

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616.831-006:616-089.87

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-2-48-63>**ДОСТОВЕРНОСТЬ ДИФфуЗИОННО-ВЗВЕШЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ПЕРфуЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ДИФференЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ И УСЛОВНО-ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ИНТРАКРАНИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ: ОДНОЦЕНТРОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

<sup>1</sup>Р. С. Талыбов<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>Т. Н. Трофимова<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Р. И. Тамразов<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>И. В. Швецов<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>В. В. Мочалов<sup>✉</sup>,  
<sup>3</sup>В. В. Спасенников<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Р. И. Дубошинский<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Областная клиническая больница № 2, Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Институт мозга человека имени Н. П. Бехтерева Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Интракраниальные менингиомы — наиболее часто встречающиеся условно доброкачественные опухоли центральной нервной системы. На долю менингиом приходится до 36% среди всех опухолей головного мозга. Метастазы, являются высокозлокачественными поражениями головного мозга с неопределенной встречаемостью в структуре Всемирной организации здравоохранения. Считается, что до 30% взрослых больных раком той или иной локализации страдают от вторичного опухолевого поражения головного мозга. Абсолютное большинство менингиом имеет оболочечную локализацию, более 90% являются солитарными. Частота встречаемости внутрочерепных оболочечных метастазов составляет 8–9% случаев, при этом в 10% случаев головной мозг является единственной локализацией, а в 50% случаев метастазы являются солитарными. Обычно задача разграничения между менингиомой и дуральным метастазом не предполагает трудностей. Периодически встречается ситуация, когда дифференциальный диагноз между этими опухолями неоднозначен, поскольку менингиомы и дуральные солитарные метастазы (сМТС) могут иметь схожие характеристики: бесполостное солидное строение, ограничение диффузии молекул воды, наличие обширного перитуморального отека, идентичный паттерн контрастирования.

**ЦЕЛЬ:** Определить значимость мультипараметрического картирования (МР-перфузии и измеряемого коэффициента диффузии) в дифференциальной диагностике менингиомы и солитарного дурального метастаза.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В данное исследование вошло 100 пациентов с впервые выявленными опухолями ЦНС, впоследствии прошедших обследование в ГАУЗ ТО «МКМЦ Медицинский город» (Тюмень, Россия) с гистологической верификацией в период с 2017 по 2022 г. Средний возраст пациентов составил 54 года, медиана — 58 лет. В зависимости от гистологического заключения были выделены две группы пациентов: 1-я — 50 случаев с менингиомами, 2-я — 50 случаев с солитарным оболочечным метастатическим поражением. Исследование проводили на магнитно-резонансном томографе General Electric Signa Voyager 1.5T до и после контрастного усиления.

**Статистика.** Статистический анализ проводился с использованием IBM SPSS (версия 24.0). Пол, возраст, наличие дислокации срединных структур, костной инвазии и выраженности перифокального отека сравнивались для обеих групп пациентов с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона. Значения показателей ADC, CBV, rCBV, CBF, rCBF, MTT сравнивали для обеих групп пациентов с использованием U-критерия Манна–Уитни. Оптимальное пороговое значение, обеспечивающее чувствительность и специфичность, было определено с помощью анализа ROC-кривых. Для всех тестов был установлен уровень альфа  $p^* \leq 0,05$ ,  $p^{**} \leq 0,01$ ,  $p^{***} \leq 0,001$ .

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** В группе менингиом среднее значение ADC составило  $912,14 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с (СО  $\pm 102,7 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с). Медиана CBV — 19,25 мл/100 г (ДИ 18,08–28,96 мл/100 г), медиана повышения показателя rCBV составила 4,1 раза (ДИ 4,09–5,46). Медиана показателя CBF составила 155 мл/100 г/мин (ДИ 157,48–206,65 мл/100 г/мин), медиана повышения показателя rCBF — 3,85 раза (ДИ 3,98–5,28). Медиана MTT — 11 секунд (ДИ 10,18–11,29 секунд). В группе метастазов среднее значение ADC составило  $867,67 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с (СО  $\pm 138,6 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с). Медиана CBV — 39,85 мл/100 г (ДИ 36,50–46,83 мл/100 г), медиана повышения показателя rCBV — 7,15 раза (ДИ 6,64–7,80). Медиана

СВФ составила 293 мл/100 г/мин (ДИ 261,65–306,12 мл/100 г/мин), медиана повышения показателя гСВФ составила 6,7 раза (ДИ 5,97–6,93). Медиана МТТ — 10,85 секунд (ДИ 10,15–10,86 секунд).

