematoma who were examined and treated at the Neurosurgery Clinic of the Kirov Military Medical Academy were used. Four groups were formed based of the calculation method: two groups using formulas for volume of ellipsoid or convexo-concave lens (the shape most accurately representing the shape of subdural hematoma); electronic algorithm of volume calculation (Gamma MultiVox D2 software, Gammamed-Soft, Russia); control method (manual sectional calculation of areas of the formed structures with subsequent summation).

Results. Deviations between the obtained values varied between +18 and –16 %. Deviations for calculations using ellipsoid volume formula were +46 and –19 %; using convexo-concave lens formula +38 and –35 %, respectively. Electronic calculation algorithm (Gamma MultiVox D2) showed the best accuracy compared to other methods including the control method.

Conclusions. Comparative analysis of the accuracy of the studied methods of calculation of subdural hematoma volume showed that median results are statistically similar which allows for selection and use of these methods in accordance with the neurosurgeon's preferences.

Study of the algorithm based on ellipsoid volume shows low specificity of this method, comparatively high deviations of the results from the true value with a trend toward overprediction.

Calculation using volume of convexo-concave lens showed intermediate result if the shape of the hematoma corresponded to the ideal shape of a figure enclosed between two segments of a sphere. In cases where the shape did not correspond to the convexo-concave lens, both overprediction and underprediction of hematoma volume were observed.

Calculations using the Gamma MultiVox D2 software showed the highest accuracy, lowest range of deviation from the control data, best versatility, independence from both the shape and location of the subdural hematoma, as well as selection of a section used in other algorithms for the measurements.

It should be noted that accuracy of determination of subdural hematoma volume by the studied methods is directly proportional to time necessary for calculation.

Keywords: subdural hematoma, volume calculation, comparative analysis, traumatic brain injury, Gamma MultiVox D2

For citation: Vinogradov V.V., Chubun B.S., Alekseev D.E. et al. Determination of subdural hematoma volume: Comparative analysis of calculation methods. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):23–31. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-23-31

ВВЕДЕНИЕ

Травматизм, особенно связанный с повреждением черепа и головного мозга (ГМ), остается актуальной проблемой систем здравоохранения большинства развитых стран, так как продолжает быть ведущей причиной смертности и инвалидизации населения. Встречаемость черепно-мозговых травм (ЧМТ) среди населения составляет до 3–4 случаев на 100 человек в год [1]. Сдавление ГМ субдуральной гематомой (СДГ) — одна из наиболее частых клинических форм ЧМТ. Так, согласно K.G. Jamieson и J.D. N. Yelland, пострадавшие с острой СДГ составили 5 % среди всех поступивших с ЧМТ в 1 лечебное учреждение [1]. При тяжелой ЧМТ частота развития СДГ достигает 9–22 % [1, 2], а случаи хронической СДГ среди хирургически значимых внутричерепных кровоизлияний составляют 12–25,5 %. На долю СДГ приходится до 7 % всех внутричерепных патологических образований [3], что делает проблему своевременной диагностики и выбора оптимальной тактики лечения данной группы пациентов актуальной для современной практической нейрохирургии [4–6].

Известную сложность представляет быстрая интерпретация данных компьютерной томографии (КТ) при исследовании ГМ в условиях ограниченного времени при выборе оптимальной тактики при оказании неотложной нейрохирургической помощи. Одним из основных критериев, учитываемых при определении показаний к хирургическому лечению по поводу СДГ, служит ее объем, как правило, определяемый ориентировочно по данным КТ головы [7, 8]. Объем СДГ варьирует в широком диапазоне от 30 до 250 мл, но чаще не превышает 80–150 мл [2, 4]. Точный расчет объема СДГ затруднен в связи с отсутствием стандартного алгоритма или общепринятой формулы, из-за чего в практической нейрохирургии могут возникать диагностические и тактические ошибки, основанные на неверной оценке объема кровоизлияния, динамики КТ-картины.

Цель исследования — провести сравнительный анализ точности различных способов вычисления объема СДГ при лучевом исследовании, что улучшит его эффективность и, как результат, позволит оптимизировать выбор хирургической тактики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использованы данные предоперационной КТ-диагностики 20 пациентов (15 мужчин и 5 женщин в возрасте от 20 до 60 лет) с подтвержденным диагнозом СДГ, находившихся на обследовании и лечении в клинике нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова в 2020–2021 гг. В зависимости от того, какой метод расчета применяли, сформировано 4 группы (по 20 пациентов). Объем гематом подлежал расчету 1 эталонным (контрольным) и 3 исследуемыми методами. В основу контрольного метода лег ручной посрезовый расчет площадей, занимаемых на КТ-срезах гематомой, с последующим умножением площади на толщину среза и дальнейшим сложением результатов, полученных во всех срезах с гематомой. В нашей работе проанализированы 3 метода (алгоритма) с применением:

- 1) формулы расчета объема эллипсоида (прямое перемножение 3 наибольших перпендикулярных размеров гематомы с последующим делением на 2);
- 2) формулы расчета объема выпукло-вогнутой линзы (ВВЛ), форма которой наиболее соответствует форме СДГ;
- 3) электронного алгоритма расчета объемов образований (программа Gamma MultiVox D2, ООО «Гаммамед-Софт», Россия), основанного на автоматической или полуавтоматической сегментации изображений.

Метод 1. Формула расчета объема эллипсоида

По своей сути это вариант упрощения формул расчета объема 3-мерных фигур, имеющих 3 главных размера в 3 взаимно перпендикулярных плоскостях: $(a \cdot b \cdot c) / 2$. Данный алгоритм расчета нашел применение во множестве различных направлений лучевой диагностики. Для нейрохирургии он интересен с позиций определения объемов образований в центральной нервной системе: опухолей, сосудистых мальформаций, а также паренхиматозных и эпидуральных гематом. Алгоритм расчета прост: необходимо изучить КТ-изображения в аксиальной, сагиттальной и коронарной проекциях и выявить 3 наибольших размера в перпендикулярных (относительно друг друга) плоскостях (рис. 1). При автоматизации процесса расчета (путем заполнения простой таблицы формул в формате Excel) время, необходимое на проведение данной манипуляции, не превышает 2–3 мин. Кроме того, вычисления достаточно быстро делаются на калькуляторе или в уме без использования технических средств.

Метод 2. Формула расчета объема выпукло-вогнутой линзы

Данная формула позволяет более целенаправленно подходить к определению объема СДГ. Это связано, в первую очередь, с ориентированностью указанной формулы на определение объема фигур, одна из по-

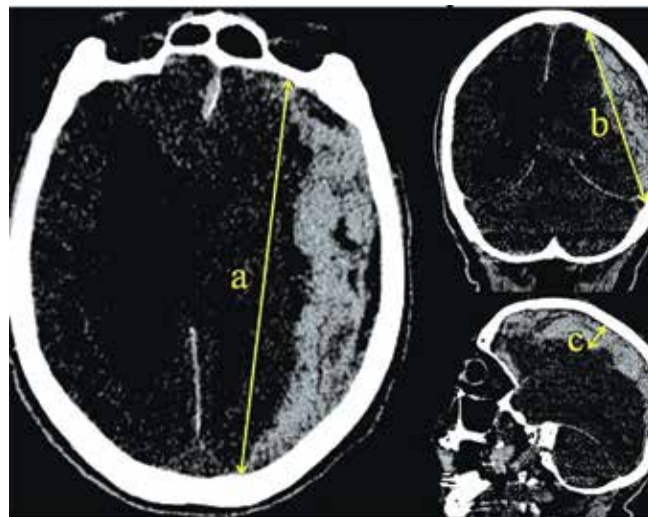


Рис. 1. Схема (на компьютерной томограмме) выделения в 3 взаимно перпендикулярных плоскостях 3 главных размеров (a, b, c) субдуральной гематомы, применяемых для формулы расчета объема эллипсоида

Fig. 1. Diagram (on a computed tomography scan) of selection of the 3 main dimensions (a, b, c) of a subdural hematoma in 3 mutually perpendicular planes used in the ellipsoid volume formula

верхностей которых вогнута по тому же вектору направления, по которому выгнута другая сторона. Это соответствует форме СДГ, ограничиваемой с одной стороны вогнутой внутренней поверхностью твердой мозговой оболочки, прилежащей к костям мозгового черепа, а с другой — выпуклой поверхностью ГМ. Данная формула выведена путем геометрических вычислений отношений фигур. Это обосновано соответствием форм СДГ и ВВЛ. Расчет объема фигуры с формой ВВЛ можно упростить, если считать, что она образуется в пересечении 2 сегментов шаров неравных радиусов, но с одним общим основанием (рис. 2, 3). Таким образом, алгоритм расчета фигуры с формой ВВЛ представляет собой разность между объемами 2 сегментов шаров/эллипсоидов и представлен следующей формулой:

$$V = \pi \times \left(\frac{h_2^2 \times L^2 + h_2^3}{2} - \frac{1}{3} \times h_2^3 - \frac{h_1 \times L^2 + h_1^3}{2} + \frac{1}{3} \times h_1^3 \right),$$

где V — объем фигуры формы ВВЛ; h_2 — высота верхнего сегмента шара, выполняющего собой выпуклую часть фигуры; L — диаметр общего основания сегментов шаров; h_1 — высота нижнего сегмента шара, выполняющего собой вогнутую часть фигуры.

Метод 3. Программа Gamma MultiVox D2

Электронный алгоритм расчета объемов образований в программе Gamma MultiVox D2 (ООО «Гаммамед-Софт», Россия) используется также для исследования точности расчета. Функционал программы позволяет загружать файлы в формате DICOM (Digital

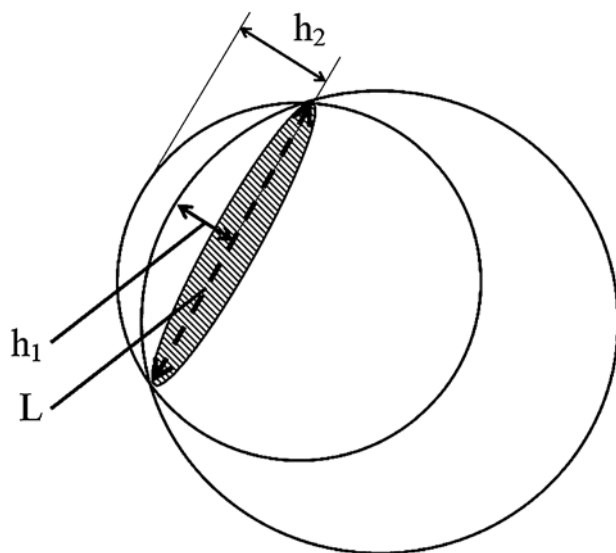


Рис. 2. Схема геометрического обоснования формулы расчета объема фигуры с формой выпукло-вогнутой линзы

Fig. 2. Diagram of the geometrical justification for calculation of volume of a figure of convexo-concave lens shape

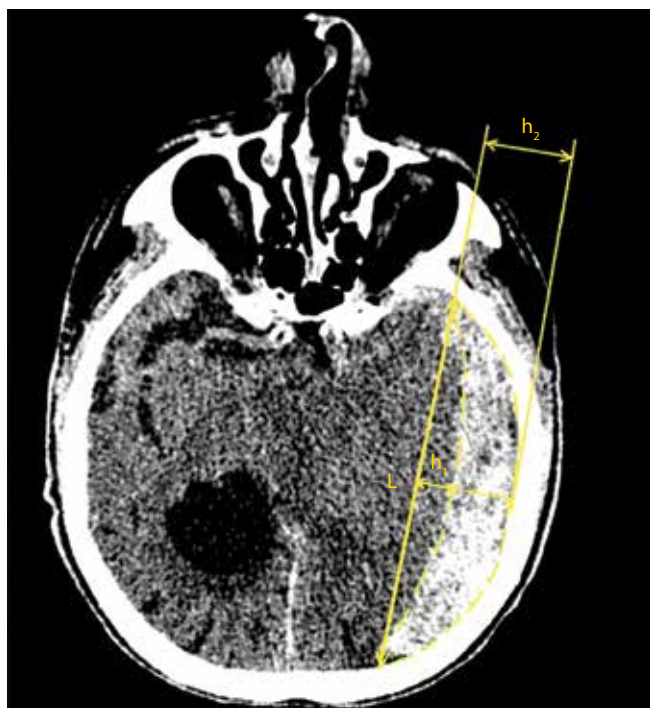


Рис. 3. Схема выделения размеров субдуральной гематомы (КТ-изображение), необходимых для формулы расчета объема фигуры с формой выпукло-вогнутой линзы

Fig. 3. Diagram of selection of subdural hematoma dimensions (CT scan) used in the formula for calculation of volume of a figure of convexo-concave lens shape

Imaging and Communications in Medicine — стандарт «Цифровая визуализация и коммуникации в медицине») и выделять с шагом в несколько срезов контуры объемного образования (в данном исследовании — гематомы) (рис. 4). Программа автоматически достраи-



Рис. 4. Субдуральная гематома (КТ-изображение): процесс сегментации контура, выполненной при помощи виртуальных инструментов программного пакета Gamma MultiVox D2

Fig. 4. Segmentation of subdural hematoma contour (CT scan) using virtual instruments of the Gamma MultiVox D2 software package

вает аналогичные контуры на промежуточных срезах, основываясь на контрольных контурах, установленных вручную, и градиенте плотности тканей по Хаунсфилду (G.N. Hounsfield). Подсчет общего объема проводили программным методом в интерфейсе отображения снимков и выделения контуров.

Сбор данных и статистическая обработка

Полученные результаты обрабатывали с помощью программных пакетов Microsoft Office Excel 2016 и Statistica 10.0. Для проверки нормальности распределения, помимо визуального анализа гистограмм, использовали методы Колмогорова—Смирнова (Kolmogorov — Smirnov test) с поправкой Лиллиефорса (Lilliefors test), а также W-пробу Шапиро—Уилка (Shapiro—Wilk's W test). Дисперсионный анализ (Analysis of Variance, ANOVA): для оценки влияния выбранных методов на дисперсию показателя точности расчета по отношению к контрольным значениям применяли H-критерий Краскела—Уоллиса (Kruskal—Wallis ANOVA) и дальнейшее попарное сравнение групп с помощью U-критерия Манна—Уитни (Mann—Whitney U test).

Для сравнительной оценки отклонений расчета сформированы диаграммы размаха и категоризованные гистограммы с предварительным расчетом медиан и квартилей процентных отклонений результатов вычислений от контрольных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчетов объема СДГ различными методами, а также время, затраченное на каждую такую процедуру вычисления, представлены в табл. 1. Разница между результатами вычислений исследуемыми методами и контрольными значениями выводилась в процентном отношении. Тенденции к гипер- и гиподиагностике (отклонения результата в большую или меньшую сторону по сравнению с конт-

рольным значением) выявлены соответственно положительным и отрицательным показателям отклонения. Эти материалы представлены в табл. 2. Результаты позволяют установить общие закономерности, связанные с применением различных методов расчета объема СДГ, провести анализ их точности по сравнению с контрольными посрезовыми измерениями и вычислить погрешности того или иного метода расчета.

Таблица 1. Результаты расчета объема субдуральных гематом с применением контрольного метода и исследуемых алгоритмов

Table 1. Results of calculations of subdural hematoma volumes using the control method and the studied algorithms

Наблюдение Observation	Результаты разных методов расчета Results of different calculation methods							
	Контрольный (по срезам) Control (sectional)		По формуле объема эллипсоида Ellipsoid volume formula		По формуле объема фигуры с формой ВВЛ Formula for volume of a figure of CCL shape		Программный (Gamma MultiVox D2) Software (Gamma MultiVox D2)	
	Объем СДГ, мл SDH volume, ml	Время расчета, мин Calculation time, min	Объем СДГ, мл SDH volume, ml	Время расчета, мин Calculation time, min	Объем СДГ, мл SDH volume, ml	Время расче- та, мин Calculation time, min	Объем СДГ, мл SDH volume, ml	Время рас- чета, мин Calculation time, min
1	60,0	93,21	82,6	1,18	84,78	1,63	55,56	3,60
2	128,6	131,76	143,8	0,93	187,85	2,80	143,17	5,85
3	109,0	142,70	116,2	1,38	121,55	2,20	92,32	3,83
4	127,4	165,34	152,16	1,96	178,05	2,58	133,84	5,40
5	173,0	218,15	204,6	1,20	238,87	3,58	175,50	6,86
6	88,2	106,21	93,12	0,88	80,00	1,20	79,31	7,01
7	94,8	115,09	84,32	1,30	86,00	1,11	72,90	3,91
8	280,0	244,54	264,4	2,16	328,20	3,73	288,70	11,88
9	23,3	47,19	42,8	0,96	37,20	1,38	28,33	4,36
10	30,0	52,82	24,3	0,70	21,64	1,61	33,49	7,31
11	43,2	61,17	46,76	1,05	65,77	2,18	44,85	7,53
12	144,0	156,22	138,34	1,61	126,11	2,58	135,24	8,10
13	63,0	72,23	54,2	1,01	41,71	1,35	53,29	6,25
14	152,0	188,12	142,4	1,36	208,80	3,65	155,99	17,25
15	181,0	211,01	168,2	1,88	141,56	2,01	165,83	11,50
16	94,2	112,08	86,2	1,11	100,05	2,25	84,13	4,00
17	136,2	152,73	161,64	1,23	159,16	3,30	121,79	7,40
18	88,0	104,11	93,15	1,03	106,10	1,88	80,31	3,15
19	165,0	177,47	198,7	1,85	183,25	2,48	156,52	4,26
20	181,45	202,81	211,0	2,23	187,60	3,55	182,50	4,76
Медиана значе- ния [25 и 75 квартили] Median value [25 th and 75 th quartiles]	—	137,23 [98,66–182,795]	—	1,215 [1,02–1,73]	—	2,225 [1,62–3,05]	—	6,05 [4,13–7,465]

Примечание. ВВЛ — выпукло-вогнутая линза; СДГ — субдуральная гематома.

Note. CCL stands for convexo-concave lens, SDH — subdural hematoma.

Таблица 2. Процентные отклонения результатов расчета объема субдуральной гематомы исследуемыми методами от контрольных значений
Table 2. Deviation in percentage of the results of subdural hematoma volume calculations using the studied methods from the control values

На- блю- дение Observ- ation	Процентное отклонение (от контрольного) исследуемого метода, % Deviation in percentage (from the control) of the studied method, %		
	по формуле объема эллипсоида ellipsoid volume formula	по формуле объема фигуры формы ВВЛ formula for volume of a figure of CCL shape	по программе Gamma MultiVox D2 Gamma MultiVox D2 software
1	27,30	29,22	–7,40
2	10,57	31,54	10,17
3	6,19	18,55	–15,30
4	18,24	28,44	4,81
5	15,44	28,83	1,42
6	5,28	–9,29	–10,07
7	–11,09	–8,86	–7,82
8	–5,57	14,68	3,00
9	45,56	37,36	17,75
10	–19,00	–27,86	10,42
11	7,60	34,31	3,67
12	–3,90	–12,42	–6,08
13	–13,96	–33,79	–15,41
14	–6,31	27,20	2,55
15	–7,07	–21,62	–8,38
16	–8,49	5,84	–10,69
17	15,73	14,42	–10,58
18	5,52	17,05	–8,73
19	16,96	9,95	–5,13
20	14,00	3,20	0,57

Примечание. СДГ – субдуральная гематома; ВВЛ – выпукло-вогнутая линза.
Note. SDH stands for subdural hematoma, CCL – convexo-concave lens.

При подсчете времени, затраченного на вычисление объема гематомы каждым из этих способов (см. табл. 1), установлено, что самый быстрый метод – использование формулы расчета объема эллипсоида (медиана длительности расчета составила 1,22 мин); немногим более 2 мин потребовалось для вычислений методом определения объема формы ВВЛ (медиана длительности расчета – 2,23 мин); расчет объема программным методом (Gamma MultiVox D2) по длительности занял около 6 мин (медиана длительности расчета – 6,05 мин). При анализе результатов путем общего, а затем попарного сравнения (дисперсионный анализ Фридмана – Friedman ANOVA, коэффициент согласованности Кендалла – Kendall's Coefficient of Concordance) полученных значений длительности расчета различия во всех группах оказались статистически значимы ($p < 0,0001$ при каждом межгрупповом сравнении).

Следует отметить, что контрольный для нашего исследования метод определения объема гематом (измерение на каждом срезе с последующей суммацией) часто требует более 2 ч временных затрат (медиана длительности – 137,23 мин), что резко снижает его практическую ценность при очевидной точности показателей. Такая длительность обусловлена замерами и расчетом размеров СДГ на каждом срезе, что обеспечивает надлежащую точность.

С помощью проведенных статистических методов Колмогорова–Смирнова и Лиллиефорса (Lilliefors test) на нормальность и W-пробы Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk's W test) установлено, что распределение результатов расчета объемов СДГ исследуемыми методами отличается от нормального. В связи с этим с целью сравнения количественных показателей применялся непараметрический H-критерий Краскела–Уоллиса (Kruskal–Wallis ANOVA), согласно которому установлено,

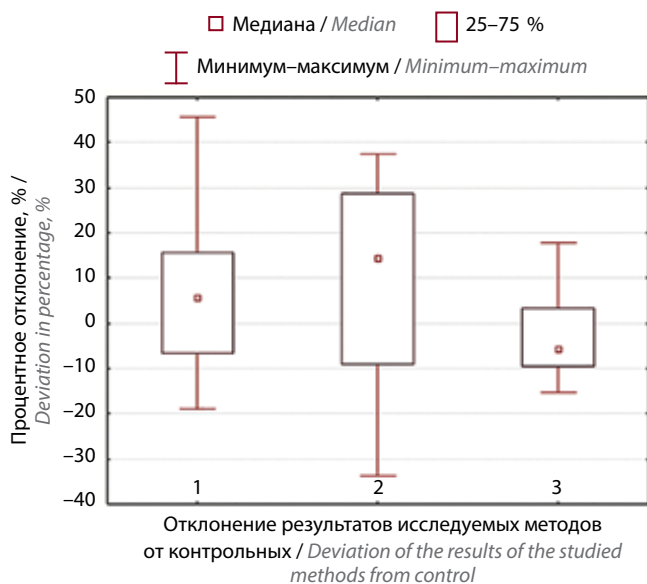


Рис. 5. Диаграмма процентных отклонений результатов расчета объема субдуральных гематом исследуемыми методами по сравнению с контрольными значениями. Медианные и квартильные границы отклонений. Методы расчета: 1 – по формуле объема эллипсоида; 2 – по формуле объема выпукло-вогнутой линзы; 3 – Gamma MultiVox D2

Fig. 5. Deviations in percents of the results of calculation of subdural hematoma volumes using the studied methods compared to the control values. Median and quartile limits of the deviations. Calculation methods: 1 – ellipsoid volume formula; 2 – convexo-concave lens volume formula; 3 – Gamma MultiVox D2

что различия между результатами исследования статистически значимы при $p < 0,02$.

Для выявления статистической значимости различий между конкретными группами использован непараметрический метод U-критерий Манна–Уитни (Mann–Whitney U test): выявлено, что отмеченные различия не значимы для всех результатов применения всех методов на уровне $p < 0,05$.

Для удобства визуальной сравнительной оценки медиан отклонений исследуемых результатов по сравнению с контрольными значениями построены диаграмма (рис. 5) и категоризованная гистограмма (рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования методов расчета объема СДГ позволяют судить о высокой универсальности метода расчета по формуле объема эллипсоида. Общие границы отклонений для указанного метода не превысили +46 и –19 % от контрольных значений объема СДГ: можно утверждать, что такое вычисление имеет тенденцию к завышению расчетного объема гематомы. Безусловные достоинства данного метода – техническая простота и высокая скорость вычисления приближительного объема. Главный недостаток – ориентированность формулы на расчет объема фигуры шаровидно-эллипсоидной формы, исключающей наличие вогнутых участков на своей поверхности, которыми характеризуется форма СДГ. Также данный факт

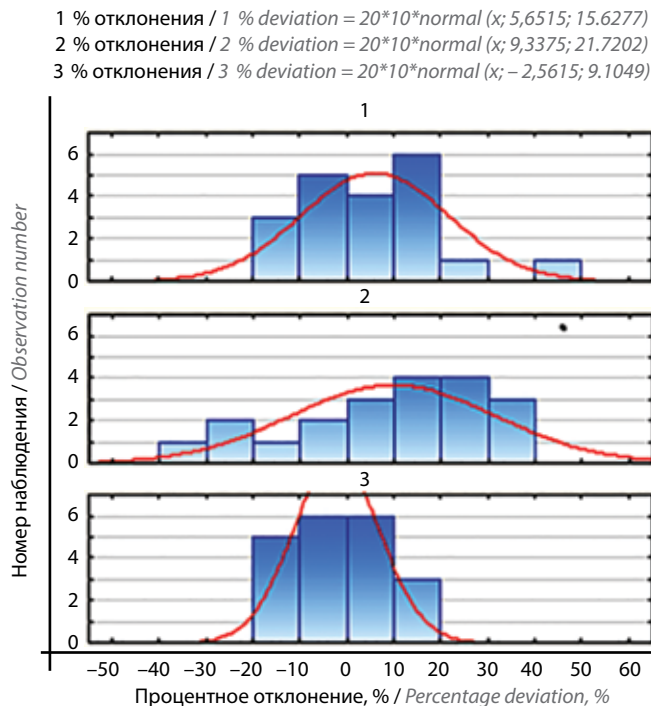


Рис. 6. Гистограмма отклонений результатов расчета объема субдуральных гематом, выраженных в процентах от контрольных значений. Методы расчета: 1 – по формуле объема эллипсоида; 2 – по формуле объема выпукло-вогнутой линзы; 3 – Gamma MultiVox D2

Fig. 6. Histogram of deviations of the calculation of subdural hematoma volumes presented as percentage of the control values. Calculation methods: 1 – ellipsoid volume formula; 2 – convexo-concave lens volume formula; 3 – Gamma MultiVox D2

не позволяет считать этот алгоритм информативным в вопросах измерения объемов распространенных СДГ с малой толщиной во фронтальной плоскости.

Методика расчета по формуле, подразумевающей вычисление объема фигуры ВВЛ (а СДГ в своем большинстве имеют именно такую форму), показала меньшую точность, а также высокую специфичность и зависимость от конкретной формы гематомы. Показатели отклонений не превысили +38,0 и –35,0 % соответственно. Точность результата напрямую зависит от степени соответствия формы СДГ идеальной ВВЛ, заключенной между 2 сферами с различными радиусами и пересекающимися сегментами. Качество и точность данного алгоритма при определении объема СДГ неправильной формы существенно ограничиваются в связи с невозможностью охвата объемов СДГ, выступающих за границы идеальной фигуры ВВЛ. На практике достаточно получения 3 размеров гематомы в аксиальной проекции КТ-изображения головы пациента. Это в определенной мере облегчает поиск наибольших размеров гематомы по осям. Выполнение формулы в программном пакете Excel с последующим расчетом позволяет сократить время вычисления, а также снизить влияние человеческого фактора на точность полученных результатов. Возможно применение указанного алгоритма в ограниченных

случаях, когда СДГ приближена к правильной форме ВВЛ с локализацией в областях лобных и теменных бугров без затеков в другие области головы [8–10].

Применение программы Gamma MultiVox D2 показало наиболее высокую точность расчета, что, однако, потребовало дополнительного времени на выгрузку файлов формата DICOM в программный продукт и на ручное выделение контуров гематомы на срезах, выполненных с одинаковым интервалом. Отклонение не превышало +18 и –16 %, что по сравнению с отклонениями других методов позволяет рассматривать этот программный расчет как оптимальный для применения в нейрохирургической практике.

При подсчете временных затрат каждого метода выявлены результаты, статистически отличимые при попарном сравнении групп между собой. Самым быстрым следует считать расчет по формуле эллипсоида, менее быстрым — по формуле расчета ВВЛ, на 3-м месте — метод сегментирования контуров гематомы с использованием программного пакета Gamma MultiVox D2. Самым медленным оказался ручной посрезовый метод подсчета объема СДГ (контрольный). Таким образом, допустимо считать, что точность расчетных методов повышалась прямо пропорционально времени, потраченному на расчет.

Таким образом, ни один из способов, изучаемых в нашей работе, не позволяет более точно рассчитывать объем СДГ, чем контрольный метод, причем с непрогнозируемым отклонением как в сторону переоценки, так и недооценки объема кровоизлияния. Полуавтоматический метод расчета с программным пакетом Gamma MultiVox D2 обеспечивает наивысший показатель точности среди 3 изучаемых методов, а также он не зависит от привязки к конкретным формам и локализациям СДГ. Его применение целесообразно в ситуациях, требующих точного определения объема

СДГ и его соответствия пограничным значениям (показания к выполнению экстренного нейрохирургического пособия).

ВЫВОДЫ

При сравнительном анализе эффективности выбранных методик вычисления объема субдуральных гематом установлено, что медианы результатов вычисления статистически не отличаются, что допускает их применение и выбор в зависимости от собственных предпочтений нейрохирурга.

Анализ расчета по формуле объема эллипсоида позволяет говорить о низкой специфичности этого метода и сравнительно высоких отклонениях результата от истинного с тенденцией к завышению значений.

Метод расчета по формуле вычисления объема фигуры с формой выпукло-вогнутой линзы показал средний результат при соблюдении условия соответствия формы субдуральной гематомы «идеальной» форме фигуры, заключенной между 2 сегментами шара. В случае несоответствия формы субдуральной гематомы указанному критерию наблюдались значительные отклонения в сторону как переоценки, так и недооценки объема гематомы.

Наиболее точным оказался метод расчета объема субдуральной гематомы с использованием программного обеспечения Gamma MultiVox D2. Он характеризуется наименьшим диапазоном отклонения полученных значений от контрольных данных, универсальностью, а также независимостью как от формы и локализации субдуральных гематом, так и от выбора среза, на котором в других алгоритмах необходимо проводить соответствующие измерения.

Точность определения объема субдуральных гематом представленными методами прямо пропорциональна количеству времени, необходимого для расчета.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Лихтерман Л.Б. Черепно-мозговая травма. М.: Медицинская газета, 2003. 358 с.
Lihterman L.B. Traumatic brain injury. Moscow: Medicinskaya gazeta, 2003. 358 p. (In Russ.).
2. Лихтерман Л.Б. Черепно-мозговая травма. Диагностика и лечение. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 479 с.
Lihterman L.B. Traumatic brain injury. Diagnosis and treatment. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. 479 p. (In Russ.).
3. Лебедев В.В., Крылов В.В., Тиссен Т.П., Халчевский В.М. Компьютерная томография в неотложной нейрохирургии. М.: Медицина, 2005. 360 с.
Lebedev V.V., Krylov V.V., Tissen T.P., Halchevskij V.M. Computed tomography in emergency medicine. Moscow: Medicina, 2005. 360 p. (In Russ.).
4. Stippler M. Craniocerebral trauma. In: Bradley's Neurology in Clinical Practice. Eds.: R.B. Daroff, J. Jankovic, J.C. Mazziotta et al. Amsterdam: Elsevier, 2021. 2348 p.
5. Vera M., Huerfano Y., Contreras J. et al. Development of a non-linear computational technique for the segmentation of subdural hematomas, present in computerized brain tomography images. AVFT 2017;36(6):168–73.
6. Wang Y., Li Y., Zhu Y. et al. A novel and precise method for evaluation of chronic subdural hematoma volume. Int J Clin Exp Med 2017;10(4):6198–203.
7. Пиголкин Ю.И., Касумова С.Ю., Туманов В.П. и др. Судебно-медицинская диагностика хронических субдуральных гематом: методические рекомендации. М.: Минздрав РФ, 1998. 9 с.
Pigolkin Yu.I., Kasumova S.Yu., Tumanov V.P. et al. Forensic diagnosis of subdural hematomas: Guidelines. Moscow: Minzdrav RF, 1998. 9 p. (In Russ.).
8. Корниенко В.Н., Пронин И.Н. Диагностическая нейрорадиология. В 3 томах. Т. 1. М.: Изд-во «ИП Андреева Т.М.», 2012. 455 с.
Kornienko V.N., Pronin I.N. Diagnostic neuroradiology. Vol. 1. Moscow: Izd-vo "IP Andreeva T.M.", 2012. 455 p. (In Russ.).

9. Лихтерман Л.Б. Учение о последствиях черепно-мозговой травмы. Нейрохирургия 2019;21(1):83–9. DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-1-83-89
Lihterman L.B. Doctrine of head injury sequelae. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2019;21(1):83–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-1-83-89
10. Клиническое руководство по черепно-мозговой травме. Т. 2. Под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана, А.А. Потапова. М.: Антидор, 2001. 675 с.
Clinical guidelines on traumatic brain injury. Vol. 2. Eds.: A.N. Konovalov, L.B. Lihterman, A.A. Potapov. Moscow: Antidor, 2001. 675 p. (In Russ.).

Вклад авторов

В.В. Виноградов: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование статьи;
Б.С. Чубун: сбор и обработка материала;
Д.Е. Алексеев: концепция и дизайн исследования, написание и редактирование статьи;
А.А. Рафаелян: написание статьи, консультация по клиническим и статистическим вопросам;
К.А. Диких: сбор и обработка материала, консультация по клиническим и статистическим вопросам;
Д.В. Свистов: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование статьи, консультация по клиническим и статистическим вопросам.

Authors' contributions

V.V. Vinogradov: research idea and design of the study, obtaining data for analysis, writing and editing of the article;
B.S. Chubun: obtaining data for analysis;
D.E. Alekseev: research idea and design of the study, writing and editing of the article;
A.A. Rafaelyan: article writing, consultation on clinical and statistical issues;
K.A. Dikikh: obtaining data for analysis, consultation on clinical and statistical issues;
D.V. Svistov: research idea and design of the study, editing of the article, consultation on clinical and statistical issues.

ORCID авторов / ORCID of authors

В.В. Виноградов / V.V. Vinogradov: <https://orcid.org/0000-0001-5930-3805>
Д.Е. Алексеев / D.E. Alekseev: <https://orcid.org/0000-0002-8685-3965>
А.А. Рафаелян / A.A. Rafaelyan: <https://orcid.org/0000-0003-4447-6919>
К.А. Диких / K.A. Dikikh: <https://orcid.org/0000-0002-5569-5677>
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. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова». Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию своих данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of the Kirov Military Medical Academy. All patients signed informed consent to participate in the study and publish their data.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИСХОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ ЧЕРЕЗ 6 МЕСЯЦЕВ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ: КАРИБСКОЕ ОДНОЦЕНТРОВОЕ ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

M.J. Encarnacion¹, I.P. Baez², J. Paulino³, R.E. Barrientos Castillo¹, R. Nurmukhametov¹, I.E. Efe⁴

¹RUDN University; 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia;

²Hospital Dr. Alejandro Cabral; Diego De Velasquez, San Juan de la Maguana, Dominican Republic;

³Dr. Ney Arias Lora Traumatology Hospital; G4W8+W92 Charles de Gaulle Ave., Santo Domingo, Dominican Republic;

⁴Charite – Berlin University of Medicine; 1 Chariteplatz, Berlin 10117, Federal Republic of Germany

Contacts: Manuel De Jesus Encarnacion dr.encarnacionramirez@hotmail.com

Введение. В статье представлено первое одноцентровое проспективное исследование, оценивающее функциональные исходы после хирургии черепно-мозговой травмы. Исследование проводилось в Доминиканской Республике.

Цель. Определить функциональный статус пациентов, получивших хирургическое лечение, относительный риск неблагоприятного прогноза и связь между функциональным статусом и прогностическими переменными, разработанными Международной миссией по прогнозированию и анализу клинических исследований черепно-мозговых травм (International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials in Traumatic Brain Injury, IMPACT) через 6 мес после травмы.

Материалы и методы. Проспективное динамическое исследование включало когорту из 22 пациентов, получивших хирургическое лечение по поводу черепно-мозговой травмы в Травматологической больнице доктора Нея Ариаса Лоры (Dr. Ney Arias Lora Traumatology Hospital) в Доминиканской Республике. Для определения функционального исхода мы использовали IMPACT-калькулятор (реакция зрачков, гемоглобин, гипоксия, возраст, двигательный ответ, очаги на компьютерной томографии, гипотензия и т. д.) перед операцией и расширенную шкалу исходов Глазго (Extended Glasgow Outcome Scale) через 6 мес после операции. Для статистической обработки данных использовалась SPSS database (версия 15.0, Чикаго, США). Применялись мера центральной тенденции и критерий Фишера. Статистически значимым приняли $p \leq 0,05$ с 95 % доверительным интервалом.

Результаты. Прогностические переменные, связанные с неблагоприятным прогнозом: двигательный ответ ($p = 0,01$), гипоксия и гипотензия ($p = 0,05$). Отклонения в двигательном ответе были связаны с повышенной смертностью (относительный риск – 10; 95 % ДИ = 3–22). Нормальная реакция сгибания наблюдалась у всех пациентов, показавших хорошее восстановление ($p = 0,04$).

Заключение. В результате 67 % пациентов показали хороший функциональный исход (умеренная инвалидность и хорошее восстановление). Смертность составила 23 %. Предоперационный двигательный ответ – хороший прогностический фактор исхода хирургического лечения черепно-мозговых травм.

Ключевые слова: хирургия черепно-мозговых травм, травматическое повреждение головного мозга, функциональный статус, расширенная шкала исходов Глазго, Международная миссия по прогнозированию и анализу клинических исследований, IMPACT

Для цитирования: Encarnacion M.J., Baez I.P., Paulino J. и др. Функциональные исходы хирургического лечения пациентов с черепно-мозговой травмой через 6 месяцев: карибское одноцентровое пилотное исследование. Нейрохирургия 2022; 24(3):32–6. (На англ.) DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-32-36

Functional outcome at 6 months of surgical traumatic brain injury: A single Caribbean Center pilot study

M.J. Encarnacion¹, I.P. Baez², J. Paulino³, R.E. Barrientos Castillo¹, R. Nurmukhametov¹, I.E. Efe⁴

¹RUDN University; 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia;

²Hospital Dr. Alejandro Cabral; Diego De Velasquez, San Juan de la Maguana, Dominican Republic;

³Dr. Ney Arias Lora Traumatology Hospital; G4W8+W92 Charles de Gaulle Ave., Santo Domingo, Dominican Republic;

⁴Charite – Berlin University of Medicine; 1 Chariteplatz, Berlin 10117, Federal Republic of Germany

Contacts: Manuel De Jesus Encarnacion dr.encarnacionramirez@hotmail.com

Background. This is the first prospective study that evaluates the functional outcome after a surgical procedure secondary to a traumatic brain injury, in a single center, in Dominican Republic.

Aim. To determine the functional status of surgically treated patients 6 months post-trauma, the relative risk of poor prognosis and association of functional status with the predictive variables of the International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials in traumatic brain injury.

Materials and methods. A prospective, longitudinal study was conducted in a cohort of 22 patients surgically treated for a traumatic intracranial injury at Dr. Ney Arias Lora Traumatology Hospital in Dominican Republic. We applied the International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials calculator, (pupillary response, hemoglobin, hypoxia, age, motor response, computed tomography lesion, hypotension, etc.) prior to surgery and the Extended Glasgow Outcome Scale 6 month after surgery to determine the functional outcome. The International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials form was modified by adding preoperative glucocorticosteroids and rehabilitation therapy. The SPSS database (15.0 version, Chicago IL.) was used. Central tendency measures and Fisher's test were applied. Thus, $p \leq 0.05$ with a 95 % confidence interval was considered statistically significant.

Results. The predictive variables associated with a poor prognosis were motor response ($p = 0.01$), hypoxia and hypotension ($p = 0.05$). Alterations in motor response was associated with increased morbidity and mortality (RR: 10; 95 % CI: 3–22). Normal flexion was found in all patients with good recovery ($p = 0.04$).

Conclusion. As a result, 67 % of patients had a good functional result (moderate disability and good recovery). Mortality was 23 %. Preoperative motor response is a powerful prognostic factor in traumatic brain injury.

Keywords: surgical traumatic brain injury, TBI, functional status, Extended Glasgow Outcome Scale, International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials, IMPACT

For citation: Encarnacion M.J., Baez I.P., Paulino J. et al. Functional outcome at 6 months of surgical traumatic brain injury: A single Caribbean Center pilot study. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):32–6. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-32-36

BACKGROUND

Adjuvant therapy in current neurosurgery has turned the management patterns of various pathologies, allowing better outcomes. Developing technologies such as robotic surgery, dendritic cell vaccines for certain brain tumors, gene therapy, and radiosurgery are some of these promising evolving techniques. Despite this, surgical brain-spine trauma still depends entirely on the surgeon's technical skills. According to World Health Organization there are 1.35 million death each year due to road traffic injuries. J. Jr Bruns and W.A. Hauser [1] define traumatic brain injury as a critical socio-economic and public health problem, being the leading cause of mortality and disability in young patients. In 2018 there was a total of 2168 death due to traffic accidents in Dominican Republic, equivalent to a rate of 21 cases per 100,000 habitants, a big increase compared to previous years [2]. This data corroborates with J.A. Langlois and R.W. Sattin [(Wang, Wang et al. 2017) 3] and G.R. Boto et al. [4], who say that each year the number of disabled and killed people by motor vehicle accidents will increase, and trauma will surpass their congeners (cardiovascular and cerebrovascular disease) as the number one cause of death worldwide.

MATERIALS AND METHODS

This is a prospective, observational pilot study conducted in a cohort of 22 patients who were surgically treated for a traumatic intracranial injury at Dr. Ney Arias Lora

Traumatology Hospital in Dominican Republic between January 1st and July 30th 2018. We applied in traumatic brain injury (TBI) the International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials (IMPACT) calculator (pupillary response, hemoglobin, hypoxia, age, motor response, computed tomography (CT) lesion, hypotension, etc.) previous to surgery and the Extended Glasgow Outcome Scale (GOS-E) 6 month after surgery to determine the functional outcome. Our team modified the IMPACT form by adding the Glasgow level, pre-surgical time and rehabilitation therapy.

Patients over the age of 14 years old who were surgically treated for a TBI were included. Cases with incomplete medical records were excluded. Those with multiple surgeries due to politrauma, during their hospital stay, and those that could not be contacted by phone were excluded as well.

The original primary outcome was to determine the functional status of this surgically treated patients 6 months after trauma (a composite of death, vegetative state, or severe disability) as evaluated on the GOS-E and to establish the association of functional status with the predictive variables of the IMPACT in TBI. Second, to determine the relative risk of worse prognosis according to those variables.

We had the hospital ethical committee approval for this project and formal consent from patient's family. SPSS database (15.0, Chicago IL.) was used. Central tendency measures and Fisher's test were applied. Thus, $p \leq 0.05$ with a 95 % confidence interval was considered statistically

significant and as a trend those data with p between 0.06 and 0.1.

RESULTS

All patients were males, 63 % of them (14 cases) were under 30 years old. The level of consciousness according to the Glasgow Scale was heterogeneous, with a slight predominance of severe trauma – glucocorticosteroids (GCS) < 8/15, within which were most of the deceased; 58 % (13) were above 9/15.

For a better understanding, outcome scores were dichotomized as favorable outcome (good recovery/moderate disability) or unfavorable outcome (dead/vegetative/severe disability). The Figure shows the results: 67 % of cases had a favorable outcome; 23 % (5) of patients died, 3 of them in the acute/subacute hospital setting. We found no association between age and pupillary reactivity compared to functional prognosis, unlike the relationship between hypoxia and survival, as 80 % of the deceased patients were in the group with hypoxia data ($p = 0.009$), and all patients with good functional outcome were not associated with this variable.

Normal motor response (obey verbal command, localize to stimuli, normal flexion to stimuli) was associated to a favorable outcome ($p = 0.05$). When dichotomized to alive

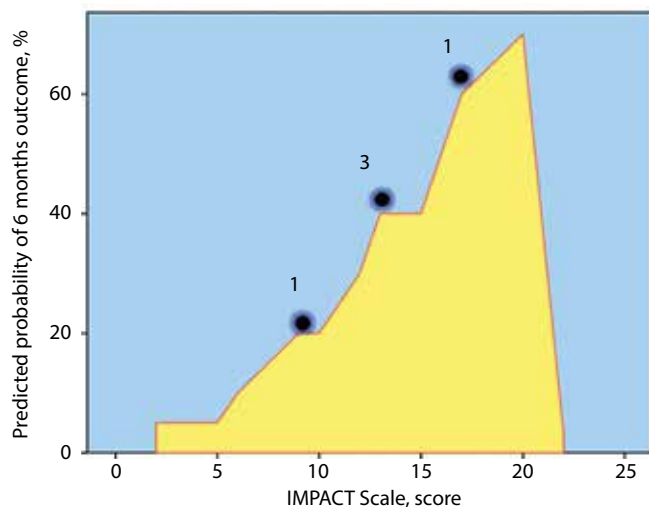
or death, motor response was statistically significant ($p = 0.01$; RR: 10; 95 % CI: 3–22). Normal flexion was found in all patients with good high recovery (Table 1). When analyzed from a survival perspective, the absence of hypoxia was significantly associated with survival ($p = 0.009$), Hypotension and Glasgow Coma Scale were not related to it (Table 2).

