

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА T1/T2-КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОНСИСТЕНЦИИ ИНТРАКРАНИАЛЬНЫХ МЕНИНГИОМ

Е.А. Филимонова^{1, 2}, А.А. Абдилатипов¹, А.В. Калиновский^{1, 2}, Е.К. Ужакова¹, Д.А. Рзаев¹⁻³

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

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; Россия, 630091 Новосибирск, Красный пр-кт, 52;

³ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»; Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 2

Контакты: Елена Андреевна Филимонова e_filimonova@neuronsk.ru

Введение. Менингиомы – наиболее распространенные внеозговые интракраниальные объемные образования. Радикальность удаления менингиом во многом зависит от консистенции, размеров и близости расположения опухоли к важным анатомическим структурам. Предоперационное прогнозирование плотности менингиом имеет важное значение для выбора хирургического доступа и операционного оборудования, прогнозирования сложности операции, общей радикальности удаления опухоли и неврологического исхода после операции.

Цель исследования – выявление предикторов консистенции интракраниальных менингиом по данным магнитно-резонансной томографии с использованием методики T1/T2-картирования.

Материалы и методы. В исследование вошли 96 пациентов с первично выявленными менингиомами, прооперированные в ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» (г. Новосибирск) в период с 2018 по 2021 г. Магнитно-резонансные изображения были проанализированы с использованием метода расчета отношения интенсивности сигнала на T1-взвешенных изображениях к сигналу на T2-взвешенных изображениях с последующим групповым и корреляционным статистическим анализом для сравнения результатов T1/T2-картирования с клиническими, гистологическими и интраоперационными данными.

Результаты. Выявлено статистически значимое повышение интенсивности сигнала и стандартного отклонения от средней интенсивности на T1/T2-картах от псамматозных менингиом по сравнению со всеми остальными подтипами. Кроме того, выявлена положительная корреляция между значениями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и интраоперационными данными о консистенции опухоли.

Заключение. Изображения, полученные с помощью метода T1/T2-картирования, не уступают классическим T2-взвешенным изображениям в оценке консистенции интракраниальных менингиом. Их преимуществом является возможность получения абсолютных значений интенсивности. Необходимы дальнейшие проспективные исследования для подтверждения полученных результатов.

Ключевые слова: интракраниальные менингиомы, магнитно-резонансная томография, T1/T2-картирование, консистенция менингиом

Для цитирования: Филимонова Е.А., Абдилатипов А.А., Калиновский А.В. и др. Применение метода T1/T2-картирования для оценки консистенции интракраниальных менингиом. Нейрохирургия 2023;25(4):31–40. DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2023-25-4-31-40>

Application of T1, T2-mapping technique for evaluation of intracranial meningioma consistency

E.A. Filimonova^{1, 2}, A.A. Abdilatipov¹, A.V. Kalinowski^{1, 2}, E.K. Uzhakova¹, D.A. Rzaev¹⁻³

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

²Novosibirsk State Medical University; 52 Krasniy Ave., Novosibirsk 630091, Russia;

³Novosibirsk State University; 2 Pirogova St., Novosibirsk 630090, Russia

Контакты: Elena Andreevna Filimonova e_filimonova@neuronsk.ru

Background. Meningiomas are the most common extracerebral intracranial neoplasms. Radicality of meningioma resection largely depends on its consistency, size, and closeness to important anatomical structures. Preoperative prognosis of meningioma density plays an important role in selection of surgical access and operative inventory, general radicality of tumor resection, and neurological outcome after surgery.

Aim. To determine predictors of intracranial meningioma consistency using magnetic resonance imaging and T1, T2-mapping technique.

Materials and methods. The study included 96 patients with primary meningiomas who underwent surgery at the Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk) between 2018 and 2021. Magnetic resonance images were analyzed using calculation of the ratio between signal intensity on T1-weighted and T2-weighted images with subsequent group and correlation statistical analysis for comparison of T1, T2-mapping results with clinical, histological and intraoperative data.

Results. Statistically significant increase in the signal intensity and standard deviation from the mean intensity on T1, T2-maps of psammomatous meningiomas compared to all other subtypes was observed. Additionally, positive correlation between signal intensity form meningiomas on T1, T2-maps and intraoperative data on tumor consistency was found.

Conclusion. Images obtained using T, T2-mapping technique are as informative as traditional T2-weighted images for evaluation of intracranial meningioma consistency. Additionally, they allow to obtain absolute intensity values. Further prospective studies are necessary for confirmation of the obtained results.

Keywords: intracranial meningiomas, magnetic resonance imaging, T1, T2-mapping, meningioma consistency

For citation: Filimonova E.A., Abdilatipov A.A., Kalinovskiy A.V. et al. Application of T1, T2-mapping technique for evaluation of intracranial meningioma consistency. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2023;25(4): 31–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/1683-1683-3295-2023-25-4-31-40>

ВВЕДЕНИЕ

Менингиомы — наиболее распространенные вне-мозговые интракраниальные опухоли [1]. Большинство из них являются доброкачественными и медленно растущими новообразованиями. На сегодняшний день основным методом лечения остается хирургическая резекция [2], тогда как другие методы (радиохирургия, артериальная эмболизация и химиотерапия) применяются, главным образом, как дополнение к хирургическому лечению.

Физическая плотность (консистенция) менингиом является важным фактором, от которого зависят сложность хирургического удаления опухоли и риск развития интраоперационных осложнений [3]. Более мягкие менингиомы чаще всего удается резецировать радикально, с низким процентом неврологического дефицита, меньшим количеством осложнений и низким процентом рецидивов после операции. В случае менингиом плотной консистенции не всегда удается достигнуть радикальной резекции.

Радикальность удаления менингиом зависит от консистенции, размера и близости расположения опухоли к важным анатомическим структурам [4]. Предоперационное прогнозирование плотности менингиом необходимо для выбора хирургического доступа и операционного оборудования; также необходимо прогнозировать сложность резекции, общую радикальность удаления опухоли и вероятность развития неврологического дефицита после операции. Таким образом, с хирургической точки зрения определение консистенции менингиомы до операции является важной задачей.