Пороговое значение показателя СВВ составило 28,25 мл/100 г. Чувствительность и специфичность метода — 76,5% и 78% соответственно.

Пороговое значение показателя гСВВ равнялось 5,4. Чувствительность и специфичность метода — 74,5% и 82% соответственно.

Пороговое значение показателя СВФ составило 217,9 мл/100 г/мин. Чувствительность и специфичность метода — 80,4% и 86% соответственно.

Пороговое значение показателя гСВФ равнялось 5,6. Чувствительность и специфичность метода — 82,4% и 76% соответственно.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** По итогам исследования установлено, что применение мпрМРТ в дифференциальной диагностике менингиом и дуральных сМТС ограничено схожестью значений измеряемого коэффициента диффузии. Предположение, ранее выдвинутое в литературе, о наличии статистически значимых различий значений ADC, позволяющих дифференцировать опухоли, не подтвердилось. При анализе данных перфузии оказалось, что дуральные сМТС демонстрируют более высокие значения СВФ в сравнении с менингиомами ( $p < 0,001$ ). Выявлено пороговое значение показателя СВФ, составившее 217,9 мл/100 г/мин, при превышении которого возможно прогнозировать дуральный сМТС с чувствительностью и специфичностью методики 80 и 86%.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Диффузионно-взвешенные изображения не являются надежными критериями при дифференцировании менингиом и дуральных сМТС и не должны влиять на предполагаемый по визуализации диагноз. Методика оценки перфузии оболочечного поражения позволяет прогнозировать метастаз с чувствительностью и специфичностью, близкими к 80–90%, и заслуживает внимания при постановке диагноза. В перспективе для уменьшения количества ложноотрицательных и ложноположительных результатов, мпрМРТ требует внесения в протокол дополнительных критериев. Поскольку дуральные МТС отличаются от менингиом выраженностью неангиогенеза и, соответственно, большей проницаемостью сосудов, потенциально уточняющим критерием для разграничения дуральных поражений может оказаться методика оценки проницаемости сосудов (параметр wash-in при динамическом контрастном усилении).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нейровизуализация, мпрМРТ, МР-перфузия, измеряемый коэффициент диффузии, высокозлокачественные поражения, условно доброкачественные образования

\*Для корреспонденции: Талыбов Рустам Сабирович, e-mail: rustam230789@gmail.com

Для цитирования: Талыбов Р.С., Трофимова Т.Н., Тамразов Р.И., Швецов И.В., Мочалов В.В., Спасенников В.В., Дубошинский Р.И. Достоверность диффузионно-взвешенных изображений и перфузионных показателей в дифференциальной диагностике злокачественных и условно-доброкачественных интракраниальных образований: одноцентровое исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 2. С. 48–63, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-2-48-63>.

## RELIABILITY OF DIFFUSION-WEIGHTED IMAGING AND PERFUSION PARAMETERS IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF MALIGNANT AND CONSIDERED BENIGN INTRACRANIAL TUMORS: A SINGLE-CENTER STUDY

<sup>1</sup>Rustam S. Talybov<sup>\*</sup>, <sup>2</sup>Tatiana N. Trofimova<sup>1</sup>, <sup>3</sup>Rasim I. Tamrazov, <sup>1</sup>Ivan V. Shvetsov<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Vadim V. Mochalov<sup>1</sup>,  
<sup>3</sup>Vladislav V. Spasennikov<sup>1</sup>, <sup>3</sup>Roman I. Duboshinsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Regional Clinical Hospital № 2, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Institute of the Human Brain of the Russian Academy of St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