DISCUSSION

Optimizing procedures and protocols, in the interest of saving lives and ensuring a better functional result, is vital in medicine, searching of predictive variables has been and will remain the north in modern neurosurgery, not only in the context of trauma, but all neuropathological entities. A. Marmarou et al. [5] and collaborators found that the pupil response was strongly associated with a worse prognosis, unlike our data, where we found no relationship ($p = 0.3$).

Age is the variable that has presented greater attention in traumatic brain injury, along with pupillary reactivity, it has been highlighted as an important variable associated with prognosis, S.C. Choi and T.Y. Barnes [6], S.C. Choi et al. [7] in a population of 523 patients found that patients with ages above a 50 years old threshold had a higher probability of a worse prognosis. These data are similar to those of T.R. Hodelin et al. [8], who in 2011 conducted a research in Cuba with 110 patients where they found that patients over 60 years old had a worse outcome. In our investigation, the age did not influence the functional outcome ($p = 0.4$), probably because most of the patients (20) were under 50 years old and the distribution in relation to the severity of the trauma was homogeneous.

Our results showed a trend towards worse prognosis in patients who had hypoxia ($p = 0.1$). N.G. Baldwin et al. [9] and cols, based on income information, analyzed 828 patients from the Traumatic Coma Data Bank by selecting a combination of variables to predict early survival mortality. The elderly, low GCS scores and the presence of pupil alteration, hypotension and hypoxia were associated with mortality. The probability of death was calculated for each subject, so that if it was greater than 0.5, mortality was predicted. Predictions were correct in 91.2 % of patients. D.K. Menon and C. Zahed [10] also noted that hypoxia was associated with unfavorable evolution and poor functional outcome.



Mortality (predicted probability, IMPACT score)

Table 1. Outcome related variables

Variable	Outcome		p-value
	Favorable (good recovery/moderate disability)	Unfavorable (dead/vegetative/severe disability)	
Glasgow Outcome Scale	>8/15	≤8/15	0.07
Motor response (normal flexion versus abnormal flexion)	Normal flexion	Abnormal flexion or extension	0.05
Hypoxia	No	Yes	0.05
Hipotension	No	Yes	0.05

Table 2. Survival associated variables

Variable	Alive	Death	p-value
Motor response (other than normal flexion)	2	4	0.01
Hypoxia	2	4	0.009

The most important database at the global level in relation to prognostic factors and functional outcome is the IMPACT, contains a total of 9205 patients with traumatic brain injury moderate and severe, treated in the last 20 years in 8 clinical trials and 3 observational studies. It was developed by the Institute of Health of the United States of America, and of the same there have been numerous scientific papers in relation to the variables and the prognosis of traumatic brain injury; A. Marmarou et al. [5] examined these variables and found a strong association between the motor response and functional outcome 6 months after the trauma (OR: 1.74–7.48), establishing that the lower the score on this line of the Glasgow Coma Scale, the worse was the prognosis of the patient ($p = 0.0001$), these data are consistent with those of our research, where we show that the patients who had a lower score in motor function had a worse functional

outcome than those who presented with a flexion normal (RR: 10; 95 % CI: 3–22). All patients with good high and low recovery had normal flexion ($p = 0.04$).

CONCLUSION

As a result, 67 % of patients had a good functional result (moderate disability and good recovery), mortality was 23 %.

Only the motor response, as a predictive variable, had a significant association in relation to the functional result ($p = 0.04$), patients with normal flexion had a good high recovery and the relative risk of a worse functional outcome in patients with motor component disorder is 10 times higher than those had normal flexion.

Limits. It is very likely that the differences between the variables “age/pupil reactivity” and the functional result have been affected by the small number of subjects studied, in a larger, representative population study, these variables may be directly related to the patient’s prognosis. Prospective research is needed, with a control group in which functional outcomes can be measured in patients operated *versus* patients treated conservatively. As a retrospective study, this paper is subjected to multiple bias, mainly inter-observer variations of Glasgow score and subjectivity in relation to the presence or not of hypoxia and hypotension in some cases.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Bruns J. Jr, Hauser W.A. Epidemiology of traumatic brain injury: a review. *Epilepsia* 2003;44 (Suppl 10):2–10. DOI: 10.1046/j.1528-1157.44.s10.3.x
2. Basic health indicators 2018. Ministry of Public Health. Pan American Health Organization. World Health Organization. Dominican Republic. Pp. 2–25.
3. Langlois J.A., Sattin R.W. Traumatic brain injury in the United States: research and programs of the Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Head Trauma Rehabil* 2005;20(3):187–8. DOI: 10.1097/00001199-200505000-00001
4. Boto G.R., Gomez P.A., de la Cruz J., Lobato R.D. Prognostic models in severe head injury. *Neurocirugia (Asturias, Spain)* 2006;17(3):215–25. (In Span.).
5. Marmarou A., Lu J., Butcher I. et al. Prognostic value of the Glasgow Coma Scale and pupil reactivity in traumatic brain injury assessed pre-hospital and on enrollment: An IMPACT analysis. *J Neurotrauma* 2007;24(2):270–80. Available at: online. liebertpub.com/doi/abs/10.1089/neu.2006.0029. DOI: 10.1089/neu.2006.0029
6. Choi S.C., Barnes T.Y. Predicting outcome in the head injured patient. In: *Neurotrauma*. Eds.: R.K. Narayan, J.E. Wilberger, Povlishock J.T. New York: McGraw Hill, 1996. Pp. 779–92.
7. Choi S.C., Muizelaar J.P., Barnes T.Y. Prediction tree for severely head-injured patients. *J Neurosurg* 1991;75(2):251–5. DOI: 10.3171/jns.1991.75.2.0251
8. Hodelin T.R., Dominguez P.R., Fernandez A.M.A. Glasgow coma scale as mortality prognostic factor in severe traumatic brain injury. *Rev Cubana Neurol Neurocir* 2013;3(1):57–62.
9. Baldwin N.G., Marmarou A., Marshall L.F. et al. A mathematical model for early prediction of mortality in severe head injury. *AANS 59th Annual Meeting*. New Orleans, 1991. Pp. 456–7.
10. Menon D.K., Zahed C. Prediction of outcome in severe traumatic brain injury. *Curr Opin Crit Care* 2009;15(5):437–41. DOI: 10.1097/MCC.0b013e3283307a26

Вклад авторов

M.J. Encarnacion: разработка концепции и дизайна исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, написание статьи;
I.P. Baez: написание статьи;
J. Paulino: сбор, анализ и интерпретация данных;
R.E. Barrientos Castillo: написание статьи;
R. Nurmukhametov: написание статьи;
I.E. Efe: разработка концепции и дизайна исследования.

Authors' contributions

M.J. Encarnacion: research idea and design of the study, data collection, analysis and interpretation, article writing;
I.P. Baez: article writing;
J. Paulino: data collection, analysis and interpretation;
R.E. Barrientos Castillo: article writing;
R. Nurmukhametov: article writing;
I.E. Efe: research idea and design of the study.

ORCID авторов / ORCID of authors

M.J. Encarnacion: <https://orcid.org/0000-0003-3541-0635>

I.P. Baez: <https://orcid.org/0000-0002-1162-1318>

R.E. Barrientos Castillo: <https://orcid.org/0000-0001-5332-6811>

I.E. Efe: <https://orcid.org/0000-0002-4232-3305>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен комитетом по этике Больницы ортопедии и травматологии доктора Ней Ариас Лора (Доминиканская Республика). Семьи всех пациентов подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the ethical committee of the Dr. Ney Arias Lora Traumatology Hospital (Dominican Republic). The families of all patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 10.02.2022. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 10.02.2022. **Accepted for publication:** 25.05.2022.

КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ M.J. ENCARNACION «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧЕРЕЗ 6 МЕСЯЦЕВ ПОСЛЕ ХИРУРГИИ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ: КАРИБСКОЕ ОДНОЦЕНТРОВОЕ ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ»

Commentary to M.J. Encarnacion's article "Functional outcome at 6 months of surgical traumatic brain injury: A single Caribbean Center pilot study"

Вне всякого сомнения, черепно-мозговая травма — одна из важнейших проблем нейрохирургии, которой посвящено множество работ от описания клинических случаев до многоцентровых рандомизированных исследований. В рассматриваемой статье M.J. Encarnacion и соавт. поставили перед собой скромную задачу — оценить исходы хирургии черепно-мозговой травмы в скоромощном госпитале, а также степень влияния различных факторов на функциональный исход лечения этой наиболее тяжелой группы нейрохирургических больных. Конечно, на столь малой выборке пострадавших (22 пациента) невозможно делать глобальные выводы, что авторы честно признают в своей статье. Однако их исследование внесло свой вклад: проведена оценка функционального статуса пациентов через полгода после хирургического лечения травмы по расширенной шкале исходов Глазго; сделано сравнение с прогнозом исхода, определенного по международному прогностическому калькулятору IMPACT, разработанному Международной миссией по прогнозированию и анализу клинических исследований че-

репно-мозговых травм (International Mission for Prognosis and Analysis of Clinical Trials in Traumatic Brain Injury); выявлена относительная значимость прогностических факторов.

Работа ценна еще тем, что обращает внимание на клинические предикторы исхода черепно-мозговых травм и важность их учета в диагностике, а также на определение показаний к хирургии и прогнозу. Так, авторы отмечают высокую значимость моторной части шкалы комы Глазго в прогнозировании исхода. На мой взгляд, работа заслуживает положительной оценки как пример небольшого, но хорошо спланированного исследования, основанного на современных прогностических шкалах и статистических методиках, и окажется полезной молодым ученым и практикам, начинающим свой путь в нейрохирургии.

*А.Э. Талытов, д.м.н., проф., врач-нейрохирург,
ведущий научный сотрудник отделения нейрохирургии
ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского
Департамента здравоохранения г. Москвы»*

ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОХИРУРГИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЕОМИКРОСКОПА И ПРОСТОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ

К.Н. Бабичев¹, А.В. Станишевский², Р.С. Мартынов¹, Д.В. Свистов¹

¹ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России; Россия, 194044 Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6;

²ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; Россия, 105094 Москва, Госпитальная пл., 3

Контакты: Константин Николаевич Бабичев k_babichev@mail.ru

Введение. Современная нейрохирургия требует от хирурга навыков микрохирургической техники для нейрохирургических вмешательств с должным уровнем эффективности и безопасности. Поддержание и развитие данных навыков – одна из задач, которые стоят перед нейрохирургом. Оптимальными считаются учебные модели, позволяющие совершенствовать микрохирургическую технику практически без отрыва от производства. В нашей работе применялся промышленный микроскоп и простой инструментарий для тренировок в условиях основного вида деятельности или дома.

Цель работы – продемонстрировать возможность отработки навыков микрохирургического шва и анастомоза с использованием промышленного стереомикроскопа и набора микрохирургических инструментов.

Материалы и методы. Промышленный микроскоп, простой микрохирургический инструмент, дополнительное оборудование и расходный материал закупались на торговой интернет-платформе AliExpress. В качестве моделей подобраны наиболее простые и доступные для ежедневной тренировки, такие как шов нитей салфетки, диссекция куриного крыла с выделением артерий и наложением различных анастомозов, а также выполнение обоих упражнений на глубине с помощью самодельной подставки, изготовленной из конструктора LEGO. Прогресс в микрохирургических навыках оценивался по скорости и качеству наложения швов и анастомозов.

Результаты. Наиболее простой и в то же время эффективный вариант тренировки – сшивание нитей салфетки. Данное упражнение можно рассматривать как базовое перед более сложными вариантами тренинга. Постоянная практика позволила отработать базовый навык наложения микрохирургического анастомоза, улучшив его качество и сократив время, затраченное на выполнение задания, с 40 мин до 22 мин 40 с. Аналогичные результаты отмечались при сшивании нитей салфетки: время уменьшилось в среднем на 15 мин. Представленные модели отличаются от реальной клинической практики, но их доступность позволяет тренироваться ежедневно, что значительно влияет на кривую обучения.

Заключение. Наш опыт показал возможность и эффективность формирования, совершенствования и поддержания микрохирургических навыков с помощью промышленного стереомикроскопа и простого инструментария. Улучшение мануальных навыков, отмеченное в ходе ежедневных тренировок, также свидетельствует о важности и необходимости постоянного микрохирургического тренинга как при обучении нейрохирургов, так и в дальнейшем.

Ключевые слова: микрохирургический тренинг, стереомикроскоп, анастомоз, куриное крыло

Для цитирования: Бабичев К.Н., Станишевский А.В., Мартынов Р.С., Свистов Д.В. Возможности микрохирургического тренинга с использованием стереомикроскопа и простого инструментария. Нейрохирургия 2022;24(3):38–45. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-38-45

Opportunities of microsurgical training using a stereomicroscope and simple instruments

K.N. Babichev¹, A.V. Stanishevskiy², R.S. Martynov¹, D.V. Svistov¹

¹Kirov Military Medical Academy, Ministry of Defense of Russia; 6 Akademika Lebedeva St., Saint-Petersburg 194044, Russia;

²Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Ministry of Defense of Russia; 3 Gospitalnaya Sq., Moscow 105094, Russia

Contacts: Konstantin Nikolaevich Babichev *k_babichev@mail.ru*

Background. Modern neurosurgery requires the surgeon to be skilled in microsurgical techniques to be able to operate efficiently and safely. Maintaining and developing these skills is one of main goal for neurosurgery. Optimal use of simple models for microsurgical techniques. For this purpose, we use an stereomicroscope and simple microinstruments to enable training without interruption from the main activity or at home.

Aim. To introduce a microneurosurgery training based on use of stereomicroscope and simple microinstruments that can be used for daily training.

Materials and methods. Simple microinstruments and stereomicroscope were used for anastomosis and suturing training. All equipment and tools were purchased on the AliExpress online trading platform. We suture neighboring fibers of the gauze with 9/0–12/0 nylon under fixed and highest magnification. Chicken blood vessels were used as a material for anastomosis training. A long segment of blood vessel from the proximal brachial artery to the distal radial artery was used for anastomosis. End-to-side anastomosis was practiced first, and the training continued with end-to-end anastomosis of the appropriate segments. Also, we used homemade box made of LEGO for training dexterity and maneuverability in the limited and deep field. Progress in changing microsurgical skills was assessed by the duration and quality of suturing and anastomoses.

Results. The instruments used for these models were affordable, simple and easy to use. The simple, but the same time effective training, is the suture neighboring fibers of the gauze. Daily training allowed us improve the skills of anastomosis reducing time for anastomosis end-to-side from 40 min to 22 min 40 sec. The same results we noticed using suture neighboring fibers of the gauze, reducing time of exercises by 15 min. This training system is somewhat of a drawback compared to the simulation of a real clinical setting. However, due to the extremely easy accessibility and accessibility, the stereomicroscope and simple instrument allow us to use them for daily training. This resulted in a steep learning curve of the technique.

Conclusion. This study suggests an effective and feasible method for microneurosurgical training using stereomicroscope and simple microinstruments. The improvement of our manual skills, marked by constant training, testifies about the necessity of microsurgical training both in the training of neurosurgeons and in the future.

Keywords: microsurgical training, stereomicroscope, anastomosis, chicken wing

For citation: Babichev K.N., Stanishevskiy A.V., Martynov R.S., Svistov D.V. Opportunities of microsurgical training using a stereomicroscope and simple instruments. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):38–45. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-38-45.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день применение микрохирургической техники — это стандарт выполнения широкого спектра нейрохирургических вмешательств: от операций на периферических нервах до наложения микро-сосудистых анастомозов. Вместе с тем оперативные приемы — наложение швов, завязывание узлов и диссекция тканей, выполняемые при значительном увеличении, — требуют определенного навыка, от степени развития которого часто зависит исход лечения. В литературе описано значительное число моделей для отработки микрохирургических навыков и методов тренировки [1, 2], каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Учитывая важность формирования, совершенствования и поддержания навыков микрохирургии для любого практикующего нейрохирурга, проблема создания простых, реалистичных и удобных в использовании тренировочных моделей остается актуальной.

Цель работы — продемонстрировать возможность отработки микрохирургических навыков с использованием промышленного стереомикроскопа и набора микрохирургических инструментов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для микрохирургического тренинга использовался тринокулярный цифровой стереомикроскоп Eakins

(КНР) с увеличением 7–45х и возможностью подключения Full HD 37MP видеокамеры для вывода и записи изображения на персональный компьютер. Микроскоп имеет 2 разных оптических пути и 2 объектива, за счет чего формируется объемное 3D-изображение.

Технические характеристики микроскопа, позволяющие комфортно выполнять тренировочные упражнения:

- бинокулярная головка с наклонным углом 45° и поворотным механизмом вращения на 360°;
- пара широкоугольных окуляров (WF10X/20) и дополнительный объектив 0.5х, создающие фокусное расстояние 100 мм;
- регулируемое межзрачковое расстояние (55–75 мм), возможность настройки диоптрий;
- светодиодная кольцевидная подсветка, обеспечивающая освещение холодным светом.

Базовый микрохирургический набор: 3 инструмента — микроиглодержатель, микроножницы и микропинцет без зубчиков длиной 11 и 15 см для отработки техники шва на поверхности и в глубине соответственно. Шовный материал: нити 9/0–12/0.

Дополнительные материалы: сосудистые клипсы, венозная канюля 20G, инсулиновые шприцы (1,0 мл), синий маркер для подкраски стенок артерии перед анастомозом, акриловые краски для заполнения сосудов с целью лучшей их визуализации, детали конструктора

LEGO для создания самодельной платформы, позволяющей моделировать глубину и малые размеры операционного поля (рис. 1).

Все оборудование, инструмент и дополнительный расходный материал были закуплены на торговой интернет-платформе AliExpress. Стоимость — 32 тыс. руб.

Для ежедневной отработки микрохирургических навыков подобраны наиболее простые и доступные модели, которые могут применяться как на рабочем/учебном месте, так и в домашних условиях:

- 1) шов нитей салфетки с помощью нитей 9/0, 11/0 и 12/0 (выполнение шва левой рукой);
- 2) диссекция куриного крыла с выделением ряда артерий — плечевой (ПА), лучевой (ЛЧА), локтевой (ЛКА) и артерий кисти — и наложением различных вариантов анастомоза: конец-в-конец, бок-в-бок, конец-в-бок; нити 11/0 и 12/0;
- 3) выполнение обоих упражнений на глубине с использованием самодельной подставки из деталей конструктора LEGO.

ТРЕНИРОВОЧНЫЕ ТЕХНИКИ

1. Шов нитей салфетки. Тренинг состоит из сшивания нитей салфетки с завязыванием 5 узлов. Цель задания — прошить близлежащие нити на равном расстоянии с завязыванием узла с максимально коротким концом нити (рис. 2). Хирургический шовный материал: нити 9/0—12/0. В ходе упражнения каждый раз накладывалось 20 швов и оценивалось затраченное время. Чередовалась работа правой и левой (доминантной/недоминантной) рукой. При выполнении задания недоминантной рукой время не фиксировалось: ставилась более простая цель — разработать руку. Во время первых тренировок применялась нить 9/0, в последующем — исключительно нити 11/0, 12/0, тем самым отрабатывались и поддерживались навыки более тонких манипуляций.

2. Диссекция крыла курицы. Первоначально проводилась диссекция крыла от плечевого до запястного

сустава. После приобретения опыта диссекцию распространяли вдоль артерий и на кисть. Это позволило отработать технику прецизионной диссекции малых артерий, а при диаметре артерий менее 1 мм — использовать их для практики наложения супермикроанастомозов. Таким образом, наложение анастомозов вели на всем протяжении артерий куриного крыла. На начальном этапе диссекции выполняли канюляцию ПА венозной канюлей 20G для введения жидкости, окрашенной акриловой краской, что позволило оценивать качество диссекции и наложения анастомоза. Боковые ветви перевязывались нитью 12/0 и отсекались от основного ствола (рис. 3).

Основной упор делался на отработку анастомоза конец-в-бок. Применялись различные варианты наложения анастомозов: непрерывным швом и одиночными узлами, с различным углом обзора при наложении швов. Наиболее часто для анастомозирования использовались ПА и ЛЧА, сопоставимые по диаметру с поверхностной височной артерией (ПВА) и корковыми ветвями средней мозговой артерии (СМА) [3].

Анастомозы конец-в-конец выполнялись между любыми артериями или с веной крыла. Тренировка шва бок-в-бок велась на ЛЧА и ЛКА, проходящих на плече рядом.

Для экономии времени после каждого тренинга крыло сохранялось для следующих занятий в контейнере с водой в холодильнике.

3. Отработка на глубине с помощью самодельной платформы из деталей LEGO. После формирования уверенных навыков работы на поверхности упражнения выполнялись уже на глубине 5—6 см (ее можно варьировать) с помощью самодельной платформы из деталей LEGO (рис. 4). С учетом большей глубины раны выбирали инструменты с длиной браншей 15 см.

Для оценки динамики навыков на каждом этапе занятия в дневнике обучающегося фиксировалось время выполнения упражнения. Кроме того, оценивалось качество наложения анастомоза другим тренирующимся.



Рис. 1. Внешний вид микроскопа и инструментарий: а — микроскоп с подключенным компьютером; б — базовый набор микроскопа; в — инструменты, нитки и дополнительные материалы для проведения микрохирургического тренинга

Fig. 1. A stereomicroscope and simple instrument: а — stereomicroscope connected to a computer; б — basic microscope set; в — tools, threads and additional materials for microsurgical training

В дневник заносили краткие данные об анастомозе, с указанием диаметра нити и числа швов, выполненных при его формировании.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Можно оценивать микрохирургический тренинг по 2 критериям: объективному (время, затраченное на задание, и качество выполнения) и субъективному (уверенность в действиях и автоматизация навыков).

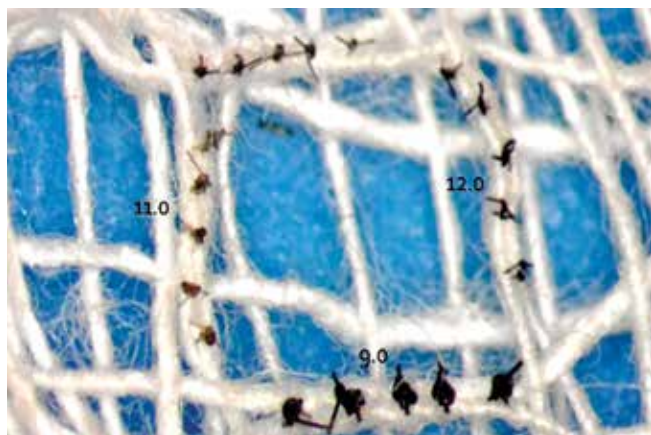


Рис. 2. Шов салфетки нитями различного диаметра: 9/0, 11/0 и 12/0
Fig. 2. Suture neighboring fibers of the gauze with 9/0, 11/0 и 12/0 thread

Тренинг 3–4 раза в неделю значительно повлиял на время и, самое главное, качество выполнения заданий. Время наложения 20 швов на нити салфетки на поверхности нитью 9/0 снизилось на 15 мин: с 53 до 36 мин (рис. 5). Время, затраченное на аналогичное упражнение нитью 12/0, хотя и было на 5–6 мин больше, также сократилось: лучший результат составил 41 мин.

После формирования стойкого навыка выполнения шва салфетки на поверхности стали использовать самодельную платформу для моделирования глубины раны и малых размеров операционного поля. Этот метод позволяет учиться манипуляции в малых и глубоких коридорах, характерных для хирургии основания черепа. На начальных этапах обучения требовалось 55 мин, впоследствии произошло ускорение — время уменьшилось на 12–10 мин.

Первый опыт наложения анастомоза конец-в-конец занял 40 мин, шов получился некачественным, отмечено большое число неловких движений. После 30 повторов данного упражнения минимальная длительность наложения анастомоза с использованием 13 швов нитью 12/0 составила 22 мин 40 с. Дальнейшее сокращение времени ограничено необходимостью смены инструмента и невозможностью автоматической смены увеличения, а также экономией нити (тратится больше времени на проведение всей длины

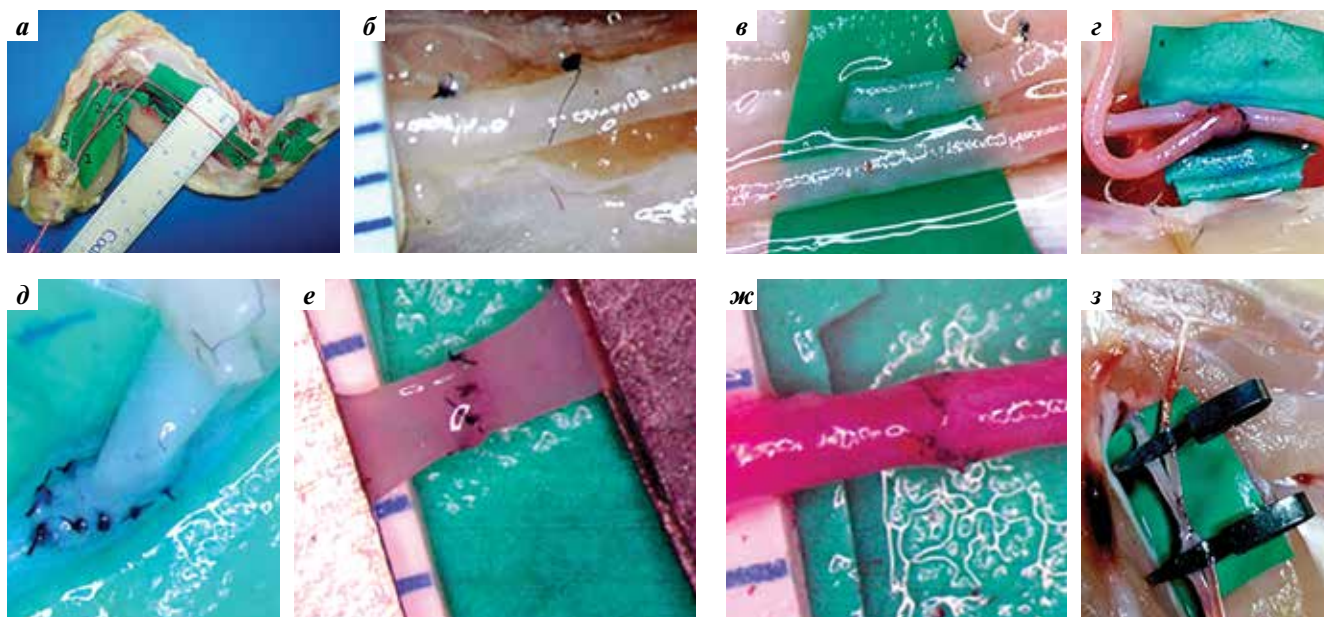


Рис. 3. Примеры техник на модели куриного крыла: а — диссекция куриного крыла, выделенные при этом сосуды: 1 — ПА (канюлирование перед диссекцией), 2 — ЛКА, 3 — ЛЧА, 4 — артерия кисти, 5 — плечевая вена; б — артерия (диаметр 1 мм), используемая для наложения анастомоза; в — подготовка ПА и ЛЧА к анастомозу; г — наложение анастомоза конец-в-бок нитью 12/0 с оценкой проходимости анастомоза (введение подкрашенной жидкости через венозную канюлю); д — анастомоз конец-в-бок (нить 12/0) под большим увеличением; е — анастомоз конец-в-конец (нить 12/0) под большим увеличением; ж — тот же анастомоз (е) после снятия клипсов, проверка его проходимости (введение окрашенной жидкости); з — анастомоз бок-в-бок

Fig. 3. Examples of techniques on a chicken wing model: а — dissection of the chicken wing, exposed arteries: 1 — brachial artery (cannulated before dissection), 2 — ulnar artery, 3 — radial artery, 4 — artery of the lower wing, 5 — brachial vein; б — artery (diameter 1 mm) and used for anastomosis; в — preparing of brachial artery and radial artery for anastomosis; г — end-to-side anastomosis with a 12/0 thread with an assessment of the patency of the anastomosis (injection of dyed fluid through the venous cannula); д — end-to-side anastomosis (suture 12/0) under higher magnification; е — end-to-end anastomosis (suture 12/0) under higher magnification; ж — the same anastomosis (e) after removing the clips, checking its patency; з — side-to-side anastomosis

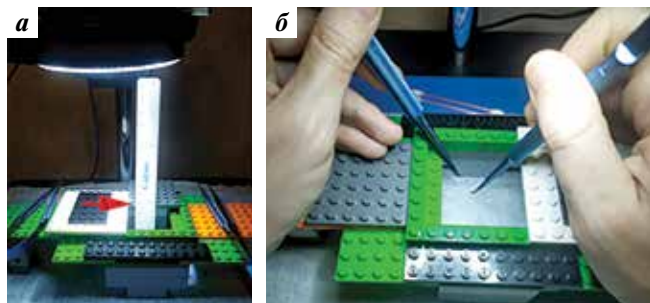


Рис. 4. Тренировка микрохирургических навыков работы в глубине операционного поля с помощью самодельной платформы из деталей LEGO: а — внешний вид платформы с формированием глубины поля 5 см; б — наложение шва салфетки

Fig. 4. Microsurgical training in the depth using a homemade platform from LEGO: а — homemade platform from LEGO deep 5 cm; б — suture neighboring fibers of the gauze

для завязывания узла). Таким образом, если учесть данные факторы, то время наложения анастомоза конец-в-бок составляет около 20 мин. На рис. 6 представлена диаграмма временной динамики наложения анастомоза по мере обретения опыта.

Помимо ускорения процедуры наложения шва, каждый из обучающихся отметил рост качества мануальных навыков: уменьшение тремора, устранение излишних и размашистых движений инструментами, формирование автоматизма движений. Эти критерии относятся к субъективным, основанным на ощущениях тренирующихся.

Значимость непрерывных занятий показывает и тот факт, что после 2-недельного перерыва в занятиях время выполнения каждого из упражнений увеличилось. Однако для возвращения на исходный, более высокий, уровень потребовалось всего 2–3 занятия.

ОБСУЖДЕНИЕ

Современная нейрохирургия основана на микрохирургической технике, умении оперировать в узких

и глубоких операционных коридорах. Для овладения такой техникой на высоком уровне требуется ежедневная практика. Отечественная модель обучения ординаторов или молодых нейрохирургов в большинстве случаев основана на приобретении мануальных навыков в операционной при выполнении отдельных этапов оперативного вмешательства. Данный вариант обучения изначально неверен, не соответствует этическим нормам, так как неуверенные действия хирурга могут привести к катастрофическим последствиям. Даже соблюдая предельную осторожность и находясь под непрерывным контролем наставника, начинающий нейрохирург для совершенствования техники нуждается в ежедневном участии в операциях, что не всегда возможно.

Альтернативный вариант развития мануальных навыков — микрохирургический тренинг. Существует множество различных моделей для тренировки [3–9]. Наиболее приближенные к реальным условиям — выполнение диссекции и наложение анастомозов на кадаврах или лабораторных крысах [10–12]. Однако оба варианта требуют специализированной лаборатории и лицензии, которые есть далеко не во всех нейрохирургических центрах. Применение операционного микроскопа для отработки навыков в свободное от операции время вряд ли найдет понимание у руководства и персонала операционного блока, при этом очевидна невозможность использования в операционной трупного материала или биологических объектов.

Для отработки микрохирургической техники в перерывах во время основного вида деятельности или дома мы использовали микроскоп, предназначенный для ремонта электронных плат или мобильных телефонов. После поиска микроскопа на интернет-площадках был подобран относительно бюджетный вариант, удовлетворяющий требованиям: тринокулярный микроскоп с большим увеличением и освещением, а также с возможностью записи изображения. Там же

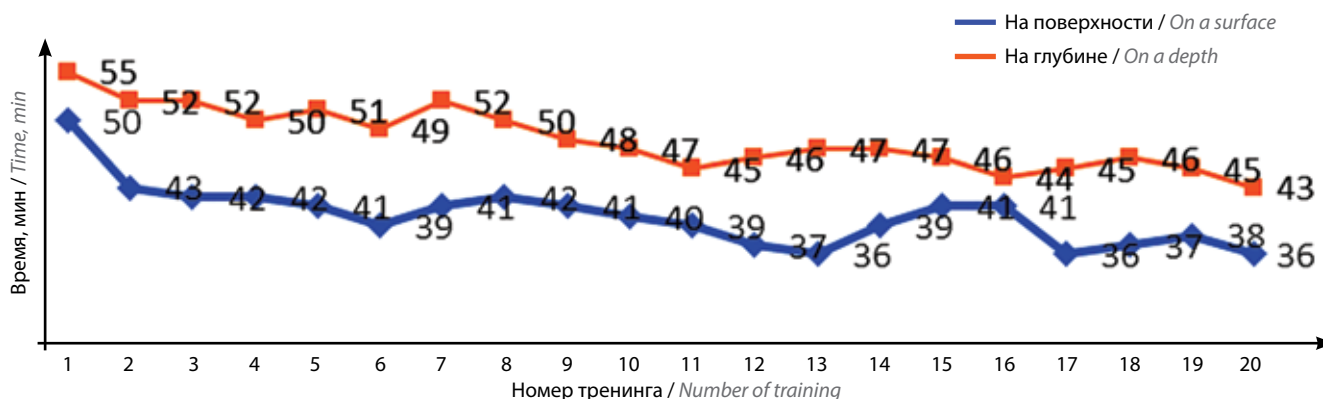


Рис. 5. Временная динамика выполнения упражнения на салфетке нитью 9/0–12/0 на поверхности и в глубине операционного поля (платформа LEGO)

Fig. 5. Temporal dynamics of suture neighboring fibers of the gauze with 9/0–12/0 thread on the surface and in the depth of the surgical field (LEGO platform)

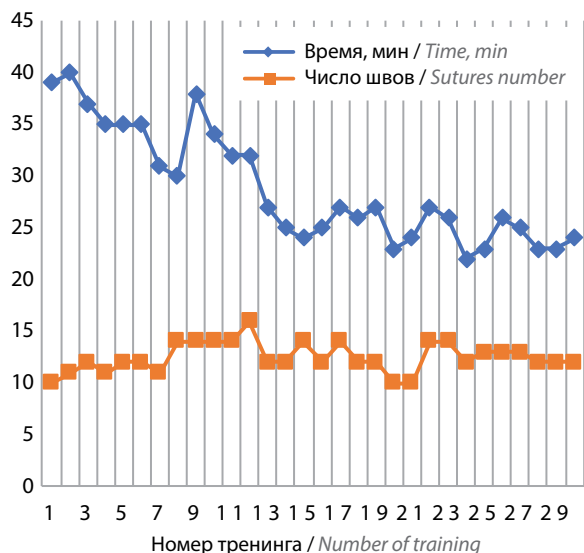


Рис. 6. Временная динамика наложения анастомоза конец-в-бок в ходе тренировок

Fig. 6. Temporal dynamics of end-to-side anastomosis during microsurgical training

(AliExpress) приобретался весь необходимый инструментарий — прямые микроножницы, микропинцет и микроиглодержатель разной длины (11 и 15 см).

На начальном этапе навыки отрабатывались на салфетке. Это наиболее простой способ ежедневного совершенствования или поддержания мануальных навыков. Т. Ипоце и соавт. рекомендовали наложение 10 тыс. швов перед наложением экстра-интракраниального анастомоза между ПВА и СМА [7]. I. Lascar и соавт. пишут о наложении 200 швов на салфетке перед началом практики на сосудах куриного крыла [13]. При этом применение нити 12/0 на большом увеличении ($\times 20$) позволяет более прецизионно отработать технику шва. Выполнение задания левой (недоминантной) рукой дает возможность увеличить ее ловкость и маневренность.

Навык работы на глубине велся с помощью самодельной платформы, имитирующей глубину/узость поля. При этом в нашей модели предусмотрена возможность уменьшать или увеличивать рабочий коридор, изменяя просвет конструкции или ее высоту.

Для отработки диссекции и микрососудистого анастомоза использовалось крыло курицы. Выделение артерий позволяет отработать навык диссекции, поэтому важно работать на всем протяжении куриного крыла вплоть до кисти, выделяя мелкие артерии (менее 1 мм в диаметре). Анастомозирование конец-в-бок в большинстве случаев проводилось на ПА и ЛЧА, диаметр которых составляет 1,2 и 1,0 мм соответственно. Для отработки шва на более мелких артериях накладывался шов артерий кисти (диаметром менее 1,0 мм) и ЛЧА. При этом до начала диссекции сосуды заполнялись подкрашенным акриловой краской раствором через венозную канюлю, установленную в ПА. Это

облегчало их визуализацию и оценку проходимости анастомоза. Конечно, жидкость все равно будет протекать между швами, но при качественном наложении шва подтекание окажется равномерным и края разреза стенки артерии не будут зиять. Следует учитывать особенность строения артерий курицы, имеющих более выраженную адвентицию, отделение которой подводит оператора к этапу выделения и подготовки ПВА перед созданием микроанастомоза с СМА в условиях клиники. Применение для формирования анастомозов нити 12/0 позволяет приучать обучающегося к работе с тончайшим шовным материалом при большом увеличении, а также выполнять больше швов для завершения анастомоза.

Для отработки анастомозов бок-в-бок сшивались ЛЧА и ЛКА. В последнее время мы стали использовать модель с грейпфрутом, когда шов накладывается в глубине борозды фрукта [14]. Этот метод позволяет одновременно отработать и навык межполушарного доступа и шва передних мозговых артерий. Однако модель не является рутинно используемой в нашей практике.

Согласно I. Lascar и соавт., оценивавших кривую обучаемости при наложении микроанастомозов, для достижения уверенных навыков, сопоставимых с таковыми у опытных хирургов, достаточно выполнения 30 анастомозов [13]. В нашей практике также потребовалось 25–30 анастомозов, чтобы выйти на плато по времени с хорошим качеством шва.

Данные литературы и наш опыт убеждают в необходимости ежедневной тренировки мануальных навыков, которые существенно повышаются даже при использовании таких простых моделей для тренировки. Еще два важных момента — возможность закупки относительно недорогого оборудования для тренировки и легкость его применения как в домашних условиях, так и в отделениях, не имеющих специализированных лабораторий. Наша работа показала, что с помощью тринокулярного цифрового стереомикроскопа Eakins (КНР), удобного и простого в работе, можно обеспечить (подобно другим микроскопам на рынке) большинство требований, необходимых для тренировки: отличное увеличение, яркость освещения поля, создание объемного изображения.

У данного микроскопа имеются и недостатки: относительно небольшое фокусное расстояние и отсутствие автоматического изменения увеличения (последняя опция доступна только на операционных микроскопах). Однако эти недостатки практически не ощущаются и не влияют на качество тренировки.

Есть возможность применения со стереомикроскопами флуоресцеина. Так, R. M. Lovato и соавт. применяли легкодоступное кольцо для ультрафиолетового излучения с желтым барьерным фильтром с выводом изображения на компьютер [15]. Мы с успехом заменили флуоресцеин на окрашенную краской жидкость, хотя флуоресценция имеет свои преимущества.

Несомненно, приблизиться к реальным условиям микрохирургических операций позволит применение лабораторных животных, но, прежде чем начать работать с ними, необходимо создать базовый навык. Именно предварительная отработка шва или диссекции на курином (или аналогичном) крыле позволяет приобрести необходимый навык, который может быть отточен уже в лаборатории или виварии. Немаловажно поддержание приобретенных навыков. Такие потребности, как показала наша работа, обеспечиваются непрерывным микрохирургическим тренингом, который может проводиться в перерывах на работе (в учебе) или в домашних условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постоянные микрохирургические упражнения с постепенным их усложнением — неотъемлемая часть

совершенствования микрохирургических навыков. Важны как периодические интенсивные многодневные тренировки на мастер-классах и курсах, так и постоянные упражнения с использованием простых моделей. В своей практике для постоянной тренировки мы используем рядовые упражнения, промышленный микроскоп и простой инструментарий. Это позволяет проводить тренинг в свободное время на рабочем/учебном месте или в домашних условиях. Представленный опыт демонстрирует возможность и эффективность отработки микрохирургических навыков с помощью простых инструментов и несложных моделей (при необходимости их можно значительно усложнить). Улучшение мануальных навыков, отмеченное в ходе постоянных тренировок, свидетельствует о необходимости и важности микрохирургического тренинга как при обучении нейрохирургов, так и в дальнейшем.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бельх Е.Г. Экспериментальные модели для нейрохирургического тренинга клипирования аневризм средней мозговой артерии и наложения микроанастомозов. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2017. 26 с.
2. Belykh E.G. Experimental models for neurosurgical training of clipping of an aneurysm of the middle cerebral artery and the microanastomoses. Abstract of the dis. ... of cand. of med. sciences. Moscow, 2017. 26 p. (In Russ.).
3. Бывальцев В.А., Сороковников В.А., Бельх Е.А. Микрохирургический тренинг в нейрохирургии. Новосибирск: Наука, 2013. Byvaltsev V.A., Sorokovnikov V.A., Belykh E.A. Microsurgical training in neurosurgery. Novosibirsk: Nauka, 2013.
4. Kim B.J., Kim S.-T., Jeong Y.-G. et al. An efficient microvascular anastomosis training model based on chicken wings and simple instruments. J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg 2013;15(1):20–5. DOI: 10.7461/jcen.2013.15.1.20
5. Olabe J., Olabe J. Microsurgical training on an in vitro chicken wing infusion model. Surg Neurol 2009;72(6):695–9. DOI: 10.1016/j.surneu.2008.12.008
6. Hino A. Training in microvascular surgery using a chicken wing artery. Neurosurgery 2003;52(6):1495–7; discussion 1497–8. DOI: 10.1227/01.neu.00000065174.83840.62
7. Peled I.J., Kaplan H.Y., Wexler M.R. Microsilicone anastomoses. Ann Plast Surg 1983;10(4):331–2. DOI: 10.1097/00000637-198304000-00015
8. Inoue T., Tsutsumi K., Adachi S. et al. Effectiveness of suturing training with 10-0 nylon under fixed and maximum magnification (x20) using desk type microscope. Surg Neurol 2006;66(2):183–7. DOI: 10.1016/j.surneu.2005.11.064
9. Cikla U., Sahin B., Hanalioglu S. et al. A novel, low-cost, reusable, high-fidelity neurosurgical training simulator for cerebrovascular bypass surgery. J Neurosurg 2019;130(5):1663–71. DOI: 10.3171/2017.11.JNS17318
10. Colpan M.E., Slavin K.V., Amin-Hanjani S. et al. Microvascular anastomosis training model based on a Turkey neck with perfused arteries. Neurosurgery 2008;62(5 Suppl 2): ONS407–10; discussion ONS410–1. DOI: 10.1227/01.neu.0000326026.01349.75
11. Olabe J., Olabe J., Sancho V. Human cadaver brain infusion model for neurosurgical training. Surg Neurol 2009;72(6):700–2. DOI: 10.1016/j.surneu.2009.02.028
12. Matsumura N., Hamada H., Yamatani K. et al. Side-to-side arterial anastomosis model in the rat internal and external carotid arteries. J Reconstr Microsurg 2001;17(4):263–6. DOI: 10.1055/s-2001-14518
13. Shurey S., Akelina Y., Legagneux J. et al. The rat model in microsurgery education: classical exercises and new horizons. Arch Plast Surg 2014;41(3):201–8. DOI: 10.5999/aps.2014.41.3.201
14. Lascar I., Totir D., Cinca A. et al. Training program and learning curve in experimental microsurgery during the residency in plastic surgery. Microsurgery 2007;27(4):263–7. DOI: 10.1002/micr.20352
15. Cikla U., Rowley P., Jennings Simoes E.L. et al. Grapefruit training model for distal anterior cerebral artery side-to-side bypass. World Neurosurg 2020;138:39–51. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.02.107
16. Lovato R.M., Campos Paiva A.L., Pesente F.S. et al. An affordable stereomicroscope for microsurgery training with fluorescence mode. World Neurosurg 2019;130:142–5. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.06.199

Вклад авторов

К.Н. Бабичев: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание статьи;
 А.В. Станишевский: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, написание статьи;
 Р.С. Мартынов: сбор и обработка материала;
 Д.В. Свистов: написание и редактирование статьи.