Считается, что физическая плотность менингиом зависит от соотношения концентраций воды и колла-

гена в опухолевой ткани [5], тем не менее на данный момент нет убедительных данных о взаимосвязи между консистенцией менингиом и их гистологическим подтипом [1].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) — незаменимый на сегодняшний день метод диагностики интракраниальных образований, который играет важную роль в предоперационном планировании. Однако оценка консистенции менингиом по данным стандартной МРТ представляет собой достаточно сложную задачу [6]. В ряде исследований [2, 5, 7, 8] была показана отрицательная корреляция между интенсивностью сигнала на T2-взвешенных изображениях (T2-ВИ) и плотностью менингиом; другие работы [9, 10] не подтвердили эти результаты. В большинстве опубликованных работ было показано, что интенсивность сигнала на T1-взвешенных изображениях (T1-ВИ) не отражает консистенцию опухоли [1].

T1/T2-картирование является достаточно простым методом количественной оценки магнитно-резонансных (МР) изображений и представляет собой повоксельный расчет отношения интенсивности сигнала на T1-ВИ к интенсивности сигнала на T2-ВИ [11]. Современные методы калибровки и коррекции интенсивности T1-ВИ и T2-ВИ позволяют сгладить вариативность значений отношения T1/T2 между изображениями, полученными на разных сканерах [12].

В данной работе выполнена оценка взаимосвязи интенсивности сигнала на T1/T2-картах с физической плотностью интракраниальных менингиом и их гистологическим подтипом.

Цель исследования — выявление предикторов консистенции интракраниальных менингиом по данным МРТ с использованием методики T1/T2-картирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациенты. Исследование является ретроспективным. Использован архив данных ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» (г. Новосибирск) за 2018–2021 гг. В исследуемую группу вошли 96 пациентов (75 женщин, 21 мужчина, средний возраст 55 лет) с менингиомами интракраниальной локализации, госпитализированные в ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» (г. Новосибирск) для хирургического лечения. Были исключены пациенты с множественными менингиомами, наличием продолженного роста образования и пациенты после лучевой терапии.

Всем пациентам выполнялась МРТ головного мозга с контрастным усилением на предоперационном этапе по стандартному протоколу. Мультиспиральная компьютерная томография головного мозга не проводилась.

У всех пациентов также были собраны клинические и интраоперационные данные. Опухоли были гистологически верифицированы с описанием подтипа: менинготелиальный ($n = 29$), переходный ($n = 27$), фибробластический ($n = 16$), псаммоматозный ($n = 15$) и атипичный ($n = 9$). По классификации Всемирной организации здравоохранения Grade 1 была верифицирована у 88 пациентов, Grade 2 – у 8. Детальные данные об анатомической локализации менингиом приведены в табл. 1.

Для оценки размеров менингиом использовали систему, предложенную A. Goel и соавт. [13] для менингиом переднего наклоненного отростка: небольшие (<3 см, $n = 20$), средние (3–5 см, $n = 44$) и большие (>5 см, $n = 32$). Радикальность удаления менингиом оценивали на основе интраоперационных данных по шкале D. Simpson [14] и по результатам контрольной МРТ с контрастным усилением на 2-е сутки после операции.

Интраоперационная оценка консистенции менингиом. Для интраоперационного определения консистенции менингиом использовали шкалу, предложенную G. Zada и соавт. [15]. Шкала основана на интраоперационных возможностях удаления опухоли с использованием различных нейрохирургических инструментов: обычного аспиратора, ультразвукового дезинтегратора (CUSA), острых инструментов (лезвие скальпеля, ножницы) и петли от монополярной электрокоагуляции, костного деструктора (Sonopet) (табл. 2). В зависимости от использованных микрохирургических инструментов по консистенции опухоли были разделены на рыхлые, мягкие, умеренно плотные, плотные и осифицированные. Интраоперационная оценка консистенции менингиом выполнялась путем ретроспективного просмотра интраоперационных видеозаписей. Консистенцию опухоли у всех пациентов оценивали опытные нейрохирурги.

Параметры МРТ-сканирования. МРТ головного мозга выполняли на аппарате Siemens Avanto с напря-

Таблица 1. Данные о локализации менингиом

Table 1. Data on meningioma locations

Локализация менингиом Meningioma location	Число пациентов, n Number of patients, n
Бугорок турецкого седла Tubercle of sella turcica	10
Крыша орбиты Roof of orbit	2
Ольфакторная ямка Olfactory fossa	5
Орбита Orbit	3
Крыло клиновидной кости Wing of the sphenoid	9
Средняя черепная ямка Middle cranial fossa	1
Задняя поверхность пирамиды височной кости Posterior surface of the petrous part of the temporal bone	8
Петрокливальная Petroclival	5
Конвекситальная менингиома мозжечка Convexital cerebellar meningioma	1
Большое затылочное отверстие Foramen magnum	1
Конвекситальная Convexital	30
Парасагиттальная Parasagittal	16
Намёт мозжечка Cerebellar tentorium	5
Всего Total	96

женностью магнитного поля 1,5 Т. Объем обследования включал стандартный протокол сканирования с использованием T1-ВИ (TR – 6,26 мс, TE – 2,42 мс, FOV – 256×216 мм, Matrix – 256×216 , толщина среза – 1 мм) и T2-ВИ (TSE, TR – 5000 мс, TE – 91 мс, FOV – 272×244 мм, Matrix – 384×262 , толщина среза – 5 мм) в аксиальной плоскости.