**INTRODUCTION:** Intracranial meningiomas are the most common considered benign tumors of the central nervous system with clinically aggressive behavior. Meningiomas account for up to 36% of all brain tumors. Metastases, are highly malignant brain lesions with an undetermined incidence of World Health Organization. It is believed that up to 30% of adult patients with cancer of one localization or another suffer from secondary tumors of the brain. The vast majority of meningiomas originate from the coverings of the brain, and more than 90% are solitary. Intracranial meningeal metastases occur in 8–9%, and in 10% the brain is the only secondary tumor site, and in 50% of cases metastases are solitary. Usually, the task of distinguishing between meningioma and a dural metastasis does not cause difficulties. In some cases differential diagnosis between these tumors is ambiguous, since meningiomas and dural solitary metastases (dMTS) may have similar characteristics: a cavityless solid appearance, restricted diffusion of water molecules, presence of extensive peritumoral edema, and an identical contrast enhancement pattern.

**OBJECTIVE:** To determine the significance of multiparametric mapping (MR-perfusion and apparent diffusion coefficient) for the differential diagnosis of meningioma and solitary dural metastasis.

**MATERIALS AND METHODS:** This study included 100 patients with newly diagnosed CNS tumors, who subsequently underwent examination at the Meditsinskii gorod (Tyumen, Russia) with histological verification in the period from 2017 to 2022. The mean age of the patients was 54 years, the median was 58 years. Depending on the histological data, 2 groups of patients were distinguished: 1–50 cases with meningiomas, 2–50 cases with solitary meningeal metastatic lesions. The examination was performed with a General Electric Signa Voyager 1.5T MRI machine before and after contrast enhancement.

**Statistics.** Statistical analysis was performed using IBM SPSS (version 24.0). Gender, age, presence of dislocation of midline structures, bone invasion, and severity of perifocal edema were compared for both groups of patients using Pearson's Chi-square test. ADC, CBV, rCBV, CBF, rCBF, MTT values were compared for both groups of patients using the Mann-Whitney U test. The optimal cut-off value for sensitivity and specificity was determined by analysis of ROC curves. For all tests, the alpha level was set to  $p^* \leq 0.05$ ,  $p^{**} \leq 0.01$ ,  $p^{***} \leq 0.001$ .

**RESULTS:** In the meningioma group, the mean ADC was  $912.14 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$  (SD:  $\pm 102.7 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ). Median CBV was 19.25 ml/100g (CI: 18.08–28.96 ml/100g), median increase in rCBV was 4.1-fold (SD: 4.09–5.46). Median CBF was 155 ml/100g/min (SD: 157.48–206.65 ml/100g/min), median increase in rCBF was 3.85-fold (SD: 3.98–5.28). Median MTT was 11 seconds (SD: 10.18–11.29 seconds). In the metastasis group, the mean ADC was  $867.67 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$  (SD:  $\pm 138.6 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ). Median CBV was 39.85 ml/100g (SD: 36.50–46.83 ml/100g), median increase in rCBV was 7.15-fold (SD: 6.64–7.80). Median CBF was 293 ml/100g/min (SD: 261.65–306.12 ml/100g/min), median increase in rCBF was 6.7-fold (SD: 5.97–6.93). Median MTT is 10.85 seconds (SD: 10.15–10.86 seconds).

The cut-off value for CBV was 28.25 ml/100g. The sensitivity and specificity of the method are 76.5% and 78%, respectively. The cut-off value for rCBV was 5.4. The sensitivity and specificity of the method are 74.5% and 82%, respectively.

The threshold value of the CBF was 217.9 ml/100g/min. The sensitivity and specificity of the method are 80.4% and 86%, respectively.

The cut-off value for rCBF was 5.6. The sensitivity and specificity of the method are 82.4% and 76%, respectively.

**DISCUSSION:** Based on the results of the study, it was found that the use of mpMRI in the differential diagnosis of meningiomas and dural SMTS is limited by the similarity of the apparent diffusion coefficient values. The assumption, previously put forward in the literature, about the presence of a statistically significant difference in ADC values that allow to differentiate these tumors, was not confirmed. When analyzing perfusion data, dural SMTS showed higher CBF values compared to meningiomas ( $p < 0.001$ ). A threshold value of the CBF was determined, which amounted to 217.9 ml/100 g/min, above which it is possible to predict dural SMTS with a sensitivity and specificity of 80 and 86%.