Authors' contributions

K.N. Babichev: research idea and design of the study, obtaining data for analysis, article writing;
 A.V. Stanishevskiy: research idea and design of the study, obtaining data for analysis, article writing;
 R.S. Martynov: obtaining data for analysis;
 D.V. Svistov: article writing and editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

К.Н. Баби́чев / K.N. Babichev: <https://orcid.org/0000-0002-4797-2937>

А.В. Стани́шевский / A.V. Stanishevskiy: <https://orcid.org/0000-0002-2615-269X>

Р.С. Марты́нов / R.S. Martynov: <https://orcid.org/0000-0002-2769-3551>

Д.В. Сви́стов / 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. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ЭПИДУРАЛЬНОЙ АРАХНОИДАЛЬНОЙ КИСТЫ II ТИПА ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА: НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

Р.А. Коваленко^{1,2}, Ю.И. Рюмина², В.Ю. Чербилло², В.А. Кашин²

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; Россия, 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2;

²ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России; Россия, 197022 Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8

Контакты: Роман Александрович Коваленко roman.kovalenko@my.com

Введение. Спинальные эпидуральные арахноидальные кисты представляют собой выпячивания арахноидальной оболочки через имеющийся в дуральной оболочке дефект, функционирующий как клапан. Литературные данные о диагностике и хирургическом лечении представлены в основном описаниями клинических случаев, и нет единого мнения относительно оптимального подхода к решению данной проблемы.

Цели работы – представить клинический случай хирургического лечения эпидуральной арахноидальной кисты II типа грудного и поясничного отделов позвоночника; провести анализ методов диагностики и хирургического лечения такого рода кист.

Материалы и методы. Проанализированы все случаи диагностики и лечения спинальных эпидуральных арахноидальных кист у взрослых, опубликованные в поисковой системе PubMed по 2021 г. Представлен клинический случай успешного хирургического лечения на базе Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова (Санкт-Петербург, Россия) эпидуральной арахноидальной кисты грудного и поясничного отделов позвоночника II типа.

Результаты. Анализ опубликованных результатов лечения пациентов с эпидуральными арахноидальными кистами показал, что основные задачи, стоящие перед хирургом, – нахождение и закрытие сообщения между кистой и субдуральным пространством. Для точного определения локализации дефекта твердой мозговой оболочки и минимизации оперативного доступа многие авторы считают эффективным выполнение компьютерно-томографической миелографии.

Заключение. Несмотря на разнообразие существующих методов диагностики, специфичный и точный способ визуализации дефекта на сегодняшний день не найден. На основании собственного опыта и проведенного анализа литературы можно утверждать, что редкость публикаций по данной тематике делает крайне важными и необходимыми даже отдельные сообщения, что на сегодняшний день нет возможности предложить точную стратегию в отношении диагностики и хирургического лечения подобных кист.

Ключевые слова: спинальная эпидуральная арахноидальная киста, клапанный механизм, компьютерно-томографическая миелография, дефект твердой мозговой оболочки

Для цитирования: Коваленко Р.А., Рюмина Ю.И., Чербилло В.Ю., Кашин В.А. Хирургическое лечение эпидуральной арахноидальной кисты II типа грудного и поясничного отделов позвоночника: наблюдение из практики. Нейрохирургия 2022; 24(3):46–51. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-46-51

Surgical treatment of epidural arachnoid cyst type II of the thoracic and lumbar spine: case report

R.A. Kovalenko^{1,2}, Yu.I. Ryumina², V.Yu. Cherebillo², V.A. Kashin²

¹Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Health of Russia; 2 Akkuratova St., Saint Petersburg 197341, Russia;

²Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Ministry of Health of Russia; 6–8 Lva Tolstogo St., Saint Petersburg 197022, Russia

Contacts: Roman Aleksandrovich Kovalenko roman.kovalenko@my.com

Background. Spinal epidural arachnoid cysts are the protrusion of the arachnoid membrane through an existing defect in the dural, functioning as a valve. Literature data on diagnosis and surgical treatment are presented by descriptions of clinical cases and there is no consensus on the optimal approach to solving this problem.

Aim. To present a clinical case of surgical treatment of epidural arachnoid cyst type II of the thoracic and lumbar spine; to analyze methods of diagnosis and surgical treatment of such cysts.

Materials and methods. All cases of diagnosis and treatment of spinal epidural arachnoid cysts in adults published in the PubMed search engine by 2021 have been analyzed. A clinical case of successful surgical treatment of an epidural arachnoid cyst of the thoracic and lumbar spine of type II on the basis of the Almazov National Medical Research Centre (Saint Petersburg, Russia) is presented.

Results. Analysis of the published results of treatment of patients with epidural arachnoid cysts showed that the main task facing the surgeon is to identify and close the communication between the cyst and the subdural space. To accurately determine the localization of the dura mater defect and minimize operative access, many authors consider computed tomography myelography to be effective.

Conclusion. Despite the variety of existing diagnostic methods, a specific and accurate way to visualize the defect has not been found to date. Based on the analysis of the literature, it can be said that the rarity of publications on this topic makes even individual reports relevant, and today there is no way to propose a specific strategy for the diagnosis and surgical treatment of such cysts.

Keywords: spinal epidural arachnoid cyst, valvular mechanism, computed tomography myelography, dura mater defect

For citation: Kovalenko R.A., Ryumina Yu.I., Cherebillo V.Yu., Kashin V.A. Surgical treatment of epidural arachnoid cyst type II of the thoracic and lumbar spine: case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3): 46–51. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-46-51

ВВЕДЕНИЕ

Спинальные эпидуральные арахноидальные кисты (ЭДАК) — редкая патология, на их долю приходится всего 1–3 % от всех объемных образований позвоночного столба.

Первопричина их возникновения в большинстве случаев не может быть установлена, и подобные образования рассматриваются как идиопатическая ЭДАК [1].

Литературные данные о диагностике и хирургическом лечении, как правило, представлены описаниями клинических случаев. Диагноз обычно ставится с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ), когда визуализируется оттесняющее спинной мозг и нервные корешки образование: гипоинтенсивное на T1-взвешенных изображениях (T1 ВИ) и гиперинтенсивное — на T2-взвешенных (T2 ВИ).

В качестве лечения ЭДАК позвоночника описаны различные хирургические методы — установка кистоперитонеального дренажа [2], дренирование кисты и удаление ее стенки, пластика ликворного свища [3]. Несмотря на то что единого мнения относительно наилучшей тактики нет, большинство исследователей согласны с тем, что дефект должен быть устранен, однако вопрос о необходимости полного удаления кисты остается открытым.

Цель работы — представить клинический случай хирургического лечения ЭДАК II типа грудного и поясничного отделов позвоночника; провести анализ методов диагностики и хирургического лечения таких кист.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Пациент Т., 33 лет, поступил в нейрохирургическое отделение НМИЦ им. В.А. Алмазова с жалобами на про-

грессирующую слабость в нижних конечностях, невозможность произвольных движений в стопах, онемение наружной поверхности голени справа. На момент поступления в течение 2 лет уже передвигался с опорой на костыли. В неврологическом статусе при поступлении выявлено: нижний спастический парализ (проксимально — 4 балла, дистально справа — 0 баллов, слева — 1 балл), положительный симптом Бабинского (с 2 сторон). Гипестезия нижних конечностей ниже колен. Функции тазовых органов не нарушены.

При выполнении МРТ грудного и поясничного отделов позвоночника обнаружено экстремедулярное объемное образование на уровне позвонков Th11 — L3, по интенсивности сигнала соответствующее ликвору, компримирующее дуральный мешок с распространением в фораминальные отверстия (рис. 1).

Для определения места сообщения кисты с арахноидальным пространством выполнена компьютерно-томографическая миелография (КТМ) позвоночника. На снимках определено распространение контрастного вещества в латеральные карманы на уровне позвонков: Th11 — справа, Th12 — слева, с наибольшей зоной затека на уровне Th11 (рис. 2). Убедительных признаков места сообщения кисты на КТМ не визуализировано.

После обследования принято решение о проведении ламинэктомии (ЛЭ) Th11-позвонка и расширении доступа при отсутствии дефекта твердой мозговой оболочки (ТМО) до уровня его визуализации. На уровне Th11 эпидурально визуализировано объемное образование синюшного цвета, наполненное жидкостью (рис. 3). При вскрытии образования из полости начал выделяться ликвор: при его отделении определялось неплотное сращение с ТМО. При осмотре полости кисты на данном уровне сообщение с дуральным мешком не обнаружено. Принято

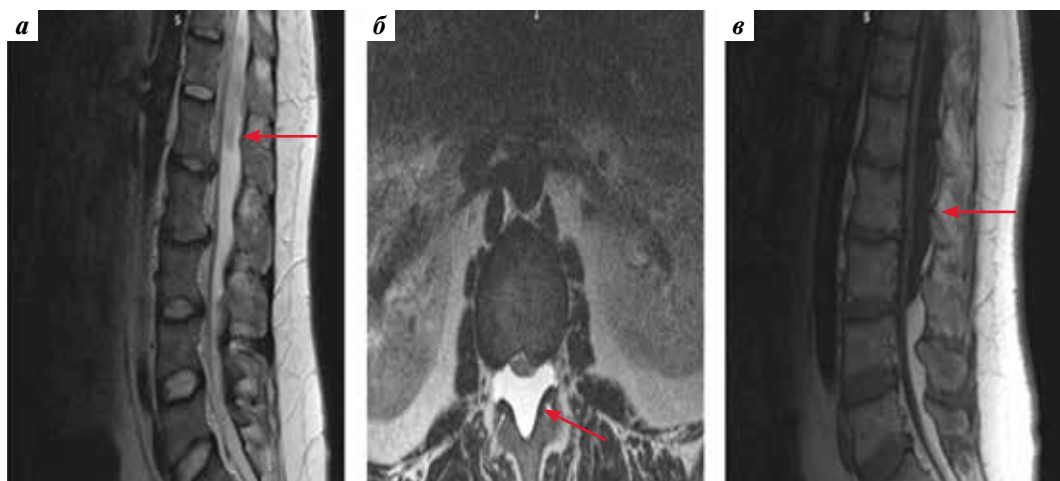


Рис. 1. Обзорная МРТ нижнего грудного и поясничного отделов позвоночника (T2 ВИ) пациента с эпидуральной арахноидальной кистой (стрелка) на уровне позвонков Th11–L3. Проекции (T2 ВИ): а – сагиттальная; б – аксиальная; в – сагиттальная T1 ВИ

Fig. 1. Overview magnetic resonance imaging of the lower thoracic and lumbar spine (T2) of a patient with an epidural arachnoid cyst (arrow) at the level of Th11–L3 vertebrae. Projections (T2): а – sagittal; б – axial; в – sagittal T1

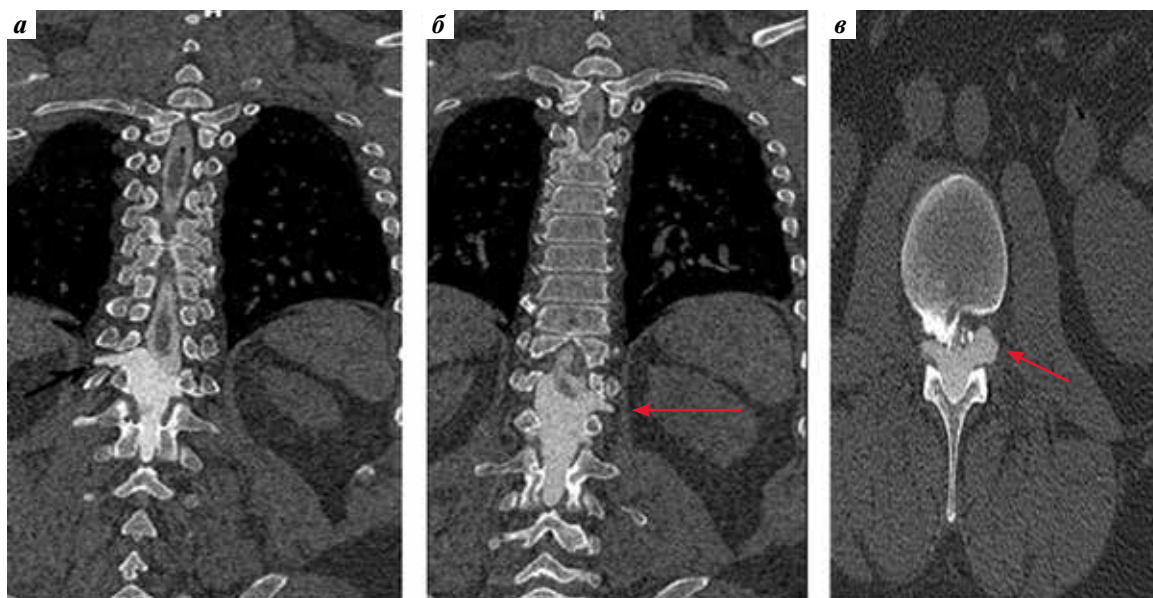


Рис. 2. Снимки КТМ (аксиальная проекция) эпидуральной арахноидальной кисты на уровне позвонков Th11–L3 пациента Т. Визуализируется распространение контрастного вещества: а, б – в проекции ножек Th11-позвонка (стрелка); в – на аксиальном срезе (стрелка)

Fig. 2. Patient with the epidural arachnoid cyst at the level of the vertebrae Th11–L3, computed tomography myelography (axial projection). The distribution of the contrast agent is visualized: а, б – in the projection of the legs of the Th11 vertebra (arrow); в – on the axial section (arrow)

решение о дальнейшем выделении образования в каудальном направлении. Выполнена ЛЭ Th12, частично резецированы дужки и остистый отросток L1, удалена желтая связка. На уровне ножки L1 обнаружено сращение стенки кисты и дурального мешка. При осмотре ее полости в данной зоне выявлен корешок, в области манжеты которого определялся дефект ТМО (1 × 3 мм), из которого поступал ликвор (рис. 4). Дистальный конец образования удален методом тракции без выполнения ЛЭ. Киста удалена тотально (размер – 16 см). Выполнена пластика дефекта ТМО жировым аутооттрансплантатом и фибриновым клеем.

Гистологическое исследование удаленной кисты: фиброзная ткань, выстланная клетками менингоотелия.

Пациент выписан из стационара через 7 сут после проведенного оперативного лечения. Неврологический статус на момент выписки оставался на дооперационном уровне.

Через 6 мес после операции, по данным контрольной МРТ грудного и поясничного отделов позвоночника, отмечается полное отсутствие кисты, очаг миелопатии на уровне Th11–12 (рис. 5). В неврологическом статусе – незначительная положительная динамика в виде восстановления чувствительности в нижних конечностях.

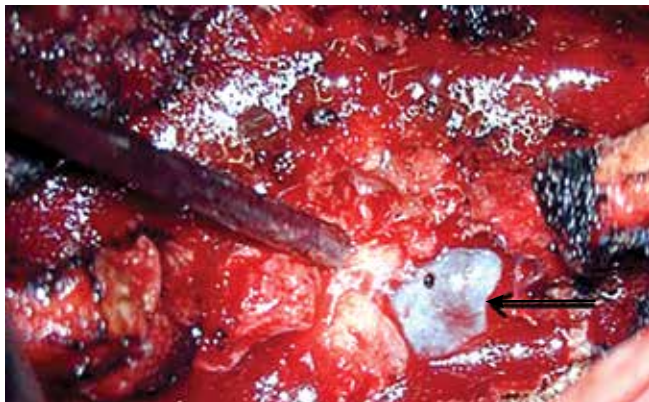


Рис. 3. Интраоперационная фотография эпидурального объемного образования, наполненного жидкостью на уровне позвонка Th11

Fig. 3. Intraoperative photo of an epidural volume formation filled with fluid at the level of the Th11 vertebra

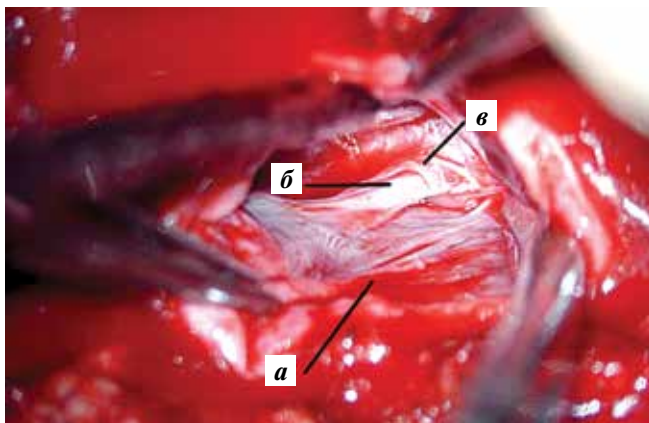


Рис. 4. Интраоперационная фотография: а — полость кисты; б — проходящий в полости кисты нервный корешок; в — дефект твердой мозговой оболочки в области манжеты нервного корешка

Fig. 4. Intraoperative photo: a — intraoperative photo of the cyst cavity; б — nerve root passing through the cyst cavity; в — defect of the dura mater in the area of the cuff of the nerve root

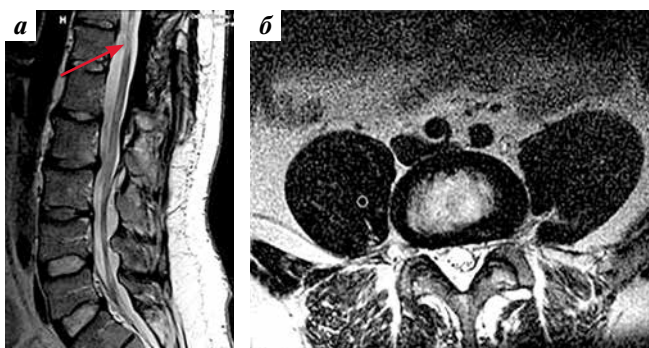


Рис. 5. Обзорная МРТ (Т2 ВИ) пациента с эпидуральной арахноидальной кистой через 6 мес после тотального ее удаления и закрытия ликворного свища. Проекция: а — сагиттальная (стрелкой указан очаг миелопатии); б — аксиальная

Fig. 5. An overview magnetic resonance imaging (T2) of a patient with an epidural arachnoid cyst 6 mo after its total removal and closure of the cerebrospinal fistula. Projections: а — sagittal (the arrow indicates the focus of myelopathy); б — axial

Со стороны двигательных нарушений динамики нет, сохраняется дистальный парапарез, передвигается пациент с опорой на костыли. Функции тазовых органов не нарушены.

ОБСУЖДЕНИЕ

Исторически арахноидальные кисты классифицируются по М. W. Nabors и соавт. (1988): I тип — экстрадуральные менингеальные кисты без корешков спинно-мозговых нервов; II тип — экстрадуральные менингеальные кисты с корешками спинно-мозговых нервов; III тип — интрадуральные менингеальные кисты [4].

Этиология и патогенез ЭДАК до сих пор составляют предмет дискуссий. Ряд авторов предполагают, что причина развития ЭДАК — арахноидальные спайки после травмы, воспалительных и инфекционных заболеваний. Имеются публикации о возникновении кист после проведения диагностических манипуляций и хирургических операций [5].

Существует 3 теории постепенного медленного роста кисты. Первая основывается на предположении о том, что стенки кисты активно продуцируют жидкость. Вторая предполагает клапанный механизм заполнения кист через соустье с субарахноидальным пространством. Согласно третьей теории, заполнение кист может происходить вследствие осмотического градиента между жидкостью, содержащейся в кисте, и цереброспинальной жидкостью в субарахноидальном пространстве спинного мозга.

Наиболее распространенное объяснение механизма образования кист — наличие функционирующего как клапан дефекта дуральной оболочки, сочетающегося с выпячиванием арахноидальной оболочки. Чаще всего такой дефект находится вблизи манжетки нервного корешка. Во время физических упражнений и других действий ликвор через имеющееся отверстие поступает в интрадуральное пространство по клапанному механизму, что препятствует его обратному току и с течением времени приводит к увеличению кисты.

Клиническая картина не имеет специфических симптомов и, как правило, включает болевой синдром, проявления компрессионной миелопатии, радикулопатии. Миелопатические расстройства развиваются постепенно на протяжении ряда лет. В 2/3 наблюдений отмечается медленно прогрессирующее течение заболевания. У 1/3 больных — ремиттирующее течение, что, вероятно, связано с перепадами уровня давления жидкости в кисте [6]. В обзоре J. L. Charissoux и соавт. (1992) показано, что только 11 % пациентов жалуются на локальную боль в спине [7]. Согласно подсчетам J. Klekamp и M. Samii (2007), имеют снижение чувствительности — 89 %, слабость в конечностях — 78 %, нарушение походки — 67 %, локальную боль — 44 %, дизестезию или нарушение функций тазовых органов — по 11 % пациентов [8].

Ввиду редкости данной патологии, отсутствия крупных исследований, включающих всесторонний анализ клинических проявлений, а также публикаций результатов хирургического лечения, не существует единого мнения об оптимальном объеме оперативного вмешательства, инструментальном методе диагностики, позволяющем точно визуализировать место сообщения кисты с субарахноидальным пространством.

В 2012 г. С.Н. Lee и соавт. представили (и объединили данные ряда исследований) анализ публикаций клинических случаев диагностики и лечения ЭДАК с 1960 по 2011 г. [9].

Критерии отбора:

- наличие у пациентов диагностированной спинальной ЭДАК (IA, IB и II);
- хирургический метод лечения;
- отсутствие данных о наличии травмы и операций, которые могли послужить причиной образования кист.

Рассмотрены результаты 44 операций в литературе и 8 случаев личного опыта С.Н. Lee и соавт. Сводные данные: проведено восстановление дефекта дуральной оболочки и фенестрация стенки кисты — 27 (51,9 %); восстановление дефекта ТМО и полное ее иссечение — 24 (46,2 %); фенестрация кисты (только потому, что авторы не смогли обнаружить дефект дуральной оболочки) — 1 (1,9 %) больному. Хирургические методы варьировались в разных исследованиях и разделены на 2 класса: закрытие дефекта ТМО и полное иссечение стенки кисты без закрытия дефекта [9].

Проведенный анализ показал тесную связь частоты рецидивов с восстановлением дефекта ТМО. Частота рецидивов у пациентов, которым проводилось закрытие дефекта, — 2 %, у больных без пластики дефекта — 66,7 %. Однако авторы отмечают ограничение проведенного исследования продолжительностью наблюдения, которая имеет широкий диапазон от 7 до 96 мес [9].

Несмотря на отсутствие статистической значимости, оценка послеоперационных клинических исходов у пациентов, перенесших полную резекцию ЭДАК, была ниже, чем у больных после фенестрации или частичной резекции кисты. Авторы предполагают связь полученных результатов с выполнением ЛЭ на нескольких уровнях для проведения полной резекции кисты, которая приводила к нестабильности позвоночно-двигательных сегментов и соответствующим осложнениям в послеоперационном периоде. Исходя из этого, оптимальной тактикой лечения служит гемиламинэктомия на соответствующем дефекту уровне с последующим его закрытием. По мнению авторов, КТМ — метод, позволяющий более точно визуализировать место расположения дефекта.

J.M. V. Guinn и соавт. (2020) провели на PubMed обзор 43 статей о диагностике и лечении ЭДАК у взрослых [10]. По данным этого анализа, МРТ служит стан-

дартом диагностики ЭДАК, предоставляющим информацию о местоположении и протяженности кисты, а также состоянии спинного мозга. Однако стандартная МРТ не позволяет определить точную локализацию дефекта. Авторы отмечают, что основная цель лечения рассматриваемой патологии — закрытие сообщения между кистой и субарахноидальным пространством. Точная предоперационная идентификация сообщения позволяет выполнять более щадящие хирургические доступы, снижая риск послеоперационных осложнений. В большинстве случаев, по данным анализа литературы, КТМ помогает определить местоположение свищевого соединения. Авторы отмечают визуализацию затека контрастного вещества в области латерального кармана — предполагаемого места нахождения ликворного свища [11].

I. Paredes и соавт. (2020) опубликовали 5 случаев ЭДАК I типа. Всем пациентам выполнена ЛЭ или ламинопластика с полным удалением кисты. В каждом случае дефект ТМО был визуализирован интраоперационно и находился рядом с выходом нервного корешка. Однако на дооперационном уровне МРТ позволила идентифицировать место дефекта только в 1 случае. Проведенная 1 из 5 пациентов предоперационная КТМ не показала место сообщения кисты с субарахноидальным пространством [12].

M. Neo и соавт. (2004) описали случай успешного лечения гигантской спинальной арахноидальной кисты с помощью пластики дефекта ТМО, выполненной через интерламинэктомический доступ [13]. Сообщение между кистой и арахноидальным пространством было точно идентифицировано с помощью магнитно-резонансной ликвородинамики. Авторы отмечают визуализацию пульсирующего потока на уровне L1-позвонка слева на T2 ВИ, что указывает на местоположение сообщения. Пациенту выполнена интерламинэктомия T12 — L1 слева. Дорсальная стенка кисты была вскрыта; при исследовании полости кисты, как и предполагалось, слева визуализировался продольный разрыв ТМО, через который просматривался корешок. Выполнена пластика дефекта.

Через 4 мес после операции МРТ-контроль показал полное отсутствие кисты. Авторы акцентируют внимание на том, что именно точная идентификация места сообщения кисты с субдуральным пространством при помощи данных магнитно-резонансной ликвородинамики позволила выполнить пластику ликворного свища из минимального костного доступа [13].

В представленном нами клиническом случае пациента Т., поступившего в нейрохирургическое отделение НМИЦ им. В.А. Алмазова, важно отметить задержку диагностики данного образования, что, наиболее вероятно, связано с редкостью данной патологии. Впервые диагноз ЭДАК поставлен больному Т. при госпитализации в нашу клинику, и на тот момент дистальный парализ у пациента существовал уже на протяжении

2 лет. Проведенная КТМ не позволила визуализировать место сообщения кисты с арахноидальным пространством, в связи с чем выбрана тактика эксплоративной (пробной) ЛЭ. Через 6 мес после операции зафиксировано полное отсутствие кисты, очаг миелопатии на уровне Th11–12 (рис. 5). Со стороны двигательных нарушений динамики нет, сохраняется дистальный парапарез, передвигается пациент с опорой на костыли. Отсутствие выраженной положительной динамики в неврологическом статусе, вероятно, обусловлено развившейся компрессионной миелопатией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпидуральные арахноидальные кисты — редкие объемные образования позвоночного столба, характеризующиеся наличием сообщения с арахноидальным пространством посредством дефекта твердой мозговой оболочки, функционирующего как клапан. Основная задача, стоящая перед хирургом, — определение и закрытие ликворного свища. Однако, несмотря на разнообразие существующих методов диагностики, специфичный и точный способ визуализации дефекта на сегодняшний день не найден.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Uemura K., Yoshizawa T., Matsumura A. et al. Spinal extradural meningeal cyst. *J Neurosurg* 1996;85(2):354–6. DOI: 10.3171/jns.1996.85.2.0354
2. Luo R., Song Y., Liao Z. et al. Severe kyphoscoliosis associated with multiple giant intraspinal epidural cysts: A case report and literature review. *World Neurosurg* 2019;125:129–35. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.01.178
3. Woo J.B., Son D.W., Kang K.T. et al. Spinal extradural arachnoid cyst. *Korean J Neurotrauma* 2016;12(2):185–90. DOI: 10.13004/kjnt.2016.12.2.185
4. Nabors M.W., Pait T.G., Byrd E.B. et al. Updated assessment and current classification of spinal meningeal cysts. *J Neurosurg* 1988;68(3):366–77. DOI: 10.3171/jns.1988.68.3.0366
5. Fam M.D., Woodroffe R.W., Helland L. Spinal arachnoid cysts in adults: diagnosis and management. A single-center experience. *J Neurosurg Spine* 2018;29(6):711–9. DOI: 10.3171/2018.5.spine.1820
6. Евзиков Г.Ю., Кушель Ю.В. Спинальные экстрадуральные арахноидальные кисты. *Нейрохирургия* 2012;(2):8–12. Evzikov G.Yu., Kushel Yu.V. Spinal extradural arachnoid cysts. *Neurokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2012;(2):8–12. (In Russ.).
7. Charissoux J.L., Dunoyer J., Arnaud J.P. et al. Extradural spinal cysts: an uncommon cause of back pain. Review of the literature apropos of a case. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1992;78(1):51–7. (In Fr.).
8. Klekamp J., Samii M. Surgery of spine tumors. Springer-Verlag, 2007. 440 p.
9. Lee C.H., Hyun S.J., Kim K.J. et al. What is a reasonable surgical procedure for spinal extradural arachnoid cysts: is cyst removal mandatory? Eight consecutive cases and a review of the literature. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(7):1219–27. DOI: 10.1007/s00701-012-1356-7
10. Guinn J.M.V., Mayer R., Auguste K.I. et al. Extradural thoracic meningeal cyst without spinal dysraphism causing adulthood myelopathy: Case illustration and review of the literature. *Journal of Clinical Neuroscience* 2020;78:433–8. DOI: 10.1016/j.jocn.2020.05.039
11. Marbacher S., Barth A., Arnold M., Seiler R.W. Multiple spinal extradural meningeal cysts presenting as acute paraplegia. *J Neurosurg Spine* 2007;6(5):465–72. DOI: 10.3171/spi.2007.6.5.465
12. Paredes I., Munarriz P.M., Toldos O. et al. True dural spinal epidural cysts. Report of 5 cases. *World Neurosurg* 2020;135:87–95. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.12.010
13. Neo M., Koyama T., Sakamoto T. et al. Detection of a dural defect by cinematic magnetic resonance imaging and its selective closure as a treatment for a spinal extradural arachnoid cyst. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(19):E426–30. DOI: 10.1097/01.brs.0000141189.41705.70

Вклад авторов

Р.А. Коваленко: разработка концепции и дизайна исследования, написание статьи;
Ю.И. Рюмина: анализ литературы, написание статьи;
В.Ю. Черемилло: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование статьи;
В.А. Кашин: анализ литературы.

Authors' contributions

R.A. Kovalenko: research idea and design of the study, article writing;
Yu.I. Ryumina: analysis for literary sources, article writing;
V.Yu. Cherebillo: research idea and design of the study, editing of the article;
V.A. Kashin: analysis for literary sources.

ORCID авторов / ORCID of authors

Р.А. Коваленко / R.A. Kovalenko: <https://orcid.org/0000-0002-7940-7086>
Ю.И. Рюмина / Yu.I. Ryumina: <https://orcid.org/0000-0003-1455-4277>
В.Ю. Черемилло / V.Yu. Cherebillo: <https://orcid.org/0000-0001-6803-9954>
В.А. Кашин / V.A. Kashin: <https://orcid.org/0000-0002-0626-1565>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Пациент подписал информированное согласие на публикацию своих данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. Patient gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 06.12.2021. Принята к публикации: 25.05.2022.

Article submitted: 06.12.2021. Accepted for publication: 25.05.2022.

ДИСТАЛЬНАЯ АНЕВРИЗМА СРЕДИННОЙ АРТЕРИИ МОЗОЛИСТОГО ТЕЛА: НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

В.М. Фениксов¹, Р.Л. Камбиев², Д.А. Николаев¹, Д.С. Глухов¹

¹ГБУЗ «Городская клиническая больница №1 им. Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 119049 Москва, Ленинский просп., 8;

²ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; Россия, 129110 Москва, ул. Щепкина, 61/2

Контакты: Виктор Михайлович Фениксов fenixov@gmail.com

Введение. В настоящее время в литературе описано множество вариантов патологии развития передней мозговой артерии, включая такие формы, как аплазия, гипоплазия, дупликация, трипликация и иные. Наличие срединной артерии мозолистого тела – редкая патология передней части виллизиева круга, частота ее встречаемости составляет 4,5–14,2 %. Примерно в 81 % случаев срединная артерия мозолистого тела сочетается с трифуркацией передней соединительной артерии. Встречаемость дистальных аневризм передних мозговых артерий составляет от 1,5 до 9,0 % от всех внутричерепных аневризм. Аневризмы срединной артерии мозолистого тела крайне редко упоминаются в литературе, авторам не удалось найти случаи описания дистальных аневризм данной локализации. Следует учитывать, что при проведении лучевой диагностики до одной трети всех случаев срединной артерии мозолистого тела остаются не выявленными.

Цель работы – представить клинический случай успешного оперативного лечения дистальной аневризмы срединной артерии мозолистого тела у больного К., 39 лет, проведенного с применением операционной нейронавигации.

Материалы и методы. Описан клинический случай оперативного лечения дистальной аневризмы срединной артерии мозолистого тела у больного К., 39 лет, на базе ГБУЗ «Городская клиническая больница №1 им. Н.И. Пирогова» Департамента здравоохранения г. Москвы. Пациенту выполнена компьютерная томография головного мозга с контрастированием: только тогда были выявлены признаки мешотчатой аневризмы сегментов А2–3 срединной артерии мозолистого тела. Проведено оперативное лечение: костно-пластическая трепанация черепа (из бифронтальной краниотомии межполушарный доступ справа), микрохирургическое клипирование обнаруженной дистальной мешотчатой аневризмы срединной артерии мозолистого тела с применением нейронавигации.

Результаты. Проведено хирургическое лечение в объеме клипирования аневризмы. Использование нейронавигации позволило провести минимальную энцефалотомию медиальных отделов лобных долей в проекции колена мозолистого тела. Селективная ангиография сосудов головного мозга (через 10 мес после операции) показала, что положение клипсы удовлетворительное, признаков реканализации аневризмы срединной артерии мозолистого тела не выявлено.

Выводы. Более глубокое расположение срединной артерии мозолистого тела относительно обеих передних мозговых артерий и отсутствие естественных анатомических ориентиров затрудняют хирургический доступ к дистальным аневризмам срединной артерии мозолистого тела. Применение операционной навигации способствует решению данных проблем: позволяет выполнить минимальную по размеру краниотомию, выбрать корректный вектор доступа и сокращает операционное время.

Ключевые слова: передняя мозговая артерия, срединная артерия мозолистого тела, трифуркация передней соединительной артерии, дистальная аневризма передней мозговой артерии

Для цитирования: Фениксов В.М., Камбиев Р.Л., Николаев Д.А., Глухов Д.С. Дистальная аневризма срединной артерии мозолистого тела: наблюдение из практики. Нейрохирургия 2022;24(3):52–60. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-52-60

Distal aneurysm of median artery of the corpus callosum: case report

V.M. Feniksov¹, R.L. Kambiev², D.A. Nikolaev¹, D.S. Glukhov¹

¹Sity Clinical Hospital No. 1 named after N.I. Pirogov, Moscow Healthcare Department; 8 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russia;

²Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovskiy; 61/2 Shchepkina str., Moscow 129110, Russia

Contacts: Viktor Mikhaylovich Feniksov fenixov@gmail.com

Background. There are many variations of the developmental pathology of the anterior communicating artery with such forms as aplasia, hypoplasia, duplication, triplication and etc. The presence of the median artery of the corpus callosum is a rare pathology of the anterior part of the circle of Willis and, according to the literature the frequency is 4,5–14,2 %. About 81 % of cases, the occurrence of the median artery of the corpus callosum is combined with the presence of anterior communicating artery trifurcation. The incidence of distal anterior cerebral artery aneurysms has been estimated to be from 1.5 to 9.0 % of all intracranial aneurysms, while the median artery of the corpus callosum is rarely mentioned in the literature, the author of the article did not find cases of descriptions of distal anterior cerebral artery aneurysms in the PubMed. It should be borne in mind that when conducting radiation diagnostics, up to one third of all cases of the median artery of the corpus callosum remain undetected.

Aim. To present a clinical case of successful surgical treatment of a distal aneurysm of the median artery of the corpus callosum in a patient K., 39 years old, performed using surgical neuronavigation.

Materials and methods. A case report of the successful surgical management of 39-year-old patient with distal aneurysm of the median artery of the corpus callosum at the City Clinical Hospital No. 1 named after N.I. Pirogov of Moscow Healthcare Department. The patient had a saccular aneurysm of A2–3 segments of the median artery of the corpus callosum.

Results. A microsurgical clipping of the distal aneurysm of the median artery of the corpus callosum using the right interhemispheric approach through the bifrontal craniotomy with a neuronavigational assistance was performed. The selective angiography of the intracranial arteries (10 mo after the clipping) no detected the signs of recanalization of the aneurysm.

Conclusion. The deeper placement of the median artery of the corpus callosum (as compared with the anterior cerebral arteries) and the missing of anatomical landmarks complicates the surgical approach to the distal aneurysms of the median artery of the corpus callosum. The instrumentation of neuronavigation made it possible to perform minimal craniotomy and safe encephalotomy of the medial aspects of the frontal lobes (at site of the genu the corpus callosum) and reduce the operating time.

Keywords: anterior communicating artery, median artery of the corpus callosum, anterior communicating artery trifurcation, distal anterior cerebral artery aneurysm

For citation: Feniksov V.M., Kambiev R.L., Nikolaev D.A., Glukhov D.S. Distal aneurysm of median artery of the corpus callosum: case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):52–60. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-52-60

ВВЕДЕНИЕ

Патология развития сегмента передней мозговой артерии (ПМА) — передней соединительной артерии (ПСА) очень вариабельна и представлена такими формами, как аплазия ПСА, гипоплазия ПМА, дупликация ПСА, трипликация ПСА и т. п. Наличие срединной артерии мозолистого тела (САМТ) (рис. 1) — редко встречаемая патология переднего отдела виллизиева круга и, по данным литературы, составляет 4,5–14,2 % (табл. 1) [1–11]. В 81 % случаев встречаемость САМТ сочетается с наличием трифуркации ПСА [1]. До трети всех случаев САМТ остаются не диагностированными [1]. Встречаемость дистальных аневризм передних мозговых артерий (ДАПМА) составляет от 1,5 до 9,0 % от всех интракраниальных аневризм [12–14]. Аневризмы САМТ крайне редко упоминаются в литературе, авторам не удалось найти случаи описания дистальных аневризм данной локализации.

Цель работы — представить клинический случай успешного оперативного лечения дистальной аневризмы САМТ у больного К., 39 лет, проведенного с применением операционной нейронавигации.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Пациент К., 39 лет, доставлен бригадой скорой медицинской помощи в ГБУЗ «Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова» Департамента здравоохранения г. Москвы 08.09.2020 после впервые возникшего судорожного припадка. Из анамнеза известно, что 20.08.2020 на фоне усталости (спал около 3 ч) возникла резкая «стреляющая» головная боль. По поводу головных болей консультирован участковым терапевтом, принимал препараты, активизирующие обмен веществ (депротеинизированный гемодериват крови телят), и обезболивающую терапию (кетопрофен) — без положительного эффекта. В амбулаторном порядке обратился к неврологу — выполнена магнитно-резонансная томография

ранения г. Москвы 08.09.2020 после впервые возникшего судорожного припадка. Из анамнеза известно, что 20.08.2020 на фоне усталости (спал около 3 ч) возникла резкая «стреляющая» головная боль. По поводу головных болей консультирован участковым терапевтом, принимал препараты, активизирующие обмен веществ (депротеинизированный гемодериват крови телят), и обезболивающую терапию (кетопрофен) — без положительного эффекта. В амбулаторном порядке обратился к неврологу — выполнена магнитно-резонансная томография

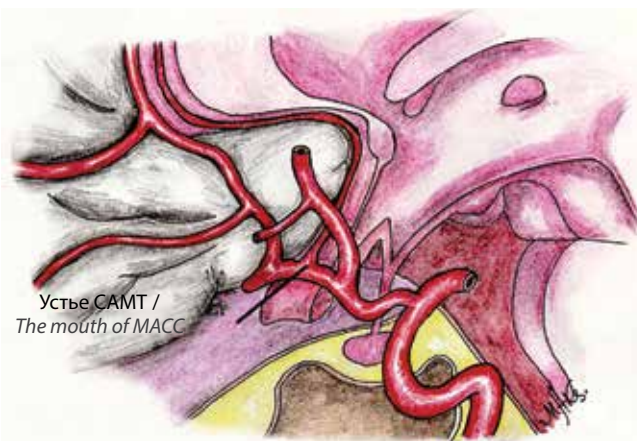


Рис. 1. Анатомия срединной артерии мозолистого тела (САМТ)

Fig. 1. The anatomy of the median artery of the corpus callosum (MACC)

Таблица 1. Встречаемость САМТ и ДПМА в различных типах исследований

Table 1. The reference of the MACC and the AACA in the sources

Автор Author	Год Year	Число наблюдений Number of study	Количество САМТ и ДПМА, n (%) MACC and AACA, n (%)	Тип исследования Type of study
A.A. Morris and C.M. Peck [7]	1955	100	0 (0 %)	А А
F. Umansky et al. [8]	1988	104	2 (2 %)	А А
A. Agrawal et al. [11]	2019	62	3 (4,83 %)	И И
T. Watanabe et al. [9]	1975	1240	4 (0,32 %)	А А
R. Kwak et al. [4]	1980	296	12 (4,5 %)	И И
I.H. Aydin et al. [2]	1997	120	17 (14,2 %)	И И
R.O. Dunker and A.B. Harris [6]	1976	—	20	П П
M.G. Yasargil and R.D. Smith [3]	1982	283	27 (9,5 %)	И И
A. Ogawa, M. Suzuki [1]	1990	206	27 (13,1 %)	И И
A.L. Rhoton Jr and D. Perlmutter [5]	1980	—	50	П П
V.P. Lemos [10]	1978	130	116 (89,2 %)	П П

Примечание. САМТ — срединная артерия мозолистого тела; ДПМА — добавочная передняя мозговая артерия. Исследования: И — интраоперационное, П — патологоанатомическое, А — ангиографическое.

Note. MACC — median artery of the corpus callosum, AACA — accessory anterior cerebral artery. Studies: I — intraoperative, P — pathoanatomic, A — angiographic.

головного мозга: данных за объемные образования и острые очаговые изменения головного мозга не получено, имеется участок кистозно-глиозной трансформации в левой лобной доле. После данного исследования пациент повторно осмотрен неврологом: выставлен диагноз «пароксизмальные острые цефалгии, синдром гистаминовой головной боли. Кластерные головные боли». Назначена терапия нестероидными противовоспалительными препаратами (лорноксикам) по 8 мг 2 раза в день и противосудорожным препаратом (карбамазепин) по 200 мг 3 раза в день.

Однако 08.09.2020 около 12 ч дня у больного резко заболела голова, на высоте боли появилась слабость в левых конечностях, затем приступ потери сознания (в момент приступа самопроизвольного мочеиспускания не отмечено). Со слов коллег, были судорожные подергивания в левых конечностях.

При поступлении в городскую клиническую больницу № 1 общее состояние удовлетворительное. Пациент повышенного питания. Дыхание везикулярное, ЧДД — 16/мин, ЧСС — 77/мин, АД — 130/80 мм рт. ст.

Сознание ясное, 15 баллов по шкале комы Глазго. Контактен, ориентирован в месте, времени и собственной личности. Менингеальных симптомов нет. Общемозговая

симптоматика в виде головной боли. Глазные щели $D < S$. Полуптоз справа. Зрачки $D = S$. Фотореакции сохранены. Чувствительность на лице сохранена. Сглажена правая носогубная складка. Нистагма нет. Глогает, фониров. Язык — по средней линии. Объем движений в конечностях полный, мышечный тонус не изменен, $D = S$. Сухожильные и периостальные рефлексy на руках — средней живости, $D = S$. Коленные рефлексy живые, $D = S$. Синдром Бабинского — с 2 сторон. Чувствительные нарушения в конечностях отсутствуют. Координаторные пробы выполняет удовлетворительно с 2 сторон. В позе Ромберга покачивается. Тазовые функции контролирует.

Локальный статус: травматических изменений мягких тканей головы не выявлено, следов прикуса на языке нет.

При поступлении выполнена компьютерная томография головного мозга: в передних отделах серповидного отростка определяется высокоплотное образование диаметром до 11 мм, смещения срединных структур не выявлено, желудочковая система мозга не расширена, симметричная. Серое и белое вещество имеют четкую дифференцировку (рис. 2).