Постпроцессинг и анализ изображений. T1/T2-картирование выполняли в программе SPM12 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Великобритания) с помощью тулбокса MR-Tool (<https://www.nitrc.org/projects/mrtool>). В качестве входных данных использовали стандартные T1-ВИ и T2-ВИ. После процедур нормализации, нелинейной коррекции интенсивности и регистрации изображений проводили повоксельный расчет отношения T1/T2 с построением соответствующих карт для каждого пациента согласно ранее

Таблица 2. Шкала интраоперационной оценки консистенции менингиом, предложенная G. Zada и соавт. (2013) [15]

Table 2. Meningioma consistency grading system according to G. Zada et al. (2013) [15]

Градация плотности Consistency score	Общее описание General description	Характеристики капсулы опухоли Capsule characteristics	Инструмент(ы), используемый(ые) для внутренней декомпрессии опухоли (debulking) Exemplary instrument(s) used for internal debulking
1	Рыхлая опухоль Extremely soft tumor	Капсула легко складывается или без капсулы Capsule easily folded or no capsule	Легко уходит в обычный аспиратор Suction
2	Мягкая опухоль; большая часть опухоли свободно уходит в обычный аспиратор; фиброзная строма остается Soft tumor; bulk of tumor freely suctioned; fibrous stroma remains	Капсула легко складывается после частичной внутренней декомпрессии Capsule easily folded following partial internal debulking	Удаление большей части выполняется с обычным аспиратором; фиброзная строма резецируется с капсулой Majority done w/suction; fibrous stroma resected w/capsule
3	Умеренно плотная; свободно не уходит в обычный аспиратор. Легко уходит в УЗ-дезинтегратор Average consistency; cannot be freely suctioned; requires some degree of mechanical debulking	Капсула складывается после достаточной внутренней декомпрессии Capsule folds following sufficient debulking	Резекция по частям; УЗ-дезинтегратор или другое механическое устройство (ножницы) применяется для внутренней декомпрессии. УЗ-дезинтегратор при низкой мощности Piecemeal resection; ultrasonic aspiration or other mechanical debulking device, often at low setting; sharp dissection
4	Плотная опухоль; с трудом уходит или не уходит в УЗ-дезинтегратор. Требуется механического удаления Firm tumor; requires mechanical debulking	Твердая капсула; капсула не складывается после внутренней декомпрессии Firm capsule; difficult to collapse despite tumor debulking	Резекция по частям; УЗ-дезинтегратор или другое механическое устройство (ножницы, молоток) применяется для внутренней декомпрессии. УЗ-дезинтегратор при высокой мощности Piecemeal resection, ultrasonic aspiration, loop cautery, or other mechanical debulking, often at high setting; sharp resection or loop cautery
5	Кальцинированная и/или оссифицированная опухоль; консистенция костной плотности; часто требуется блок-резекция Extremely firm and/or calcified tumor; may approach density of bone; often requires en bloc resection	Жесткая капсула, которая не складывается и не сворачивается Rigid capsule that does not fold or collapse	Удаление механической острой резекции (ножницы), применение бора, костного деструктора Difficult to debulk even w/ultrasonic aspiration, cautery loop, or mechanical/sharp dissection

Примечание. УЗ — ультразвуковой.

Note. US — ultrasonographic.

описанному алгоритму [12]. Дальнейший анализ T1/T2-карт выполняли вручную с использованием программы ITK-SNAP (<http://www.itksnap.org>). В аксиальной плоскости выставляли регионы интереса неправильной формы, повторяющие контур опухоли на 3 параллельных уровнях, с последующим усреднением значений интенсивности. Гетерогенность морфологической структуры опухоли оценивали путем расчета стандартного отклонения от средней интенсивности сигнала на T1/T2-картах. Дополнительно проводили анализ интенсивности сигнала от менингиом на T2-ВИ после процедуры нелинейной коррекции интенсивности (T2corr).

Статистическая обработка данных. Статистическую обработку данных выполняли в программе R (www.r-project.org). Для сравнения интенсивностей сигнала на T1/T2-картах между группами использовали двухвыборочный t-критерий для независимых

выборок. Для оценки взаимосвязи интенсивности сигнала на T1/T2-картах с интраоперационными данными о физической плотности опухолей проводили корреляционный анализ с использованием критерия Пирсона. В качестве порога статистической значимости принято значение $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования представлены в табл. 3 и на рисунках (см. далее).

В исследуемой группе тотальное удаление (I–II степень радикальности по Simpson) было достигнуто у 81 (84,4 %) пациента (из них I степень — у 21, II степень — у 59), субтотальное удаление (III степень по Simpson) — у 8 (8,3 %), частичное удаление (IV степень по Simpson) — у 7 (7,3 %).

При сравнении абсолютных значений интенсивности сигнала на T1/T2-картах от разных гистологических

Таблица 3. Значения интенсивности сигнала на T1/T2-картах и T2corr от различных гистологических подтипов менингиом

Table 3. Signal intensity values on T1, T2-maps and T2corr from different histological subtypes of meningiomas

Гистологический подтип Histological subtype	Абсолютные значения на T2corr Absolute values on T2corr	Абсолютные значения на T1/T2-картах Absolute values on T1, T2-maps	Стандартное отклонение на T1/T2-картах Standard deviation on T1, T2-maps
Атипический Atypical	43,0	1,31	0,19
Менинготелиальный Meningiothelial	41,7	1,24	0,15
Переходный Transitional	42,2	1,26	0,16
Псаммоматозный Psammomatous	32,8*	1,65*	0,31*
Фибробластический Fibroblastic	41,9	1,28	0,13