**CONCLUSION:** Diffusion-weighted images are not reliable criteria for differentiating meningiomas from dural SMTS and should not influence the diagnosis suggested by imaging. The meningeal lesion perfusion technique predicts metastasis with a sensitivity and specificity close to 80–90% and deserves attention in making a diagnosis. Since dural MTS differ from meningiomas in the severity of neoangiogenesis and, accordingly, in greater vascular permeability, the technique for assessing vascular permeability (the wash-in parameter with dynamic contrast enhancement) can potentially be a clarifying criterion for distinguishing between dural lesions.

**KEYWORDS:** Neuroimaging, mpMRI, MR perfusion, Diffusion coefficient measurement, Highly malignant lesions, Considered benign tumors

\*For correspondence: Rustam S. Talybov, e-mail: rustam230789@gmail.com

**For citation:** Talybov R.S., Trofimova T.N., Tamrazov R.I., Shvetsov A.A., Mochalov V.V., Spasennikov V.V., Duboshinsky R.I. Reliability of diffusion-weighted imaging and perfusion parameters in the differential diagnosis of malignant and considered benign intracranial tumors: a single-center study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 48–63, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-2-48-63>.

**Введение.** Менингиомы — это группа опухолей центральной нервной системы (ЦНС) менинготелиального происхождения, наиболее часто диагностируемая гистологически и составляющая до 36% всех опухолей головного мозга [1]. Пятое издание классификации опухолей ЦНС Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) выделяет 15 гистологических подтипов менингиом и 3 степени злокачественности, определяющих прогноз [2]. Большинство менингиом гистологически являются доброкачественными (WHO Grade 1 2021) [1]. Около 20–25% демонстрируют атипичические черты (WHO Grade 2 2021), а морфологические параметры 1–6% менингиом ассоции-

рованы с менее благоприятным клиническим исходом и соответствуют анапластическим (WHO Grade 3 2021) [3–5]. Система морфологической степени злокачественности отображает вероятность рецидива. Частота рецидива доброкачественных менингиом достигает четверти (7–25%), атипичических — чуть более половины (29–52%). Анапластические (или злокачественные) менингиомы рецидивируют с частотой в промежутке от 50 до 94% случаев [6].

Метаастазы ЦНС (МТС) — это группа опухолей с источником происхождения вне ЦНС и гематогенным путем распространения. Истинная встречаемость не определена и, вероятно, является недооцененной

[7]. Считается, что до 30% взрослых и 6–10% пациентов детского возраста больных раком страдают от вторичного опухолевого поражения головного мозга [8]. Опухоли и их молекулярные подтипы различаются по склонности к метастазированию в ЦНС: наиболее частым источником метастазов в головной мозг является рак легкого (особенно аденокарцинома), далее — рак молочной железы, меланома, почечно-клеточная карцинома и колоректальный рак [9]. Значимыми прогностическими факторами для пациентов с интракраниальными МТС являются возраст, индекс Karnofsky, количество МТС и выраженность экстракраниального поражения [10].

Абсолютное большинство менингиом имеет оболочечную локализацию. Изредка менингиомы могут быть внутрижелудочковыми, эпидуральными или даже встречаться вне ЦНС. Более 90% менингиом — солитарные [11]. Оболочечная локализация внутричерепных МТС встречается в 8–9% случаев [12]. Около половины метастазов обозначаются как единичные (локализованные только в ЦНС), еще меньшее количество — как солитарные (один МТС во всем теле) [13].