Больной с диагнозом «состояние после впервые возникшего судорожного припадка (G40.0)» госпитализирован

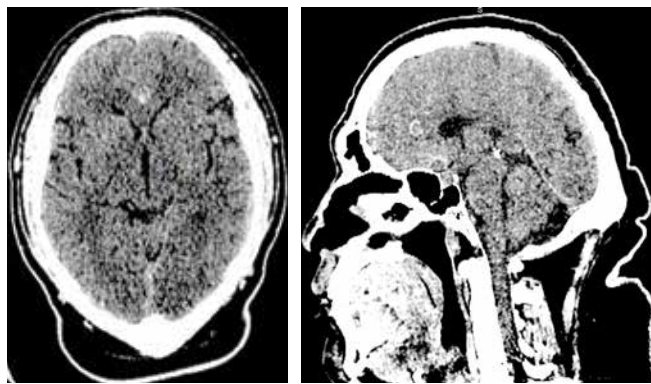


Рис. 2. Компьютерная томография головного мозга (08.09.2021)

Fig. 2. The computed tomography scans of the brain (08.09.2021)

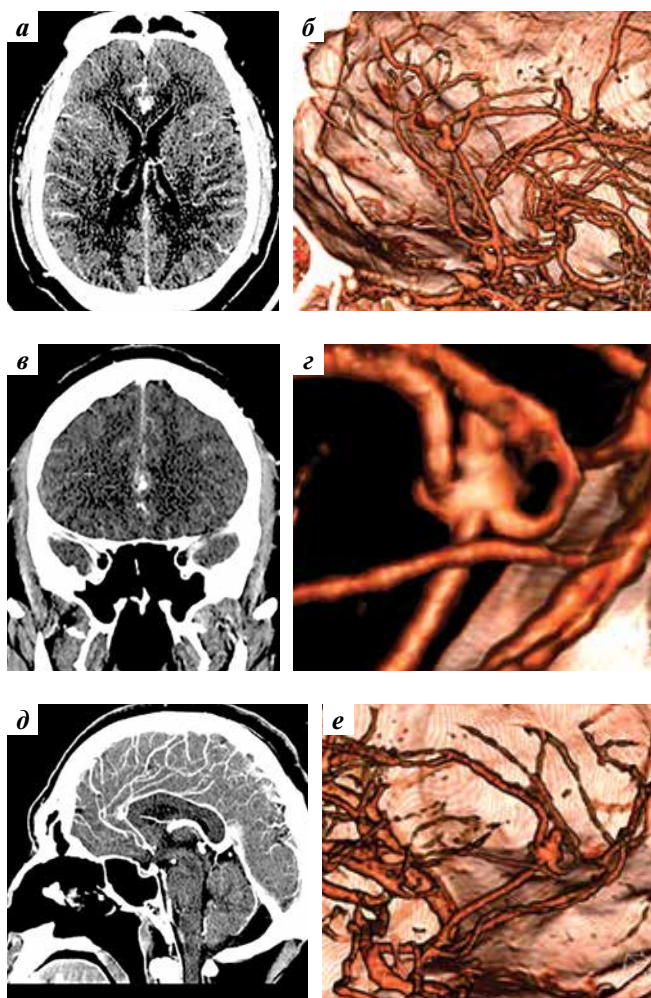


Рис. 3. Компьютерная томография с ангиографией сосудов головного мозга: а — аксиальная проекция; б — трехмерная реконструкция (вид слева); в — фронтальная проекция; г — увеличенная трехмерная реконструкция (вид сзади); д — сагиттальная проекция; е — трехмерная реконструкция (косой вид сзади)

Fig. 3. Computed tomography with angiography of the cerebral arteries, the median artery of the corpus callosum aneurysm: а — axial view; б — three-dimensional reconstruction (left view); в — frontal view; г — enlarged three-dimensional reconstruction (back view); д — sagittal view; е — three-dimensional reconstruction (oblique rear view)

в отделение неврологии. Осмотрен 10.09.2020 терапевтом, выставлен диагноз «артериальная гипертензия — стадия I, степень 1; риск — степень 3; недостаточность кровообращения — 0». Назначена антигипертензивная (валсартан) и гиполипидемическая (аторвастатина кальция тригидрат) терапия. Выполнена компьютерная томография головного мозга с контрастированием (11.09.2020): выявлены признаки мешотчатой аневризмы сегментов А2—3 САМТ (рис. 3).

Оперативное лечение проведено 29.09.2020: костно-пластическая трепанация черепа, микрохирургическое клипирование мешотчатой аневризмы А3-сегмента САМТ с использованием нейронавигации. Из бифронтальной краниотомии выполнен межполушарный доступ справа (рис. 4). В глубинных отделах межполушарной

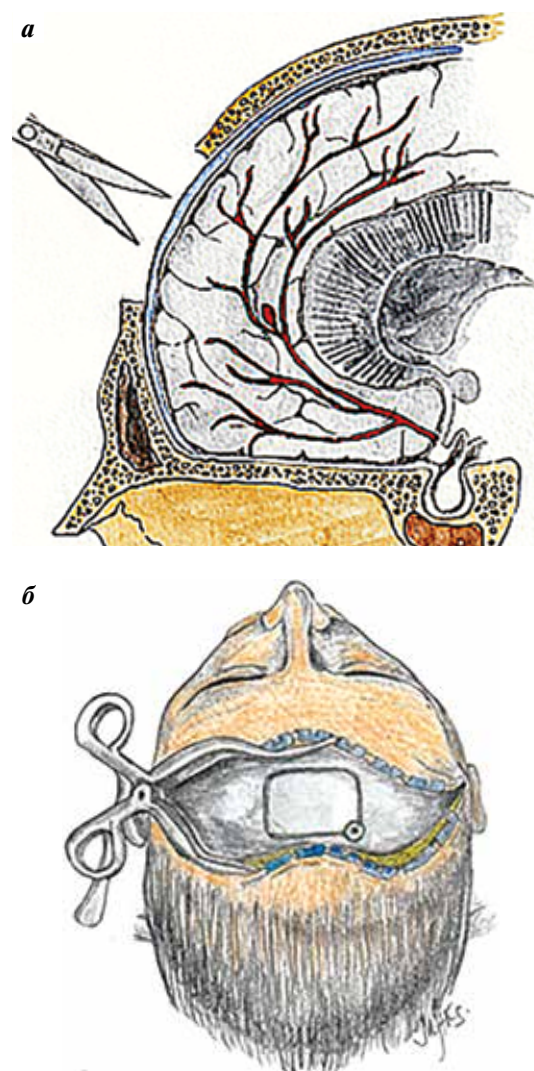


Рис. 4. Бифронтальный доступ к дистальной аневризме срединной артерии мозолистого тела: а — схематическое изображение в сагиттальной проекции (вид слева); б — схематическое изображение (интраоперационный вид сверху)

Fig. 4. The bifrontal craniotomy approach to median artery of the corpus callosum: а — the schematic illustration (sagittal view); б — the schematic illustration (intraoperative top view)

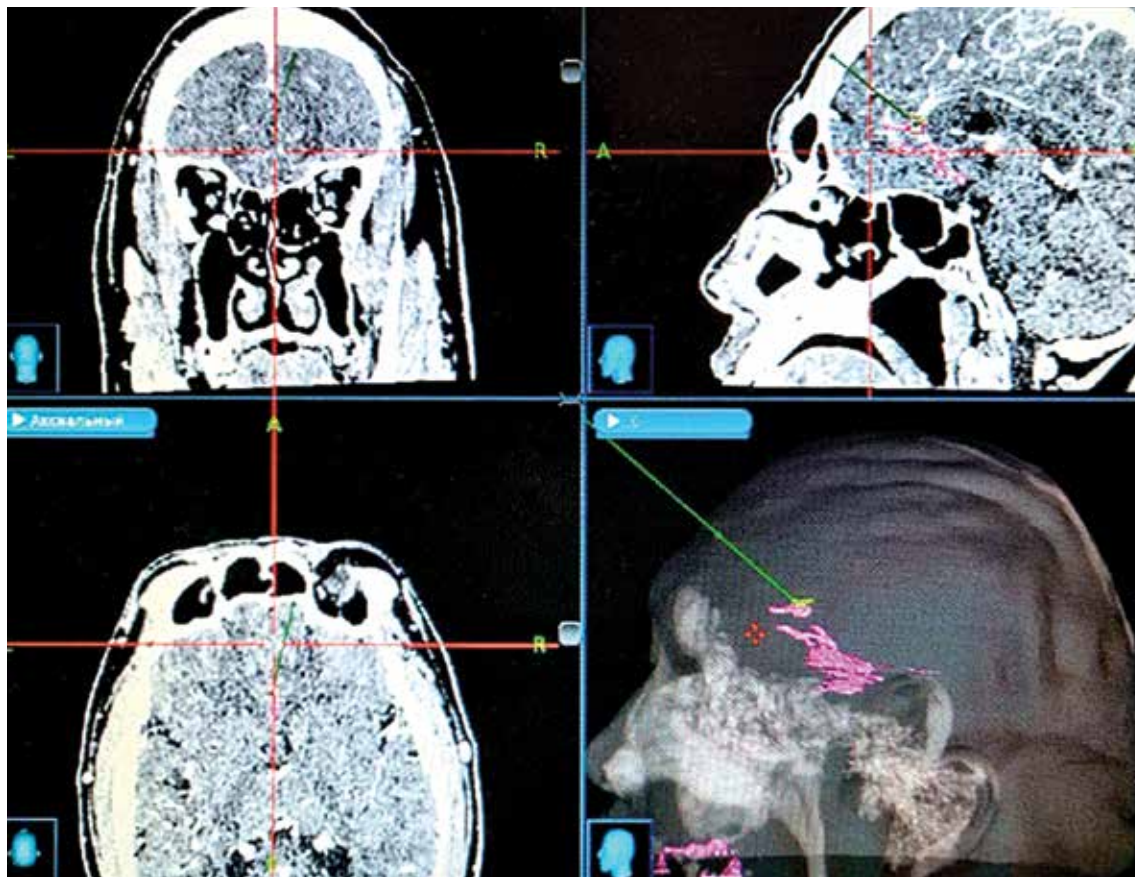


Рис. 5. Данные интраоперационной нейронавигации для доступа к аневризме срединной артерии мозолистого тела

Fig. 5. Intraoperative neuronavigation system data for access to the medial artery aneurysm of the corpus callosum

щели визуализированы оба АЗ-сегмента ПМА. Дальнейшая распрепаровка межполушарной щели не представлялась возможной ввиду плотного сращения медиальных отделов лобных долей. На данном этапе операции признаков патологии сосудов в АЗ-области ПМА не выявлено. Поскольку отсутствовали анатомические ориентиры разделения межполушарной щели, важное значение имело использование интраоперационной навигации, которая способствует решению подобных проблем, как и в случае с аневризмами перикаллезных артерий [15], и позволяет выполнить минимальную по размеру краниотомию, выбрать корректный вектор доступа и сокращает операционное время.

В соответствии с данными навигации (рис. 5) выполнена минимальная энцефалотомия медиальных отделов лобных долей в проекции колена мозолистого тела, на глубине 5 мм выявлена САМТ и расположенная на ней мешотчатая аневризма. Выполнено клипирование аневризмы.

Послеоперационный период протекал гладко, рана зажила первичным натяжением. Пациенту выполнена селективная ангиография сосудов головного мозга (30.07.2021): положение клипсы удовлетворительное, признаков реканализации аневризмы САМТ не выявлено (рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Как правило, САМТ образуется в результате трипликации ПСА, располагается глубинно относительно ПМА. Зона кровоснабжения САМТ включает мозолистое тело, ядра перегородки, прозрачную перегородку, передние отделы свода и лобные доли. По данным литературы, САМТ диагностировалась при ангиографическом исследовании или непосредственно во время операции по поводу аневризм ПСА у 4,4–14,2 % пациентов [1–11]. В 81 % случаев САМТ представлена в сочетании с трифуркацией ПСА [1]. Ангиографическая диагностика САМТ представляет определенные сложности. Так, в 2 исследованиях [1, 2] наличие САМТ было выявлено: при ретроспективном анализе САМТ – только в 30 и 18 % соответственно; при ретроспективном анализе ангиографических исследований – в 70 и 82 % случаев соответственно.

Развитие комплекса ПМА происходит на 41–48-й день гестации. Данная артерия развивается как медиальная ветвь примитивной ольфакторной артерии; САМТ является малой эмбриональной ветвью ПСА и в процессе эмбриогенеза, как и другие примитивные артерии головного мозга, должна окклюзироваться, но в ряде случаев сохраняется и развивается в полноценный артериальный сосуд (рис. 7).

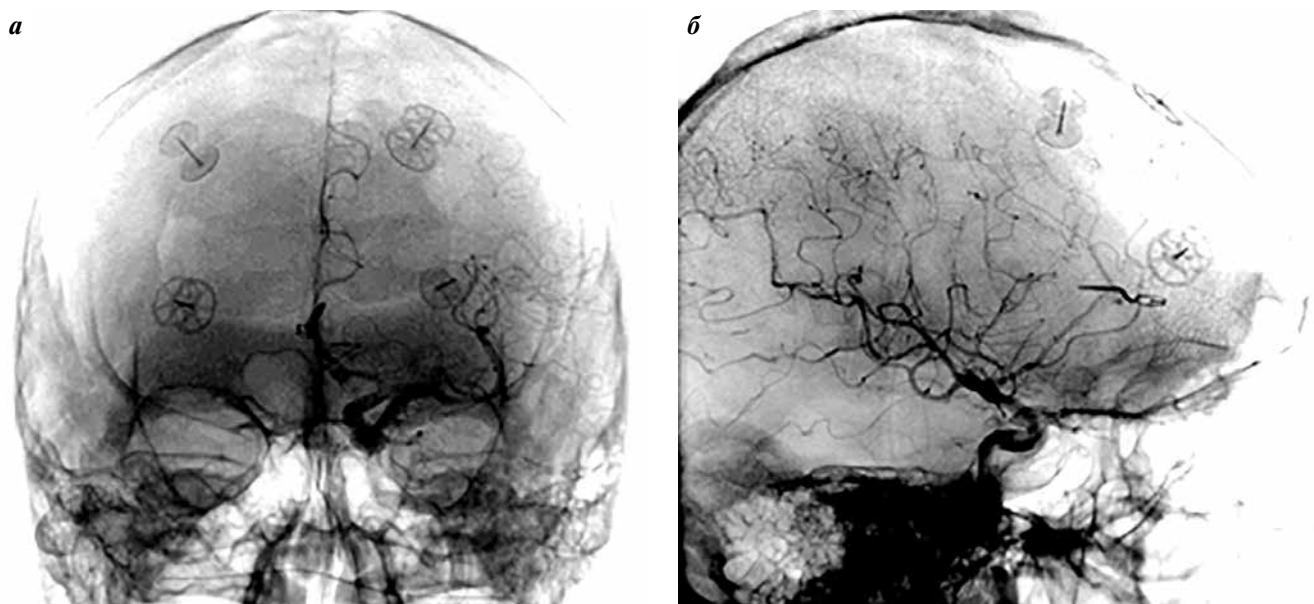


Рис. 6. Церебральная ангиография в послеоперационном периоде (30.07.2021): а – фронтальная проекция; б – сагиттальная проекция

Fig. 6. The postoperative cerebral angiography (30.07.2021): а – frontal view; б – sagittal view

Таблица 2. Сравнительные характеристики ДПМА и САМТ

Table 2. AACA and MACC: the compare of features

Характеристика Features	ДПМА AACA	САМТ MACC
Кортикальные ветви Cortical branches	Обычно имеет 1 (или более) обязательную кортикальную ветвь, характерную для ПМА Usually has 1 (or more) obligatory cortical branch which similar of the ACA branches	Не отдает дистальных корковых ветвей, характерных для ПМА Doesn't have distal cortical branches specific to ACA
Число сосудов Amount of arteries	Односторонняя или двусторонняя Single-sided or double-sided	Как правило, единичная Commonly has only 1 trunk
Частота встречаемости, % Frequency of occurrence, %	0,24–3,2	4,5–14,2
Место образования артерии Source of artery	Сегмент A1, переход A1 в A2, ПСА, A2 A1 of ACA, joint A1 and A2, AcomA, A2 of ACA	Трифуркация ПСА Trifurcation of the AComA
Локализация Location	Вдоль основного ствола ПМА Along of the main truck of the ACA	Глубже и медиальнее (срединное расположение), чем у ПМА Deeper and more medial (middle location) than branches of the ACA

Примечание. ДПМА – добавочная передняя мозговая артерия; САМТ – срединная артерия мозолистого тела; ПМА – передняя мозговая артерия; ПСА – передняя соединительная артерия.

Note. AACA – accessory anterior cerebral artery; MACC – median artery of the corpus callosum; ACA – anterior cerebral artery; AComA – anterior communicating artery.

Не существует единой классификации САМТ из-за редкой встречаемости данной патологии. Так, G. Lazorthes (1959) в зависимости от длины выделял 3 типа САМТ: короткая – доходит до передней трети мозолистого тела, средняя – достигает средней его части, длинная – с широким диаметром (как у перикаллезных артерий), в одиночку питает передние отделы лобных долей [17]. Некоторые литературные источники указывают на то, что САМТ служит вариантом добавочной ПМА, однако, по мнению K. Yanaka (2000),

существует ряд отличительных признаков между указанными сосудистыми аномалиями (табл. 2) [18].

На основе анализа публикаций в PubMed (поисковые слова – аневризмы САМТ или ДПМА) удалось выбрать 4 статьи, описывающие 6 случаев, среди которых у 1 пациента выявлена аневризма ДПМА в сочетании с трипликацией ПСА, у 1 – аневризма ПСА в сочетании с САМТ и добавочной средней мозговой артерией (СМА), у 2 – ДАПМА (1 из них сочеталась с трипликацией ПСА), а также 2 случая аневризм

Таблица 3. Характеристика случаев аневризмы САМТ и ДПМА по данным PubMed

Table 3. Features of MACC and AACA cases (PubMed)

Автор Author	Год Year	Локализация Location		Сочетанные аномалии Combined anomalies	Возраст, лет Age, years	Пол Sex	САК SAH	Тактика Managment
		Артерия Artery	Отдел (Д/П) Section (D/P)					
Y. Shimo-segawa [19]	1985	ДПМА AACA	П P	Трипликация ПСА Triplication AComA	66	Ж F	Да Yes	Клипирование Clipping
K. Yanaka [18]	2000	ПСА AComA	П P	САМТ + ДПМА MACC+AACA	62	М M	Да Yes	То же Same
M. Kutsuna [20]	2006	ДПМА AACA	Д D	Нет No	66	Ж F	Нет No	— « —
		То же Same	Д D	Трипликация ПСА Triplication AComA	67	Ж F	Нет No	— « —
K. Maeda [21]	2014	— « —	Д D	Аневризма левой СМА Left MCA aneurism	58	Ж F	Нет No	— « —
		— « —	П P	Нет No	46	—	Нет No	Наблюдение Observation

Примечание. Д — дистальный отдел артерии; П — проксимальный; САК — субарахноидальное кровоизлияние. См. примечание к табл. 2.

Note. Part of the artery: D — distal, P — proximal; SAH — subarachnoid hemorrhage. See the note to Table 2.

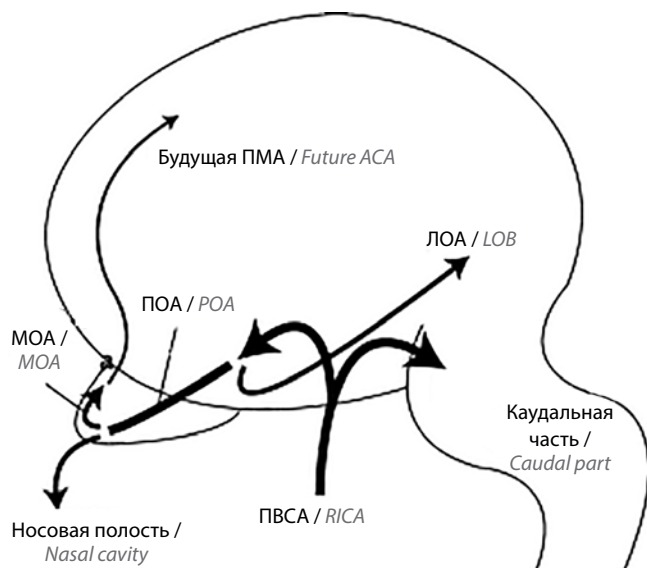


Рис. 7. Схема развития комплекса передней мозговой артерии (ПМА) на 41–48-й день гестации (М. Котията, 2012 [16]). Латеральная ветвь ольфакторной артерии (ЛОА); правая внутренняя сонная артерия (ПВСА); медиальная ветвь ольфакторной артерии (МОА); примитивная ольфакторная артерия (ПОА)

Fig. 7. The growth of the anterior cerebral artery (ACA) (41–48th day of the gestation): the schematic illustration (M. Komiyama, 2012 [16]). Lateral olfactory branch (LOB); right internal carotid artery (RICA); medial olfactory artery (MOA); primitive olfactory artery (POA)

ДПМА (1 из них сочеталась с аневризмой СМА). Подробная характеристика пациентов представлена в табл. 3 [19–21]. Кроме того, Т. Inui и соавт. (2016) представили детальный анализ ангиографий 32 больных, оперированных по поводу ДАПМА, который показал, что все аневризмы, расположенные в супракаллезной

части ПМА, сочетались с аномалиями развития в виде добавочной ПМА или САМТ; данный факт подтверждает существование четкой корреляции между этими 2 патологиями [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Срединная артерия мозолистого тела — магистральный сосуд, берущий начало от передней соединительной артерии и участвующий в кровоснабжении зоны передних мозговых артерий, однако в трети случаев данная сосудистая аномалия остается не диагностированной в до- и интраоперационном периоде.

Артериальные аневризмы срединной артерии мозолистого тела и добавочной передней мозговой артерии имеют низкую частоту встречаемости и, как правило, проксимальное расположение. Публикации с упоминанием дистальных аневризм данной локализации единичны.

В нашем случае оптимальным хирургическим доступом для клипирования дистальной аневризмы срединной артерии мозолистого тела служила бифронтальная краниотомия с межполушарным доступом. Более глубокое расположение срединной артерии мозолистого тела относительно обеих передних мозговых артерий и отсутствие естественных анатомических ориентиров затрудняют хирургический доступ к дистальным аневризмам срединной артерии мозолистого тела. Использование операционной навигации способствует решению этих проблем (как и в случае с аневризмами перикаллезных артерий): позволяет выполнить минимальную по размеру краниотомию, выбрать корректный вектор доступа и сокращает операционное время.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Ogawa A., Suzuki M., Sakurai Y., Yoshimoto T. Vascular anomalies associated with aneurysms of the anterior communicating artery: microsurgical observations. *J Neurosurg* 1990;72(5):706–9. DOI: 10.3171/jns.1990.72.5.0706
- Aydin I.H., Takci E., Kadioglu H.H. et al. Vascular variations associated with anterior communicating artery aneurysms – an intraoperative study. *Minim Invas Neurosurgery* 1997;40(1): 17–21. DOI: 10.1055/s-2008-1053407
- Yasargil M.G., Smith R.D. Management of aneurysms of anterior circulation by intracranial procedures. In: *Neurological Surgery*. Ed. by J.R. Youmans. Philadelphia, Pa: WB Saunders, 1982. Pp. 1663–96.
- Kwak R., Niizuma H., Hatanaka M., Suzuki J. Anterior communicating artery aneurysms with associated anomalies. *J Neurosurg* 1980;52(2):162–4. DOI: 10.3171/jns.1980.52.2.0162
- Rhoton A.L., Perlmutter D. Microsurgical anatomy of anterior communicating artery aneurysms. *Neurol Res* 1980;(2):217–51. DOI: 10.1080/01616412.1980.11739581
- Dunker R.O., Harris A.B. Surgical anatomy of the proximal anterior cerebral artery. *J Neurosurg* 1976;44(3):359–67. DOI: 10.3171/jns.1976.44.3.0359
- Morris A.A., Peck C.M. Roentgenographic study of the variations in the normal anterior cerebral artery; one hundred cases studied in the lateral plane. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1955;74(5):818–26.
- Umansky F., Dujovny M., Ausman J.I. et al. Anomalies and variations of the middle cerebral artery: a microanatomical study. *Neurosurgery* 1988;22(6 Pt 1):1023–7. DOI: 10.1227/00006123-198806010-00008
- Watanabe T., Tago M., Shibuya S. et al. The accessory middle cerebral artery. *No Shinkei Geka* 1975;3(1):31–5. (In Jap.).
- Lemos V.P. Anatomical study of the median artery of the corpus callosum in the human brain. *Arq neuropsiquiatr* 1978;36(1):32–6. (In Portug.). DOI: 10.1590/s0004-282x1978000100004
- Agrawal A., Jagetia A., Bodeliwala S. et al. Intraoperative microsurgical anatomy of the anterior communicating artery complex harbouring an anterior cerebral territory aneurysm. *Neurol India* 2019;67(3):823–8. DOI: 10.4103/0028-3886.263174
- De Sousa A.A., Dantas F.L., de Cardoso G.T., Costa B.S. Distal anterior cerebral artery aneurysms. *Surg neurol* 1999;52(2):128–35. DOI: 10.1016/s0090-3019(99)00066-x
- Крылов В.В., Дашьян В.Г., Григорьев И.В. и др. Результаты хирургического лечения пациентов с разрывами аневризм перикаллезной артерии. *Нейрохирургия* 2018;20(2):17–26. DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-2-17-26
Krylov V.V., Dashyan V.G., Grigoryev I.V. et al. Outcomes of surgical treatment for ruptured pericallosal artery aneurysms. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2018;20(2):17–26. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-2-17-26
- Григорьев И.В., Сенько И.В. Аневризмы перикаллезной артерии (обзор литературы). *Нейрохирургия* 2018;20(4):95–103. DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-4-95-103
Grigoryev I.V., Senko I.V. Aneurysms of the pericallosal artery (literature review). *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2018;20(4):95–103. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2018-20-4-95-103
- Лукьянчиков В.А., Сенько И.В., Рыжкова Е.С., Дмитриев А.Ю. Применение навигации в сосудистой нейрохирургии. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2020;84(4):82–9. DOI: 10.17116/neiro20208404182
Lukyanchikov V.A., Senko I.V., Ryzhkova E.S., Dmitriev A.Yu. Navigation in vascular neurosurgery. *Zhurnal voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2020;84(4):82–9. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro20208404182
- Komiyama M. Persistent primitive olfactory artery. *Surg Radiol Anat* 2012;34(1):97–8. DOI: 10.1007/s00276-011-0861-3
- Lazorthes G. Etude anatomo-topographique de l'artere cerebrale anterieure et de l'artere communicante anterieure. Description – territoire-ligature. In: *L'Anevrisme de l'Artere communicante Anterieure*. Eds.: H. Krayenbuhl et al. Paris: Masson, 1959. Pp. 5–21. (In Fr.).
Yanaka K., Shirai S., Shibata Y., Nose T. Ruptured aneurysm at the origin of the median artery of the corpus callosum associated with accessory middle cerebral artery – case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2000;40(10):511–4. DOI: 10.2176/nmc.40.511
- Shimosegawa Y., Takahashi A., Onuma T. Ruptured cerebral aneurysm of the median artery of the corpus callosum (accessory anterior cerebral artery): case report. *No Shinkei Geka* 1985;13(5):579–83. (In Jap.).
- Kutsuna M., Monden S., Watanabe K. Two cases of distal anterior cerebral artery aneurysm associated with accessory anterior cerebral artery. *No Shinkei Geka* 2006;34(2):193–200. (In Jap.).
- Maeda K., Tanaka S., Hatae R. et al. Two cases of anterior cerebral artery aneurysm associated with accessory anterior cerebral artery: review of the literature and points of diagnosis. *No Shinkei Geka* 2014;42(5):461–6. (In Jap.).
- Inui T., Okuno S., Nakase H. et al. Relationship of distal anterior cerebral artery aneurysm arising from the supracallosal portion and accessory anterior cerebral artery. *No Shinkei Geka* 2016;44(2):103–8. DOI: 10.11477/mf.1436203237

Вклад авторов

В.М. Фениксов: основной хирург пациента, автор статьи;
Р.Л. Камбиев: ассистент хирурга и внешний консультант, редактор текста, соавтор;
Д.А. Николаев: заведующий отделением, соавтор;
Д.С. Глухов: лечащий врач пациента, соавтор.

Authors' contributions

V.M. Feniksov: the main surgeon of the patient, the author of the article;
R.L. Kambiev: surgical assistant and external consultant, text editor, co-author;
D.A. Nikolaev: the head of the department of neurosurgery, co-author;
D.S. Glukhov: patient's attending physician, co-author.

ORCID авторов / ORCID of authors

В.М. Фениксов/V.M. Feniksov: <https://orcid.org/0000-0001-5532-2419>

Р.Л. Камбиев/R.L. Kambiev: <https://orcid.org/0000-0003-3694-4698>

Д.А. Николаев/D.A. Nikolaev: <https://orcid.org/0000-0002-6246-8632>

Д.С. Глухов/D.S. Glukhov: <https://orcid.org/0000-0002-7047-0994>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

ТРАНСЦИРКУЛЯРНАЯ ОККЛЮЗИЯ АНЕВРИЗМЫ ЗАДНЕЙ НИЖНЕЙ МОЗЖЕЧКОВОЙ АРТЕРИИ: НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

В.С. Киселев¹, Е.Д. Анисимов², Д.М. Галактионов^{1,3}

¹ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; Россия, 630087 Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 132/1;

²Институт медицины и психологии В. Зельмана, ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»; Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1;

³ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 630091 Новосибирск, Красный просп., 52

Контакты: Егор Дмитриевич Анисимов anisimovegor97@gmail.com

Введение. Аневризмы задней нижней мозжечковой артерии – достаточно редкая сосудистая патология как среди интракраниальных аневризм, так и находящихся в вертебробазилярном бассейне. В связи с близостью каудальной группы нервов микрохирургическое лечение может сопровождаться развитием бульбарных нарушений, поэтому методом выбора применительно к аневризмам устья задней нижней мозжечковой артерии служит эндоваскулярная окклюзия. Однако анатомические особенности аневризм в вертебробазилярном бассейне и их индивидуальные характеристики нередко затрудняют антеградную катетеризацию артерии. В таких случаях должны применяться альтернативные методы, один из которых – транскрикулярный доступ через заднюю соединительную артерию.

Цель исследования – представить результат эндоваскулярного лечения пациентки со сложной аневризмой задней нижней мозжечковой артерии, выполненного в условиях стент-ассистенции через транскрикулярный доступ.

Материалы и методы. В статье проведен анализ результатов лечения пациентки в ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (Новосибирск). Оперативное вмешательство заключалось в эндоваскулярной окклюзии аневризмы устья правой задней нижней мозжечковой артерии со стент-ассистенцией. Особенностью данного случая служил острый угол отхождения задней нижней мозжечковой артерии от позвоночной артерии, что существенно затрудняло прямую эндоваскулярную катетеризацию аневризмы и повышало риски интраоперационных осложнений. В качестве доступа выбран транскрикулярный подход через заднюю соединительную артерию. Через 6 мес после выписки проведено контрольное обследование пациентки.

Результаты. После вмешательства отмечены отличные результаты: клинический (отсутствие нового неврологического дефицита) и ангиографический (полная облитерация по классификации степени окклюзии аневризмы Raymond–Roy Occlusion Classification – Raymond Roy I) как на момент выписки пациентки, так и во время динамического наблюдения по результатам контрольных ангиограмм.

Заключение. Использование транскрикулярного эндоваскулярного доступа к проксимальной аневризме задней нижней мозжечковой артерии позволило получить хороший результат хирургического лечения.

Ключевые слова: аневризма задней нижней мозжечковой артерии, транскрикулярный доступ, эндоваскулярная окклюзия аневризмы

Для цитирования: Киселев В.С., Анисимов Е.Д., Галактионов Д.М. Транскрикулярная окклюзия аневризмы задней нижней мозжечковой артерии: наблюдение из практики. Нейрохирургия 2022;24(3):61–7. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-61-67

Transcircular occlusion of the posterior inferior cerebellar artery aneurysm: a case report

V.S. Kiselev¹, E.D. Anisimov², D.M. Galaktionov^{1,3}

¹Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk), Ministry of Health of Russia; 132/1 Nemirovicha-Danchenko St., Novosibirsk 630087, Russia;

²V. Zelman Institute for the Medicine and Psychology, Novosibirsk State University; 1 Pirogova St., Novosibirsk 630090, Russia;

³Novosibirsk State Medical University; 52 Krasnyi Ave., Novosibirsk 630091, Russia

Contacts: Egor Dmitrievich Anisimov anisimovegor97@gmail.com

Background. Aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery are a rare vascular pathology among both intracranial aneurysms and aneurysms of the vertebrobasilar territory. Due to the proximity of the caudal nerves, microsurgical

treatment may be accompanied by the development of bulbar disorders, so endovascular occlusion is the method of choice for aneurysms of origin of the posterior inferior cerebellar artery. However, anatomical features in the vertebrobasilar territory and individual characteristics of the aneurysm often make antegrade catheterization of the artery difficult. In such cases, alternative methods should be used, one of which is transcircular access through the posterior communicating artery.

Aim. To present the result of endovascular treatment of a patient with complex aneurysm of the posterior inferior cerebellar artery, performed with through a transcircular approach.

Materials and methods. The article analyzes the results of the patient's treatment at the Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk) of the Ministry of Health of Russia. Surgical intervention consisted of endovascular occlusion of the aneurysm of the right posterior inferior cerebellar artery with stent-assistance. A specific feature of this case was the acute angle of posterior inferior cerebellar artery discharge from the vertebral artery, which significantly hampered the direct endovascular catheterization of the aneurysm and increased the risks of intraoperative complications. A transcircular approach through the posterior communicating artery was chosen as an access. After discharge, the patient underwent a follow-up examination 6 months later.

Results. Excellent clinical and angiographic results (occlusion classification (RROC – Raymond Roy I) were noted both at the time of the patient's discharge and during follow-up based on the results of control angiograms.

Conclusion. The use of transcircular endovascular access to the proximal aneurysm of the posterior inferior cerebellar artery made it possible to obtain a good result of surgical treatment.

Keywords: posterior inferior cerebellar artery aneurysm, transcircular access, endovascular aneurysm occlusion

For citation: Kiselev V.S., Anisimov E.D., Galaktionov D.M. Transcircular occlusion of the posterior inferior cerebellar artery aneurysm: a case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):61–7. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-61-67

ВВЕДЕНИЕ

Аневризмы задних нижних мозжечковых артерий (ЗНМА) составляют от 0,5 до 3 % от числа всех интракраниальных аневризм [1, 2]. В связи с их глубинной локализацией, близостью расположения ствола головного мозга и черепных нервов (IX, X и XI), а также наличием в проксимальных отделах ЗНМА перфорирующих артерий, идущих к продолговатому мозгу, выполнение микрохирургических вмешательств на аневризмах данной локализации сопровождается высоким риском развития интра- и послеоперационных осложнений. Активное развитие и совершенствование эндоваскулярных методик за последнее десятилетие позволило существенно продвинуться в лечении аневризм вертебробазилярного бассейна. Но несмотря на это при проведении внутрисосудистых вмешательств на аневризмах ЗНМА, хирург может столкнуться с техническими трудностями, обусловленными анатомическими особенностями строения сосудов данной области. Особую проблему могут представлять острый угол отхождения ЗНМА от позвоночной артерии (ПА) и широкая шейка аневризмы (ША). Гипоплазия, аплазия или патологическая извитость ПА также затрудняют эндоваскулярный доступ к аневризме и требуют поиска альтернативного подхода [3]. Использование же трансциркулярного доступа через заднюю соединительную артерию (ЗСА) к аневризмам вертебробазилярного бассейна позволяет существенно повысить эффективность их лечения в случае, когда применение антеградной катетеризации является крайне затруднительным или невозможным.

В данной публикации приводится результат успешного эндоваскулярного лечения больной со сложной

аневризмой ЗНМА с применением трансциркулярного доступа.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

Больная Х., 39 лет, в плановом порядке была госпитализирована в отделение сосудистой нейрохирургии ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» (Новосибирск). При поступлении предъявляла жалобы на периодические умеренные головные боли в затылочной области. Из анамнеза известно, что 17.11.2020 пациентка экстренно госпитализирована в стационар по месту жительства с жалобами на выраженную боль в области левого подреберья. На компьютерной томографии сосудов (КТ-ангиография) брюшной полости выявлена аневризма селезеночной артерии. В экстренном порядке по жизненным показаниям выполнена спленэктомия. Проведенное в послеоперационном периоде обследование церебральных сосудов выявило множественные аневризмы сосудов мозга: мешотчатая аневризма правой ЗНМА, аневризма М1-сегмента левой средней мозговой артерии и две диссекционные аневризмы экстракраниального отдела левой и правой внутренних сонных артерий (рис. 1). Пациентка направлена на хирургическое лечение в условиях специализированного нейрохирургического центра.

Учитывая более высокие риски разрыва аневризм вертебробазилярного бассейна и большую вероятность развития тяжелых осложнений при разрыве по сравнению с аневризмами передней циркуляции, для первого этапа хирургического лечения у данной больной выбрано оперативное вмешательство на аневризме ЗНМА [4].

При поступлении пациентке Х. проведен весь комплекс обследования нейрохирургического больного. В неврологическом статусе общемозговой и очаговой

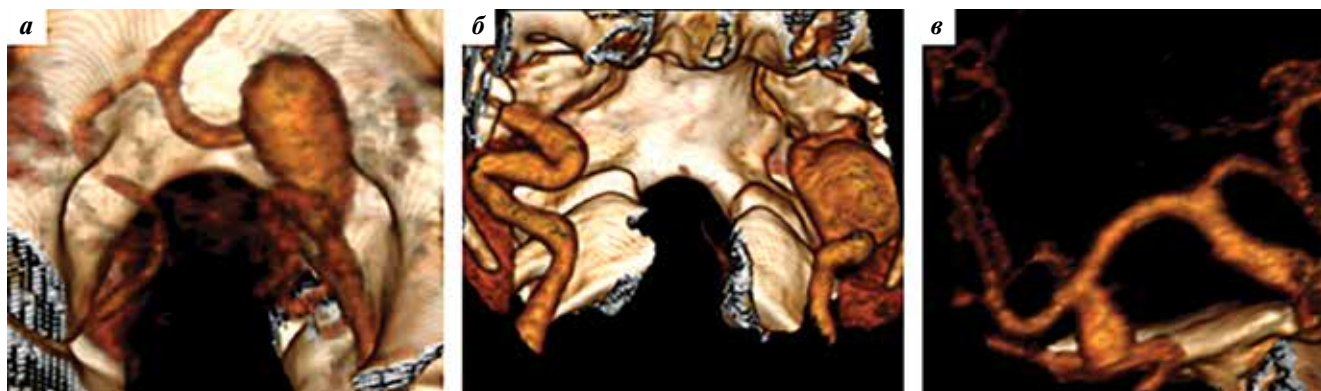


Рис. 1. Множественные аневризмы сосудов мозга: а — мешотчатая аневризма правой ЗНМА; б — диссекционные аневризмы экстракраниально-го отдела левой и правой внутренних сонных артерий; в — мешотчатая аневризма М1-сегмента левой средней мозговой артерии

Fig. 1. Multiple cerebral aneurysms: а — saccular aneurysm of the right posterior inferior cerebellar artery; б — dissecting aneurysms of the extracranial part of the left and right internal carotid arteries; в — saccular aneurysm of the M1 segment of the left middle cerebral artery

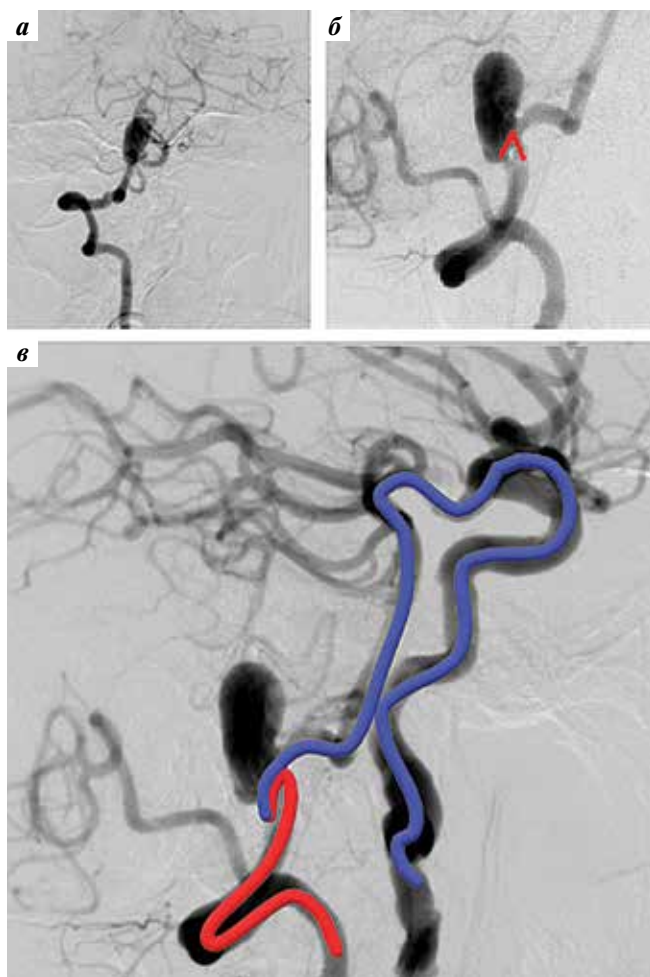


Рис. 2. Аневризма устья правой ЗНМА на ангиограммах: а — прямая проекция; б — боковая проекция (красным — острый угол отхождения ЗНМА от ПА); в — варианты катетеризации ЗНМА (антеградный — красная линия, транскрикулярный ретроградный — синяя линия)

Fig. 2. Aneurysm in the entrance of the right posterior inferior cerebellar artery on angiograms: а — direct projection; б — lateral projection (red — acute angle of origin of the posterior inferior cerebellar artery from the vertebral artery); в — options for catheterization of the posterior inferior cerebellar artery (antegrade — red line, transcircular retrograde — blue line)

симптоматики не отмечалось. На предоперационных ангиограммах визуализирована аневризма в области устья правой ЗНМА: размеры заполняемой части — $14,0 \times 8,6 \times 7,2$ мм, ША — 4,5 мм. Правая ЗНМА участвовала в формировании ША и отходила под острым углом от правой ПА (рис. 2). С учетом имеющихся анатомических особенностей строения аневризмы для определения тактики хирургического вмешательства проведена ангиографическая оценка кровотока в каротидных бассейнах и левой ПА. Полученные данные позволили диагностировать гипоплазию левой ПА со снижением кровотока по левой ЗНМА, замкнутый виллизиев круг. После консилиума с участием врачей отделения решено выполнить эндоваскулярное вмешательство на аневризме ЗНМА. За 5 дней до оперативного вмешательства больной Х. назначена двойная дезагрегантная терапия (клопидогрель — 75 мг, ацетилсалициловая кислота — 100 мг) с последующим приемом препаратов в течение 6 мес. Исследование агрегации тромбоцитов перед операцией показало снижение их активности.