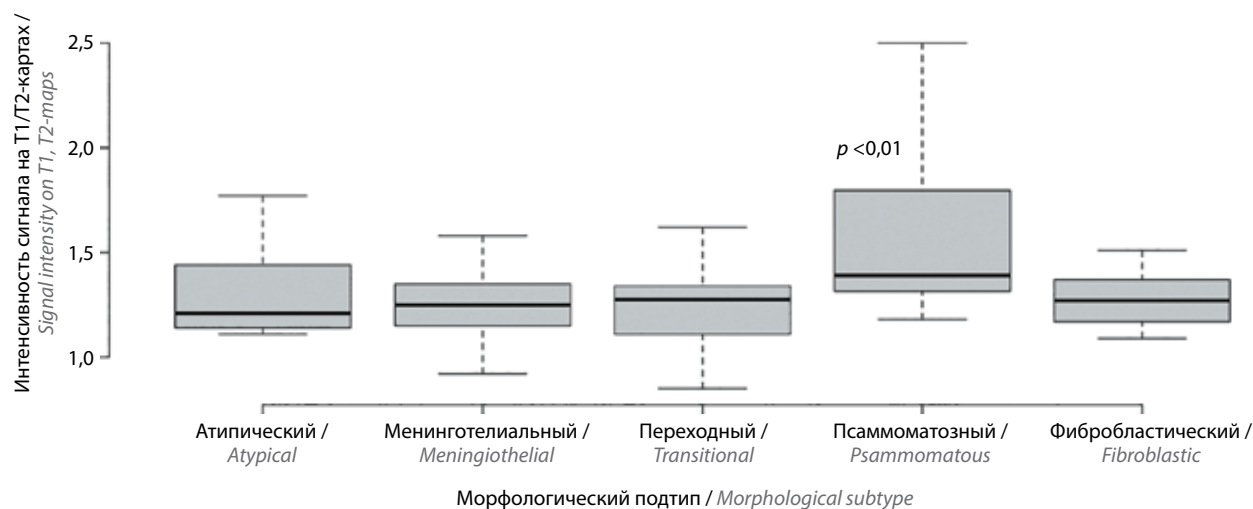
* $p < 0,01$.

Рис. 1. Результаты группового статистического анализа абсолютных значений интенсивности сигнала на T1/T2-картах от разных гистологических подтипов менингиом

Fig. 1. Results of group statistical analysis of the absolute values of signal intensity on T1, T2-maps from different histological subtypes of meningiomas

подтипов менингиом отмечалось значимое ее повышение в псаммоматозном подтипе по сравнению со всеми остальными ($p < 0,01$, см. табл. 3, рис. 1). При сравнении значений стандартного отклонения от средней интенсивности (показатель, отражающий морфологическую гетерогенность опухолевой ткани) на T1/T2-картах в разных гистологических подтипах менингиом также отмечалось значимое его повышение в псаммоматозном подтипе по сравнению со всеми остальными ($p < 0,01$, см. табл. 3, рис. 2). Значимых различий в абсолютной интенсивности сигнала и значениях стандартного отклонения от средней интенсивности на T1/T2-картах между менинготелиальным, переходным, фибробластическим и атипическим подтипами выявлено не было.

При сравнении абсолютных значений интенсивности сигнала на T2-ВИ после процедуры нелинейной коррекции интенсивности (T2corr) от разных гистоло-

гических подтипов менингиом отмечалось значимое ее снижение в псаммоматозном подтипе в сравнении со всеми остальными ($p < 0,01$, см. табл. 3, рис. 3). Значимых различий в абсолютной интенсивности сигнала на T2corr изображениях между менинготелиальным, переходным, фибробластическим и атипическим подтипами выявлено не было.

При сравнении абсолютных значений интенсивности сигнала на T1/T2-картах и T2corr-изображениях от менингиом разной степени злокачественности (Grade 1 и 2) статистически достоверных различий выявлено не было ($p > 0,05$).

При проведении корреляционного анализа Пирсона была выявлена положительная корреляция между значениями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и интраоперационными данными о физической плотности опухолевой ткани ($R = 0,29$, $p < 0,01$, рис. 4). Статистически значимой корреляции

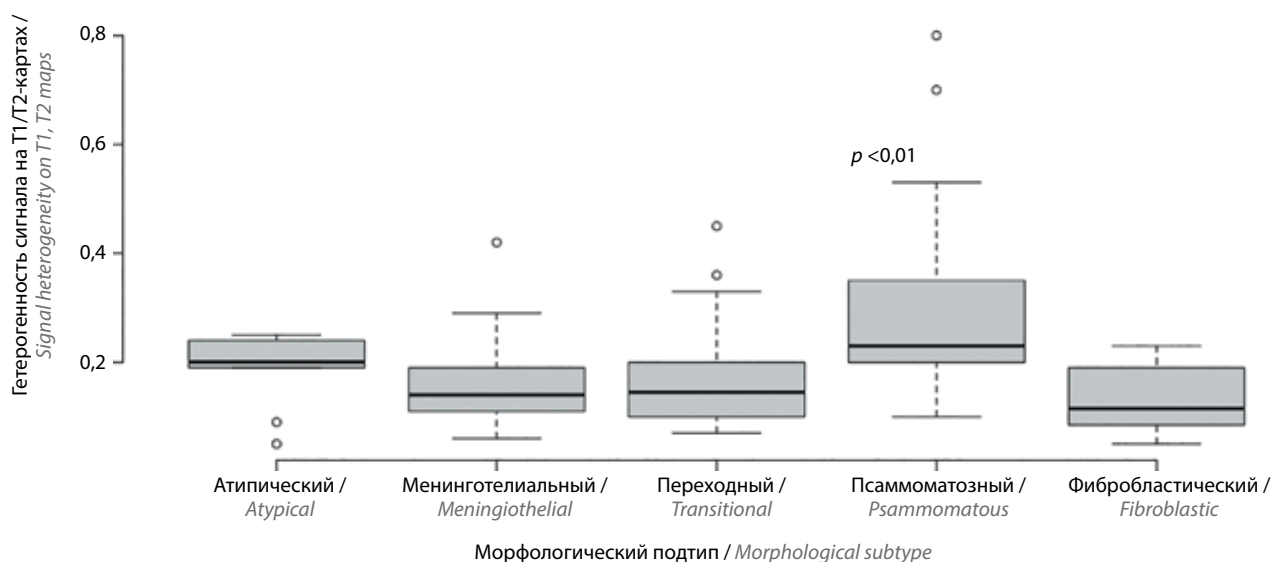


Рис. 2. Результаты группового статистического анализа значений стандартного отклонения интенсивности сигнала на T1/T2 картах от разных гистологических подтипов менингиом

Fig. 2. Results of group statistical analysis of the standard deviation of signal intensity on T1, T2-maps from different histological subtypes of meningiomas