Обычно уверенно предположить диагноз «менингиома» даже при рутинной магнитно-резонансной томографии (МРТ) просто. В большинстве случаев задача отличить сМТС от других опухолей также не представляет трудностей. Оба диагноза не являются редкими для пациентов взрослой группы и, как правило, каждый рентгенолог хорошо знаком с типичными признаками на МР-изображениях. Несмотря на это, в практике опытного врача периодически встречается ситуация, когда дифференциальный диагноз между этими опухолями неоднозначен, потому что менингиомы и дуральные сМТС могут иметь схожие визуализационные характеристики: бесполое солидное строение, ограничение диффузии молекул воды, наличие обширного перитуморального отека. Разнообразие источников метастазов обуславливает вариабельность клеточного состава и радиологических проявлений опухоли, поэтому отсутствие признаков, характерных для менингиомы (кальцинаты, «спицевое колесо», энстотический шип и дуральный «хвост») или метастаза (полость некроза, кровоизлияния и крупные сосуды), не позволяет надежно исключить тот или иной вариант.

Поскольку на этапе дифференциальной диагностики врач-рентгенолог не всегда может располагать исчерпывающими данными об анамнезе заболевания (более того, в 10% случаев у пациентов с МТС в головной мозг первичная опухоль не выявлена на момент манифестации) [9] и/или результатами предыдущих исследований, в настоящей работе мы ставим цель попытаться выявить надежные критерии для разграничения менингиом и дуральных сМТС со схожими радиологическими проявлениями с помощью мпМРТ.

**Цель.** Определить, имеют ли значимость данные нерутинных последовательностей (МР-перфузии

и измеряемого коэффициента диффузии) в дифференциальной диагностике между менингиомами и дуральными сМТС.

**Материалы и методы.** Проспективное исследование было одобрено локальным этическим комитетом ГАУЗ ТО «МКМЦ Медицинский город» (Тюмень, Россия), протокол № 01/-10-2022 от 01.10.2022 г. От всех пациентов получено информированное добровольное согласие на проведение диагностических манипуляций в письменном виде. Общее количество пациентов составило 100 человек (50 пациентов с менингиомами и 50 пациентов с дуральными сМТС). Возраст пациентов колебался в промежутке от 32 до 82 лет, средний возраст составил 54 года, медиана — 58 лет. Среди пациентов с диагнозом «менингиома», самый частый гистологический подтип — менинготелиальная менингиома, Grade 1 — 50% (n=25). Второй по встречаемости подтип — смешанная менингиома, Grade 1 — 24% (n=12). У 20% (n=10) пациентов диагностирована атипичная форма, Grade 2. В 4% (n=2) и 2% (n=1) случаев выявлены псаммоматозная и секреторная формы менингиом соответственно, Grade 2. Гендерное распределение пациентов с менингиомами составило 76,5% (n=38) женского пола и 23,5% (n=12) мужского.

Группа пациентов с оболочечными сМТС из первичных очагов различной локализации составила 50 пациентов. Метастазы с первичным очагом из молочной железы диагностированы у 38% (n=19) пациентов, из легких — у 34% (n=17), из почек — в 12% (n=6) случаев, из простаты — в 10% (n=5), остальные сМТС — в 6% (n=3) случаев из яичников и толстого кишечника. Половая принадлежность пациентов с диагнозом дуральный сМТС: 58,0% (n=29) женского пола, 42,0% (n=21) мужского пола.

МРТ выполнена на томографе General Electric Signa Voyager 1.5T с 8-канальной головной катушкой. В качестве контрастного вещества был использован парамагнетик «Кларискан» с расчетом дозы 0,2 мл/кг (0,1 ммоль/кг). Внутривенное введение контрастного препарата осуществлялось в два этапа: первичная доза 0,1 ммоль/кг и дополнительная доза 0,2 ммоль/кг. Контрастный агент вводили в локтевую вену с помощью автоматического инъектора со скоростью введения 5 мл/с. Протокол МР-исследования включал следующие импульсные последовательности: T1 GRE «BRAVO», T1 SE CUBE, T2 SE, SWAN, DWI с построением карт ADC, PWI-DSC-T2\* (dynamic susceptibility contrast DSC-T2\*).