Оперативное вмешательство проводили с использованием ангиографа Siemens Artis Zee в условиях общей анестезии. При этом был использован двусторонний бедренный доступ. Правая ПА и правая внутренняя сонная артерия катетеризированы направляющими катетерами Chareron 6F (Microvention Inc.). Интраоперационно проводили системную гепаринизацию (5000 Ед), держа под контролем активированное время свертывания крови АСТ (Activated Clotting Time). Транскрикулярно из правого каротидного бассейна через ЗСА в правую ЗНМА при помощи микропроводников Traxcess 14 (Microvention) и Hybrid 0,08 J (Balt) заведен микрокатетер Headway 17 (Microvention Inc.). Антеградно из правой ПА в аневризму при помощи микропроводника Traxcess 14 (Microvention) заведен микрокатетер PXSlim (Penumbra). Из правой ЗНМА в просвет V4-сегмента правой ПА, перекрыв ША, установлен стент Lvis Jr Stent $3,5 \times 23$ мм (Microvention Inc.) (рис. 3). На фоне стент-ассистенции в аневризму заведены 5 микроспиралей. При контрольной

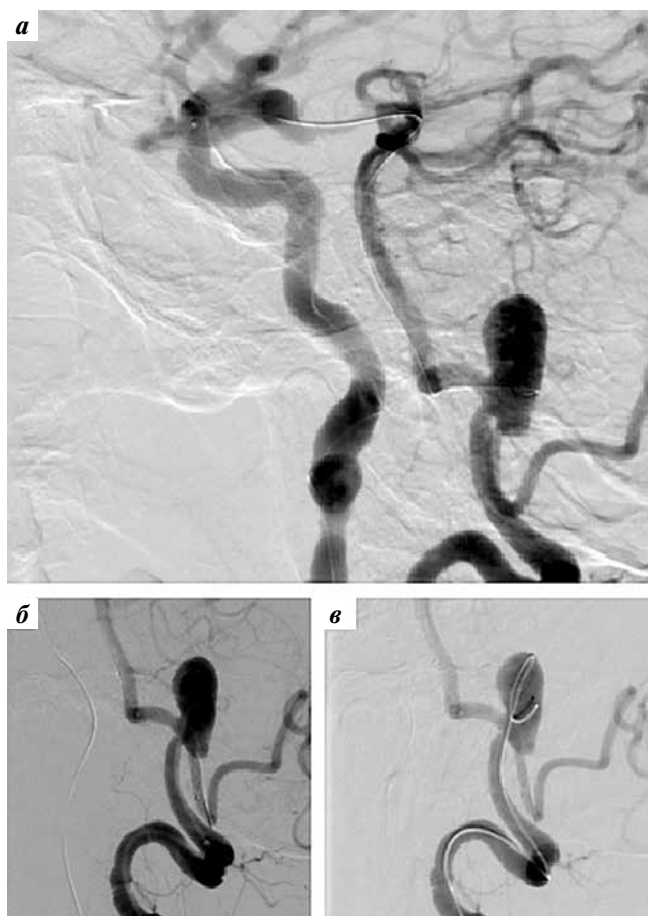


Рис. 3. Этапы оперативного вмешательства: а — из правого каротидного бассейна через ЗСА в правую ЗНМА транскрикулярно заведен микрокатетер Headway 17; б — из правой ЗНМА в просвет V4-сегмента правой ПА, перекрывая шейку аневризмы, установлен стент Lysis Jr; в — из правой ПА в аневризму антеградно заведен микрокатетер PXSlim

Fig. 3. Stages of surgical intervention: a — Headway 17 microcatheter is inserted transcircularly from the right carotid system through the posterior communicating artery into the right posterior inferior cerebellar artery; б — Lysis Jr stent was placed from the right posterior inferior cerebellar artery into the lumen of the V4 segment of the right vertebral artery, blocking the neck of the aneurysm; в — PXSlim microcatheter was introduced antegradely from the right vertebral artery into the aneurysm

ангиографии аневризма не контрастируется (Raymond Roy I), проходимость магистральных сосудов сохранена (рис. 4).

В послеоперационном периоде состояние больной оставалось стабильным, удовлетворительным. Пациентка выписана из стационара на вторые сутки после операции без нарастания неврологической симптоматики.

На контрольной ангиографии через 6 мес признаки аневризмы не определяются (рис. 5). Пациентка жалуется не предъявляет, неврологический статус без отклонений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Аневризмы ЗНМА требуют дифференцированного подхода к выбору методики лечения. Вопрос выбора эндоваскулярного или микрохирургического

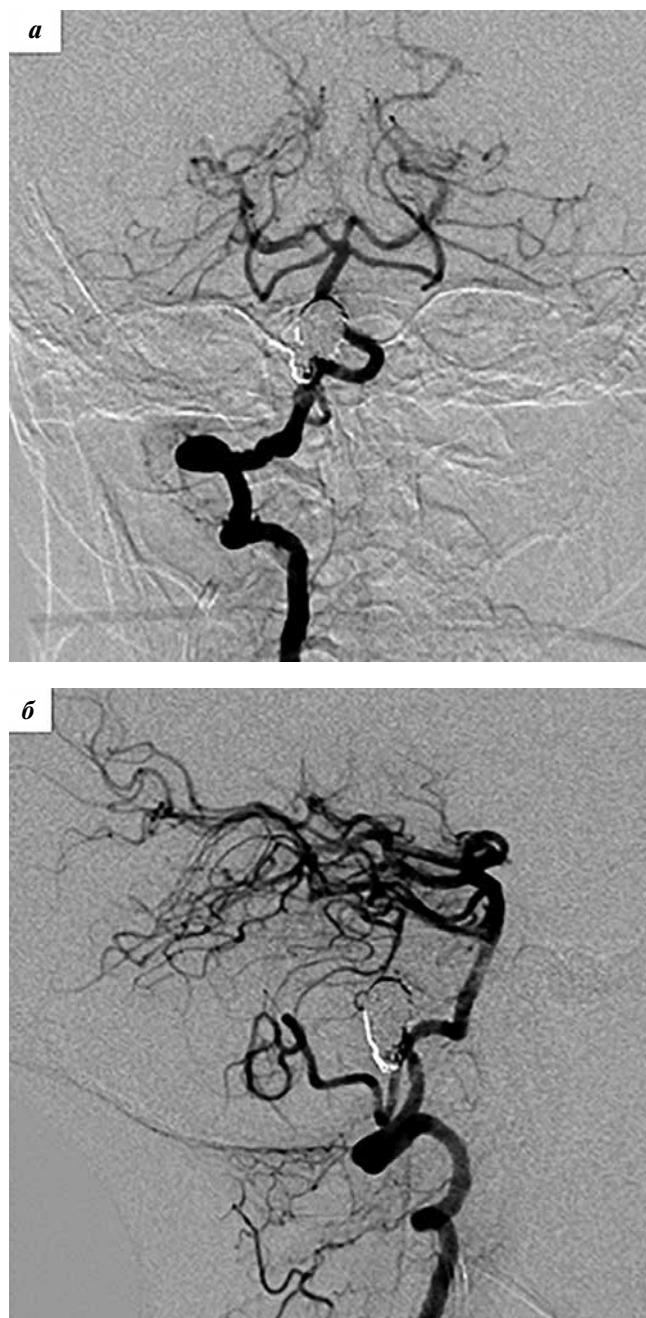


Рис. 4. Контрольная ангиография, демонстрирующая отсутствие заполнения аневризмы ЗНМА: а — прямая проекция; б — боковая проекция

Fig. 4. Angiography after surgery, demonstrating the total exclusion of aneurysm of the posterior inferior cerebellar artery: a — direct projection; б — lateral projection

метода лечения для аневризм ЗНМА в настоящий момент остается дискуссионным.

Из открытых микрохирургических вмешательств на аневризмах данной локализации возможно выполнение клипирования ША, треппинга аневризмы, создание анастомозов — экстра-интракраниальных, интра-интракраниальных внутричерепных, а также создание реанастомоза на месте аневризмы, реимплантации ЗНМА после удаления аневризмы [5].

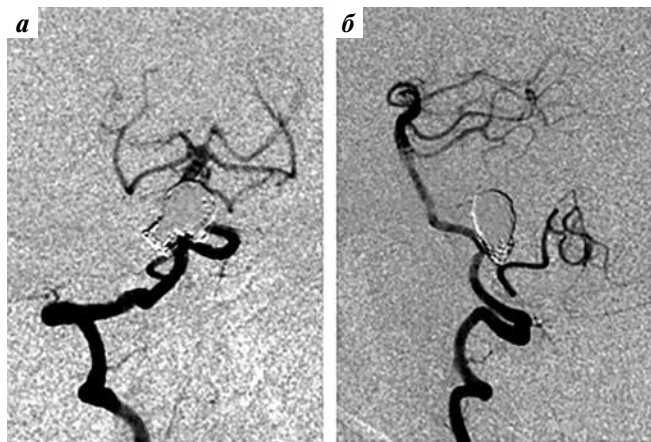


Рис. 5. Контрольная ангиограмма через 6 мес, демонстрирующая отсутствие аневризмы ЗНМА: а — прямая проекция; б — боковая проекция

Fig. 5. Control angiogram after 6 months, demonstrating the absence of an aneurysm of the posterior inferior cerebellar artery: а — direct projection; б — lateral projection

Близость ЗНМА к каудальной группе черепных нервов сопровождается высоким риском развития послеоперационной нейропатии на стороне микрохирургического вмешательства. По данным ряда работ [1, 5–7], частота дисфункции черепно-мозговых нервов после операции 7,4–48 % случаев, при этом Н. Al-Khayat и соавт. отметили тенденцию к полному регрессу неврологической симптоматики в течение 6 мес с момента операции.

Помимо этого, одно из осложнений при микрохирургической окклюзии аневризм ЗНМА — развитие ишемических осложнений в стволе головного мозга и мозжечке. В исследовании М. Tjahjadi и соавт. ишемия в гемисферах мозжечка или стволе головного мозга при микрохирургических вмешательствах встречалась у 19 % пациентов, большинство из которых (60 %) имели неблагоприятный исход [8]. По мнению ряда авторов, в том числе Ш.Ш. Элиава, М. Tjahjadi [7, 8], развитие ишемических осложнений связано с окклюзией ствола ЗНМА при клипировании аневризмы.

В публикации Ш.Ш. Элиава и соавт. отмечено, что интраоперационный разрыв аневризмы наблюдался в 7,4 % случаев. У одного пациента после операции выраженное кровотечение привело к развитию тяжелых бульбарных нарушений с необходимостью наложения трахеостомы. Интраоперационный тромбоз наблюдался в 2,9 % случаев. В одном случае это привело к формированию очага ишемии в левой гемисфере и черве мозжечка с развитием отека структур задней черепной ямки [7].

Кроме того, авторы отмечают, что важную роль играет положение пациента во время операции. При положении сидя возможно развитие воздушной эмболии, что отмечено в 4 % оперативных вмешательств [7].

Летальность в раннем послеоперационном периоде после микрохирургических операций, по данным

ряда авторов, таких как Р. Seoane и соавт., Н. Al-khayat и соавт., G.C. Viswanathan и соавт. [6, 9, 10], составляет 1,8–3,7 %. С уровнем смертности в раннем послеоперационном периоде тесно связана тяжесть состояния пациента до вмешательства. К примеру, Ш.Ш. Элиава и соавт. показали, что летальные случаи не отмечаются, если большинство пациентов до операции находилось в компенсированном состоянии [7].

Сравнительное исследование В.Н. Bohnstedt и соавт. показало, что новый неврологический дефицит после микрохирургического вмешательства появляется у 40,9 % пациентов с аневризмами с указанием на разрыв в анамнезе и у 41,1 % пациентов с неразорвавшимися аневризмами. Послеоперационный дефицит развился после эндоваскулярного лечения только у 16 % пациентов с аневризмами с указанием на разрыв в анамнезе. Несмотря на указанную в данной публикации статистическую значимость высокой частоты осложнений у пациентов, получивших микрохирургическое лечение, этих же различий в отдаленном периоде не отмечено [5].

На основе анализа публикаций [7, 8, 11], упоминающих микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА, можно сделать вывод о высокой радикальности данного метода. Так, было показано полное выключение аневризм ЗНМА из кровотока в 95,5 % случаев [7].

Эффективность эндоваскулярных методов лечения аневризм ЗНМА, по данным W. Mukonoweshuro и соавт., составляет 82,6 % случаев, при которых авторы достигли полной окклюзии. Частота осложнений составила 13 % при отсутствии летальных исходов [12]. R.A. Mericle и соавт. опубликовали результаты эндоваскулярной окклюзии аневризм ЗНМА у 31 пациента, 30 из которых имели отличный ангиографический исход в раннем послеоперационном периоде. У 15 из этих пациентов реканализация аневризмы в отдаленном периоде не наблюдалась (длительность наблюдения составила 10 мес) [13]. J.P. Peluso и соавт. достигли полной окклюзии аневризмы у 39 (83 %) пациентов. Интраоперационный разрыв произошел в 19 % случаев. В данной серии авторы описывают 2 летальных случая у пациентов, изначально находящихся в тяжелом состоянии. За период наблюдения пациентов с максимальным катамнезом 93 мес не было отмечено ни одного повторного либо первичного аневризматического кровоизлияния [14].

Важный аспект радикальности выключения аневризмы из кровотока — выбор методики эндоваскулярного лечения. В метаанализе Y. Hong и соавт. проводится сравнение стент-ассистенции и использования только микроспиралей: показано увеличение степени окклюзии аневризмы при наблюдении в динамике у пациентов из группы стент-ассистенции. Помимо этого, данный метаанализ убедительно подтвердил данные, что аневризмы, выключенные из кровотока при помощи стент-ассистенции, менее склонны к рецидивам

[15]. В исследовании S. Jahshan и соавт. общая частота окклюзии упала с 89,4 до 48,9 % в группе, в которой применялись только микроспирали, в то же время в группе с применением стент-ассистированной окклюзии увеличилась с 59,6 до 62,7 % в течение периода наблюдения [16].

Несмотря на развитие медицинских технологий и совершенствование эндоваскулярного инструментария, лечение аневризм ЗНМА в ряде случаев представляет собой сложную хирургическую задачу. Анатомические особенности строения самой ЗНМА, особенно ее извилистый ход и угол отхождения от ПА, могут создавать технические трудности для антеградной катетеризации как аневризмы, так и несущей ее артерии, усложнять заведение в нее баллон-катетера или имплантацию ассистирующего стента, а манипуляции микропроводником во время заведения микрокатетера дистальнее аневризмы могут привести к ее перфорации и развитию субарахноидального кровоизлияния.

В связи с развитием эндоваскулярных методов лечения в последние годы появились тенденции, согласно которым при проксимальных аневризмах ЗНМА данное хирургическое вмешательство, способствующее хорошим результатам, предпочтительнее [1, 5].

В представленном в данной публикации клиническом случае, учитывая анатомические особенности аневризмы и несущей ее артерии, предпочтение отдано эндоваскулярному вмешательству как наиболее безопасному в данной ситуации. На этапе предоперационного планирования также рассматривали вариант микрохирургического клипирования аневризмы с дополнительной реваскуляризацией или без нее, однако, учитывая размеры, локализацию, аномалии развития противоположной ПА и ипсилатеральной затылочной артерии, от открытой операции все же было решено воздержаться ввиду более высоких рисков интра- (или) послеоперационных осложнений.

Учитывая размеры, широкую ША с вовлечением ЗНМА в ее строение, выбор сделан в пользу окклюзии микроспиралями в условиях стент-ассистенции. Принимая во внимание острый угол отхождения ЗНМА от ПА и возможные вышеописанные технические трудности использования антеградного доступа при ее

катетеризации, а также невозможность установки гайд-катетера в противоположную ПА ввиду ее малого диаметра, принято решение выполнить имплантацию стента в артерию, несущую аневризму, с применением трансциркулярного подхода из каротидного бассейна через ЗСА, а для катетеризации тела аневризмы посчитали целесообразным использовать бассейн ПА.

Первое упоминание в литературе о применении трансциркулярного доступа в лечении аневризм головного мозга встречается у J.N. Gurian и соавт. (1995). Авторы продемонстрировали случай лечения больного с разорвавшейся аневризмой V4-сегмента позвоночной артерии [17, 18]. Позднее J. Moret и соавт. опубликовали результаты успешного лечения серии больных с аневризмами различной локализации, отмечая высокую степень эффективности методики: только у 2 (16 %) больных ретроградный подход оказался технически невыполним [17, 19].

J.A. Roa и соавт., проанализировав результаты эндоваскулярного лечения аневризм различной локализации с использованием трансциркулярных доступов, сообщают, что около 25 % подобных вмешательств пришлось на аневризмы ЗНМА. Данный метод позволил достичь высокой степени исключения аневризм (Raymond Roy I–II — 93,4 %), окклюзия которых с использованием классического антеградного подхода невозможна или сопровождается низкой степенью радикальности. При этом частота интраоперационных осложнений составила 8,5 %, однако в 7,2 % случаев отмечался их преходящий характер. Наиболее часто наблюдались ишемические осложнения, связанные с тромбоэмболией или тромбозом стента. Летальность составила 1,3 % случаев и была связана с геморрагическими осложнениями [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование ретроградного доступа к задним нижним мозжечковым артериям для выполнения окклюзии проксимальной аневризмы задних нижних мозжечковых артерий со стент-ассистенцией представляется достаточно безопасным и эффективным методом с низкой частотой осложнений и возможностью достижения хорошего ангиографического и клинического исходов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Mascitelli J.R., Yeager K., Wei D. et al. Multimodality treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms. *World Neurosurgery* 2017;106:493–503. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.07.024
2. Lister J.R., Rhoton A.L. Jr, Matsushima T., Peace D.A. Microsurgical anatomy of the posterior inferior cerebellar artery. *Neurosurgery* 1982;10(2):170–99.
3. Singh R.K., Behari S., Kumar V. et al. Posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Anatomical variations and surgical strategies. *Asian J Neurosurg* 2012;7(1):2–11. DOI: 10.4103/1793-5482.95687
4. Schievink W.I., Wijdicks E.F., Piepgras D.G. et al. The poor prognosis of ruptured intracranial aneurysms of the posterior circulation. *J Neurosurg* 1995;82(5):791–5. DOI: 10.3171/jns.1995.82.5.0791
5. Bohnstedt B.N., Ziemba-Davis M., Edwards G. et al. Treatment and outcomes among 102 posterior inferior cerebellar artery aneurysms: A comparison of endovascular and microsurgical clip ligation. *World Neurosurg* 2015;83(5):784–93. DOI: 10.1016/j.wneu.2014.12.035

6. Al-khayat H., Al-Khayat H., Beshay J. et al. Vertebral artery-posterior inferior cerebellar artery aneurysms: clinical and lower cranial nerve outcomes in 52 patients. *Neurosurgery* 2005;56(1): 2–10; discussion 11.
7. Элиава Ш.Ш., Пилипенко Ю.В., Шехтман О.Д. и др. Микрохирургическое лечение аневризм позвоночных и задних нижних мозжечковых артерий: хирургические доступы, варианты исключения, результаты лечения. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2019;83(4):5–17. DOI: 10.17116/neiro2019830415
Eliava Sh.Sh., Pilipenko Yu.V., Shekhtman O.D. et al. Microsurgical treatment of aneurysms of vertebral and posterior-lower cerebellar arteries: surgical approaches, exclusion options, treatment results. *Zhurnal voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2019;83(4):5–17. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro2019830415
8. Tjahjadi M., Jahromi B.R., Serrone J. et al. Simple lateral suboccipital approach and modification for vertebral artery aneurysms: a study of 52 cases over 10 years. *World Neurosurg* 2017;108:336–46. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.09.014
9. Viswanathan G.C., Menon G., Nair S., Abraham M. Posterior inferior cerebellar artery aneurysms: operative strategies based on a surgical series of 27 patients. *Turkish Neurosurgery* 2014;24(1):30–7. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.7836-13.1
10. Seoane P., Kalb S., Clark J.C. et al. Far-lateral approach without drilling the occipital condyle for vertebral artery-posterior inferior cerebellar artery aneurysms. *Neurosurgery* 2017;81(2):268–74. DOI: 10.1093/neuros/nyw136
11. Petr O., Sejkorova A., Bradac O. et al. Safety and efficacy of treatment strategies for posterior inferior cerebellar artery aneurysms: a systematic review and meta-analysis. *Acta Neurochir (Wien)* 2016;158(12):2415–28. DOI: 10.1007/s00701-016-2965-3
12. Mukonoweshuro W., Laitt R.D., Hughes D.G. Endovascular treatment of PICA aneurysms. *Neuroradiology* 2003;45(3):188–92. DOI: 10.1007/s00234-002-0913-9
13. Mericle R.A., Reig A.S., Burry M.V. et al. Endovascular surgery for proximal posterior inferior cerebellar artery aneurysms: An analysis of Glasgow Outcome Score by Hunt-Hess Grades. *Neurosurgery* 2006;58(4):619–25. DOI: 10.1227/01.NEU.0000204127.81249.28
14. Peluso J.P., van Rooij W.J., Sluzewski M. et al. Posterior inferior cerebellar artery aneurysms: incidence, clinical presentation, and outcome of endovascular treatment. *Am J Neuroradiol* 2008;29(1):86–90. DOI: 10.3174/ajnr.A0758
15. Hong Y., Wang Y.-J., Deng Z. et al. Stent-assisted coiling versus coiling in treatment of intracranial aneurysm: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 2014;9(1):e82311. DOI: 10.1371/journal.pone.0082311
16. Jahshan S., Abla A.A., Natarajan S.K. et al. Results of stent-assisted vs non-stent-assisted endovascular therapies in 489 cerebral aneurysms. *Neurosurgery* 2013;72(2):232–9. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827b93ea
17. Mascitelli J.R., Levitt M.R., Griessenauer C.J. et al. Transcirculation approach for stent-assisted coiling of intracranial aneurysms: a multicenter study. *J Neurointerv Surg* 2021;13(8):711–5. DOI: 10.1136/neurintsurg-2020-016899
18. Gurian J.H., Vinuela F., Gobin Y.P. et al. Aneurysm rupture after parent vessel sacrifice. *Neurosurgery* 1995;37(6):1216–21. DOI: 10.1227/00006123-199512000-00025
19. Moret J., Ross I.B., Weill A., Piotin M. The retrograde approach: A consideration for the endovascular treatment of aneurysms. *Am J Neuroradiol* 2000;21(2):262–8.
20. Roa J.A., Ortega-Gutierrez S., Martinez-Galdamez M. et al. Transcirculation approach for endovascular embolization of intracranial aneurysms, arteriovenous malformations, and dural fistulas: A multicenter study. *World Neurosurg* 2020;134:e1015–27. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.11.078

Вклад авторов

В.С. Киселев: проведение операций, получение данных для анализа, написание текста статьи;

Е.Д. Анисимов: получение, сбор, обработка и анализ данных, обзор публикаций, написание текста статьи;

Д.М. Галактионов: проведение операций.

Authors' contributions

V.S. Kiselev: surgical operation, obtaining data for analysis, article writing;

E.D. Anisimov: data obtaining and analysis, literature review, article writing;

D.M. Galaktionov: surgical operation.

ORCID авторов / ORCID of authors

В.С. Киселев / V.S. Kiselev: <https://orcid.org/0000-0002-7406-9874>

Е.Д. Анисимов / E.D. Anisimov: <https://orcid.org/0000-0003-1858-3745>

Д.М. Галактионов / D.M. Galaktionov: <https://orcid.org/0000-0002-0074-4144>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Пациент подписал информированное согласие на публикацию своих данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. Patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 05.04.2022. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 05.04.2022. **Accepted for publication:** 25.05.2022.

НЕФУНКЦИОНИРУЮЩИЙ ВЕНТРИКУЛЯРНЫЙ КАТЕТЕР КАК ПРИЧИНА РАЗВИТИЯ АБСЦЕССА ГОЛОВНОГО МОЗГА У РЕБЕНКА: НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

С.С.-Х. Гаилов^{1,2}, И.А. Захарчук², А.С. Серобян², Е.В. Захарчук^{1,2}, Д.П. Воробьев^{1,2}, Р.Т. Ким¹

¹ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 625023 Тюмень, ул. Одесская, 54;

²ГБУЗ Тюменской области «Областная клиническая больница № 2»; Россия, 625039 Тюмень, ул. Мельникайте, 75

Контакты: Сайди Саит-Хусейнович Гаилов s-stavros@mail.ru

Введение. Инфекционные осложнения после вентрикулоперитонеального шунтирования остаются актуальной проблемой в нейрохирургии. Возникновение абсцесса головного мозга, причиной которого служит нефункционирующий вентрикулярный катетер, относится к редким осложнениям.

Цель работы – представить собственный опыт хирургического лечения ребенка с абсцессом головного мозга, причиной которого стал нефункционирующий вентрикулярный катетер.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужил случай пациента А., 4 лет, с гидроцефалией, у которого сформировался абсцесс головного мозга (причина – нефункционирующий вентрикулярный катетер).

Результаты. Нефункционирующий внутрижелудочковый катетер послужил местом бактериальной колонизации и в результате привел к образованию абсцесса головного мозга. Профилактика такого осложнения – полное удаление после вентрикулоперитонеального шунтирования его старых элементов после замены. При формировании абсцесса наиболее целесообразно его открытое удаление вместе с нефункционирующим катетером, так как это позволяет максимально санировать патологический очаг. Такой подход может считаться профилактической мерой возникновения инфекционных осложнений и в дальнейшем. При сочетании абсцесса головного мозга на фоне нефункционирующего катетера и вентрикулоперитонеального шунтирования, если нет воспалительных изменений в ликворе, целесообразно удалять абсцесс вместе с капсулой и катетером, а также извлекать перитонеальный катетер из брюшной полости. Данная тактика также обоснованна, когда тотальное удаление капсулы абсцесса невозможно или уже имеются воспалительные изменения в ликворе и нужно проводить его санацию.

Большой клинический интерес представляет изучение микробиологических аспектов данной патологии. Выявленная в описываемом случае *Klebsiella pneumoniae* как этиологический фактор возникновения абсцесса головного мозга, по данным литературы, встречается относительно нечасто.

Заключение. Проблема возникновения и лечения инфекционных осложнений после ликворшунтирующих операций при гидроцефалии – актуальная задача в нейрохирургии. На основании проведенного анализа литературы можно утверждать, что редкость публикаций по данной тематике делает крайне важными и необходимыми даже отдельные сообщения, что на сегодняшний день нет возможности предложить определенную стратегию в отношении нефункционирующего вентрикулярного катетера. Считаем, что нужно всегда стремиться к полному удалению старых элементов вентрикулоперитонеального шунтирования при переустановке. Такой подход может считаться профилактической мерой против возникновения инфекционных осложнений.

Ключевые слова: гидроцефалия, вентрикулоперитонеальное шунтирование, абсцесс, вентрикулярный катетер

Для цитирования: Гаилов С.С.-Х., Захарчук И.А., Серобян А.С. и др. Нефункционирующий вентрикулярный катетер как причина развития абсцесса головного мозга у ребенка: наблюдение из практики. Нейрохирургия 2022;24(3): 68–72. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-68-72

Non-functioning ventricular catheter as a cause of brain abscess in a child: case report

S.S.-Kh. Gaibov^{1,2}, I.A. Zacharchuk², A.S. Serobyan², E.V. Zacharchuk^{1,2}, D.P. Vorobyev^{1,2}, R.T. Kim¹

¹Tyumen State Medical University, Ministry of Health of Russia; 54 Odesskaya St., Tyumen 625023, Russia;

²Tyumen Regional Clinical Hospital No. 2; 75 Melnikaite St., Tyumen 625039, Russia

Contacts: Saydi Sait-Khuseynovich Gaibov *s-stavros@mail.ru*

Introduction. The occurrence of a brain abscess caused by a non-functioning ventricular catheter is a rare complication. This approach can be considered a preventive measure for the occurrence of infectious complications. *Klebsiella pneumoniae*, as an etiological factor in the occurrence of brain abscess, is relatively rare according to literature.

Aim. To present our experience of treating a child with hydrocephalus who developed a brain abscess caused by a non-functioning ventricular catheter.

Materials and methods. The material for the study was the clinical history of a 4-year-old patient with a brain abscess caused by a non-functioning ventricular catheter left after the replacement of the shunt system.

Results. The prevention of such a complication is the complete removal of the elements of the ventriculoperitoneal shunting during its replacement. When an abscess is formed, the most appropriate method is its open removal along with a non-functioning catheter, since this allows the pathological focus to be sanitized as much as possible. This approach can be considered a preventive measure for the occurrence of infectious complications in the future. If a condition occurs when there is a combination of a brain abscess against the background of a non-functioning catheter, SPS and there are no inflammatory changes in the cerebrospinal fluid, it is advisable to remove the brain abscess along with the capsule and catheter, as well as removing the peritoneal catheter from the abdominal cavity. This tactic is also justified when the total removal of the abscess capsule is impossible, or there are already inflammatory changes in the cerebrospinal fluid and it is necessary to sanitize it.

Of great clinical interest is also the study of the microbiological aspects of this pathology. *Klebsiella pneumoniae*, which was isolated during a microbiological study in this clinical example, as an etiological factor in the occurrence of a brain abscess, is rare according to the literature.

Conclusion. The problem of the occurrence and treatment of infectious complications after liquor-reshunting operations during hydrocephalus is an urgent task in neurosurgery. Based on the analysis of the literature, it can be said that the rarity of publications on this topic makes even individual reports relevant, and today there is no way to propose a specific strategy for a non-functioning ventricular catheter.

Key words: hydrocephalus, ventriculoperitoneal shunting, abscess, ventricular catheter

For citation: Gaibov S.S.-Kh., Zacharchyk I.A., Serobyay A.S. et al. Non-functioning ventricular catheter as a cause of brain abscess in a child: case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):68–72. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-68-72

ВВЕДЕНИЕ

Вентрикулоперитонеальное шунтирование (ВПШ) — наиболее частый хирургический метод лечения пациентов с гидроцефалией (ГЦФ) [1]. Несмотря на достигнутые за последнее время успехи, инфекционные осложнения после ВПШ остаются актуальной проблемой в нейрохирургии [2, 3]. По данным разных авторов, частота таких осложнений достигает 2–17 % случаев [2, 4–6]. Возникновение абсцесса головного мозга, причиной которого служит нефункционирующий вентрикулярный катетер (ВК) (по разным причинам его не удается удалить при ревизии или при замене ВПШ), относится к редким осложнениям [7–12]. Небольшое число работ, посвященных данной проблеме, отсутствие систематических обзоров увеличивают значимость каждого описанного случая и актуальность данной публикации, которая может иметь большое теоретическое и практическое значение.

Цель работы — представить собственный опыт лечения ребенка с абсцессом головного мозга, причиной которого стал нефункционирующий ВК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

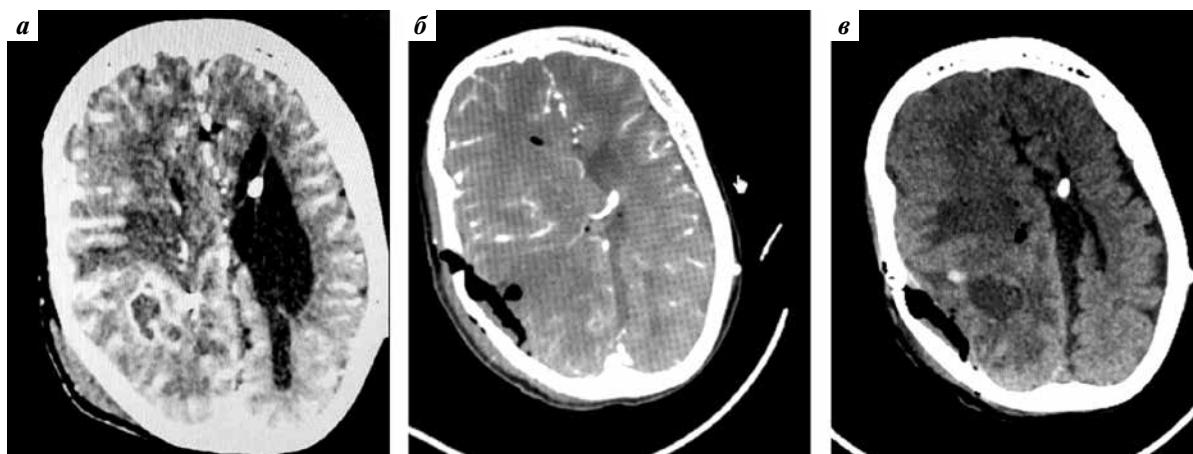
Материалом для исследования послужила клиническая история болезни пациента (ребенка 4 лет) с абсцессом головного мозга, причина которого — нефункционирующий ВК, оставшийся после выполнения

замены ВПШ. Выполнен обзор литературы с использованием баз данных eLIBRARY и PubMed. Поиск-овые слова: ventriculoperitoneal shunt, brain abscess, non-functioning intraventricular catheter.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Ребенок А., 4 лет, 31.12.2019 в экстренном порядке поступил (с мамой) в приемное отделение Тюменской областной клинической больницы № 2 с жалобами на выраженное беспокойство, повышение температуры тела до 37,5 °С, отсутствие аппетита, плохой сон. Со слов матери, данные жалобы возникли 3 дня назад. Из анамнеза известно, что ребенок родился недоношенным, наблюдается с диагнозом внутренней постгеморрагической ГЦФ, а также детского церебрального паралича. По поводу ГЦФ в возрасте 1 мес выполнено ВПШ, после чего в возрасте 1 года и 3,5 лет проводились ревизии ВПШ из-за его дисфункции.

При выполнении такой ревизии 6 мес назад причиной дисфункции системы стала окклюзия ВК, который был установлен в задний рог правого бокового желудочка. Ребенку выполнена полная замена шунтирующей системы с установкой ВК в передний рог левого бокового желудочка. При этом удалить вышедший из строя ВК, учитывая высокие риски геморрагических осложнений, не представлялось возможным — было принято решение его оставить.



Мультиспиральная компьютерная томография головного мозга пациента А. (ребенок 4 лет) в аксиальной проекции: а — до операции (в правой затылочной доле абсцесс с перифокальным отеком вещества головного мозга, капсула которого интенсивно накапливает контрастное вещество, через который проходит вентрикулярный катетер; в переднем роге левого бокового желудочка виден вентрикулярный катетер вентрикулоперитонеального шунтирования); б — после операции (контрольное исследование с контрастированием на 1-е сутки после операции; абсцесс тотально удален); в — контрольное исследование через 7 дней после оперативного лечения (ложе удаленного абсцесса представлено кистой, отмечается значительное уменьшение перифокального отека вещества головного мозга)

Multispiral computed tomography of the brain of patient A. (child 4 years old) in axial projection: a — before surgery (in the right occipital lobe there is an abscess with perifocal edema of the brain substance, the capsule of which intensively accumulates the contrast medium and through which the ventricular catheter passes; in the anterior horn of the left lateral ventricle, a ventricular catheter of ventriculoperitoneal shunting is visible); б — after the operation (control study with contrast for 1 day after surgery; abscess is totally removed); в — control study 7 days after surgical treatment (the bed of the removed abscess is represented by a cyst; there is a significant decrease in perifocal edema of the substance of the brain)

Объективное исследование: ребенок реагирует на осмотр, соматически компенсирован. Неврологический статус: грубая задержка психоречевого развития, псевдобульбарный синдром, выраженная пирамидная симптоматика — спастический тетрапарез 4 балла по шкале Эшворта (Ashworth), на фоне детского церебрального паралича. При визуальном осмотре области расположения шунтирующей системы патологии не выявлено, клапан ВППШ прокачивает хорошо, не заливает, расправляется удовлетворительно. Поскольку причиной ухудшения состояния ребенка могла стать дисфункция ВППШ, проведена пункция его клапана и получен прозрачный ликвор: цитоз — 3 клетки (2 лимфоцита, 1 нейтрофил); глюкоза 2,5 ммоль/л; белок 0,35 г/л. Общий анализ крови: лейкоцитоз до 15×10^9 с палочкоядерным сдвигом. Компьютерная томограмма головного мозга (в том числе с контрастированием) показала признаки абсцесса, сформировавшегося вокруг нефункционирующего ВК — снимки представлены на рисунке (а).

С учетом наличия гнойного очага ребенку показано экстренное оперативное лечение — удаление абсцесса головного мозга вместе с нефункционирующим ВК. Выполнено: парietальная костно-пластическая трепанация черепа, микрохирургическое удаление абсцесса правой затылочной доли вместе с ВК (б), вывод перитонеального катетера ВППШ из брюшной полости для исключения распространения инфекционного процесса.

По данным гистологического заключения, удаленный материал — абсцесс с глиозными изменениями вещества мозга и продуктивными васкулитами. При микробиологическом исследовании из операционного материала

выделена *Klebsiella pneumoniae*, продуцирующая БЛРС+ (β-лактамазы расширенного спектра действия), чувствительная к амикацину, меропенему, имепенему, сульразону и резистентная к цефепиму, цефотаксиму, цефтазидиму, ципрофлоксацину, амоксиклаву.

В послеоперационном периоде ребенок получал антибактериальную терапию (меропенем по 650 мг 2 раза в день внутривенно капельно в течение 17 дней), а также симптоматическое лечение. Проводились общий анализ и микробиологическое исследование ликвора в динамике, по данным которых не отмечено появления воспалительных изменений или признаков бактериального роста. На 4-е сутки возник регресс лихорадки. Нормализация показателей в общем анализе крови произошла на 12-й день лечения. На 14-е сутки после операции выполнена замена и имплантация перитонеального катетера в брюшную полость. Пациент выписан на 21-е сутки после снятия швов (в).

После выписки ребенок находится под наблюдением у детского невролога, педиатра и нейрохирурга. За весь период наблюдения (катамнез больше 12 мес) не отмечено признаков дисфункции ВППШ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Публикаций и работ, посвященных проблеме формирования у детей абсцесса головного мозга при нефункционирующем ВК, немного. Так, А.А. Jamjoom и соавт. (2009) сообщили всего о 7 случаях возникновения такого осложнения (данные литературы за 20 лет) и представили собственное наблюдение формирования абсцесса головного мозга, прилегающего к вентрикулярному

катетеру у 2-летнего ребенка с врожденной гидроцефалией, рядом шунтирующих операций, через 13 мес после оперативного лечения [13]. С учетом развития у больного менингита выполнено удаление шунтирующей системы и абсцесса головного мозга, наружное вентрикулярное дренирование. Через 10 дней на фоне положительного эффекта от лечения пациенту проведено ВПШ. Авторы рекомендуют учитывать возможность развития такого осложнения в клинической практике и удалять нефункционирующий ВК [13].

Вероятность возникновения у ребенка в длительном отдаленном периоде наблюдения вокруг нефункционирующего ВК абсцесса головного мозга — при его бессимптомном течении — представлена в работе V.I. Vougioukas и соавт. (2003). Авторы опубликовали опыт успешного оперативного лечения этого ребенка, у которого описанное состояние развилось через 6 лет после предыдущей операции, когда нефункционирующий ВК не был удален. При этом сам абсцесс протекал у ребенка бессимптомно и был выявлен лишь при исследовании на фоне прогрессирования ГЦФ [12]. Латентное течение такого грозного состояния, как абсцесс головного мозга, представляет особую опасность, особенно при прорыве абсцесса в желудочковую систему головного мозга. Так, R. Gupta и соавт. (2007) описали случай формирования абсцесса вокруг катетера, не функционирующего длительное время, и прорыв содержимого абсцесса в ликворную систему, который привел к развитию фатального вентрикулита [14].

В найденных нами работах авторы приходят к мнению, что нефункционирующий катетер служит местом бактериальной колонизации и может привести к образованию абсцесса. Как профилактику таких осложнений предлагают удаление ВК [8, 12–14]. Однако удаление катетера не всегда возможно и в ряде случаев может привести к серьезным осложнениям в виде внутримозговой гематомы или внутрижелудочкового кровоизлияния, особенно когда катетер плотно прилегает к сосудистому сплетению или стенке желудочка [15]. По мнению R. Gupta и соавт. (2007), проблема удаления или неудаления ВК не решена и требует неоднозначного подхода [14]. Мы считаем, что нужно всегда стремиться к удалению ВК при замене или переустановке ВПШ. Наиболее целесообразным представляется метод открытого способа удаления абсцесса вместе

с нефункционирующим катетером, так как это позволяет максимально санировать патологический очаг. Такой подход может считаться профилактической мерой возникновения инфекционных осложнений в дальнейшем.

Определенные сложности возникают, когда у ребенка (как в нашем клиническом примере) есть абсцесс головного мозга на фоне нефункционирующего катетера, ВПШ и нет воспалительных изменений в ликворе. Какова рациональная тактика при такой клинической ситуации? Считаем, что в данной ситуации, даже если удастся тотально удалить абсцесс вместе с капсулой и катетером без контакта содержимого абсцесса с веществом мозга и ликвором, то целесообразно извлекать перитонеальный катетер из брюшной полости; тем более это обоснованно, когда тотальное удаление капсулы абсцесса невозможно или уже имеются воспалительные изменения в ликворе и нужно проводить его санацию.

Большой клинический интерес представляют микробиологические аспекты данной патологии. Работ, которые посвящены непосредственно этиологии и микробиологии абсцессов головного мозга, достаточно. По данным литературы, наиболее часто как этиологические факторы абсцесса головного мозга встречаются микроорганизмы семейства *Enterobacteriaceae* [8, 10–12, 14, 16, 17]. *Klebsiella pneumoniae*, которая выделена при микробиологическом исследовании в нашем клиническом примере и послужила этиологическим фактором возникновения абсцесса головного мозга пациента А., по данным других авторов, встречается редко [18, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема возникновения и лечения инфекционных осложнений после ликворошунтирующих операций при гидроцефалии — актуальная задача в нейрохирургии. На основании проведенного анализа литературы можно сказать, что редкость публикаций по данной тематике делает актуальными любые сообщения, что на сегодняшний день нет возможности предложить определенную стратегию в отношении нефункционирующего вентрикулярного катетера. Однако систематический анализ подобных осложнений, их освещение в печати, безусловно, позволят восполнить этот пробел.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Merkler A.E., Chang J., Parker W.E. et al. The rate of complications after ventriculoperitoneal shunt surgery. *World Neurosurg* 2017;(98):654–8. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.10.136
2. Choksey M.S., Malik I.A. Zero tolerance to shunt infections: can it be achieved? *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2004;75(1):87–91.
3. Sarguna P., Lakshmi V. Ventriculoperitoneal shunt infections. *Indian J Med Microbiol* 2006;24(1):52–4. DOI: 10.4103/0255-0857.19896
4. Lee J.H., Kim D.S., Choi J.U. Complications after the ventriculoperitoneal shunt according to the time course. *J Korean Neurosurg Soc* 1996;(25):1851–5.
5. Park I.S., Lee C.M., Kim Y.T., Ha H.G. Post-shunt infection in hydrocephalus. *J Korean Neurosurg Soc* 1998;27:476–80. (In Korean).
6. Wang K.W., Chang W.N., Shih T.Y. et al. Infection of cerebrospinal fluid shunts: causative pathogens, clinical features, and outcomes. *Jpn J Infect Dis* 2004;57(2):44–8.
7. Fiume D., Parziale G., Simonetti G. Cerebral abscess as a result of a ventriculo-peritoneal shunt. *Riv Neurol* 1986;56(1):19–24. (In Ital.).
8. Arrese I., Nunez A.P., Rivas J.J., Lobato R.D. Delayed brain abscess as a complication of a CSF shunt. *Neurocirugia (Astur)* 2004;15(5):472–5. (In Span.).
9. Barazi S.A., Gnanalingham K.K., Chopra I., van Dellen J.R. Delayed postoperative intracerebral abscess caused by *Propionibacterium acnes*: Case report and review of the literature. *Br J Neurosurg* 2003;17(4):336–9. DOI: 10.1080/02688690310001601225
10. Gower D.J., Horton D., Pollay M. Shunt-related brain abscess and ascending shunt infection. *J Child Neurol* 1990;5(4):318–20. DOI: 10.1177/088307389000500409
11. Pandey P., Suri A., Singh A.K., Mahapatra A.K. Brain abscess – an unusual complication of ventriculo-peritoneal shunt. *Indian J Pediatr* 2003;70(10):833–4. DOI: 10.1007/BF02723809
12. Vougioukas V.I., Feuerhake F., Hubbe U. et al. Latent abscess formation adjacent to a non-functioning intraventricular catheter. *Childs Nerv Syst* 2003;19(2):119–21. DOI: 10.1007/s00381-002-0706-9
13. Jamjoom A.A., Waliuddin A.R., Jamjoom A.B. Brain abscess formation as a CSF shunt complication: a case report. *Cases J* 2009;2(1):110. DOI: 10.1186/1757-1626-2-110
14. Gupta R., Mohindra S., Dhingra A.K. Are non-functioning intraventricular shunt catheters really dormant? *Br J Neurosurg* 2007;21(3):297–8. DOI: 10.1080/02688690701317151
15. Brownlee R.D., Dold O.N., Myles S.T. Intraventricular hemorrhage complicating ventricular catheter revision: Incidence and effect on shunt survival. *Pediatr Neurosurg* 1995;22(6):315–20. DOI: 10.1159/000120922
16. Osoba A.O., Kutub H., Waliuddin A., Sharab M.O. *Enterococcus avium*: an unusual cause of cerebral abscess. *Neurosciences (Riyadh)* 2005;10(4):297–300.
17. Panagea S., Cartmill T.D., Panigrahi H. Intracerebral sepsis due to intestinal perforation by ventriculo-peritoneal shunts: Two cases. *J Infect* 1997;35(1):86–8. DOI: 10.1016/s0163-4453(97)91217-2
18. Chen Y., Liu L. the treatment of nosocomial meningitis and brain abscess by carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Br J Neurosurg* 2019;1–3. DOI: 10.1080/02688697.2018.1530729
19. Sundaram V., Agrawal S., Chacham S. et al. *Klebsiella pneumoniae* brain abscess in neonates: a report of 2 cases. *J Child Neurol* 2010;25(3):379–82. DOI: 10.1177/0883073809338326

Вклад авторов

С.С.-Х. Гаиров: выполнение операции, разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных, обзор публикаций, написание и редактирование статьи;

И.А. Захарчук: сбор и анализ данных, подготовка иллюстраций;

А.С. Сербян: сбор данных для анализа, обзор публикаций;

Е.В. Захарчук: сбор и анализ данных;

Д.П. Воробьев: сбор и анализ данных, обзор публикаций;

Р.Т. Ким: сбор и анализ данных, обзор публикаций.