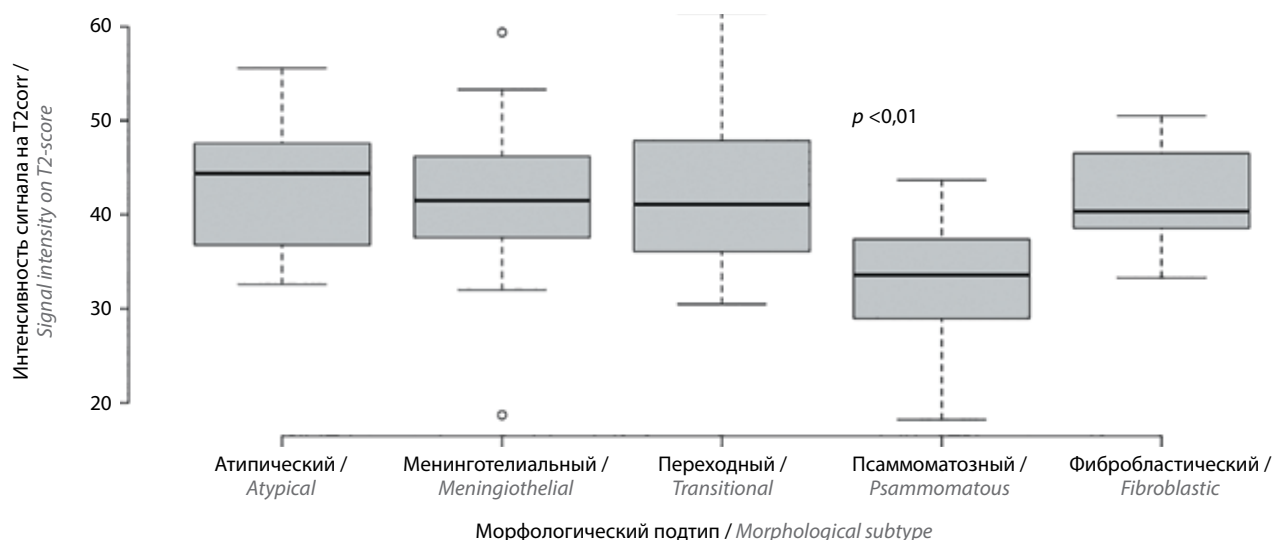


Рис. 3. Результаты группового статистического анализа абсолютных значений интенсивности сигнала на T2-взвешенных изображениях после нелинейной коррекции интенсивности (T2corr) от разных гистологических подтипов менингиом

Fig. 3. Results of group statistical analysis of the absolute values of signal intensity on T2-weighted images after nonlinear intensity correction (T2corr) from different histological subtypes of meningiomas

между значениями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и объемом интраоперационной кровопотери выявлено не было.

В табл. 4 приведены данные о средней интенсивности сигнала по результатам T1/T2-картирования при разной консистенции менингиом, а также о радикальности удаления опухоли в группах с разной консистенцией.

На рис. 5 представлены клинические примеры применения метода T1/T2-картирования для предоперационной оценки консистенции менингиом: мягкая менингиома, менинготелиальный подтип; плотная менингиома, псаммоматозный подтип.

ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство авторов отмечают, что степень радикальности удаления менингиомы зависит не только от ее размера, типа, степени инвазии важных анатомических структур, но и от консистенции опухоли: в случае мягких менингиом возможно хирургическое лечение с высокой радикальностью (I–II степень по Simpson) и хорошим функциональным исходом. При плотных опухолях попытки радикального удаления могут привести к травматизации важных анатомических структур головного мозга и грубым неврологическим нарушениям с высокой вероятностью летального

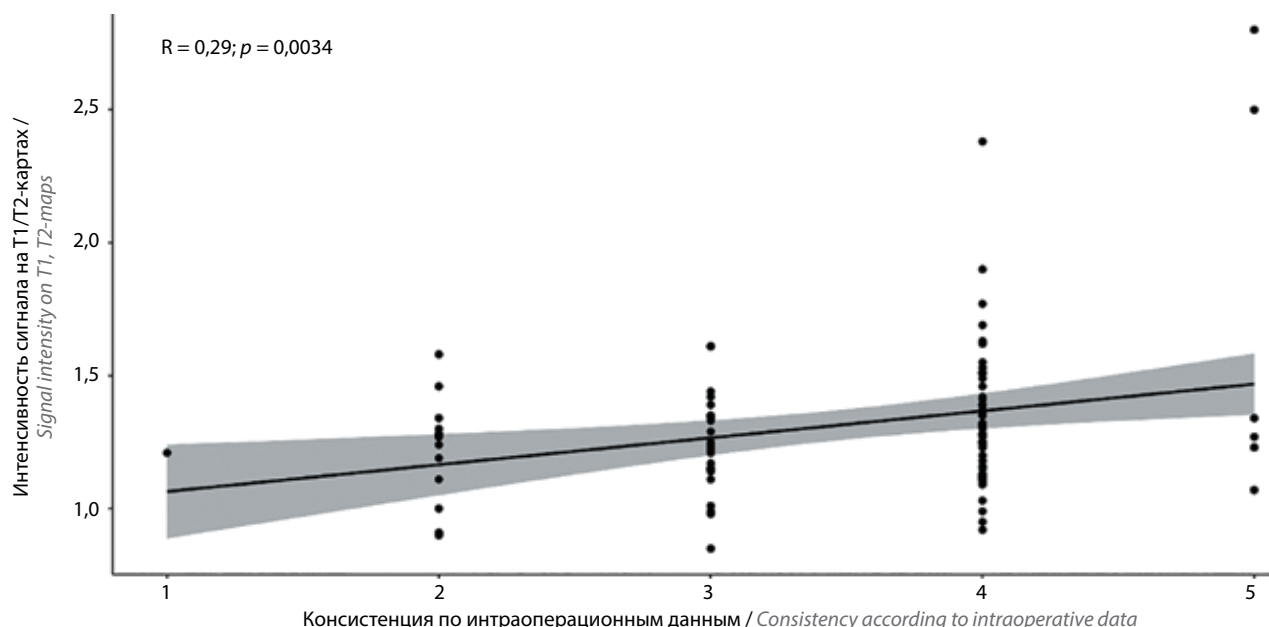


Рис. 4. Результаты корреляционного анализа между показателями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и интраоперационными данными о консистенции опухоли (по шкале G. Zada и соавт.)