Постобработка изображений проводилась на графических станциях GE Advantage Window 4.5. Показатели кровотока оценивали по трем картам перфузии: CBF — мл/100 г/мин; CBV — мл/100 г; MTT — секунды. Для нормализации параметров кровотока использовали область интереса (ROI) в интактном белом веществе полуовальных центров. Нормализованные параметры кровотока рассчитывали как отношение значений параметров в интересующей зоне к интактному

веществу головного мозга —  $rCBF$ ,  $rCBV$ . Принимая во внимание схожие визуализационные характеристики менингиом с метастатическими поражениями, провели подробный сравнительный анализ всех опухолей с использованием как рутинных, так и специализированных МРТ-последовательностей:  $PWI$ ,  $DWI$ ,  $ADC$ ,  $SWAN$ .

Верификацию полученных данных проводили с помощью гистологических и иммуногистохимических методов исследования. Иммуногистохимический анализ включал рутинное окрашивание: гематоксилин Карацци и спиртовой раствор эозина. Спектр использовавшихся иммуногистохимических (ИГХ) маркеров: Anti-EMA (E29), Ki-67 (SP6), Cytokeratin Cocktail (AE1&AE3), Anti-Vimentin (v9). Подсчет клеток производился в программе Aperio ImageScope — Pathology Slide Viewing Software при помощи анализирующего модуля ядерной, цитоплазматической и мембранной окраски — Aperio Image Analysis Workstation.

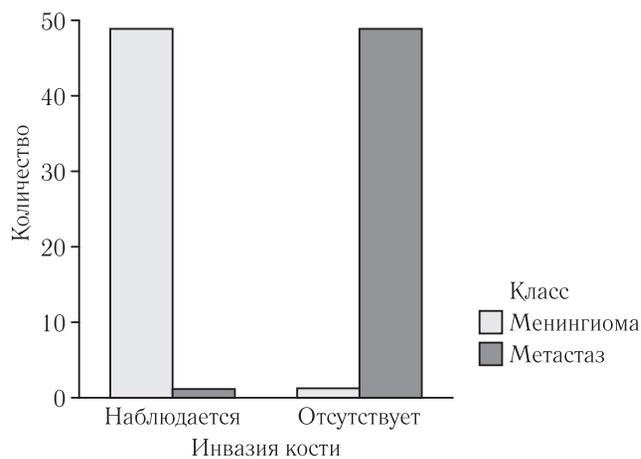
Статистическая обработка полученных результатов выполнялась с использованием методов описательной статистики и корреляционного анализа. Пол, возраст, наличие дислокации срединных структур, костной инвазии и выраженности перифокального отека сравнивались для обеих групп пациентов с использованием критерия  $\chi^2$  Пирсона. Значения показателей  $ADC$ ,  $CBV$ ,  $rCBV$ ,  $CBF$ ,  $rCBF$ ,  $MTT$  сравнивали для обеих групп пациентов с использованием  $U$ -критерия Манна–Уитни. Оптимальное пороговое значение, которое может обеспечить чувствительность и специфичность, необходимые для дифференциации менингиомы от метастазов в твердой мозговой оболочке, было определено с помощью анализа ROC-кривых. Площадь под значениями ROC-кривой ( $AUC$ ) рассчитывали для значений  $CBV$ ,  $rCBV$ ,  $CBF$ ,  $rCBF$ . Статистический анализ проводился с использованием IBM SPSS (версия 24.0). Для всех тестов был установлен уровень альфа  $p^* \leq 0,05$ ,  $p^{**} \leq 0,01$ ,  $p^{***} \leq 0,001$ .

**Результаты.** В ходе работы выполнен анализ данных мпрМРТ 100 пациентов с последующим выделением двух групп на основе гистологического диагноза: 1-я группа — 50 случаев с менингиомами, 2-я группа — 50 случаев с дуральными сМТС.

В группе менингиом костная инвазия наблюдалась в 98% случаев ( $n=49$ ). Наши данные указывают, что оболочечные сМТС поражают кость реже ( $p < 0,001$ ), чем менингиомы: костная инвазия метастазом наблюдалась лишь в 2% ( $n=1$ ) случаев (рис. 1).

Дислокация срединных структур головного мозга у пациентов с менингиомами наблюдалась в 12% случаев ( $n=6$ ), у пациентов с дуральными сМТС — в 22% случаев ( $n=11$ ). Достоверных различий в отношении дислокации между группами пациентов выявлено не было ( $p=0,169$ ).