Authors' contributions

S.S.-Kh. Gaibov: surgical operation, research idea and design of the study, data collection and analysis review of publications, writing and editing of the article;

I.A. Zacharchuk: data collection and analysis, preparation of illustrations;

A.S. Serbyan: obtaining data for analysis, review of publications;

E.V. Zacharchuk: data collection and analysis;

D.P. Vorobyev: data collection and analysis, review of publications;

R.T. Kim: data collection and analysis, review of publications.

ORCID авторов / ORCID of authors

С.С.-Х. Гаиров / S.S.-Kh. Gaibov: <https://orcid.org/0000-0002-5554-4588>

Е.В. Захарчук / E.V. Zacharchuk: <https://orcid.org/0000-0002-1317-5219>

Д.П. Воробьев / D.P. Vorobyev: <https://orcid.org/0000-0003-4967-6047>

Р.Т. Ким / R.T. Kim: <https://orcid.org/0000-0002-2399-0866>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Родители пациента подписали информированное согласие на публикацию его данных.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. There is given the parental informed consent to the publication of child's data.

Статья поступила: 14.12.2021. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 14.12.2021. **Accepted for publication:** 25.05.2022.

ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ХИРУРГИИ ОПУХОЛЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА СУПРАТЕНТОРИАЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ. ЧАСТЬ 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОРНОЙ ПРОВОДИМОСТИ, ВЛИЯНИЕ НА ИСХОДЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА

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. Десятская, 20, стр. 1

Контакты: Александр Юрьевич Дмитриев dmitriev@neurosklif.ru

Введение. Среди методов оценки чувствительного проведения при интраоперационном нейромониторинге в хирургии супратенториальных опухолей наиболее часто применяют фазово-реверсивные соматосенсорные вызванные потенциалы, чтобы определить локализацию центральной борозды. Уникальность метода заключается в возможности его применения у больных с грубым парезом перед операцией; чувствительность достигает 97 %, но снижается при расположении опухоли в роландовой борозде.

При мониторинговании зрительных вызванных потенциалов оценивают целостность зрительных проводящих путей, что актуально при новообразованиях затылочной и задних отделов височных долей. Информативность зрительных вызванных потенциалов достигает 94 %. В отличие от картирования зрительных проводящих путей данный метод более объективен, так как не основан на субъективных ощущениях пациента и может применяться у больных в наркозе.

Применение интраоперационного нейромониторинга в 2–5 раз повышает радикальность резекций опухолей функционально значимых зон головного мозга и в 2 раза снижает количество стойких неврологических нарушений после операции.

Точность интраоперационного нейромониторинга снижается при ревизионных операциях и ишемическом повреждении головного мозга вследствие ангиоспазма. Для сохранения высокой прогностической значимости метода количество мониторируемых мышц должно быть обратно пропорционально плотности проводящих путей в зоне операции.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, соматосенсорные вызванные потенциалы, зрительные вызванные потенциалы, опухоль функционально значимой зоны, радикальность резекции, функциональные исходы

Для цитирования: Дмитриев А.Ю., Синкин М.В., Дашьян В.Г. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии опухолей головного мозга супратенториальной локализации. Часть 2. Исследование сенсорной проводимости, влияние на исходы и ограничения метода. Нейрохирургия 2022;24(3):73–9. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-73-79

Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 2. Assessment of sensory conductivity, impact at outcomes and method restrictions

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

Among methods of assessment of sensory conductivity of neuromonitoring in surgery of supratentorial tumors somatosensory evoked potential phase reversal are used most commonly to identify location of central sulcus. Method's uniqueness lies in possibility of its usage in patients with severe paresis before operation. Its sensitivity reaches 97 % but decreases with tumor location in Rolandic area.

In monitoring of visual evoked potentials integrity of visual pathways are estimated, that is actually in lesions of occipital and posterior temporal lobes. Accuracy of visual evoked potentials reaches 94 %. In contrast to mapping of visual pathways method is more unbiased because is not founded on subjective patient's feelings and can be applied in general anesthesia.

Neuromonitoring's usage increases extent of eloquent tumor resection in 2 to 5 times and decreases the number of permanent neurological deficit in 2 times after surgery.

Accuracy of neuromonitoring decreases in reoperations and in ischemic damage due to angiospasm. To maintain high predictive value of the method amount of monitoring muscles should be inverse proportionally to the density of subcortical pathways in area of resection.

Keywords: intraoperative neuromonitoring, intraoperative neurophysiological monitoring, somatosensory evoked potential, visual evoked potentials, tumor of eloquent brain area, extent of resection, functional outcomes

For citation: Dmitriev A.Yu., Sinkin M.V., Dashyan V.G. Intraoperative neuromonitoring in surgery of supratentorial brain tumors. Part 2. Assessment of sensory conductivity, impact at outcomes and method restrictions. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):73–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-73-79

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОНМ) повысило радикальность и улучшило функциональные исходы резекции внутримозговых опухолей [1]. Его применение расширило показания к удалению новообразований, расположенных в функционально значимых зонах (ФЗЗ) головного мозга [2]. Описана стратегия супратотального удаления глиом низкой степени злокачественности, границы резекции которых устанавливают на основании не анатомических данных, а результатов интраоперационного картирования мозга, удаляя все, что расположено вне функционально значимых центров [3, 4].

У больных в наркозе обычно проводят мониторинг моторных проводящих путей, так как функция движения в наибольшей степени определяет качество жизни пациента. В отличие от спинальной хирургии, оценке чувствительной проводимости при резекции супратенториальных опухолей придают меньшее значение, ограничиваясь оценкой фазово-реверсивных соматосенсорных (ССВП) и зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) [5].

Принцип оценки сенсорной проводимости основан на стимуляции периферических отделов анализатора и регистрации ответов от мозговых центров. Для нейрофизиологического мониторингирования во время операций по поводу опухолей головного мозга супратенториальной локализации исследуют ССВП и ЗВП. Мониторирование ССВП применяют для оценки повреждения чувствительных центров и проводящих путей. Модификацию метода с оценкой реверсии фазы используют для обнаружения центральной борозды. При регистрации ЗВП оценивают сохранность зрительных центров и подкорковых трактов [6].

СОМАТОСЕНСОРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Соматосенсорные вызванные потенциалы представляют собой способ мониторинга целостности

первичных центров тактильной и глубокой чувствительности и соматосенсорных проводящих путей. При исследовании этих зон стимулируют периферические чувствительные или смешанные нервы, а ответ регистрируют посредством скальповых (чаще) или корковых (реже) электродов, установленных в проекции постцентральной извилины. Для оценки путей глубокой чувствительности от рук стимулирующие электроды обычно устанавливают в область запястья в проекции срединного нерва. Сенсорную проводимость от ног проверяют при электростимуляции большеберцового нерва в области внутренней лодыжки [7]. Обычно ССВП применяют при удалении опухолей ствола и спинного мозга, а в хирургии супратенториальных объемных образований используют реже из-за отсутствия влияния на ход вмешательства даже при появлении электрографических нарушений.

ФАЗОВО-РЕВЕРСИВНЫЕ СОМАТОСЕНСОРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Данную методику применяют для локализации центральной борозды и относят к методам картирования. Этот способ выявления постцентральной извилины впервые описан S. Goldring (1978) и в работе E.M. Gregorie и S. Goldring (1984) [8, 9]. Для этого проводят чрескожную стимуляцию контралатеральной стороне картирования срединного нерва в области запястного канала повторяющимися электрическими импульсами с частотой 3,17 Гц, продолжительностью импульса 0,3 мс и силой тока 10–25 мА. В ответ приблизительно через 20 мс возникает вызванный сенсорный потенциал на поверхности постцентральной извилины, который регистрируют корковым многоконтактным электродом. Этот электрод необходимо устанавливать перпендикулярно ходу предполагаемой центральной борозды в проекции функциональной зоны кисти. По контактам, расположенным над прецентральной

извилиной, корковый компонент будет обладать положительной полярностью, а над постцентральной — отрицательной. Таким образом, центральная борозда будет располагаться между электродами, по отведениям от которых произошла реверсия полярности кортикального ответа. Важно, чтобы у больного не было нейропатии срединного нерва, ухудшающей проводимость. При отсутствии выделяемых компонентов ответов необходимо исключить смещение электродов и оценить глубину наркоза [10, 11].

Обычно для регистрации реверсии фазы ССВП применяют силиконовую пластину с 4 последовательно расположенными электродами. Другой способ — использование 8-электродной сетки, в которой электроды расположены по 4 в 2 ряда. Последний повышает точность метода и позволяет уменьшить силу тока при последующей корковой стимуляции, что снижает вероятность интраоперационных судорог [12].

Чувствительность метода составляет 57–97 %, а при его комбинации с корковой стимуляцией для оценки моторного проведения достигает 100 % [11, 13]. Методика технически проста, может быть выполнена пациентам с наличием металлоимплантов в организме, клаустрофобией, психическими нарушениями и детям. А.М. Lascano и соавт. (2014) сравнили точность локализации роландовой борозды с помощью скальповых ССВП, зарегистрированных увеличенным количеством электродов, с результатами функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) у 18 добровольцев и с прямой корковой стимуляцией у 6 пациентов с эпилепсией. Среднее расстояние в локализации центральной борозды между этими методами составило 13 мм. При этом наибольшее несоответствие (до 21 мм) авторы наблюдали в латерально-медиальном направлении. По их мнению, данное различие обусловлено тем, что ССВП регистрируют в более медиальных участках центральной борозды, куда сигнал поступает быстрее. Результаты фМРТ и прямой корковой стимуляции отражают локализацию функций латерально расположенной коры, где информация интегрируется позднее [14].

Важный недостаток метода — снижение точности при расположении объемных образований около центральной борозды (чувствительность в локализации роландовой борозды — 73 %), при значимом перифокальном отеке данной локализации (чувствительность — 55 %) и деструктивном характере патологии (чувствительность — 42 %). При наличии этих факторов также увеличивается продолжительность выполнения метода (с 3 до 7 мин). Применение фазово-реверсивных ССВП позволяет быстро лоцировать примерное место первичной моторной зоны, тем самым облегчив последующую прямую стимуляцию коры и снизив риск интраоперационных судорог. Но при наличии патологического образования в области центральной борозды данный метод может оказаться

неэффективным, и у таких больных следует сразу после вскрытия твердой мозговой оболочки переходить к прямой кортикальной стимуляции [10].

Исследование фазово-реверсивных ССВП — единственный метод идентификации роландовой борозды у больных с глубоким парезом, но без выраженных чувствительных нарушений [13]. У детей данный метод предпочтительнее исследования моторного вызванного потенциала (МВП), так как неполное формирование миелиновой оболочки вокруг проводящих путей затрудняет точное определение порога возникновения МВП [15].

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Регистрация ЗВП — это метод мониторинга функциональной целостности зрительного тракта. Его применяют при удалении опухолей задних отделов височной и затылочной долей. При отсутствии грубого нарушения зрения информативность ЗВП составляет 94 % [16]. Исследование ЗВП объективнее электростимуляции зрительной коры (не основано на ощущениях пациента), и его можно применять больным под наркозом [17].

Для регистрации ЗВП используют как скальповые, так и кортикальные электроды. Недостаток первых в том, что из-за эффекта объемного проведения выполняемой ими записи активности головного мозга им присущи низкая амплитуда, невысокая точность и нестабильность сигнала. Поэтому для увеличения отношения сигнал/шум требуется длительная регистрация (1–2 мин). Кортикальные электроды лишены этих недостатков, дают амплитуду сигнала в 10 раз выше по сравнению со скальповыми и более устойчивый ответ, который к тому же может быть получен в течение 10 с. Наибольшую стабильность ответа наблюдают при близкой установке кортикальных электродов к шпорной борозде. В случае спаечного процесса между головным мозгом и твердой мозговой оболочкой электроды устанавливают эпидурально, а при расположении трепанационного дефекта вне полюса затылочной доли допустимо наложить дополнительные фрезевые отверстия или выполнить миникраниотомию для их установки [16].

При откидывании кожно-апоневротического лоскута на область лица и глаз возможно смещение стимулирующих светодиодов. Для предотвращения этого применяют ретинографию, исчезновение потенциалов которой свидетельствует об экстракраниальной технической проблеме. Такой же эффект может развиваться при выраженных зрительных нарушениях у пациента до операции вследствие сдавления или разрушения оптических путей. Сохранение ретинограммы при снижении амплитуды ЗВП указывает на интракраниальную причину. Чтобы предотвратить блокаду проведения по 3 синапсам в составе оптического пучка, применяют наркоз без миорелаксантов [18].

Для стимуляции зрительного рецептора у больных в наркозе используют очки или адгезивные диски со светодиодами, генерирующими яркие вспышки с частотой 1 Гц. Стойкая потеря ответа при ЗВП свидетельствует о повреждении проводящих путей и точно прогнозирует нарушение зрения после операции [19, 20]. В этом случае хирургические манипуляции в данной области следует приостановить. Временное снижение амплитуды ЗВП на 50 % и более с последующим полным восстановлением обычно не приводит к развитию послеоперационных зрительных нарушений, а сохранность амплитуды кортикального компонента ответа ЗВП в течение всей операции служит предиктором сохранности зрения [16, 18, 20].

Снижение амплитуды ЗВП отражает грубое снижение остроты зрения или его выпадение по типу гемианопсии. Нарушения по типу квадрантопии можно не обнаружить при мониторинге ЗВП. Изменения ЗВП могут происходить как за счет прямого повреждения зрительных путей, так и вследствие нарушения их кровоснабжения [20].

Хирургия с мониторингом ЗВП позволяет не только предотвратить ухудшение, но и улучшить зрительную функцию, даже при злокачественных опухолях затылочной доли. Регистрация ЗВП дает возможность определить место наиболее безопасной кортикотомии и прогнозировать динамику восстановления зрения после операции [5].

Для запуска потенциала действия вдоль зрительного тракта вместо стимулирующих вспышек света можно применять эпидуральные игольчатые электроды, устанавливаемые вдоль зрительных нервов. Получаемые при этом ответы с коры более стабильные, чем в случае очков со светодиодами. Однако этот метод может быть использован лишь при хирургии основания черепа, так как требует особого доступа к каналу зрительного нерва. Такая краниотомия не распространяется на затылочную кору, поэтому вместо корковых электродов в таких случаях применяют скальповые. Недостаток метода — необходимость резекции крыши зрительного канала и наклоненного отростка для доступа к зрительному нерву, что удлиняет операцию и делает ее более травматичной [21].

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОМОНИТОРИНГА НА ИСХОДЫ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ

Длительно существующие патологические образования ФЗЗ вызывают смещение этих зон. Данный эффект пластичности мозга наиболее изучен для артериовенозных мальформаций и доброкачественных глиом [22, 23]. Прямая электростимуляция коры позволяет обнаружить этот сдвиг и повысить радикальность операции. При глиомах низкой степени злокачественности смещение мозговых центров в сторону от опухоли увеличивает полноту ее резекции, сопоставимую с но-

вообразованиями функционально незначимых зон (91 и 93 % соответственно). При расположении функциональной области внутри новообразования применение ИОНМ повышает радикальность удаления глиомы с 32 до 59 % [1].

Применение корковой стимуляции при резекции опухолей прецентральных извилин позволяет увеличить радикальность операции и снизить количество стойких неврологических нарушений [24]. При резекции глиом ФЗЗ высокой степени злокачественности под контролем ИОНМ их тотальное удаление возможно в 74 % случаев. Ухудшение состояния после операции происходит в 10 %, но глубокая инвалидизация — лишь в 3 %. Динамика состояния после операции зависит от наличия неврологических нарушений до нее: если они были, то ухудшение состояния возникает в 68 %, если их не было — в 8 % [25, 26]. Применение нейростимуляции при удалении опухолей значимых зон субкортикальной локализации приводит к неврологическим расстройствам в 7 % случаев, базальных ядер — в 18 %. Но у большинства пациентов новые симптомы регрессируют в течение 3 мес. Совместное применение ИОНМ и интраоперационной флуоресценции (с 5-аминолевулиновой кислотой) позволяет достичь радикального удаления поверхностно расположенных глиом в 93 %, а новообразований глубоких отделов — в 59 % случаев [27].

При резекции глиом низкой степени злокачественности нейростимуляция повышает количество тотальных резекций с 5 до 25 %, а субтотальных — с 37 до 51 %. Количество стойких неврологических нарушений снижается с 17 до 6 %. Применение нейрофизиологического мониторинга расширяет показания к удалению глиом ФЗЗ мозга, включая опухоли островковой доли, дополнительной двигательной зоны, премоторной коры и речевых центров [28].

По данным D.G. Southwell и соавт. (2018), любую глиому больших полушарий можно считать операбельной при технической возможности проведения корковой и подкорковой стимуляции. Удалив 58 новообразований, ранее считавшихся неоперабельными, авторы не выявили нарастания неврологических нарушений ни в одном наблюдении, однако тотальное удаление удалось провести лишь в 29 % случаев, при этом лишь 1 опухоль располагалась в подкорковых ядрах. Таким образом, вопрос о хирургии глиом глубоких структур мозга, даже с применением ИОНМ, остается дискуссионным [2].

Наиболее крупный метаанализ эффективности интраоперационного ИОНМ опубликован P. C. de Witt Hamer и соавт. (2012). В него вошли 90 публикаций с описанием 8091 больного. Согласно его результатам при применении ИОНМ чаще возникают временные неврологические нарушения, что обусловлено более частым его использованием при глиомах ФЗЗ. Но стойкие неврологические дисфункции после электростимуляции

развиваются в 2 раза реже — в 3,4 %, тогда как без нее — в 8,2 % наблюдений. Метод нейрофизиологии позволяет повысить радикальность резекции глиом с 58 до 75 %. Следует рассматривать ИОНМ как стандарт в хирургии глиом Ф33. Его использование нецелесообразно лишь в том случае, если предполагаемая продолжительность жизни пациента менее 3 мес, поскольку у такого больного просто не успеют регрессировать временные неврологические нарушения после операции [29].

ОГРАНИЧЕНИЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Прямая электростимуляция коры позволяет обнаружить функциональные зоны не во всем мозге, а лишь в той его части, над которой проведена трепанация черепа, что затрудняет восприятие пространственных взаимоотношений нейрохирургом [3].

Изолированное использование субкортикального картирования не дает возможности обнаружить место повреждения кортико-спинального тракта проксимальнее области стимуляции. В этом случае мониторинг транскраниальных или кортикальных МВП и ССВП дает возможность непрерывно оценивать целостность проводящих путей во время резекции новообразований [3].

Инфильтрация подкорковых трактов опухолью, глиоз, рубцовая ткань от предыдущей операции или изменения после проведенной лучевой и химиотерапии меняют импеданс головного мозга и нарушают проведение по нему электрического тока. При глиомах островковой доли влияние на электрическую проводимость оказывает вазоспазм. Указанные изменения влияют на глубину проникновения электрического тока и могут оказать влияние на результаты картирования [30]. Предварительное применение трактографии в сложных случаях позволяет увеличить надежность локализации проводящих путей [31].

Информативность нейрофизиологического мониторинга может быть снижена из-за регистрации МВП от недостаточного количества мышц. Например, одна из распространенных ошибок — отсутствие регистрирующих электродов на проксимальных мышцах конечностей. Не всегда очевидно, какие мышцы следует исследовать при расположении опухоли в участках с малой плотностью проводящих путей, таких как область выше лучистого венца. У этих пациентов

высока вероятность появления фокальных неврологических нарушений после операции. И напротив, при глиомах, расположенных ниже лучистого венца или в области островковой доли с высокой плотностью проводящих путей, мониторинг всего лишь отдельных мышц верхней конечности может быть репрезентативным для исследования всей половины тела [32].

При выполнении корковой и подкорковой стимуляции обычно определяют безопасное место резекции. Но послеоперационные неврологические нарушения могут возникать также вследствие ретракционной травмы или повреждения перфорантных артерий, что не может быть учтено при картировании [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время микрохирургического удаления внутримозговых опухолей супратенториальной локализации для оценки соматосенсорной проводимости применяют соматосенсорные вызванные потенциалы. Зрительные вызванные потенциалы регистрируют для мониторинга функционального состояния зрительных центров и проводящих путей при опухолях затылочной и задних отделов височной долей.

Для локализации прецентральной и постцентральной извилин применяют оценку реверсии фазы соматосенсорных вызванных потенциалов. Метод обладает высокой точностью, но его чувствительность снижается при расположении опухоли в области роландовой борозды.

Применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга повышает радикальность операции и снижает количество стойких неврологических нарушений. Однако рубцовые изменения при повторных хирургических вмешательствах и ангиоспазм снижают точность метода за счет повышения импеданса ткани мозга. Для точного прогнозирования функциональных исходов число мышц, в которых регистрируют моторный вызванный потенциал, должно соответствовать плотности проводящих путей в зоне хирургических манипуляций: чем ниже плотность подкорковых трактов, тем больше мышц следует мониторировать.

Несмотря на указанные недостатки, интраоперационный нейрофизиологический мониторинг *de facto* служит «золотым стандартом» в обнаружении функционально значимых центров головного мозга и подкорковых проводящих путей. Его комбинация с функциональной нейронавигацией облегчает пространственную ориентацию хирурга.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Chang E.F., Clark A., Smith J.S. et al. Functional mapping-guided resection of low-grade gliomas in eloquent areas of the brain: improvement of long-term survival. *J Neurosurg* 2011;114(3): 566–73. DOI: 10.3171/2010.6.JNS091246
- 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
- Duffau H. Lessons from brain mapping in surgery for low-grade glioma: insights into associations between tumour and brain plasticity. *Lancet Neurol* 2005;4(8):476–86. DOI: 10.1016/S1474-4422(05)70140-X
- Duffau H. Long-term outcomes after supratotal resection of diffuse low-grade gliomas: a consecutive series with 11-year follow-up. *Acta Neurochir (Wien)* 2016;158(1):51–8. DOI: 10.1007/s00701-015-2621-3
- Маряшев С.А., Огурцова А.А., Домбаанай Б.С. и др. Интраоперационная регистрация корковых зрительных вызванных потенциалов при удалении глиомы затылочной доли. Клиническое наблюдение и обзор литературы. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2020;84(6):93–100. DOI: 10.17116/neiro20208406193
Maryashev S.A., Ogurtsova A.A., Dombaanay B.S. et al. Occipital gliomas. Case report and literature review. *Zhurnal voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2020;84(6):93–100. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro20208406193
- Cruccu G., Aminoff M.J., Curio G. et al. Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials. *Clin Neurophysiol* 2008;119(8):1705–19. DOI: 10.1016/j.clinph.2008.03.016
- MacDonald D.B., Dong C., Quatralo R. et al. Recommendations of the International Society of Intraoperative Neurophysiology for intraoperative somatosensory evoked potentials. *Clin Neurophysiol* 2019;130(1):161–79. DOI: 10.1016/j.clinph.2018.10.008
- Goldring S. A method for surgical management of focal epilepsy, especially as it relates to children. *J Neurosurg* 1978;49(3):344–56. DOI: 10.3171/jns.1978.49.3.0344
- Gregorie E.M., Goldring S. Localization of function in the excision of lesions from the sensorimotor region. *J Neurosurg* 1984;61(6):1047–54. DOI: 10.3171/jns.1984.61.6.1047
- Sheth S.A., Eckhardt C.A., Walcott B.P. et al. Factors affecting successful localization of the central sulcus using the somatosensory evoked potential phase reversal technique. *Neurosurgery* 2013;72(5):828–34. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3182897447
- Kombos T., Suess O., Funk T. et al. Intra-operative 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
- Jahangiri F.R., Sherman J.H., Sheehan J. et al. Limiting the current density during localization of the primary motor cortex by using a tangential-radial cortical somatosensory evoked potentials model, direct electrical cortical stimulation, and electrocorticography. *Neurosurgery* 2011;69(4):893–8. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3182230ac3
- Ostry S., Netuka D., Benes V. Rolandic area meningioma resection controlled and guided by intraoperative cortical mapping. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(5):843–53. DOI: 10.1007/s00701-012-1279-3
- Lascano A.M., Grouiller F., Genetti M. et al. Surgically relevant localization of the central sulcus with high-density somatosensory-evoked potentials compared with functional magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2014;74(5):517–26. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000298
- Bartos R., Jech R., Vymazal J. et al. Validity of primary motor area localization with fMRI versus electric cortical stimulation: a comparative study. *Acta Neurochir (Wien)* 2009;151(9):1071–80. DOI: 10.1007/s00701-009-0368-4
- Ota T., Kawai K., Kamada K. et al. Intraoperative monitoring of cortically recorded visual response for posterior visual pathway. *J Neurosurg* 2010;112(2):285–94. DOI: 10.3171/2009.6.JNS081272
- Duffau H., Velut S., Mitchell M.C. et al. Intra-operative mapping of the subcortical visual pathways using direct electrical stimulations. *Acta Neurochir (Wien)* 2004;146(3):265–9; discussion 269–70. DOI: 10.1007/s00701-003-0199-7
- Sasaki T., Itakura T., Suzuki K. et al. Intraoperative monitoring of visual evoked potential: introduction of a clinically useful method. *J Neurosurg* 2010;112(2):273–84. DOI: 10.3171/2008.9.JNS08451
- Kamada K., Todo T., Morita A. et al. Functional monitoring for visual pathway using real-time visual evoked potentials and optic-radiation tractography. *Neurosurgery* 2005;57(Suppl 1): 121–7. DOI: 10.1227/01.neu.0000163526.60240.b6
- Kodama K., Goto T., Sato A. et al. Standard and limitation of intraoperative monitoring of the visual evoked potential. *Acta Neurochir (Wien)* 2010;152(4):643–8. DOI: 10.1007/s00701-010-0600-2
- Benedicic M., Bosnjak R. Intraoperative monitoring of the visual function using cortical potentials after electrical epidural stimulation of the optic nerve. *Acta Neurochir (Wien)* 2011;153(10):1919–27. DOI: 10.1007/s00701-011-1098-y
- Picart T., Herbet G., Moritz-Gasser S., Duffau H. Iterative surgical resections of diffuse glioma with awake mapping: how to deal with cortical plasticity and connectomal constraints? *Neurosurgery* 2019;85(1):105–16. DOI: 10.1093/neuros/nyy218
- Deng X., Zhang Y., Xu L. et al. Comparison of language cortex reorganization patterns between cerebral arteriovenous malformations and gliomas: a functional MRI study. *J Neurosurg* 2015;122(5):996–1003. DOI: 10.3171/2014.12.JNS14629
- Улитин А.Ю., Александров М.В., Малышев С.М. и др. Эффективность интраоперационного моторного картирования при резекции опухолей центральных извилин. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова 2017;9(1):57–62. Ulitin A.Yu., Aleksandrov M.V., Malyshev S.M. et al. Effectiveness of intraoperative motor mapping during resection of rolandic brain tumors. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal im. prof. A.L. Polenova = The Russian Neurosurgical Journal named after prof. A.L. Polenov* 2017;9(1):57–62. (In Russ.).
- Puppa A.D., de Pellegrin S., d'Avella E. et al. 5-aminolevulinic acid (5-ALA) fluorescence guided surgery of high-grade gliomas in eloquent areas assisted by functional mapping. Our experience and review of the literature. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155(6):965–72. DOI: 10.1007/s00701-013-1660-x
- Schuch P., Beck J., Abu-Isa J. et al. Gross total resection rates in contemporary glioblastoma surgery: results of an institutional protocol combining 5-aminolevulinic acid intraoperative fluorescence imaging and brain mapping. *Neurosurgery* 2012;71(5):927–35; discussion 935–6. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31826d1e6b
- Pastor J., Vega-Zelaya L., Pulido P. et al. Role of intraoperative neurophysiological monitoring during fluorescence-guided resection surgery. *Acta Neurochir (Wien)* 2013;155(12):2201–13. DOI: 10.1007/s00701-013-1864-0
- 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
- de Witt Hamer P.C., Robles S.G., Zwinderman A.H. et al. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a meta-analysis. *J Clin Oncol* 2012;30(20):2559–65. DOI: 10.1200/JCO.2011.38.4818

30. 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
31. Zhu F.P., Wu J.S., Song Y.Y. et al. Clinical application of motor pathway mapping using diffusion tensor imaging tractography and intraoperative direct subcortical stimulation in cerebral glioma surgery: a prospective cohort study. *Neurosurgery* 2012;71(6): 1170–84. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318271bc61
32. 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
33. 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

Вклад авторов

А.Ю. Дмитриев: разработка дизайна исследования, обзор публикаций, написание статьи;

М.В. Синкин: разработка дизайна исследования, редактирование статьи;

В.Г. Дашьян: редактирование статьи.

Authors' contributions

A.Yu. Dmitriev: research design of the study, review of publications, article writing;

M.V. Sinkin: research design of the study, article editing;

V.G. Dashyan: article editing.

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. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

ОРГАНИЗАЦИЯ И СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.М. Исмаилов, А.А. Зуев

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 105203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70

Контакты: Алы Мехтиеви́ч Исмаилов ismailov_am@mail.ru

Введение. История изучения речевой функции головного мозга простирается с середины XIX в. Первые исследования обнаружили корковые представительства речи в головном мозге, были предложены различные теории устройства речевой функции. Технологический прорыв XX в. дал возможность изучать не только корковые отделы речевой функции, но и сложные связи белого вещества, немаловажные для практической работы нейрохирургов. По мере углубленного изучения речи были пересмотрены старые теории, выдвинуты новые. Современные методы исследования раскрыли сложность организации речи, многофункциональность речевых трактов.

Цель исследования – анализ и систематизация исторических и современных научных данных об организации речевой функции головного мозга, а также способов предоперационной оценки и интраоперационных методов идентификации речевых зон коры больших полушарий.

Материалы и методы. В результате поиска данных в интернет-ресурсе PubMed для анализа отобрано 77 статей, опубликованных между 1954 и 2020 гг.

Результаты. Исследования особенностей работы речевой функции во множестве представлены в современной научной литературе, и число публикаций растет с каждым годом. Одни исследователи прицельно изучают работы конкретного аспекта речи: корковое представительство, конкретный речевой тракт. Другие – имеют дело с общими последствиями нарушения речи после удаления опухолей, инсультов, травм. Авторской группой проведены структурирование и систематизация многочисленных данных из разнородных источников информации.

Заключение. Речевая функция головного мозга – один из наиболее сложно организованных аспектов высшей нервной деятельности центральной нервной системы, изучение которого активно продолжается во всем мире. Внедрение таких революционных методов исследования, как интраоперационное картирование коры головного мозга, магнитно-резонансная трактография, привнесло обилие новой информации касательно морфофункциональных особенностей речевой функции. Необходимы дальнейшее изучение языковой функции головного мозга и систематизация полученных данных, более глубокое понимание тонких деталей работы речевого аппарата. Продвижение в этом направлении предоставит нейрохирургам возможность избежать нежелательного неврологического дефицита в области коммуникативной способности – одной из самых важных, улучшая тем самым качество жизни пациентов.

Ключевые слова: речевая функция головного мозга, афазия, вентральный и дорзальный потоки, дугообразный пучок, верхний продольный пучок, нижний лобно-затылочный пучок, нижний продольный пучок, лобный косой пучок

Для цитирования: Исмаилов А.М., Зуев А.А. Организация и современное представление о речевой функции головного мозга: обзор литературы. Нейрохирургия 2022;24(3):80–9. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-80-89

Organization and current understanding of speech function of the brain: literature review

A.M. Ismailov, A.A. Zuev

N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Ministry of Health of Russia; 70 Nizhnyaya Pervomayskaya St., Moscow 105203, Russia

Contacts: Aly Mekhtievich Ismailov ismailov_am@mail.ru

Introduction. History of study of speech function of the brain has started in the middle of the 19th century. First studies discovered cortical representations of speech in the brain, proposed different theories of speech function structure. Technological breakthroughs of the 20th century allowed to study not only cortical representations of speech function but also complex connections of the white matter important for practical work of neurosurgeons. Deeper studies of speech led to revisions of the old theories, proposals of new theories. Current study methods showed complexity of speech organization, multifunctionality of speech tracts.

Aim. To analyze and systemize historical and current scientific data on organization of speech function of the brain, as well as methods of preoperative evaluation and intraoperative techniques of identification of speech zones in the cerebral cortex.

Materials and methods. As a results of data search in the PubMed database, 77 articles published between 1954 and 2020 were selected.

Results. Studies of characteristics of speech function are widely represented in current scientific literature, and their number grows every year. Some researchers study individual speech aspects: cortical representation, individual speech tracts. Others deal with general consequences of speech impediments after tumor resection, strokes, traumas. The authors cross-linked and systemized numerous data from different sources of information.

Conclusion. Speech function of the brain is one of the most complexly organized aspects of the higher nervous function, and it is being actively researched worldwide. Implementation of such revolutionary examination techniques as intraoperative mapping of the cerebral cortex, magnetic resonance tractography provided a plethora of new information on morphofunctional characteristics of speech function. Further studies of speech function of the brain and systematization of the obtained data are necessary for deeper understanding of the details of speech organs' functionality. Advances in this direction will help surgeons avoid unwanted neurological deficit in communication ability, one of the most important abilities, and improve patients' quality of life.

Keywords: speech function of the brain, aphasia, ventral and dorsal pathways, arcuate fasciculus, superior longitudinal fasciculus, inferior fronto-occipital fasciculus, inferior longitudinal fasciculus, frontal aslant tract

For citation: Ismailov A.M., Zuev A.A. Organization and current understanding of speech function of the brains: literature review. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):80–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-80-89

ВВЕДЕНИЕ

Исторические аспекты вопроса

Первые представления об организации речевой функции головного мозга возникли в эру локализации. Пионерами в вопросах локализации речевой функции головного мозга считаются французский антрополог Р. Брока и немецкий психоневропатолог С. Вернике, которые во второй половине XIX в. (Р. Broca, 1865; С. Wernicke, 1874) обнаружили корковые центры речевого праксиса и гнозиса. Впоследствии Р. Брока изучал данный вопрос более фундаментально и выделил нижнюю лобную извилину как участок коры головного мозга, ответственный за производство речи, названный в его честь зоной Брока. Вскоре после открытия зоны Брока С. Вернике описал когорту пациентов с повреждениями задней части верхней височной извилины, имевшими неврологические последствия в виде нарушений понимания речи, парафазий, но с сохраненной спонтанной речью. Он предположил, что данная область имеет связи с описанным ранее Р. Брока участком коры головного мозга в нижней лобной извилине. С. Вернике выдвинул гипотезу, что повреждение ассоциативных путей, соединяющих эти 2 зоны, приведет к возникновению «проводниковой афазии». Позже N. Geschwind подтвердил это предположение, описав серию пациентов с повреждением дугообразного пучка (arcuate fasciculus, AF), имевших нарушение повторения, но сохраненную способность к пониманию и производству речи [1]. Так родилось

классическое представление о речевой функции головного мозга и получило широкое распространение ввиду своей наглядности и незамысловатости. Со временем устоявшаяся модель устройства речи Wernicke–Geschwind подверглась критике, в первую очередь, в силу анатомической ограниченности языковых зон головного мозга и предписанных им функций — многие исследования показывают, что классические афатические расстройства могут возникать при поражении как других областей коры, так и подкорковых структур головного мозга [2–4].

АКТУАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Современная парадигма речевой организации представляет модель из 2 информационных потоков, каждый из которых вовлечен в определенный аспект речевого производства высшей нервной деятельности [5, 6]. Выделяют вентральный и дорзальный потоки — это группа волокон белого вещества головного мозга, соединяющих между собой определенные корковые регионы, которые имеют то или иное влияние на речевую функцию. Вентральный поток локализуется преимущественно в височном регионе и играет ключевую роль в речевом восприятии и семантической обработке. Классическим тестом на сохранность данного аспекта речевой функции служит прослушивание смысловой речи. Дорзальный поток транслирует акустическую речевую информацию в корковые регионы,

отвечающие за моторное воспроизводство, артикуляцию, таким образом выполняя сенсомоторную речевую интеграцию. Тест на повторение речи служит для выявления поражений в дорзальном пучке [7]. Несмотря на множество исследований в области изучения речевой функции, остается открытым вопрос о латерализованности тех или иных аспектов речи; так, модель Hickok–Roeppel предполагает латерализованность дорзального потока в доминантном по речи полушарии и двустороннее представительство вентрального потока [6–8]. Работы с применением функциональной нейровизуализации подтвердили активацию задних отделов верхней височной извилины с обеих сторон при прослушивании речи [8]. Ряд исследований показал исключительную роль недоминантного полушария в восприятии эмоционального тона речи [9–12].

Вышеописанные особенности истории изучения речевой функции головного мозга иллюстрируют сложность морфофункциональной организации данного аспекта высшей нервной деятельности. В современной литературе существует дефицит научных публикаций, объединяющих особенности работы различных морфологических элементов речевого аппарата головного мозга. Большинство исследований использует селективный подход, изучая специфику работы конкретных трактов.

Цель исследования — получение полной, насколько это возможно на сегодняшний день, и ясной картины современного представления организации речевой функции головного мозга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск научных публикаций проведен в базе PubMed. Проанализировано 77 статей, опубликованных между 1954 и 2020 гг. Основные критерии отбора статей для обзора: число пациентов в исследовании, цитируемость журнала. Ключевые поисковые слова: aphasia, human speech processing, functional anatomy of language, language area, glioma in eloquent areas, language functional magnetic resonance imaging, language representation, dorsal and ventral language streams, inferior fronto-occipital fasciculus, arcuate fasciculus, uncinate fasciculus, superior longitudinal fasciculus, middle longitudinal fasciculus, frontal aslant tract, language electrical mapping, DTI language, MRI of eloquent regions.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ

1. Магнитно-резонансная трактография (диффузионно-тензорная трактография). Следующим шагом стало изучение структуры ассоциативных трактов белого вещества, играющего важную роль в речевой функции. Важный вклад в изучение данного вопроса внес швейцарский анатом J. Klingler, который в 1935 г. открыл способ холодной фиксации препаратов головного мозга в формалине в течение 4–8 нед. Это позволило от-

делять волокна друг от друга и от серого вещества, что не представляется возможным на нативном препарате [13, 14].

Появление магнитно-резонансной трактографии (МР-трактография) и диффузионно-тензорной визуализации (diffusion tensor imaging, DTI) породило новую волну интереса к изучению белого вещества, поскольку МР-трактография позволяет изучать строение ассоциативных волокон в рамках предоперационной подготовки без непосредственной интервенции в структуры головного мозга (рис. 1). Эффект DTI основан на анизотропии диффузии молекул воды по аксонам нейронов, что позволяет строить тракты белого вещества [15]. Фракционная анизотропия — наиболее востребованный DTI-индекс, отражающий взаимоположение микроструктур между собой, направленность и плотность трактов белого вещества, диаметр и миелинизацию аксонов [16]. Были построены и подробнее изучены АФ, верхний продольный пучок (superior longitudinal fasciculus, SLF), нижний лобно-затылочный пучок (inferior fronto-occipital fasciculus, IFOF), нижний продольный пучок (inferior longitudinal fasciculus, ILF), крючковидный пучок (uncinate fasciculus, UF), открыты лобный косой пучок (frontal aslant tract, FAT) и средний продольный пучок [17]. Однако DTI имеет свои ограничения, поскольку построение тракта, компримируемого опухолью или плохо функционирующего, вызывает определенные трудности [18]. Исследования,

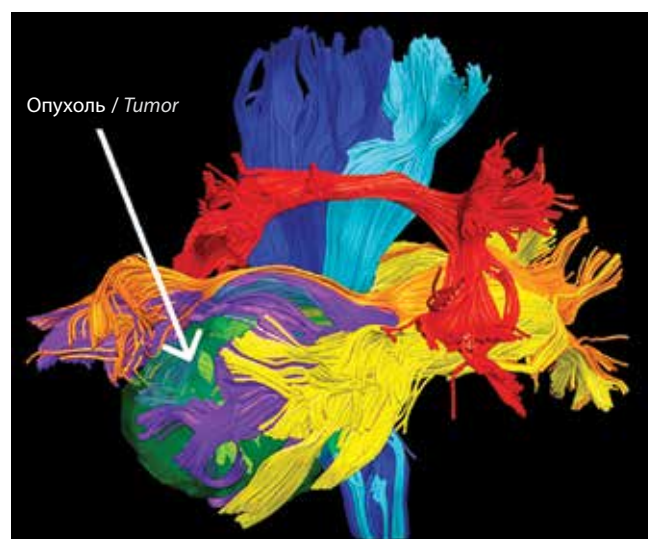


Рис. 1. Трехмерная пространственная реконструкция взаиморасположения опухоли, компримирующей проводящие пути головного мозга (стрелка), и проводящих путей белого вещества головного мозга; пирамидный тракт (синим и голубым); дугообразный пучок (красным); нижний продольный пучок (желтым); нижний лобно-затылочный пучок (оранжевым), U-волокна — пути, соединяющие корковые нейроны соседних извилин (фиолетовым)

Fig. 1. 3D reconstruction of mutual arrangement of the tumor compromising conduction tracts of the brain (arrow) and conduction tracts of the white matter; pyramidal tract (blue and light blue); arcuate fasciculus (red); inferior longitudinal fasciculus (yellow); inferior fronto-occipital fasciculus (orange), U-fibers — pathways connecting cortical neurons of the neighboring gyri (violet)

сравнивающие данные предоперационной подготовки с DTI-реконструкцией трактов и прямой интраоперационной электростимуляцией, показывают вариабельные результаты; в ряде случаев совпадение стимуляции с DTI-данными наблюдалось в 80 % случаев [19]. Другие данные указывают на специфическую высокую чувствительность к определенным трактам: совпадение с SLF отмечено в 98 %, с IFOF — в 89 % случаев [20]. Кроме того, использование DTI-трактографии в нейронавигации может иметь свои погрешности, в том числе из-за смещения структур головного мозга во время операции [21].

2. Интраоперационное картирование. Внедрение интраоперационного картирования канадским нейрохирургом W. Penfield в 1937 г. открыло новую эпоху в хирургии эпилепсии и опухолей, локализованных в функционально значимых зонах (ФЗЗ) коры головного мозга. Прямая электрическая стимуляция коры служит уникальным способом изучения особенностей коркового представительства речи в каждом конкретном случае [22, 23]. Электрическое картирование обычно проводилось параллельно с предъявлением пациенту задач на счет, письмо, называние предметов, чтение. При положительном ответе зона мозга отмечалась стерильным пронумерованным маркером (рис. 2). Разработанная W. Penfield в первой половине XX в. техника краниотомии с пробуждением в значительной степени сохранила свой изначальный вид с минимальными дополнениями спустя более чем

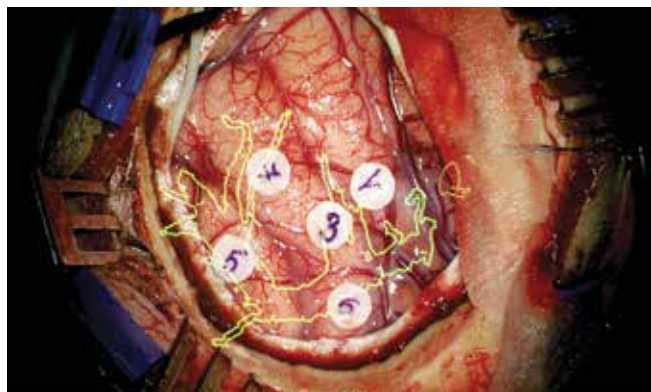


Рис. 2. Операция с пробуждением и интраоперационным картированием речевых зон лобной доли головного мозга в режиме дополненной реальности (интеграция данных предоперационной магнитно-резонансной трактографии с нейронавигацией и микроскопом). Положительные участки тестирования (ошибки, остановка речи, парафазии и т. д.) при электрической стимуляции коры головного мозга обозначены пронумерованными бумажками. Проекция дугообразного пучка на кору головного мозга (режим дополненной реальности) выделена желтым контуром

Fig. 2. Operation with awakening and intraoperative mapping of speech zones of the frontal lobe in the augmented reality mode (integration of preoperative magnetic resonance tractography with neuronavigation and microscope). Positive testing areas (errors, speech arrest, paraphasia, etc.) during electric stimulation of the cerebral cortex are marked with enumerated papers. Projection of the arcuate fasciculus on the cerebral cortex (augmented reality mode) is shown in yellow contour

70 лет. W. Penfield описал следующие виды речевого нарушения, обнаруженные им при стимуляции перисильвиевого региона в левом полушарии: тотальная остановка речи, повторения, спутанность и т. д. [23]. Стимуляция покрышечной области, прецентральной борозды, височно-теменной области в левом полушарии вызывали полную остановку речи; для правого полушария такие регионы были обнаружены только в пределах покрышечной части головного мозга. Однако значительная часть речевых ошибок разного порядка возникала при стимуляции задней части нижней лобной извилины, задней части височной и нижней теменной областей [24–26].