Fig. 4. Results of correlation analysis between meningioma signal intensity on T1, T2-maps and intraoperative data on tumor consistency (per G. Zada et al. scale)

Таблица 4. Средняя интенсивность сигнала по данным T1/T2-картирования и радикальность удаления опухоли в группах менингиом с разной плотностью по шкале G. Zada и соавт. (2013)

Table 4. Mean intensity per T1, T2-map data and radicality of tumor resection in groups with meningiomas of different density per the G. Zada et al. scale (2013)

Плотность по G. Zada и соавт. Density per G. Zada et al	Число пациентов, n Number of patients, n	Абсолютные значения интенсивности на T1/T2-картах Absolute intensity values on T1, T2-maps	Grade, n	Радикальное удаление (Simpson I–II), n Radical resection (Simpson I–II), n	Субтотальное удаление (Simpson III), n Subtotal resection (Simpson III), n	Парциальное удаление (Simpson IV), n Partial resection (Simpson IV), n
1	1	1,21	Grade 1 – 1 Grade 2 – 0	0	1	0
2	13	1,24 ± 0,2	Grade 1 – 12 Grade 2 – 1	12	1	0
3	24	1,25 ± 0,2	Grade 1 – 20 Grade 2 – 4	22	1	1
4	52	1,35 ± 0,2	Grade 1 – 49 Grade 2 – 3	43	4	5
5	6	1,71 ± 0,7	Grade 1 – 6 Grade 2 – 0	4	1	1

исхода или значительного снижения качества жизни пациентов, особенно в случае менингиом основания черепа [16–19].

Таким образом, знание предикторов консистенции менингиом по данным МРТ будет полезно нейрохирургу для планирования операции.

Полученные нами результаты в целом подтверждают теоретические предпосылки, изложенные авторами метода T1/T2-картирования [12]. Считается, что времена релаксации T1 и T2 позволяют рассчитать взаимоотношение между концентрациями воды и макро-

молекул в тканях. Так, интенсивность МР-сигнала на T1-ВИ отражает распределение макромолекул, тогда как время релаксации T2 отражает диффузивность молекул воды (показатель, обратно пропорциональный концентрации макромолекул). Расчет отношения T1/T2 позволяет количественно оценить интенсивность сигнала на получаемых картах, дополнительно увеличивая соотношение «сигнал–шум» [20]. Метод не влияет на общее время сканирования, поскольку основан на постпроцессинге стандартных T1-ВИ и T2-ВИ.

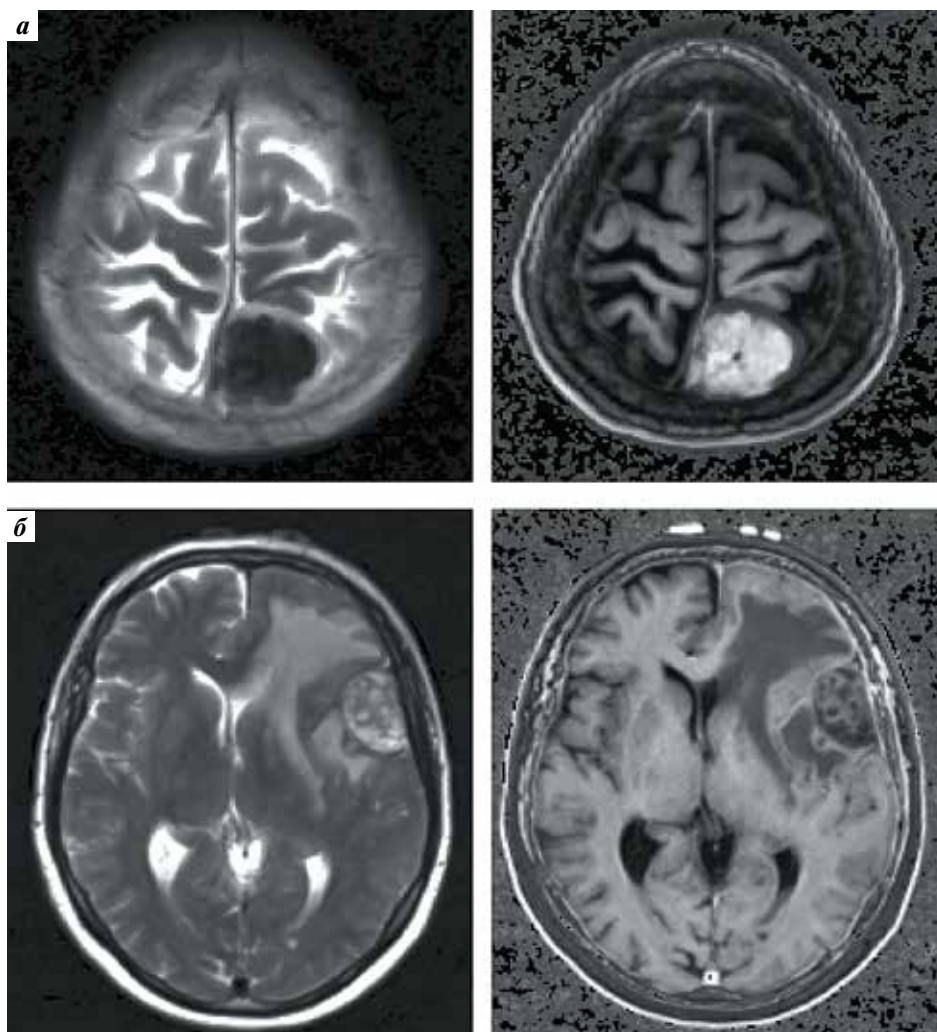


Рис. 5. Клинические примеры применения метода T1/T2-картирования для предоперационной оценки консистенции менингиом: а — плотная менигиома, псамматозный подтип; б — мягкая менигиома, переходный подтип. Приведены T1/T2-карты в аксиальной плоскости на уровне опухоли (справа) и T2-взвешенные изображения после нелинейной коррекции интенсивности на том же уровне (слева)

Fig. 5. Clinical examples of using T1, T2-mapping technique for preoperative evaluation of meningioma consistency: a — dense meningioma, psammomatous subtype; б — soft meningioma, transitional subtype. T1, T2-maps in the axial plane at the tumor level (right) and T2-weighted images after nonlinear intensity correction on the same level (left) are presented

Имеются исследования по применению данного метода в изучении различных патологий центральной нервной системы [21–23]. Тем не менее, несмотря на высокую теоретическую привлекательность, на сегодняшний день не опубликовано работ, посвященных применению T1/T2-картирования для оценки консистенции интракраниальных объемных образований.