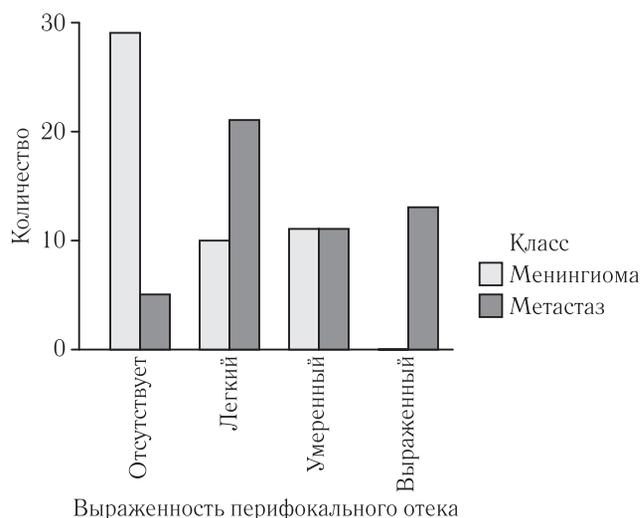
В 60% случаев ( $n=30$ ) перифокальный отек в 1-й группе отсутствовал, в 40% случаев перифокальный отек был выявлен: 20% ( $n=10$ ) — легкой выражен-



**Рис. 1.** Частота костной инвазии среди пациентов с менингиомами и солитарными оболочечными метастазами. Показана большая частота инвазии кости в случаях с менингиомами, чем в случаях с дуральными сМТС ( $p < 0,001$ )

**Fig. 1.** The incidence of bone invasion in patients with meningiomas and solitary meningeal metastases. The prevalence of bone invasion was shown in cases of meningiomas compared to cases of dural SMTS ( $p < 0,001$ )

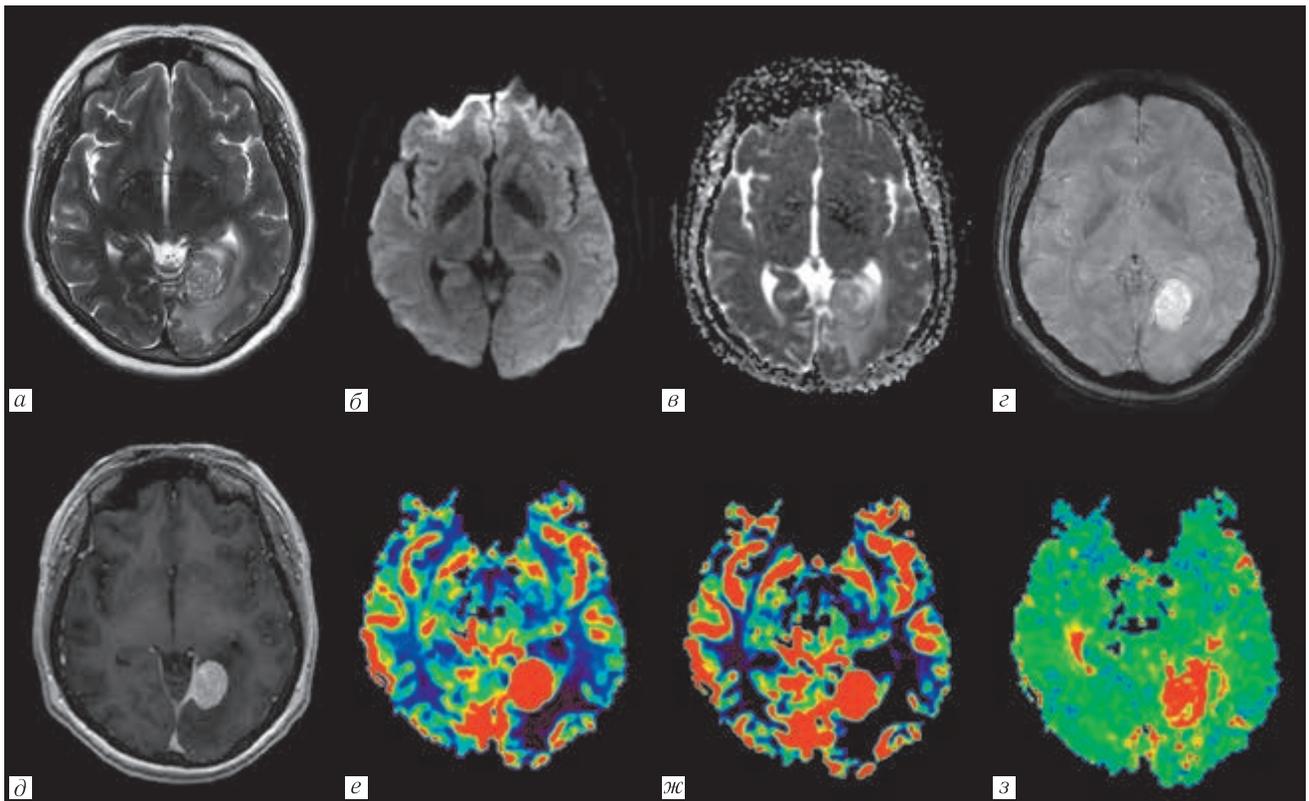
ности, 20% ( $n=10$ ) — умеренной выраженности. Перифокальный отек в группе пациентов с дуральными сМТС встречался достоверно чаще ( $p < 0,001$ ): у 48% пациентов ( $n=24$ ) наблюдался умеренный и выраженный, у 42% ( $n=21$ ) — легкий, а у 10% ( $n=5$ ) отсутствовал (рис. 2).