Интраоперационное картирование ФЗЗ обрело широкую популярность в нейрохирургии, и множество исследований на базе данной техники отражает крайне сложную организацию языковой функции, в значительной степени отличную от ранее описанных моделей. Лингвистическое представительство может серьезно различаться в каждом конкретном случае, что не представляется возможным предсказать перед операцией. Из-за анатомических различий крайне важными и обязательными процедурами для качественной и безопасной работы в пределах языковых зон служат операции с пробуждением, стимуляция коры и картирование. Медленно растущие опухоли с инфильтрирующими свойствами, такие как глиомы низкой степени злокачественности, могут вызывать реорганизацию коры, перераспределение ФЗЗ, которые могут располагаться в пределах опухоли, в окружающей паренхиме или даже в противоположном полушарии [27, 28]. По данным литературы, операции с картированием ФЗЗ уменьшают выраженность послеоперационного неврологического дефицита, позволяя выполнять тотальное удаление опухолей [29].

Стимуляция помогает определить четкие функциональные границы (около 1 см²), за пределами которых обычно ответа на раздражение нет. Предоперационные методы картирования не дают такой точной информации. Например, сравнение данных функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и стимуляции коры (ответы на одни и те же раздражители) показало более размытые и широкие границы в первом случае. Благодаря стимуляции представляется возможным определить участки коры с определяющей ролью, а фМРТ дает информацию о прилежащих зонах, только лишь вовлеченных в функцию, повреждение которых не носит критический характер. Таким образом, риск послеоперационного языкового дефицита определенно коррелирует с повреждением позитивных зон стимуляции, но не обязательно совпадает с зонами, найденными при фМРТ. По данным литературы, резекция, выполненная на расстоянии 1 см от позитивных при стимуляции зон, не вызвала постоянного речевого дефицита в отличие от хирургической техники, не учитывающей эти позитивные зоны [30, 31].

При сравнении результатов фМРТ и прямой электро-стимуляции коры сделаны выводы о предсказательной силе фМРТ: данные совпадали в диапазоне от 29 до 52 % случаев [32–34]. Функциональная нейровизуализация значительно лучше справляется с задачей латерализации языковой функции, чем с определением границ функциональных зон.

Семантические ошибки (замена целевого слова на другое существующее слово, связанное с целевым по смыслу) возникают при стимуляции задних отделов средней височной, надкраевой и нижней лобной извилин. Фонологические парафазии (замена звука в слове), неологизмы (несуществующие, новообразованные слова) и циркумлокуции (описательный поиск слова) могут возникать при раздражении в области верхней височной борозды [35, 36]. Визуальные парафазии (существующее слово, обозначающее предмет, зрительно схожий с предъявляемым изображением) возникают при стимуляции базальных отделов затылочно-височной коры [37]. При картировании верхней височной извилины можно получить полную остановку речи, что определяет ее значительную роль в финальной речевой интеграции до момента генерации моторных импульсов в лобной доле. Однако анартрия (феномен полной остановки речи) может быть достигнута и при раздражении прецентральной извилины, лобной покрывной части, височно-теменного сочленения. W. Penfield даже описал участки коры головного мозга в правой гемисфере, вызывающие анартрию при прямой электростимуляции, однако только в области лобной покрывки. Обнаружено, что роль задней нижней и центральной средней височных извилин заключается в назывании изображений. Чтение может быть прервано в средней височной извилине и нижней теменной доле [38]. Картирование коры билингвальных пациентов свидетельствует о существовании как общих, так и различных представительства коры для 2 языков [39]. Поэтому таким пациентам

требуется картировать все участки коры, отвечающие за экспрессию обоих языков.

АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЧЕВЫХ ТРАКТОВ БЕЛОГО ВЕЩЕСТВА

1. Вентральный поток

Верхний продольный пучок. Тракты белого вещества в структуре дорзального потока — SLF и AF. Верхний продольный пучок включает в себя 3 сегмента:

- дорзальный, соединяющий угловую извилину со средней и верхней лобными извилинами;
- вентральный, начинающийся от надкраевой извилины и заканчивающийся в средней и нижней лобных извилинах;
- задний, соединяющий зоны верхней и нижней теменных долек с задними отделами верхней и средней височных извилин.

В функциональном отношении SLF отвечает за визуально-пространственное внимание (дорзальный сегмент) [40, 41]; артикуляцию, восприятие речи, двигательное планирование (вентральный сегмент) [42, 43]; поиск соответствующей лексической единицы, фонологическое формирование слова (задний сегмент) [44]. Прямая электрическая стимуляция SLF приводит к ошибкам повторения, нарушениям артикуляции [45, 46]. Спектр неврологических нарушений при нарушении целостности волокон SLF широк и включает в себя оптическую атаксию, явления апраксии, аграфию, мнестические нарушения [41, 47–49], аномию, алексию [50, 51], синдром неглекта или левостороннее пространственное игнорирование [52, 53].

Дугообразный пучок. Известно, что AF — самый массивный речевой тракт, соединяющий слуховую область коры с задними отделами нижней и средней лобных извилин. Анатомически AF подразделяется на длинный и задний сегменты (рис. 3). Также его называют фонологическим потоком, AF играет важную

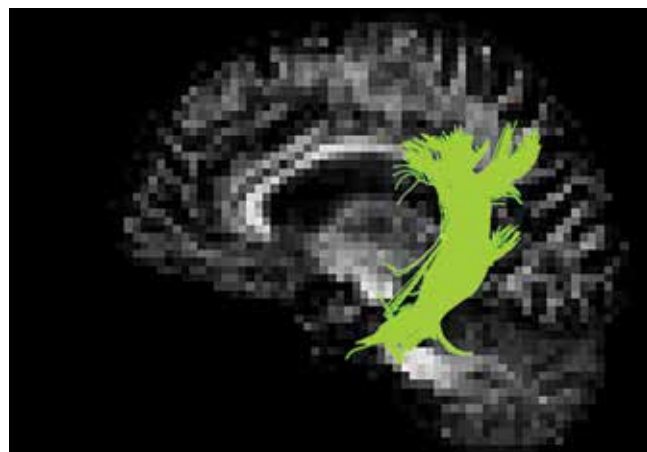
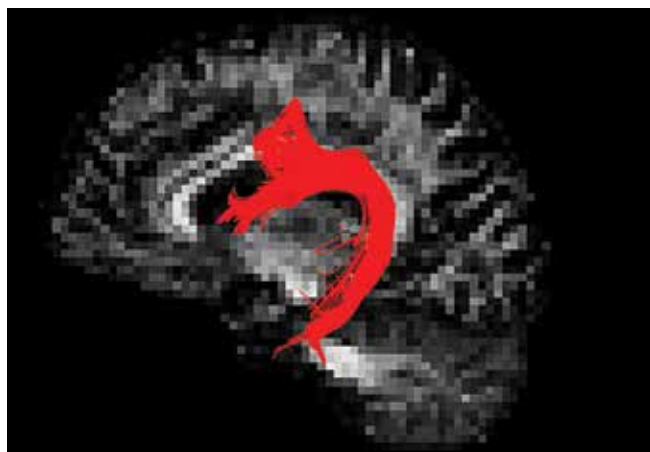


Рис. 3. Магнитно-резонансная трактография. Визуализация дугообразного пучка (длинный сегмент — красным, задний сегмент — зеленым)

Fig. 3. Magnetic resonance tractography. Visualization of the arcuate fasciculus (long segment — red, posterior segment — green)

роль в обработке речевой информации [54]. Ряд авторов относят к функциям АФ вербальную рабочую память [28] и беглость [49]. При прямой интраоперационной электростимуляции АФ возникают фонологические парафазии [54]. Недоминантный АФ играет немаловажную роль в процессах социальной познавательной деятельности: интерпретации мимики, выражений лица, взгляда и других невербальных способах коммуникации [55, 56]. Кроме того, правый АФ участвует в процессах удержания внимания (включая сложные задачи визуального поиска), таких как идентификация и акцентирование внимания, игнорирование помех [57, 58]. Интересно, что аномалии развития правого АФ приводят к явлениям аутизма [59].

2. Дорзальный поток

Синтаксическая и семантическая обработка речи — часть функций вентрального пути, который включает в себя IFOF, ILF и UF.

Нижний лобно-затылочный пучок. Известно, что IFOF — крупный ассоциативный пучок белых волокон, простирающийся от нижней и средней лобных извилин к задней части теменной и затылочной долей головного мозга (рис. 4); IFOF имеет 3 сегмента: вертикальный (IFOF-1), локализованный в лобной доле, и 2 горизонтальных, один из которых также располагается в лобной доле (IFOF-2), а другой — начинается от порога островка, проникает в височную, проходит через теменную и заканчивается непосредственно в затылочной доле (IFOF-3). Научная парадигма первоначальную функциональную роль IFOF отводит семантическому процессингу, однако ряд авторов считают функциональный потенциал данного тракта более комплексным. Так, А.К. Сонег и соавт. (2018) полагают, что IFOF соединяет нейронные сети значимости биологического поведения с центрами его

реализации, играя немаловажную роль в мотивации и цель-ориентированном поведении [60], внимании и даже в аффективном поведении [61]. Другие исследования указывают на высокую частоту мнестических нарушений после удаления глиом островка, по-видимому, связанных с деструкцией волокон IFOF, отмечая недооцененную роль данного тракта в нейробиологии памяти. Изучение прямой интраоперационной электростимуляции IFOF на глубине верхней височной извилины подтверждает высокую частоту семантических парафазий [62].

Нижний продольный пучок. Располагается ILF ниже IFOF и представляет собой тракт белого вещества, соединяющий затылочно-височный регион с передними отделами височной доли головного мозга (рис. 5). Анатомически ILF известен еще с первой половины XIX в. (J.C. Reil, 1812; K.F. Burdach, 1822), однако его функциональная роль остается до сих пор дискуссионной. Однозначна роль ILF в визуальной интерпретации объектов, что подтверждается в исследованиях с интраоперационной стимуляцией тракта, которая вызывала транзиторную зрительную гемиагнозию [63]. Имеются сведения о роли ILF в семантической обработке речевой информации и лексическом поиске. Так, при DTI-исследованиях у пациентов с обеднением волокон левого ILF обнаружены нарушения в лексико-семантическом аспекте речеобразования [64]. Изучение речевой функции у пациентов с рассеянным склерозом (очаг в структуре ILF) подтверждают эти данные [65].

Крючковидный пучок. Роль UF в языковой функции остается дискуссионной. Анатомически UF соединяет полюс височной доли с нижней лобной извилиной (рис. 6), а функционально, как предполагается,

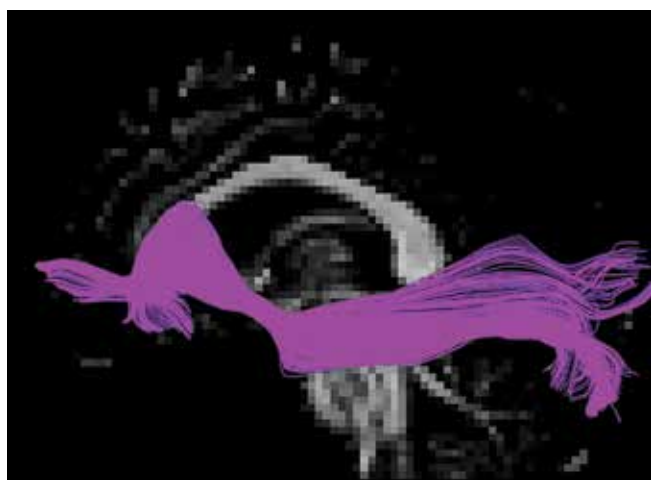


Рис. 4. Магнитно-резонансная трактография. Визуализация нижнего лобно-затылочного пучка

Fig. 4. Magnetic resonance tractography. Visualization of the inferior fronto-occipital fasciculus

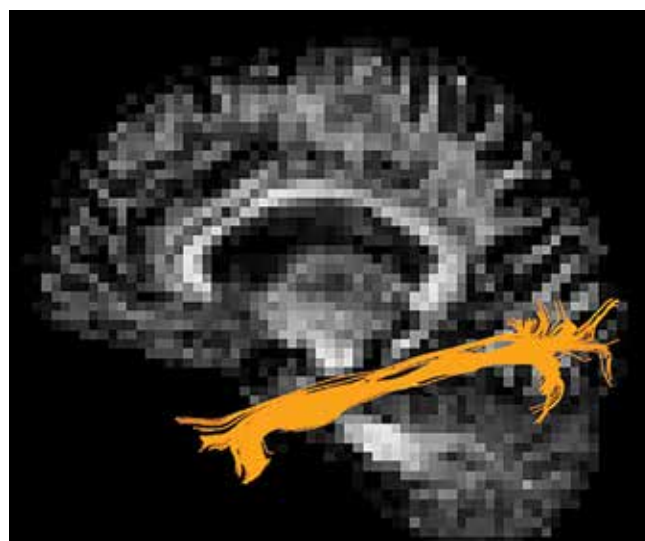


Рис. 5. Магнитно-резонансная трактография. Визуализация нижнего продольного пучка

Fig. 5. Magnetic resonance tractography. Visualization of the inferior longitudinal fasciculus



Рис. 6. Магнитно-резонансная трактография. Визуализация крючко-видного пучка

Fig. 6. Magnetic resonance tractography. Visualization of the uncinate fasciculus

вносит свой вклад в семантическую организацию языка. В одном исследовании при повреждении UF у пациентов возникали трудности называния имен знаменитых людей [66], в другом — подобных нарушений не наблюдалось [67].

3. Лобный косой пучок

Лобный косой пучок (FAT) — тракт, соединяющий нижнюю лобную извилину с регионом дополнительной моторной коры (рис. 7); FAT играет определяющую роль в инициации речи [68–70]. Первое упоминание об этом пучке датируется 2007 г.: A.R. Aron и соавт. описали его, однако не дали названия [71]. В дальнейшем FAT был подробно описан в других исследованиях белого вещества в рамках МР-трактографии. Анатомически FAT соединяет участок нижней лобной извилины с медиальной частью верхней лобной извилины. Интраоперационная стимуляция FAT влечет за собой нарушения различного характера, включая заикание [72] и остановку речи [73]. В работах по сравнению послеоперационных проявлений повреждения FAT и лобно-полосатого пучка выявлены транзиторные нарушения инициации речи для FAT и аналогичные отклонения касательно движений тела для лобно-полосатого пучка [74, 75]. Нарушение целостности FAT приводит к таким последствиям, как снижение либо отсутствие спонтанной речи, семантическая и фонетическая девиация, затруднение поиска глаголов [49, 74, 76]. В исследованиях с поражением дополнительной моторной коры и нижней лобной извилины

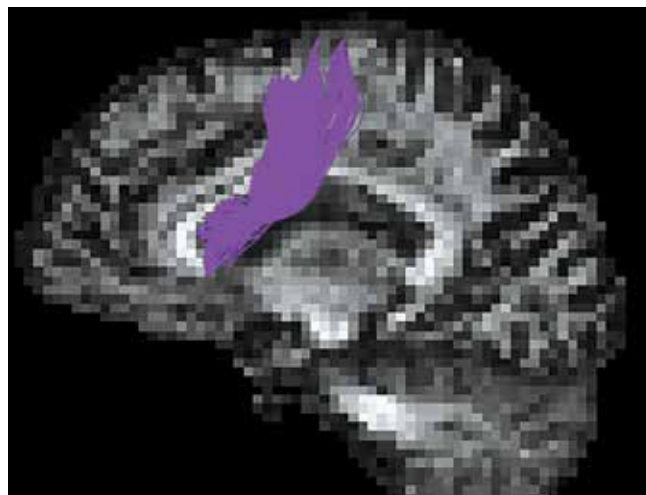


Рис. 7. Магнитно-резонансная трактография. Визуализация лобного косого пучка

Fig. 7. Magnetic resonance tractography. Visualization of the frontal aslant tract

наблюдались речевые нарушения, подобные тем, которые возникают при повреждении FAT, что подтверждает их анатоμο-функциональную связь [77].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Речевая функция головного мозга крайне сложно устроена и требует дальнейшего изучения. Открытая во второй половине XX в. (W. Penfield) революционная идея — картирование ФЗЗ головного мозга электрической стимуляцией корковых структур во время интраоперационного пробуждения — породила новую парадигму в нейрохирургии. Благодаря внедрению МР-трактографии открыты новые ассоциативные тракты, появилась возможность подробно изучать проводящие пути на предоперационном этапе. На сегодняшний день МР-трактография и интраоперационное картирование ФЗЗ — неотъемлемые составляющие хирургии эпилепсии и нейроонкологии. С учетом пластических свойств головного мозга и его способности к реорганизации применение электростимуляции в ряде случаев — крайне необходимая процедура: она повышает безопасность проведения операций, значительно снижает вероятность послеоперационного дефицита, увеличивает степень резекции опухолей. Необходимы дальнейшее изучение языковой функции головного мозга и систематизация полученных данных. Продвижение в этом направлении предоставит нейрохирургам возможность избежать нежелательного неврологического дефицита в области коммуникативной способности — одной из самых важных, улучшая тем самым качество жизни пациентов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Geschwind N. Disconnexion syndromes in animals and man. I. *Brain* 1965;88(2):237–94. DOI: 10.1093/brain/88.2.237
2. Tanabe H., Sawada T., Inoue N. et al. Conduction aphasia and arcuate fasciculus. *Acta Neurol Scand* 1987;76(6):422–7. DOI: 10.1111/j.1600-0404.1987.tb03597.x
3. Mohr J.P., Pessin M.S., Finkelstein S. et al. Broca aphasia: Pathologic and clinical. *Neurology* 1978;28(4):311–24. DOI: 10.1212/wnl.28.4.311
4. Hickok G., Erhard P., Kassubek J. A functional magnetic resonance imaging study of the role of left posterior superior temporal gyrus in speech production: Implications for the explanation of conduction aphasia. *Neurosci Lett* 2000;87(2):156–60. DOI: 10.1016/S0304-3940(00)01143-5
5. Rauschecker J.P., Scott S.K. Maps and streams in the auditory cortex: Nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nat Neurosci* 2009;12:718–24. DOI: 10.1038/nn.2331
6. Hickok G., Poeppel D. Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition* 2004;92(1–2):67–99. DOI: 10.1016/j.cognition.2003.10.011
7. Damasio A.R. Aphasia. *N Engl J Med* 1992;326(8):531–9. DOI: 10.1056/NEJM199202203260806
8. Rauschecker J.P., Scott S.K. Maps and streams in the auditory cortex: Nonhuman primates illuminate human speech processing. *Nat Neurosci* 2009;12(6):718–24. DOI: 10.1038/nn.2331
9. Buchanan T.W., Lutz K., Mirzazade S. et al. Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: An fMRI study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2000;9(3):227–38. DOI: 10.1016/S0926-6410(99)00060-9
10. George M.S., Parekh P.I., Rosinsky N. et al. Understanding emotional prosody activates right hemisphere regions. *Arch Neurol* 1996;53(7):665–70. DOI: 10.1001/archneur.1996.00550070103017
11. Imaizumi S., Mori K., Kiritani S. et al. Vocal identification of speaker and emotion activates different brain regions. *Neuroreport* 1997;8(12):2809–12. DOI: 10.1097/00001756-199708180-00031
12. Pell M.D. Fundamental frequency encoding of linguistic and emotional prosody by right hemisphere-damaged speakers. *Brain Lang* 1999;69(2):161–92. DOI: 10.1006/brln.1999.2065
13. Agrawal A., Kapfhammer J.P., Kress A. et al. Josef Klingler's models of white matter tracts: influences on neuroanatomy, neurosurgery, and neuroimaging. *Neurosurgery* 2011;69(2):238–52; discussion 252–4. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318214ab79
14. Axer H., Klingner C.M., Prescher A. Fiber anatomy of dorsal and ventral language streams. *Brain Lang* 2013;127(2):192–204. DOI: 10.1016/j.bandl.2012.04.015
15. Moseley M.E., Cohen Y., Kucharczyk J. et al. Diffusion-weighted MR imaging of anisotropic water diffusion in cat central nervous system. *Radiology* 1990;176(2):439–45. DOI: 10.1148/radiology.176.2.2367658
16. Kochunov P., Thompson P.M., Lancaster J.L. et al. Relationship between white matter fractional anisotropy and other indices of cerebral health in normal aging: Tract-based spatial statistics study of aging. *Neuroimage* 2007;35(2):478–87. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.12.021
17. de Benedictis A., Duffau H., Paradiso B. et al. Anatomic-functional study of the temporo-parieto-occipital region: Dissection, tractographic and brain mapping evidence from a neurosurgical perspective. *J Anat* 2014;225(2):132–51. DOI: 10.1111/joa.12204
18. Leclercq D., Duffau H., Delmaire C. et al. Comparison of diffusion tensor imaging tractography of language tracts and intraoperative subcortical stimulations. *J Neurosurg* 2010;112(3):503–11. DOI: 10.3171/2009.8.JNS09558
19. Meyer L., Cunitz K., Obleser J., Friederici A.D. Sentence processing and verbal working memory in a white-matter-disconnection patient. *Neuropsychologia* 2014;61:190–6. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.06.014
20. Bello L., Gambini A., Castellano A. et al. Motor and language DTI Fiber Tracking combined with intraoperative subcortical mapping for surgical removal of gliomas. *Neuroimage* 2008;39(1):369–82. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.08.031
21. Nimsky C., Ganslandt O., Hastreiter P. et al. Intraoperative diffusion-tensor MR imaging: Shifting of white matter tracts during neurosurgical procedures – initial experience. *Radiology* 2005;234(1):218–25. DOI: 10.1148/radiol.2341031984
22. Penfield W. Combined regional and general anesthesia for craniotomy and cortical exploration. I. Neurosurgical considerations. *Curr Res Anesth Analg* 1954;33(3):145–55.
23. Penfield W., Roberts L. *Speech and Brain-Mechanisms*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1959. 302 p.
24. Lee Y.S., Lueders H., Dinner D.S. et al. Recording of auditory evoked potentials in man using chronic subdural electrodes. *Brain* 1984;107(Pt 1):115–31. DOI: 10.1093/brain/107.1.115
25. Lesser R.P., Lueders H., Dinner D.S. et al. The location of speech and writing functions in the frontal language area. Results of extraoperative cortical stimulation. *Brain* 1984;107(Pt 1):275–91. DOI: 10.1093/brain/107.1.275
26. Duffau H., Moritz-Gasser S., Mandonnet E. et al. A re-examination of neural basis of language processing: Proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming. *Brain Lang* 2014;131:1–10. DOI: 10.1016/j.bandl.2013.05.011
27. Benzagmout M., Gatignol P., Duffau H. Resection of World Health Organization Grade II gliomas involving Broca's area: Methodological and functional considerations. *Neurosurgery* 2007;61(4):741–52; discussion 752–3. DOI: 10.1227/01.NEU.0000298902.69473.77
28. Krainik A., Duffau H., Capelle L. Role of the healthy hemisphere in recovery after resection of the supplementary motor area. *Neurology* 2004;62(8):1323–32. DOI: 10.1212/01.wnl.0000120547.83482.b1
29. de Witt Hamer P.C., Moritz-Gasser S., Gatignol P., Duffau H. Is the human left middle longitudinal fascicle essential for language? A brain electrostimulation study. *Hum Brain Mapp* 2011;32(6):962–73. DOI: 10.1002/hbm.21082
30. Gil-Robles S., Duffau H. Surgical management of World Health Organization Grade II gliomas in eloquent areas: the necessity of preserving a margin around functional structures. *Neurosurg Focus* 2010;28(2):E8. DOI: 10.3171/2009.12.FOCUS09236
31. Haglund M.M., Berger M.S., Shamseldin M. et al. Cortical localization of temporal lobe language sites in patients with gliomas. *Neurosurgery* 1994;34(4):567–76; discussion 576. DOI: 10.1227/00006123-199404000-00001
32. Roux F.-E., Boulanaour K., Lotterie J.A. et al. Language functional magnetic resonance imaging in preoperative assessment of language areas: Correlation with direct cortical stimulation. *Neurosurgery* 2003;52(6):1335–45; discussion 1345–7. DOI: 10.1227/01.neu.0000064803.05077.40
33. Rutten G.J.M., Ramsey N.F., van Rijen P.C. et al. Development of a functional magnetic resonance imaging protocol for intraoperative localization of critical temporoparietal language areas. *Ann Neurol* 2002;51(3):350–60. DOI: 10.1002/ana.10117
34. Spena G., Nava A., Cassini F. Preoperative and intraoperative brain mapping for the resection of eloquent-area tumors. A prospective analysis of methodology, correlation, and usefulness based on clinical outcomes. *Acta Neurochir (Wien)* 2010;152(11):1835–46. DOI: 10.1007/s00701-010-0764-9
35. Bello L., Gallucci M., Fava M. et al. Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas. *Neurosurgery* 2007;60(1):67–80; discussion 80–2. DOI: 10.1227/01.NEU.0000249206.58601.DE
36. Corina D.P., Loudermilk B.C., Detwiler L. et al. Analysis of naming errors during cortical stimulation mapping: Implications

- for models of language representation. *Brain Lang* 2010;115(2):101–12. DOI: 10.1016/j.bandl.2010.04.001
37. Mandonnet E., Gatignol P., Duffau H. Evidence for an occipito-temporal tract underlying visual recognition in picture naming. *Clin Neurol Neurosurg* 2009;111(7):601–5. DOI: 10.1016/j.clineuro.2009.03.007
 38. Schwartz T.H., Devinsky O., Doyle W., Perrine K. Function-specific high-probability “nodes” identified in posterior language cortex. *Epilepsia* 1999;40(5):575–83. DOI: 10.1111/j.1528-1157.1999.tb05559.x
 39. Lucas 2nd T.H., McKhann 2nd G.M., Ojemann G.A. Functional separation of languages in the bilingual brain: a comparison of electrical stimulation language mapping in 25 bilingual patients and 117 monolingual control patients. *J Neurosurg* 2004;101(3):449–57. DOI: 10.3171/jns.2004.101.3.0449
 40. Shulman G.L., Pope D.L.W., Astafiev S.V. Right hemisphere dominance during spatial selective attention and target detection occurs outside the dorsal frontoparietal network. *J Neurosci* 2010;30(10):3640–51. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4085-09.2010
 41. Karnath H.-O., Perenin M.-T. Cortical control of visually guided reaching: Evidence from patients with optic ataxia. *Cereb Cortex* 2005;15(10):1561–9. DOI: 10.1093/cercor/bhi034
 42. Kellmeyer P., Ziegler W., Peschke C. et al. Fronto-parietal dorsal and ventral pathways in the context of different linguistic manipulations. *Brain Lang* 2013;127(2):241–50. DOI: 10.1016/j.bandl.2013.09.011
 43. Goranskaya D., Kreitewolf J., Mueller J.L. et al. Fronto-parietal contributions to phonological processes in successful artificial grammar learning. *Front Hum Neurosci* 2016;10:551. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00551
 44. Herbert G., Moritz-Gasser S., Boisseau M. et al. Converging evidence for a cortico-subcortical network mediating lexical retrieval. *Brain* 2016;139(11):3007–21. DOI: 10.1093/brain/aww220
 45. van Geemen K., Herbert G., Moritz-Gasser S., Duffau H. Limited plastic potential of the left ventral premotor cortex in speech articulation: Evidence from intraoperative awake mapping in glioma patients. *Hum Brain Mapp* 2014;35(4):1587–96. DOI: 10.1002/hbm.22275
 46. Maldonado I.L., Moritz-Gasser S., Duffau H. Does the left superior longitudinal fascicle subserve language semantics? A brain electrostimulation study. *Brain Struct Funct* 2011;216(3):263–74. DOI: 10.1007/s00429-011-0309-x
 47. Timpert D.C., Weiss P.H., Vössel S. et al. Apraxia and spatial inattention dissociate in left hemisphere stroke. *Cortex* 2015;71:349–58. DOI: 10.1016/j.cortex.2015.07.023
 48. Kinoshita M., Nakajima R., Shinohara H. et al. Chronic spatial working memory deficit associated with the superior longitudinal fasciculus: a study using voxel-based lesion-symptom mapping and intraoperative direct stimulation in right prefrontal glioma surgery. *J Neurosurg* 2016;125(4):1024–32. DOI: 10.3171/2015.10.JNS1591
 49. Li M., Zhang Y., Song L. et al. Structural connectivity subserving verbal fluency revealed by lesion-behavior mapping in stroke patients. *Neuropsychologia* 2017;101:85–96. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.05.008
 50. Sarubbo S., de Benedictis A., Merler S. et al. Towards a functional atlas of human white matter. *Hum Brain Mapp* 2015;36(8):3117–36. DOI: 10.1002/hbm.22832
 51. Zemmoura I., Herbert G., Moritz-Gasser S. et al. New insights into the neural network mediating reading processes provided by cortico-subcortical electrical mapping. *Hum Brain Mapp* 2015;36(6):2215–30. DOI: 10.1002/hbm.22766
 52. Toba M.N., Migliaccio R., Batrancourt B. et al. Common brain networks for distinct deficits in visual neglect. A combined structural and tractography MRI approach. *Neuropsychologia* 2018;115:167–78. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.10.018
 53. Bartolomeo P., Thiebaut de Schotten M., Doricchi F. et al. Left unilateral neglect as a disconnection syndrome. *Cereb Cortex* 2007;17(11):2479–90. DOI: 10.1093/cercor/bhl181
 54. Maldonado I.L., Moritz-Gasser S., de Champfleury N.M. et al. Surgery for gliomas involving the left inferior parietal lobule: New insights into the functional anatomy provided by stimulation mapping in awake patients. *J Neurosurg* 2011;115(4):770–9. DOI: 10.3171/2011.5.JNS112
 55. Herbert G., Lafargue G., Bonnetblanc F. et al. Inferring a dual-stream model of mentalizing from associative white matter fibres disconnection. *Brain* 2014;137(Pt 3):944–59. DOI: 10.1093/brain/awt370
 56. Nakajima R., Yordanova Y.N., Duffau H. et al. Neuropsychological evidence for the crucial role of the right arcuate fasciculus in the face-based mentalizing network: a disconnection analysis. *Neuropsychologia* 2018;115:179–87. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.024
 57. Hattori T., Ito K., Nakazawa C. et al. Structural connectivity in spatial attention network: Reconstruction from left hemispatial neglect. *Brain Imaging Behav* 2018;12(2):309–23. DOI: 10.1007/s11682-017-9698-7
 58. Suchan J., Umarova R., Schnell S. et al. Fiber pathways connecting cortical areas relevant for spatial orienting and exploration. *Hum Brain Mapp* 2014;35(3):1031–43. DOI: 10.1002/hbm.22232
 59. Chen X., Zhao Y., Zhong S. et al. The lateralized arcuate fasciculus in developmental pitch disorders among mandarin amusics: Left for speech and right for music. *Brain Struct Funct* 2018;223(4):2013–24. DOI: 10.1007/s00429-018-1608-2
 60. Conner A.K., Briggs R.G., Sali G. et al. A Connectomic Atlas of the Human Cerebrum-Chapter 13: Tractographic description of the inferior fronto-occipital fasciculus. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2018;15(Suppl 1):S436–43. DOI: 10.1093/ons/opy267
 61. Zhang J., Wei X., Xie S. et al. Multifunctional roles of the ventral stream in language models: Advanced segmental quantification in post-stroke aphasic patients. *Front Neurol* 2018;9:89. DOI: 10.3389/fneur.2018.00089
 62. Martino J., de Lucas E.M. Subcortical anatomy of the lateral association fascicles of the brain: a review. *Clin Anat* 2014;27(4):563–9. DOI: 10.1002/ca.22321
 63. Gil-Robles S., Carvallo A., del Mar Jimenez M. et al. Double dissociation between visual recognition and picture naming: a study of the visual language connectivity using tractography and brain stimulation. *Neurosurgery* 2013;72(4):678–86. DOI: 10.1227/NEU.0b013e318282a361
 64. Mandelli M.L., Caverzasi E., Binney R.J. et al. Frontal white matter tracts sustaining speech production in primary progressive aphasia. *J Neurosci* 2014;34(29):9754–67. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3464-13.2014
 65. Agosta F., Henry R.G., Migliaccio R. et al. Language networks in semantic dementia. *Brain* 2010;133(Pt 1):286–99. DOI: 10.1093/brain/awp233
 66. Papagno C., Miracapillo C., Casarotti A. et al. What is the role of the uncinate fasciculus? Surgical removal and proper name retrieval. *Brain* 2011;134(Pt 2):405–14. DOI: 10.1093/brain/awq283
 67. Duffau H., Gatignol P., Moritz-Gasser S., Mandonnet E. Is the left uncinate fasciculus essential for language? A cerebral stimulation study. *J Neurol* 2009;256(3):382–9. DOI: 10.1007/s00415-009-0053-9
 68. Catani M., Dell’acqua F., Vergani F. et al. Short frontal lobe connections of the human brain. *Cortex* 2012;48(2):273–91. DOI: 10.1016/j.cortex.2011.12.001
 69. Catani M., Mesulam M., Jakobsen E. et al. A novel frontal pathway underlies verbal fluency in primary progressive aphasia. *Brain* 2013;136(Pt 8):2619–28. DOI: 10.1093/brain/awt163
 70. Thiebaut de Schotten M., Dell’acqua F., Valabregue R., Catani M. Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts. *Cortex* 2012;48(1):82–96. DOI: 10.1016/j.cortex.2011.10.001
 71. Aron A.R., Behrens T.E., Smith S. et al. Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance

- imaging (MRI) and functional MRI. *J Neurosci* 2007;27(14):3743–52. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0519-07.2007
72. Kemerdere R., de Champfleury N.M., Deverdun J. et al. Role of the left frontal aslant tract in stuttering: a brain stimulation and tractographic study. *J Neurol* 2016;263(1):157–67. DOI: 10.1007/s00415-015-7949-3
73. Vassal F., Boutet C., Lemaire J.-J., Nuti C. New insights into the functional significance of the frontal aslant tract: An anatomofunctional study using intraoperative electrical stimulations combined with diffusion tensor imaging-based fiber tracking. *Br J Neurosurg* 2014;28(5):685–7. DOI: 10.3109/02688697.2014.889810
74. Kinoshita M., de Champfleury N.M., Deverdun J. et al. Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech: An axonal mapping study. *Brain Struct Funct* 2015;220(6):3399–412. DOI: 10.1007/s00429-014-0863-0
75. Fujii M., Maesawa S., Motomura K. et al. Intraoperative subcortical mapping of a language-associated deep frontal tract connecting the superior frontal gyrus to Broca's area in the dominant hemisphere of patients with glioma. *J Neurosurg* 2015;122(6):1390–6. DOI: 10.3171/2014.10.JNS14945
76. Chernoff B.L., Teghipco A., Garcea F.E. et al. A role for the frontal aslant tract in speech planning: a neurosurgical case study. *J Cogn Neurosci* 2018;30(5):752–69. DOI: 10.1162/jocn_a_01244
77. Zyryanov A., Malyutina S., Dragoy O. Left frontal aslant tract and lexical selection: Evidence from frontal lobe lesions. *Neuropsychologia* 2020;147:107385. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2020.107385

Вклад авторов

A.M. Исмаилов: разработка дизайна исследования, обработка данных, написание статьи;

A.A. Зувев: разработка дизайна исследования, научное редактирование статьи.

Authors' contributions

A.M. Ismailov: research design of the study, обзор литературы, literature review, data analysis, article writing;

A.A. Zuev: research design of the study, scientific editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

A.M. Исмаилов / A.M. Ismailov: <https://orcid.org/0000-0002-4506-0256>

A.A. Зувев / A.A. Zuev: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 06.04.2022. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 06.04.2022. **Accepted for publication:** 25.05.2022.

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ОПУХОЛЕЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ МОТОРНОЙ ОБЛАСТИ

И.М. Алексеев, А.А. Зуев

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; Россия, 105203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70

Контакты: Иван Максимович Алексеев alexeev.im@yandex.ru

Введение. Дополнительная моторная область – участок медиальной части лобной коры головного мозга, расположенный в пределах межполушарной щели кпереди от первичной моторной коры, – традиционно считается вторичной моторной корой и наименее изученным моторным регионом. Ранее ее классифицировали только как высший двигательный центр (положение в иерархии между префронтальной и первичной моторной корой). Однако сегодня достоверно установлены ее мультифункциональный статус и участие во множестве когнитивных процессов. Изучение дополнительной моторной области долгое время ограничивалось лишь фундаментальными нейровизуализационными и электрофизиологическими исследованиями, но практическая сторона вопроса и клиническое значение данного региона часто оставались вне интереса исследователей.

Цель исследования – представить анатомо-функциональные особенности дополнительной моторной области, клиническую симптоматику при ее поражении, проанализировать все имеющиеся сегодня данные и аспекты хирургического лечения опухолей этого региона.

Материалы и методы. Поиск в научных базах данных (PubMed и др.) привел к выбору и анализу 62 литературных источников. В основном обзор посвящен аспектам и факторам риска хирургического лечения патологий, локализованных в данном регионе.

Результаты. Дополнительная моторная область по своим анатомо-функциональным характеристикам гетерогенна, в ней выделяют два отдельных субрегиона. Помимо изначально описанной двигательной функции исследуемой области, ее роль также достоверно установлена в функционировании рабочей памяти, языковых, перцептивных, когнитивных процессах и др. Большое число функций этой области связано с многочисленными нейронными связями. Например, относительно недавно описан лобный крестовый пучок, связывающий медиальную часть верхней лобной извилины с оперкулярной частью нижней лобной извилины: предполагается, что данный тракт, по всей видимости, связан с осуществлением языковой функции в доминантном полушарии и функции рабочей памяти – в недоминантном.

При поражении дополнительной моторной области может возникать различная неврологическая двигательная и речевая симптоматика, в частности, так называемый синдром дополнительной моторной области, который характеризуется развитием у пациентов акинетического мутизма и в большинстве случаев полностью обратим в течение нескольких дней или месяцев. Среди всех патологий в исследуемой зоне наиболее часто встречаются опухоли, особенно глиомы разной степени злокачественности, которые также могут проявляться различными клиническими симптомами в пред- и послеоперационном периодах.

Заключение. Критически важно тщательное предоперационное планирование, информирование пациента о пространственно-временной картине прогнозируемых послеоперационных клинических нарушений и сроках реабилитации. Рекомендуется использовать методы интраоперационной нейронавигации, а также интраоперационный нейрофизиологический мониторинг. Необходимо дальнейшее изучение этого региона и особенностей его хирургии для стандартизации подходов к лечению патологий.

Ключевые слова: дополнительная моторная область, ДМО, опухоли моторной коры, акинетический мутизм, лобный крестовый пучок, медиальная лобная кора

Для цитирования: Алексеев И.М., Зуев А.А. Хирургическое лечение опухолей дополнительной моторной области. Нейрохирургия 2022;24(3):90–9. DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-90-99

Surgical treatment of tumors of the supplementary motor area

I.M. Alekseev, A.A. Zuev

N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center, Ministry of Health of Russia; 70 Nizhnyaya Pervomayskaya St., Moscow 105203, Russia

Contacts: Ivan Maksimovich Alekseev alexeev.im@yandex.ru

Background. The supplementary motor area is a part of the medial frontal cortex, that is located just anterior to the primary motor cortex entirely within the interhemispheric fissure. This area belongs traditionally to the secondary motor cortex and perhaps it is the least studied motor region of the brain. While functions and symptoms of a damage to the primary motor and the premotor cortex areas have been well known and described for a long time, study of the supplementary motor area has been limited to fundamental neuroimaging and electrophysiological researches, and a practical side of the issue and clinical significance of this region remained outside the interest of researchers.

Aim. To present the anatomical and functional features of the supplementary motor area, the clinical symptoms of its lesion, to analyze all the data available today and aspects of surgical treatment of tumors in this region.

Materials and methods. A search in scientific databases (PubMed, etc.) led to the selection and analysis of sixty-two literary sources. The review is mainly devoted to the aspects and risk factors of surgical treatment of pathologies localized in this region.

Results. According to its anatomical and functional characteristics, the supplementary motor area is a heterogeneous region – it has two separate subregions in it. In addition to the motor function of the supplementary motor area, its role has also been reliably established in the implementation of working memory processes, language, perceptual, cognitive and other functions. Such a number of functions performed by the supplementary motor area is associated with numerous neural connections of this area. For example, the frontal aslant tract has been described recently, and it connects medial part of the superior frontal gyrus with the pars opercularis of the inferior frontal gyrus. This tract, apparently, is associated with the implementation of language function in the dominant hemisphere and function of working memory in the non-dominant hemisphere.

When the supplementary motor area is affected, various neurological motor and speech symptoms can occur, in particular, the supplementary motor area syndrome, which is characterized by the development of akinetic mutism in patients and, in most cases, is completely reversible within a few days or months. Among all pathologies in this area, tumors are most common, especially gliomas, which can also manifest themselves with various clinical symptoms both in the preoperative and postoperative periods.

Conclusion. Critically important preoperative planning, informing the patient about the spatio-temporal picture of the predicted postoperative clinical disorders and the timing of rehabilitation are critically important. It is recommended to use methods of intraoperative neuronavigation, as well as intraoperative neurophysiological monitoring. It is necessary to further study the supplementary motor area and the peculiarities of its surgery in order to standardize approaches to the treatment of pathologies.

Keywords: supplementary motor area, SMA, tumors of motor cortex, akinetic mutism, frontal aslant tract, medial frontal cortex

For citation: Alekseev I. M., Zuev A. A. Surgical treatment of tumors of the supplementary motor area. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2022;24(3):90–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2022-24-3-90-99

ВВЕДЕНИЕ

Дополнительная моторная область (ДМО) — один из наименее изученных моторных регионов коры головного мозга. Изначально считалось, что ДМО относится лишь к высшим моторным центрам и участвует в обеспечении сложных двигательных актов, но позднее было установлено, что этот регион играет важную роль в процессах обучения, в осуществлении когнитивных, перцептивных, языковых и других функций [1–3]. Наиболее часто среди всех патологий ДМО встречаются объемные образования, и частота их возникновения в этой области довольно высока, что определяет важность и необходимость изучения особенностей хирургического лечения пациентов с опухолями данной локализации [4, 5]. Сообщаемые в различных источниках риски развития неврологических симптомов после резекции образований ДМО широко варьируются, что указывает на недостаточную изученность данной темы [6–7]. Касательно сроков полного регресса послеоперационного неврологического дефицита, связанного с резекцией ДМО, оценки разных авторов также разнятся.

Цель работы — представить анатомо-функциональные особенности ДМО, клиническую симптоматику при ее поражении, проанализировать все известные на сегодня данные и аспекты хирургического лечения опухолей этого региона.

АНАТОМИЯ

Известно, что ДМО — анатомически и функционально неоднородная область коры головного мозга, входящая в состав верхней части медиальной лобной коры (медиальной части 6-го поля Бродмана) [8–10]. Первое подробное описание данного региона дал W. Penfield (1950) [11].