Предлагаемый нами метод количественной оценки консистенции интракраниальных менингиом не уступает по информативности анализу классических T2-ВИ. Стоит отметить, однако, что стандартные T2-ВИ не являются количественным методом сканирования, а следовательно, интенсивность сигнала на них варьирует в зависимости от типа сканера, мощности постоянного магнитного поля и т.д. Попытки стандартизации оценки интенсивности сигнала на T2-ВИ путем расчета отношения интенсивности сигнала от опухоли

к интенсивности сигнала от серого вещества головного мозга не позволяют в полной мере избежать этих проблем [2].

Данный способ МР-оценки впервые применяется для оценки консистенции интракраниальных менингиом. Выявлены значимые изменения сигнала на T1/T2-картах от псамматозного подтипа менингиом по сравнению со всеми остальными; это можно использовать в качестве неинвазивного маркера данной группы опухолей на этапе предоперационного планирования. Известно, что псамматозные менингиомы — группа менингиом, обладающих наиболее высокой физической плотностью среди гистологических подтипов [24]. Это обусловлено наличием в них большого количества плотных коллагеновых волокон и кальцинированных включений и, соответственно, низкой концентрацией молекул воды, что

и приводит к повышению интенсивности сигнала на T1/T2-картах.

Кроме того, выявленная положительная корреляция между значениями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и интраоперационными данными о консистенции опухоли позволяет рекомендовать метод к использованию в рутинной нейрохирургической практике для предоперационного прогнозирования консистенции интракраниальных менингиом. Однако указанная корреляция была достаточно слабой, несмотря на высокую статистическую значимость ($R = 0,29$, $p < 0,01$); вероятно, это обусловлено ретроспективным характером анализа, который менее точен, чем интраоперационная интерпретация консистенции опухоли.

К ограничениям данной работы следует отнести ретроспективный характер анализа интраоперационной консистенции менингиом (что в ряде случаев могло привести к менее точной интерпретации), а также достаточно большую гетерогенность опухолей по анатомической локализации внутри исследуемой выборки. Кроме того, отсутствует информация о предоперационной плотности менингиом по данным мультиспиральной компьютерной томографии, что также обусловлено ретроспективным характером исследования.

Таким образом, полученные результаты показывают необходимость дальнейших исследований в этой области — с проспективным дизайном и более детальной интраоперационной оценкой консистенции опухоли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изображения, полученные с помощью метода T1/T2-картирования, не уступают классическим T2-ВИ в оценке консистенции менингиом; их преимуществом является возможность получения абсолютных значений интенсивности. Выявлено значимое повышение интенсивности сигнала и стандартного отклонения от средней интенсивности на T1/T2-картах от псаммотатозных менингиом в сравнении со всеми остальными подтипами. Кроме того, выявлена положительная корреляция между значениями интенсивности сигнала от менингиом на T1/T2-картах и интраоперационными данными о консистенции опухоли.

Необходимы дальнейшие исследования для подтверждения полученных результатов и более детального изучения диагностической ценности метода T1/T2-картирования в оценке физической плотности менингиом.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Yao A., Pain M., Balchandani P., Shrivastava R.K. Can MRI predict meningioma consistency?: a correlation with tumor pathology and systematic review. *Neurosurg Rev* 2018;41(3): 745–53. DOI: 10.1007/S10143-016-0801-0
2. Watanabe K., Kakeda S., Yamamoto J. et al. Prediction of hard meningiomas: Quantitative evaluation based on the magnetic resonance signal intensity. *Acta Radiol* 2016;57(3):333–40. DOI: 10.1177/0284185115578323
3. Sitthinamsuwan B., Khampalikit I., Nunta-Aree S. et al. Predictors of meningioma consistency: a study in 243 consecutive cases. *Acta Neurochir (Wien)* 2012;154(8):1383–9. DOI: 10.1007/s00701-012-1427-9
4. Kendall B., Pulicino P. Comparison of consistency of meningiomas and CT appearances. *Neuroradiology* 1979;18(4):173–6. DOI: 10.1007/BF00345721
5. Smith K.A., Leever J.D., Chamoun R.B. Predicting consistency of meningioma by magnetic resonance imaging. *J Neurol Surg B Skull Base* 2015;76(3):225–9. DOI: 10.1055/s-0034-1543965
6. Tamrazi B., Shiroishi M.S., Liu C.S.J. Advanced imaging of intracranial meningiomas. *Neurosurg Clin N Am* 2016;27(2):137–43. DOI: 10.1016/j.nec.2015.11.004
7. Hoover J.M., Morris J.M., Meyer F.B. Use of preoperative magnetic resonance imaging T1 and T2 sequences to determine intraoperative meningioma consistency. *Surg Neurol Int* 2011;2:142. DOI: 10.4103/2152-7806.85983
8. Yoneoka Y., Fujii Y., Takahashi H., Nakada T. Pre-operative histopathological evaluation of meningiomas by 3 0T T2R MRI. *Acta Neurochir (Wien)* 2002;144(10):953–7; discussion 957. DOI: 10.1007/s00701-002-1005-7
9. Ortega-Porcayo L.A., Ballesteros-Zebadúa P., Marrufo-Meléndez O.R. et al. Prediction of mechanical properties and subjective consistency of meningiomas using T1-T2 assessment *versus* fractional anisotropy. *World Neurosurg* 2015;84(6):1691–8. DOI: 10.1016/J.WNEU.2015.07.018
10. Murphy M.C., Huston J. 3rd, Glaser K.J. et al. Preoperative assessment of meningioma stiffness by magnetic resonance elastography. *J Neurosurg* 2013;118(3):643. DOI: 10.3171/2012.9.JNS12519
11. Glasser M.F., van Essen D.C. Mapping human cortical areas in vivo based on myelin content as revealed by T1- and T2-weighted MRI. *J Neurosci* 2011;31(32):11597–616. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2180-11.2011
12. Ganzetti M., Wenderoth N., Mantini D. Whole brain myelin mapping using T1- and T2-weighted MR imaging data. *Front Hum Neurosci* 2014;8:671. DOI: 10.3389/FNHUM.2014.00671
13. Goel A., Gupta S., Desai K. et al. New grading system to predict resectability of anterior clinoid meningiomas. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2000;40(12):610–6; discussion 616–7. DOI: 10.2176/NMC.40.610
14. Simpson D. The recurrence of intracranial meningiomas after surgical treatment. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1957;20(1): 22–39. DOI: 10.1136/JNPN.20.1.22
15. Zada G., Yashar P., Robison A. et al. A proposed grading system for standardizing tumor consistency of intracranial meningiomas. *Neurosurg Focus* 2013;35(6):E1. DOI: 10.3171/2013.8.FOCUS13274
16. Karthigeyan M., Dhandapani S., Salunke P. et al. The predictive value of conventional magnetic resonance imaging sequences on operative findings and histopathology of intracranial meningiomas: a prospective study. *Neurol India* 2019;67(6):1439–45. DOI: 10.4103/0028-3886.273632
17. Alyamany M., Alshardan M., Jamea A. et al. Meningioma consistency: correlation between magnetic resonance imaging

- characteristics, operative findings, and histopathological features. *Asian J Neurosurg* 2018;13(2):324–8. DOI: 10.4103/1793-5482.228515
18. Phuttharak W., Boonrod A., Thammaroj J. et al. Preoperative MRI evaluation of meningioma consistency: a focus on detailed architectures. *Clin Neurol Neurosurg* 2018;169:178–84. DOI: 10.1016/J.CLINEURO.2018.04.025
19. Чернов С.В., Рзаев Д.А., Калиновский А.В. и др. Ранние результаты хирургического лечения пациентов с менингиомами переднего наклоненного отростка. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им. Н.Н. Бурденко 2017;81(1):74–80. DOI: 10.17116/neiro201780774-80
- Chernov S.V., Rzaev D.A., Kalinovskiy A.V. et al. Early postoperative results of surgical treatment of patients with anterior clinoidal meningiomas. *Zhurnal Voprosy neurokhirurgii im. N.N. Burdenko = Burdenko's Journal of Neurosurgery* 2017;81(1):74–80. 2017;81(1):7–80. (In Russ.). DOI: 10.17116/neiro201780774-80
20. Glasser M.F., Goyal M.S., Preuss T.M. et al. Trends and properties of human cerebral cortex: correlations with cortical myelin content. *Neuroimage* 2014;93 Pt 2:165. DOI: 10.1016/J.NEUROIMAGE.2013.03.060
21. Iwatani J., Ishida T., Donishi T. et al. Use of T1-weighted/T2-weighted magnetic resonance ratio images to elucidate changes in the schizophrenic brain. *Brain Behav* 2015;5(10):e00399. DOI: 10.1002/BRB3.399
22. Nakamura K., Chen J.T., Ontaneda D. et al. T1-/T2-weighted ratio differs in demyelinated cortex in multiple sclerosis. *Ann Neurol* 2017;82(4):635–9. DOI: 10.1002/ANA.25019
23. Teraguchi M., Yamada H., Yoshida M. et al. Contrast enrichment of spinal cord MR imaging using a ratio of T1-weighted and T2-weighted signals. *J Magn Reson Imaging* 2014;40(5):1199–207. DOI: 10.1002/jmri.24456
24. Buerki R.A., Horbinski C.M., Kruser T. et al. An overview of meningiomas. *Future Oncol* 2018;14(21):2161–77. DOI: 10.2217/FON-2018-0006

Вклад авторов

Е.А. Филимонова, А.А. Абдилатипов: разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста статьи;
 А.В. Калиновский: сбор и обработка материала, научное редактирование текста статьи;
 Е.К. Ужакова: сбор и обработка материала;
 Д.А. Рзаев: разработка концепции и дизайна исследования, научное редактирование текста статьи.

Authors' contributions

E.A. Filimonova, A.A. Abdilatipov: research idea and design, obtaining data for analysis, statistical analysis, article writing;
 A.V. Kalinovskiy: obtaining data for analysis, scientific editing of the article;
 E.K. Uzhakova: obtaining data for analysis;
 D.A. Rzaev: research idea and design, scientific editing of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

Е.А. Филимонова / E.A. Filimonova: <https://orcid.org/0000-0002-6696-9071>
 А.А. Абдилатипов / A.A. Abdilatipov: <https://orcid.org/0000-0001-5583-0050>
 А.В. Калиновский / A.V. Kalinovskiy: <https://orcid.org/0000-0001-7003-5549>
 Е.К. Ужакова / E.K. Uzhakova: <https://orcid.org/0000-0003-1684-4921>
 Д.А. Рзаев / D.A. Rzaev: <https://orcid.org/0000-0002-1209-8960>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики

Протокол исследования одобрен комитетом по биомедицинской этике ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России, г. Новосибирск (протокол № 8 от 05.11.2020).

Compliance with patient rights and principles of bioethics

The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of Federal Neurosurgical Center, Novosibirsk (protocol No. 8 from 05.11.2020).

Статья поступила: 14.06.2022. **Принята к публикации:** 24.10.2023.

Article received: 14.06.2022. **Accepted for publication:** 24.10.2023.