Расположение ДМО: на медиальной поверхности полушария в задней части верхней лобной извилины, полностью в межполушарной щели между прецентральной бороздой сзади и поясной бороздой снизу, а также между краем межполушарной щели на границе с премоторной корой сверху и условной вертикальной границей с префронтальной корой спереди (находящейся на 5 см кпереди от прецентральной борозды)

[8–9, 12]. Некоторые авторы полагают, что ДМО распространяется за пределы межполушарной щели на конвекситальную поверхность полушарий, доходя до верхней лобной борозды. Однако последние исследования, основанные на цито- и миелоархитектонических данных, показали, что территория собственно ДМО все же находится в пределах межполушарной щели [12, 13].

Таким образом, ДМО имеет следующие границы:

- 1) нижней своей частью посредством поясной борозды граничит с фрагментом поясной извилины (ПИ), расположенной над коленом мозолистого тела;
- 2) сзади граничит с зоной двигательного представительства нижней конечности в первичной моторной коре (ПМК) парацентральной дольки посредством прецентральной борозды;
- 3) передняя граница — вертикальная линия на 5 см кпереди от прецентральной борозды (условная граница между ДМО и префронтальной корой);
- 4) верхняя граница — верхний край межполушарной щели [1, 12].

Вместе с латерально расположенной от нее премоторной корой ДМО образует вторичную моторную кору (6-е цитоархитектоническое поле Бродмана). Существует термин «дополнительный моторный комплекс», которым обозначают область, включающую в себя помимо ДМО также дополнительное глазное поле (8-е цитоархитектоническое поле Бродмана) [1, 8].

Моторная зона в медиальной области лобных долей человека долгое время считалась единым целым, однако обнаружилось, что при стимуляции передних отделов ДМО для вызова движений или их ингибирования необходима более высокая сила тока, чем при стимуляции ее задних отделов [10]. Более поздние цитоархитектонические и функциональные нейровизуализационные исследования более точно определили собственно ДМО (англ. SMA-proper) и расположенную кпереди от нее преддополнительную моторную область (пДМО) (англ. pre-SMA) [13, 14]. Собственно ДМО отражает соматотопическую карту тела: стимуляция задних ее участков вызывает движения нижних конечностей, стимуляция передних — верхних конечностей и орофациальные движения [10]. Эффекты стимуляции пДМО более разнообразны: стимуляция одних участков может вызывать движения (в основном верхними конечностями), а на других даже высокие токи не вызывают никаких движений. Под анатомической границей между 2 субрегионами ДМО обычно понимают условную вертикальную линию, проходящую через переднюю комиссуру и перпендикулярную линию между передней и задней комиссурами [9]. Тем не менее, при определении границы между субрегионами ДМО на основании совокупности их связей с другими структурами выяснилось, что чаще выявляется их перекрытие между собой, чем дискретная сегрегация [15]. Ряд исследований проекций от разных

частей одного и того же субрегиона показал, что внутри субрегиона различия были столь же разительны, как и непосредственно между субрегионами [16].

Существует множество связей ДМО с другими отделами головного мозга: как с иными отделами коры (ПМК, контрлатеральной ДМО, верхней теменной долькой, ПИ, различными частями лобных долей и др.), так и с базальными ганглиями, таламусом, мозжечком, а также, вероятно, и со спинным мозгом напрямую [12, 16, 17]. Также ДМО — важная область координации высших моторных зон коры друг с другом и с иными моторными структурами [17]. Некоторые связи ДМО, например, лобный крестовый пучок (ЛКП), фронто-стриарные и короткие ассоциативные волокна, описаны в литературе относительно недавно на основе исследований с применением методов нейровизуализации, диссекции белого вещества [6, 12].

Фронто-стриарные волокна связывают пДМО с полосатым телом, однако вопрос о точном месте окончания этих волокон в полосатом теле остается спорным [18]. Верхний продольный пучок соединяет верхнюю теменную дольку с ДМО и корой передней части ПИ, по этой причине данный тракт может быть ответственным за осуществление высшего моторного контроля и инициацию движений [19, 20].

Показано, что ДМО связана с ПИ не только с помощью коротких ассоциативных волокон, но и непосредственно волокнами поясного пучка на медиальной стороне полушария [21]. С пирамидной системой ДМО связана через ипси- и контрлатеральную ПМК, а также от нее отходит часть волокон кортикоспинального тракта (КСТ). Полагается, что около 10 % всех кортикоспинальных волокон берет свое начало в ДМО [22].

Особый интерес вызывает ЛКП: это совокупность волокон белого вещества, обычно более развитых в левом полушарии (оно чаще доминирует), связывающих ДМО и часть ПИ с оперкулярной частью нижней лобной извилины (областью Брока), и посредством которых обеспечивается речевая функция ДМО [21, 23, 24]. Считается, что данный тракт участвует в формировании беглости речи [25]. Показано, что как корковая, так и подкорковая стимуляция в непосредственной близости от левого ЛКП вызывает множество языковых симптомов (остановка речи, нарушение повторения, отсроченное начало речи, персеверации) [26].

ФУНКЦИИ

Исторически сложилось так, что длительное время ДМО считалась исключительно моторным регионом; моторная функция — одна из первых, в которой роль ДМО была определена как ключевая [1, 27]. На сегодняшний день не вызывает сомнений тот факт, что ДМО — мультифункциональный регион, а не просто высший моторный центр. Установлено, что ДМО играет важную роль не только в процессах обучения, планирования и выполнения сложных моторных действий,

но и в осуществлении когнитивных, эмоциональных, перцептивных и языковых функций [1, 2].

Известно, что ДМО участвует в таких моторных процессах, как организация последовательных движений, осуществление скоординированных (особенно бимануальных) движений, подготовка к двигательным актам (преимущественно к самостоятельно инициированным движениям), ингибирование моторного ответа [28–30]. Роль ДМО безусловно доказана в когнитивном контроле, торможении реакций, переключении задач, а также в процессах обучения, а точнее, организации последовательных процессов обучения [31, 32]. Большой интерес вызывает функция восприятия времени: ДМО активируется при выполнении задач на восприятие времени и синхронизацию движений, а совсем недавно в ней обнаружены даже так называемые хронокарты [33, 34]. Есть убедительные доказательства, что ДМО играет важную роль в зрительно-пространственной трансформации, которую обычно изучают с помощью задач умственного вращения [35]. Большое число работ выявило вклад ДМО в проведение арифметических операций [36]. Многократно показано, что ДМО активируется во время прослушивания и создания музыки и даже музыкальных образов [37]. Особенный интерес вызывает вклад ДМО в осуществление функции рабочей памяти, причем активация этой области не зависит от содержания материала рабочей памяти, т. е. она наблюдалась в задачах, использующих и вербальные, и тональные, и пространственные стимулы [38].

Есть предположения, что ДМО играет фундаментальную роль в автоматизации, инициации, контроле и мониторинге речи, а также в переключении языковых задач [39]. Сообщается, что языковая роль особенно связана с пДМО (pre-SMA) и включает такие аспекты, как устранение лексической неоднозначности, отслеживание контекста, мониторинг или подавление ошибочных языковых представлений [39].

Как видно из всего вышеперечисленного, ДМО — мультифункциональный регион, участвующий в работе широкого диапазона когнитивных доменов. Наиболее вероятно, что ДМО принимает участие в процессах организации различных элементов (независимо от их природы) последовательностей в элементы более высокого порядка [3]. Необходимо дальнейшее изучение функциональной активности ДМО, а также непосредственно нейронных механизмов, лежащих в ее основе. Очевидно, что ДМО — неоднородный по своей структуре регион, по своим функциям гораздо более относящийся к высшим моторным центрам, тогда как пДМО отвечает за осуществление более абстрактных функций и функционально ближе к префронтальной коре [3].

СИМПТОМЫ ПОРАЖЕНИЯ

Так называемый синдром ДМО возникает при локализации патологических процессов в этой области

или после резекции ДМО и характеризуется начальными расстройствами, варьирующими от умеренного снижения двигательной и речевой продукции до полного подавления [40]. Особенностью данного синдрома служит то, что симптомы обычно полностью обратимы и исчезают в течение нескольких месяцев, оставляя лишь дефицит в быстрых скоординированных последовательных бимануальных движениях [6]. Обратимость данного синдрома в первую очередь связана с корковой пластичностью и механизмами компенсации за счет контрлатеральной ДМО [41]. Двигательные нарушения наблюдаются в контрлатеральных по отношению к поврежденной ДМО конечностях, тогда как нарушения речи — преимущественно при повреждении ДМО в доминантном полушарии [7].

В своей классической форме синдром ДМО разделен на 3 фазы:

- 1) первая, или фаза акинетического мутизма, — короткая (от пары часов до нескольких дней), во время которой у пациента частично или полностью выражены плегия, атония, мутизм;
- 2) вторая фаза — больной не может начать (или имеет трудности с инициацией) речь и/или движения в контрлатеральной части тела, длится обычно от 1,5 нед до 3 мес;
- 3) третья фаза — ремиссия большинства клинически значимых симптомов; хотя некоторые авторы сообщают, что многие пациенты отмечают устойчивую легкую дисфункцию способности выполнять быстрые скоординированные бимануальные движения [42].

Помимо классической контрлатеральной плегии, повреждение ДМО может сопровождаться следующими моторными дисфункциями: синдром чужой конечности, моторный неглект-синдром, утилизационное поведение, а также идеомоторная и кинетическая апраксия [43].

Нарушения речи при поражении доминантной ДМО иногда называют афазией ДМО, они могут быть связаны с двигательными (артикуляция и фонация) и языковыми (поиск слов и пр.) аспектами, а симптомы в значительной степени зависят от стадии или длительности процесса выздоровления [44]. Общие клинические характеристики этого подтипа афазии А. Ardila (1984) резюмировал следующим образом:

- 1) имеется начальный мутизм, продолжающийся около 2–10 дней;
- 2) позже наблюдается практически полная неспособность инициировать и поддерживать речь;
- 3) сохраняется почти нормальное повторение речи;
- 4) понимание языка близко к нормальному;
- 5) эхолалия не обнаруживается; иногда возникают трудности с именованием предметов, поскольку у этих пациентов возникают значительные трудности с инициацией речи [45].

Существуют и более редкие речевые нарушения при патологии ДМО — синдром иностранного акцента и заторможенность речи [46].

Недавно выявлен и дефицит когнитивного контроля у больных с синдромом ДМО: нарушение рабочей памяти, по-видимому, связано с трудностями в манипулировании информацией, хранящейся в рабочей памяти, а также со скоростью ее обработки [47].

ОСОБЕННОСТИ ХИРУРГИИ

Наиболее часто среди всех неврологических расстройств и аномалий ДМО встречаются опухоли (особенно глиомы низкой степени злокачественности) и эпилептогенные очаги, но также периодически описывают артериовенозные мальформации и нарушения мозгового кровообращения [4, 5]. Частота возникновения опухолей головного мозга в ДМО довольно высока: до 10 % глиобластом *de novo* и до 27 % глиом низкой степени злокачественности [4]. Среди всех опухолей ДМО значительно преобладают опухоли глиального ряда — 94,5 % [48]. Касательно опухолей низкой или высокой степени злокачественности ДМО в литературе имеются противоположные данные [4, 5]. В единственном на данный момент исследовании, касающемся хирургии опухолей ДМО у пациентов детского возраста, показано преобладание в этом регионе опухолей низкой степени злокачественности (61,5 %) [49].

После хирургического лечения этих патологий ДМО у части пациентов может возникнуть дополнительный послеоперационный неврологический дефицит. Хирургическое лечение опухолей головного мозга, расположенных в области моторной зоны коры, в том числе и в ДМО, сопряжено с высоким риском нарастания парезов в послеоперационном периоде. Сообщаемые риски послеоперационных неврологических симптомов после резекции образований, локализуемых в ДМО, варьируют в широких пределах: от 23 до 100 % [7, 40, 49–51]. Наиболее часто сообщается о значительной обратимости возникающего неврологического дефицита, однако существуют данные о случаях развития после операции в ДМО перманентных симптомов [52]. В одной из работ даже с рутинным проведением краниотомии в сознании и использованием интраоперационного нейрофизиологического мониторинга у 13,3 % пациентов после операции на ДМО наблюдались необратимые двигательные и речевые последствия, часто мешающие в повседневной жизни [53]. Относительно критических факторов, которые могут повышать риск развития послеоперационного синдрома ДМО после хирургической резекции этой области, мнения разнятся. Как следствие, основная часть исследований ДМО в основном сосредоточена на определении тех факторов, которые влияют на вероятность развития двигательных и речевых послеоперационных расстройств и, что более важно, необратимых симптомов [7, 50, 53, 54]. Установлено, что вероятность развития постоянного неврологического дефицита растет при увеличении степени его выраженности до операции [53].

По данным Y. Ibe и соавт. (2016), послеоперационные неврологические симптомы, включая синдром ДМО, чаще всего возникают после резекции медиальной стенки собственно ДМО [54].

Достоверно установлено, что резекция ПИ служит фактором риска развития послеоперационного неврологического дефицита [50]. Риск дефицита был выше при резекции собственно ДМО, чем только пДМО. Резекция собственно ДМО в совокупности с дополнительным удалением ПИ наиболее значима в развитии дефицита по сравнению с любым другим типом резекции, в то время как резекция пДМО без удаления ПИ была наиболее безопасной [50]. Расстояние между резецированной областью и прецентральной извилиной в значительной степени связано как с преходящими, так и с постоянными неврологическими нарушениями [40, 55].

Повреждение трактов белого вещества, связанных с ДМО, может привести к более серьезному и необратимому дефициту, чем повреждение непосредственно самой коры (в связи с явлением корковой пластичности) [56]. Следовательно, знание анатомии трактов белого вещества ДМО, особенно ЛКП и КСТ, важно для лучшего понимания их функциональной роли и предотвращения различных послеоперационных дефицитов, связанных с их повреждением. M. Kinoshita (2015) обнаружил, что у пациентов с послеоперационными речевыми нарушениями расстояние между ложем резецированной опухоли и левым ЛКП меньше, чем у больных без данных расстройств; ни у одного в исследовании [18] не было каких-либо языковых нарушений после операции на недоминантном полушарии. Кроме того, среднее расстояние между ложем резецированной опухоли и ЛКП имело положительную корреляцию с семантической и фонематической беглостью речи (но не со способностью к называнию предметов) [18].

Делаются предположения, что в недоминантном полушарии ЛКП может участвовать в функции рабочей памяти. В подтверждение этому сообщалось, что при резекции правой префронтальной области в хирургии глиом появлялись значительные хронические дефициты пространственной рабочей памяти без двигательных и языковых изменений [57].

J.S. Young и соавт. (2021) показали, что резекция ЛКП во время операции в 100 % случаев ассоциирована с развитием синдрома ДМО, в то время как сохранение целостности тракта ЛКП не помогает избежать появления этого синдрома в послеоперационном периоде [51].

Интеграция в нейронавигационную систему данных картирования моторной зоны коры и магнитно-резонансной трактографии с возможностью вывода границ опухоли и трактов белого вещества (ЛКП и КСТ) в операционное поле микроскопа может уменьшить риск повреждения функционально значимых зон,

нарастания неврологического дефицита и оптимизировать лечебную тактику еще на этапе предоперационного планирования [58].

Относительно моторного картирования непосредственно ДМО и речевого картирования ДМО и ЛКП устоявшегося мнения в литературе не существует [59–62]. Сообщается, что на фоне прямой субкортикальной стимуляции ЛКП в доминантной полушарии возникает интраоперационная остановка речи или заикание при частичном произнесении слова пациентами во время выполнения заданий на именование объектов [18, 24, 63]. М. Fuji и соавт. (2015) показали, что прямая кортикальная и субкортикальная стимуляция в непосредственной близости от доминантного ЛКП вызывает множество интраоперационных речевых нарушений (остановка речи, нарушение повторения, отсроченное начало речи, персеверации) в аналогичной задаче с именованием объектов на картинках [26]. Выявление языковых областей ДМО во время операций с пробуждением показало свою эффективность для сохранения речи: электрическая стимуляция в областях, имеющих отношение к языку, вызывала нарушения речи во время задач на генерацию слов, что позволяло картировать эти области ДМО для защиты их языковой функции во время резекции патологического очага [59]. Важный вклад внесли А. Gabagros и соавт. (2011), показав, что картирование в состоянии бодрствования во время операции позволяет значительно снизить двигательные последствия: за счет точного идентифицирования ДМО, когда больной выполняет двигательную задачу (обычно это противопоставление пальца или бимануальная координация) при использовании электростимуляции, которая применительно к ДМО нарушает выполнение задачи [53]. Утверждается, что такой подход значительно снижал вероятность развития или выраженность двигательного дефицита [53].

Так называемый рецидивирующий синдром ДМО может встречаться у пациентов, подвергнувшихся повторной резекции опухолей, локализующихся в ДМО. В последние годы из-за значительного прогресса в области эффективных химиотерапевтических средств и лучевых методов лечения выросла продолжительность жизни пациентов с патологиями ДМО, поэтому увеличилось и число повторных операций в рамках мультимодальной терапии опухолей головного мозга. Однако при повторной резекции глиомы (рецидив) риск послеоперационных неврологических осложнений увеличивается в 2,5 раза по сравнению с первоначальной резекцией, а парез становится наиболее частым неврологическим осложнением [64]. Причина может быть простой: чаще всего (90 %) региональный рецидив глиобластомы происходит в стенке полости резекции с последующим краевым рецидивом на расстоянии менее 2 см от края полости резекции при второй операции. В любом случае будет проведена резекция стенки полости первичной резекции. Следо-

вательно, весьма вероятно, что задняя часть и медиальная стенка ДМО будут резецированы. Риск повреждения белого вещества (например, КСТ) также может быть выше, чем при первоначальной резекции [65]. У пациентов, которые подверглись повторной резекции опухолей, затрагивающих ДМО, может встречаться рецидивирующий синдром ДМО. Его наличие подтверждает реорганизацию функции ДМО в прилежащей ипсилатеральной коре после резекции. Больных с рецидивирующими новообразованиями ДМО следует информировать о возможности рецидива синдрома ДМО. Наблюдение, что повторная резекция ДМО приводит к рецидивирующему синдрому ДМО, позволяет предположить, что данный регион реорганизуется ипсилатерально вокруг резецированной своей части [66].

В хирургии эпилепсии анализ результатов резекции ДМО у пациентов с фармакорезистентной эпилепсией показал, что резекция собственно ДМО, более короткий анамнез припадков (<10 лет) и резекция ПИ связаны с более высоким риском развития неврологического дефицита [50].

Считается, что классический послеоперационный синдром ДМО возникает при объеме резекции ДМО 90 % и более [67]. Восстановление начинается обычно на 3–15-е сутки после операции и длится обычно до 3 мес [7]. Механизмы реорганизации коры, приводящие к регрессу синдрома ДМО, а также индивидуальные различия в степени его выраженности вызывают большой интерес. В исследовании К. Oda и соавт. (2018) показана статистически значимая взаимосвязь тяжести синдрома ДМО со степенью развитости межполушарных волокон белого вещества между ипсилатеральной ПМК и контрлатеральной ДМО, что может также иметь важное значение для регресса двигательных нарушений синдрома ДМО [68]. Эти данные могут быть полезны для прогнозирования сроков регресса синдрома ДМО на основе данных трактографии. По некоторым данным, речевые нарушения, возникающие в связи с повреждением в доминантной полушарии ДМО и ЛКП, могут регрессировать за счет механизмов нейропластичности, связанных с контрлатеральной ДМО [69]. Можно полагать, что для полноценного регресса неврологического дефицита (например, синдрома ДМО), возникшего после резекции опухолей ДМО, необходимо сохранение целостности контрлатеральной ДМО и комиссуральных волокон мозолистого тела [69]. Так, в одном из исследований описано 2 клинических случая развития у пациентов перманентного синдрома ДМО в связи с пересечением комиссуральных волокон [52].

Некоторые работы показывают, что локализация послеоперационного двигательного дефицита соответствует соматотопии ДМО: проекции нижней конечности, верхней конечности, лица и языка располагались в направлении сзади наперед [7]. Интересно,

что паралич лицевого нерва наблюдался после резекции левой ДМО, но никогда — после резекции правой. Это можно объяснить 2-сторонним представительством лица в левой ДМО: ее стимуляция вызывает двигательные реакции с обеих сторон лица, а стимуляция правой ДМО — только в левой половине лица [70].

В отличие от большого внимания, уделяемого моторным и речевым расстройствам в контексте ДМО, оценка когнитивных функций долгое время игнорировалась. R. Nakajima и соавт. (2014) первыми провели исследование, касающееся влияния повреждения ДМО на рабочую память, 2 пациентов с опухолями головного мозга, расположенными в области ДМО [71]. Используя специальные задачи для оценки рабочей памяти во время нейрохирургической операции в сознании, авторы получили прямые доказательства того, что ДМО играет немаловажную роль в рабочей памяти. Результаты недавно проведенного более крупного исследования с контрольной группой показали, что поражения ДМО действительно нарушают механизмы рабочей памяти [18]. Для этого применялись классические задачи рабочей памяти в когнитивных исследованиях. Например, задача *n-back*: участник должен указать, соответствует ли текущий стимул предыдущему (на *n* шагов ранее) в этой последовательности, затем коэффициент нагрузки *n* увеличивается, чтобы усложнить задачу. Это особенно актуально, потому что исполнительный компонент рабочей памяти важен для функций более высокого порядка, таких как рассуждение и обучение, и его дефицит может поставить под угрозу способность выполнять широкий спектр сложных когнитивных задач. Поскольку показано, что повреждение ДМО приводит к нарушению процессов рабочей памяти, то такой ее дефицит следует рассматривать как часть синдрома ДМО и, следовательно, принимать во внимание при дальнейшем уточнении клинических протоколов хирургического лечения патологий в области ДМО.

Кажется интересным тот факт, что синдром ДМО может возникать и после операций по поводу экстрааксиальных опухолей, находящихся в проекции ДМО, например, после удаления парасагиттальных менингиом в задней лобной области [72]. К сожалению, из-за плохой осведомленности хирургов о синдроме ДМО соответствующие симптомы часто принимают за проявление так называемой пирамидной слабости. Однако следует понимать, что синдром ДМО, в отличие от пирамидной слабости, обычно показывает сохраненный мышечный тонус парализованной конечности, а также может полностью регрессировать в течение нескольких дней или недель. Причина появления синдрома ДМО после удаления экстрааксиальной опухоли без прямого повреждения коры головного мозга может состоять в индуцировании различных нарушений гомеостаза нейронов, а также их способности передавать сигналы.

Пространственно-временная картина послеоперационных клинических нарушений и восстановления может быть спрогнозирована до операции в соответствии с планом резекции и точно разъяснена пациенту. При планировании операции важно оценить взаиморасположение патологического очага и трактов белого вещества, связанных с ДМО. Это особенно важно при супратенториальных глиомах неправильной формы. Когда сложные волоконные тракты ДМО находятся в зоне риска, предоперационное обсуждение с большим риском развития синдрома ДМО обязательно.

Перечисленные результаты исследований представляют ценную информацию для разработки протоколов хирургического лечения патологий, локализованных в области ДМО. Уточнение таких протоколов по-прежнему приоритетно в клинических исследованиях, поскольку имеет решающее значение для достижения максимальной эффективности планов лечения поражений ДМО.

Основные аспекты хирургии патологий в дополнительной моторной области

1. *Полное знание нейрохирургом*, планирующим операцию в зоне ДМО, анатомии этой области и проводящих путей ДМО, факторов риска развития того или иного послеоперационного неврологического дефицита и длительности восстановления после таких нарушений.
2. *Предоперационное планирование с использованием данных транскраниальной магнитной стимуляции и магнитно-резонансной трактографии* обеспечивает высокую информативность, позволяет тщательно изучить взаиморасположение патологического очага и трактов белого вещества на дооперационном этапе, а также, что важно, определить рациональную траекторию доступа и максимально возможный объем резекции с минимизацией послеоперационного неврологического дефицита.
3. *Индивидуальный подход* в выборе этой траектории и оптимального объема резекции у больных с опухолями ДМО достоверно значимо повышает степень радикальности хирургической циторедукции, уменьшает риск послеоперационного неврологического дефицита.
4. *Интраоперационная компьютерная нейронавигация* позволяет четко контролировать ход нейрохирургической операции, повышать ее прецизионность и снижать риск повреждения ПМК и трактов белого вещества на всех этапах удаления патологического очага.
5. *Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг* значительно снижает вероятность развития двигательного послеоперационного дефицита, позволяет наиболее достоверно идентифицировать как ПМК, так и КСТ.
6. *Интраоперационное картирование (речевое тестирование) в состоянии бодрствования во время удаления*

опухолей значительно снижает двигательные последствия за счет точной идентификации ДМО, помогает избежать ненужного повреждения здоровых частей ДМО во время резекции очага поражения, а следовательно, лучше сохранить двигательную функцию. Имеются данные, что во время операции в сознании использование задач на генерацию слов позволяет выявить языковые области коры ДМО для защиты их речевой функции, что задачи на окончание предложений рекомендуется использовать для локализации ЛКП.

7. *Дальнейшее изучение участия данной области в функции рабочей памяти* необходимо так же, как и оценка клинической значимости нарушений этой функции у больных после операции в ДМО, как и стандартизация в методах пред-, интра- и послеоперационной оценки функции рабочей памяти.
8. *Прогноз до операции пространственно-временной картины послеоперационных клинических нарушений и восстановления* может быть сделан в соответствии с планом резекции и точно объяснен пациенту перед процедурой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дополнительная моторная область — анатомически и функционально неоднородный регион медиальной части лобной коры, имеющий обширные связи с другими отделами головного мозга. Долгое время считалось, что ДМО служит лишь высшим двигатель-

ным центром, находясь в иерархии между префронтальной корой и ПМК. На сегодняшний день достоверно установлено участие ДМО во множестве когнитивных процессов, что подтверждает ее мультифункциональность.

Повреждение ДМО сопровождается многими клиническими проявлениями, наиболее частые из которых — акинетический мутизм (синдром ДМО) и афазия ДМО. Данные неврологические нарушения имеют, как правило, временный характер и регрессируют у большинства пациентов в течение 1,5–3 мес.

Наиболее частая причина нейрохирургических вмешательств, затрагивающих зону ДМО, — глиомы низкой степени злокачественности. Основная цель современных научных работ — определение тех или иных факторов риска развития послеоперационного неврологического дефицита (например, повторная резекция, дополнительная резекция ПИ). При хирургическом лечении патологий ДМО критически важно тщательное предоперационное планирование, информирование пациента о пространственно-временной картине прогнозируемых послеоперационных клинических нарушений и сроках реабилитации; рекомендовано использовать методы интраоперационной навигации, а также интраоперационное картирование коры.

Необходимо дальнейшее изучение ДМО и особенностей ее хирургии с целью стандартизации подходов к хирургическому лечению патологий, затрагивающих данный корковый регион.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Nachev P., Kennard C., Husain M. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nat Rev Neurosci* 2008;9(11):856–69. DOI: 10.1038/nrn2478
2. Vergara J., Rivera N., Rossi-Pool R., Romo R. A neural parametric code for storing information of more than one sensory modality in working memory. *Neuron* 2016;89(1):54–62. DOI: 10.1016/j.neuron.2015.11.026
3. Cona G., Semenza C. Supplementary motor area as key structure for domain-general sequence processing: a unified account. *Neurosci Biobehav Rev* 2017;72:28–42. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.10.033
4. Duffau H., Capelle L. Preferential brain locations of low-grade gliomas. *Cancer* 2004;100:2622–6. DOI: 10.1002/cncr.20297
5. Chassagnon S., Minotti L., Kremer S. et al. Somatosensory, motor, and reaching/grasping responses to direct electrical stimulation of the human cingulate motor areas. *J Neurosurg* 2008;109:593–604. DOI: 10.3171/JNS/2008/109/10/0593
6. Potgieser A.R.E., de Jong B.M., Wagemakers M. et al. Insights from the supplementary motor area syndrome in balancing movement initiation and inhibition. *Front Hum Neurosci* 2014;8:960. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00960
7. Fontaine D., Capelle L., Duffau H. Somatotopy of the supplementary motor area: evidence from correlation of the extent of surgical resection with the clinical patterns of deficit. *Neurosurgery* 2002;50(2):297–303; discussion 303–5. DOI: 10.1227/00006123-200202000-00011
8. Brodmann K. *Vergleichende lokalisationslehre der grosshirnrinde in ihren prinzipien dargestellt auf grund des zellenbaues*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1909.
9. Picard N., Strick P.L. Imaging the premotor areas. *Curr Opin Neurobiol* 2001;11(6):663–72. DOI: 10.1016/S0959-4388(01)00266-5
10. Matsuzaka Y., Aizawa H., Tanji J. A motor area rostral to the supplementary motor area (presupplementary motor area) in the monkey: neuronal activity during a learned motor task. *J Neurophysiol* 1992;68(3):653–62. DOI: 10.1152/jn.1992.68.3.653
11. Penfield W. The supplementary motor area in the cerebral cortex of man. *Arch F Psychiatr U Z Neur* 1950;185:670–4. DOI: 10.1007/bf00935517
12. Vergani F., Lacerda L., Martino J. et al. White matter connections of the supplementary motor area in humans. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2014;85(12):1377–85. DOI: 10.1136/jnnp-2013-307492
13. Ruan J., Bludau S., Palomero-Gallagher N. et al. Cytoarchitecture, probability maps, and functions of the human supplementary and pre-supplementary motor areas. *Brain Struct Funct* 2018;223(9):4169–86. DOI: 10.1007/s00429-018-1738-6
14. Zilles K., Schlaug G., Matelli M. et al. Mapping of human and macaque sensorimotor areas by integrating architectonic, transmitter receptor, MRI and PET data. *J Anat* 1995;187(Pt 3): 515–37.
15. Inase M., Tokuno H., Nambu A. et al. Corticostriatal and corticosubthalamic input zones from the presupplementary motor area in the macaque monkey: comparison with the input zones from

- the supplementary motor area. *Brain Res* 1999;833(2):191–201. DOI: 10.1016/S0006-8993(99)01531-0
16. Luppino G., Matelli M., Camarda R., Rizzolatti G. Corticocortical connections of area F3 (SMA-proper) and area F6 (pre-SMA) in the macaque monkey. *J Comp Neurol* 1993;338(1):114–40. DOI: 10.1002/cne.903380109
 17. Kandel E.R., Eric R. Essentials of neural science and behavior. McGraw-Hill, 2007.
 18. Kinoshita M., de Champfleury N.M., Deverdun J. et al. Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech: an axonal mapping study. *Brain Struct Funct* 2015;220(6):3399–412. DOI: 10.1007/s00429-014-0863-0
 19. Schmahmann J.D., Pandya D.N. Fiber pathways of the brain. New York: Oxford Academic, 2009. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195104233.001.0001
 20. Yagmurlu K., Middlebrooks E.H., Tanriover N. et al. Fiber tracts of the dorsal language stream in the human brain. *J Neurosurg* 2015;124(5):1396–405. DOI: 10.3171/2015.5.jns15455
 21. Bozkurt B., Yagmurlu K., Middlebrooks E.H. et al. The micro-surgical and tractographic anatomy of the supplementary motor area complex in human. *World Neurosurg* 2016;95:99–107. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.07.072
 22. Dum R.P., Strick P.L. The origin of corticospinal projections from the premotor areas in the frontal lobe. *J Neurosci* 1991;11(3):667–89. DOI: 10.1523/jneurosci.11-03-00667.1991
 23. Dick A.S., Bernal B., Tremblay P. The language connectome: new pathways, new concepts. *Neuroscientist* 2014;20(5):453–67. DOI: 10.1177/1073858413513502
 24. Vassal F., Boutet C., Lemaire J. et al. New insights into the functional significance of the frontal aslant tract: an anatomo-functional study using intraoperative electrical stimulations combined with diffusion tensor imaging-based fiber tracking. *Br J Neurosurg* 2014;28(5):685–7. DOI: 10.3109/02688697.2014.889810
 25. Catani M., Mesulam M.M., Jakobsen E. et al. A novel frontal pathway underlies verbal fluency in primary progressive aphasia. *Brain* 2013;136(Pt 8):2619–28. DOI: 10.1093/brain/awt163
 26. Fujii M., Maesawa S., Motomura K. et al. Intraoperative subcortical mapping of a language-associated deep frontal tract connecting the superior frontal gyrus to Broca's area in the dominant hemisphere of patients with glioma. *J Neurosurg* 2015;122:1390–6. DOI: 10.3171/2014.10.JNS14945
 27. Tanji J. Sequential organization of multiple movements: involvement of cortical motor areas. *Annu Rev Neurosci* 2001;24:631–51. DOI: 10.1146/annurev.neuro.24.1.631
 28. Shima K., Tanji J. Neuronal activity in the supplementary and presupplementary motor areas for temporal organization of multiple movements. *J Neurophysiol* 2000;84:2148–60. DOI: 10.1152/jn.2000.84.4.2148
 29. Wymbs N.F., Grafton S.T. Contributions from the left PMd and the SMA during sequence retrieval as determined by depth of training. *Exp Brain Res* 2013;224(1):49–58. DOI: 10.1007/s00221-012-3287-1
 30. Klein P.A., Duque J., Labrua L., Ivry R.B. Comparison of the two cerebral hemispheres in inhibitory processes operative during movement preparation. *Neuroimage* 2016;125:220–32. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.10.007
 31. Hikosaka O., Nakahara H., Rand M.K. et al. Parallel neural networks for learning sequential procedures. *Trends Neurosci* 1999;22(10):464–71. DOI: 10.1016/S0166-2236(99)01439-3
 32. Nachev P., Wydell H., O'Neill K. et al. The role of the pre-supplementary motor area in the control of action. *Neuroimage* 2007;36 Suppl 2(3):T155–63. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.034
 33. Coull J., Vidal F., Burle B. When to act, or not to act: that's the SMA's question. *Curr Opin Neurobiol* 2016;8:1–8. DOI: 10.1016/j.cobeha.2016.01.003
 34. Prototapa F., Hayashi M.J., Kulashkhar S. et al. Chronotopic maps in human supplementary motor area. *PLoS Biol* 2019;17(3):e3000026. DOI: 10.1371/journal.pbio.3000026
 35. Zacks J.M. Neuroimaging studies of mental rotation: a meta-analysis and review. *J Cogn Neurosci* 2008;20(1):1–19. DOI: 10.1162/jocn.2008.20013
 36. Fehr T. A hybrid model for the neural representation of complex mental processing in the human brain. *Cogn Neurodyn* 2013;7:89–103. DOI: 10.1007/s11571-012-9220-2
 37. Meister I.G., Krings T., Foltys H. et al. Playing piano in the mind – an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cogn Brain Res* 2004;19(3):219–28. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2003.12.005
 38. Koelsch S., Schulze K., Sammler D. et al. Human Brain Mapping 2009;30:859–73. DOI: 10.1002/hbm.20550
 39. Hertrich I., Dietrich S., Ackermann H. The role of the supplementary motor area for speech and language processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2016;68:602–10. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.06.030
 40. Kasasbeh A., Yarbrough K., Limbrick D. et al. Characterization of the supplementary motor area syndrome and seizure outcome after medial frontal lobe resections in pediatric epilepsy surgery. *Neurosurgery* 2012;70(5):1152–68. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823f6001
 41. Heiferman D.M., Ackerman P.D., Hayward D.M. Bilateral supplementary motor area syndrome causing akinetic mutism following parasagittal meningioma resection. *Neuroscience Discovery* 2014;2(1):7. DOI: 10.7243/2052-6946-2-7
 42. Laplane D., Talairach J., Meininger V. et al. Clinical consequences of corticectomies involving the supplementary motor area in man. *Journal of the Neurological Sciences* 1977;34(3):301–14. DOI: 10.1016/0022-510X(77)90148-4
 43. Boccardi E., Sala D., Motto C. et al. Utilisation behaviour consequent to bilateral SMA softening. *Cortex* 2002;38(3):289–308. DOI: 10.1016/S0010-9452(08)70661-0
 44. Jonas S. The supplementary motor region and speech emission. *J Commun Disord* 1981;14(5):349–73. DOI: 10.1016/0021-9924(81)90019-8
 45. Ardila A., Lopez M.V. Transcortical motor aphasia: one or two aphasias? *Brain Lang* 1984;22(2):350–3. DOI: 10.1016/0093-934X(84)90099-3
 46. Berthier M.L., Davila G., Moreno-Torres I. et al. Loss of regional accent after damage to the speech production network. *Front Hum Neurosci* 2015;9:610. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00610
 47. Canas A., Juncadella M., Lau R. et al. Working memory deficits after lesions involving the supplementary motor area. *Front Psychol* 2018;9:765. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00765
 48. Palmisciano P., Haider A.S., Balasubramanian K. et al. Supplementary motor area syndrome after brain tumor surgery: a systematic review. *World Neurosurg* 2022;S1878-8750(22)00865-8. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.06.080
 49. Талабаев М.В., Соловьева А.Ю., Венегас К.Ф., Антоненко А.И. Послеоперационные неврологические нарушения, связанные с удалением новообразований, расположенных в области дополнительной двигательной коры головного мозга у детей, и возможности функциональной магнитно-резонансной томографии в визуализации дополнительных двигательных и речевых отделов коры. *Евразийский онкологический журнал* 2022;10(1):28–39. DOI: 10.34883/PI.2022.10.1.007
 50. Talabaev M.V., Soloveva A.Yu., Venegas K.F., Antonenko A.I. Possibilities of imaging of functional MRI for postoperative neurological outcome after resection of supplementary motor and speech area tumour in children. *Evrzyskiy onkologicheskii zhurnal = Eurasian Journal of Oncology* 2022;10(1):28–39. (In Russ.). DOI: 10.34883/PI.2022.10.1.007
 51. Kim Y.H., Kim C.H., Kim J.S. et al. Risk factor analysis of the development of new neurological deficits following supplementary motor area resection. *J Neurosurg* 2013;119(1):7–14. DOI: 10.3171/2013.3.JNS121492
 52. Young J.S., Gogos A.J., Aabedi A.A. et al. Resection of supplementary motor area gliomas: revisiting supplementary motor syndrome and the role of the frontal aslant tract. *J Neurosurg* 2021;1:1–7. DOI: 10.3171/2021.4.JNS21187
 53. Baker C.M., Burks J.D., Briggs R.G. et al. The crossed frontal aslant tract: a possible pathway involved in the recovery of supplementary motor area syndrome. *Brain Behav* 2018;8(3):e00926. DOI: 10.1002/brb3.926

53. Gabarros A., Martino J., Juncadella M. et al. Intraoperative identification of the supplementary motor area in neurooncological surgery. *Neurocirugia (Astur)* 2011;22(2):123–32. (In Span.). DOI: 10.1016/S1130-1473(11)70010-0
54. Ibe Y., Tosaka M., Horiguchi K. et al. Resection extent of the supplementary motor area and post-operative neurological deficits in glioma surgery. *Br J Neurosurg* 2016;30:323–9. DOI: 10.3109/02688697.2015.1133803
55. Peraud A., Meschede M., Eisner W. et al. Surgical resection of grade II astrocytomas in the superior frontal gyrus. *Neurosurgery* 2002;50:966–75; discussion 975–7. DOI: 10.1227/00006123-200205000-00009
56. Duffau H. New concepts in surgery of WHO grade II gliomas: functional brain mapping, connectionism and plasticity – a review. *J Neurooncol* 2006;79(1):77–115. DOI: 10.1007/s11060-005-9109-6
57. Kinoshita M., Nakajima R., Shinohara H. et al. Chronic spatial working memory deficit associated with the superior longitudinal fasciculus: a study using voxel-based lesion-symptom mapping and intraoperative direct stimulation in right prefrontal glioma surgery. *J Neurosurg* 2016;125(4):1024–32. DOI: 10.3171/2015.10.JNS1591
58. Bello L., Riva M., Fava E. et al. Tailoring neurophysiological strategies with clinical context enhances resection and safety and expands indications in gliomas involving motor pathways. *Neuro Oncol* 2014;16(8):1110–28. DOI: 10.1093/neuonc/not327
59. Duffau H., Capelle L., Denvil D. et al. The role of dominant premotor cortex in language: a study using intraoperative functional mapping in awake patients. *Neuroimage* 2003;20(4):1903–14. DOI: 10.1016/S1053-8119(03)00203-9
60. Sierpowska J., Gabarros A., Fernandez-Coello A. et al. Morphological derivation overflow as a result of disruption of the left frontal aslant white matter tract. *Brain Lang* 2015;142:54–64. DOI: 10.1016/j.bandl.2015.01.005
61. Каньшина Д.С., Подгурская М.Г., Яковлева Д.В. и др. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг дополнительной моторной зоны коры головного мозга. Наблюдения из практики. *Нейрохирургия* 2021;23(3):59–68. DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-59-68
Kanshina D.S., Podgurskaya M.G., Yakovleva D.V. et al. Features of intraoperative neuromonitoring of the supplementary motor area of the brain. Literature review and case report. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2021;23(3):59–68. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2021-23-3-59-68
62. Димертsev A.B., Зуев A.A. Хирургическое лечение опухолей моторных зон головного мозга. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова* 2021;16(4):103–10. DOI: 10.25881/20728255_2021_16_4_103
- Dimertsev A.V., Zuev A.A. Surgical treatment of motor zone brain tumors. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova = Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center* 2021;16(4):103–10. (In Russ.). DOI: 10.25881/20728255_2021_16_4_103
63. Kemerdere R., de Champfleure N., Deverduin J. et al. Role of the left frontal aslant tract in stuttering: a brain stimulation and tractographic study. *J Neurol* 2016;263(1):157–67.
64. Hoover J., Nwojo M., Puffer R. et al. Surgical outcomes in recurrent glioma: clinical article. *J Neurosurg* 2013;118(6):1224–31. DOI: 10.3171/2013.2.JNS121731
65. Mandonnet E., Sarubbo S., Petit L. The nomenclature of human white matter association pathways: Proposal for a Systematic Taxonomic Anatomical Classification. *Front Neuroanat* 2018;12:94. DOI: 10.3389/fnana.2018.00094
66. Abel J., Buckley R.T., Morton R.P. et al. Recurrent supplementary motor area syndrome following repeat brain tumor resection involving supplementary motor cortex. *Neurosurgery* 2015;11 Suppl 3(0 3):447–55; discussion 456. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000847
67. Russell S., Kelly P. Incidence and clinical evolution of postoperative deficits after volumetric stereotactic resection of glial neoplasms involving the supplementary motor area. *J Neurosurg* 2003;52(3):506–15; discussion 515–6. DOI: 10.1227/01.neu.0000047670.56996.53
68. Oda K., Yamaguchi F., Enomoto H. et al. Prediction of recovery from supplementary motor area syndrome after brain tumor surgery: preoperative diffusion tensor tractography analysis and postoperative neurological clinical course. *Neurosurg Focus* 2018;44.6:E3. DOI: 10.3171/2017.12.FOCUS17564
69. Chivukula S., Pikul B., Black K. et al. Contralateral functional reorganization of the speech supplementary motor area following neurosurgical tumor resection. *Brain Lang* 2018;183:41–6. DOI: 10.1016/j.bandl.2018.05.006.1/2017.12.FOCUS17564
70. Fried I., Katz A., McCarthy G. et al. Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *J Neurosci* 1991;11(11):3656–66. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.11-11-03656.1991
71. Nakajima R., Hirokazu O., Kinoshita M. et al. Direct evidence for the causal role of the left supplementary motor area in working memory: a preliminary study. *Clin Neurol Neurosurg* 2014;126:201–4. DOI: 10.1016/j.clineuro.2014.09.009
72. Berg J., August E. Supplementary motor area syndrome after surgery for parasagittal meningiomas. *Acta Neurochir* 2018;160:583–7. DOI: 10.1007/s00701-018-3474-3

Вклад авторов

И.М. Алексеев: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных, написание статьи;

А.А. Зуев: разработка концепции и дизайна исследования, редактирование статьи.

Authors' contributions

I.M. Alekseev: research idea and design of the study, data collection and analysis, article writing;

A.A. Zuev: research idea and design of the study, editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

И.М. Алексеев / I.M. Alekseev: <https://orcid.org/0000-0001-8107-3065>

А.А. Зуев / A.A. Zuev: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Работы выполнялись без внешнего финансирования.

Funding. The work was performed without external funding.

Статья поступила: 09.11.2021. **Принята к публикации:** 25.05.2022.

Article submitted: 09.11.2021. **Accepted for publication:** 25.05.2022.