**Рис. 2.** Выраженность перифокального отека среди пациентов с менингиомами и солитарными оболочечными метастазами. Показана большая выраженность перифокального отека у пациентов с метастазами, чем в случаях с менингиомами ( $p < 0,001$ )

**Fig. 2.** The severity of perifocal edema in patients with meningiomas and solitary meningeal metastases. A greater severity of perifocal edema was shown in patients with metastases than in cases of meningioma ( $p < 0,001$ )

Примеры мпрМРТ пациентов с менингиомами и пациентов с оболочечными сМТС показаны на рис. 3–6.



**Рис. 3.** МРТ головного мозга пациента с менингиоэпителиальной менингиомой, WHO Grade 1: *a* — T2-ВИ; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — T1-ВИ с контрастированием; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — МТТ. В затылочной области левого полушария на фоне умеренного вазогенного отека визуализируется четко ограниченная экстрамозговая масса, характеризующаяся гипоинтенсивным сигналом на T2-ВИ, интенсивным и гомогенным накоплением контрастного вещества, рестрикцией диффузии с соответствующими участками повышения значений объемного и скоростного мозгового кровотока, а также увеличением времени транзита крови. ИП SWAN указывает на наличие кортикальных дренирующих вен в структуре образования

**Fig. 3.** Brain MRI of a patient with meningothelial meningioma, WHO Grade 1: *a* — T2-WI; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — contrast-enhanced T1-WI; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — МТТ. A well-margined extraaxial mass is seen in the occipital region of the left hemisphere, with a background of moderate vasogenic edema, the lesion has a hypointense signal on T2-WI, intense and homogeneous accumulation of a contrast agent, diffusion restriction with corresponding areas of increased values of cerebral blood flow volume and velocity, as well as increased blood transit time. SWAN imaging sequence indicates the presence of cortical draining veins in the lesion

В группе менингиом среднее значение ADC составило  $912,14 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с (СО  $\pm 102,7 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с). Медиана CBV — 19,25 мл/100 г (ДИ 18,08–28,96 мл/100 г), медиана повышения показателя гCBV составила 4,1 раза (ДИ 4,09–5,46). Медиана показателя CBF составила 155 мл/100 г/мин (ДИ 157,48–206,65 мл/100 г/мин), медиана повышения показателя гCBF — 3,85 раза (ДИ 3,98–5,28). Медиана МТТ — 11 секунд (ДИ 10,18–11,29 секунд).

В группе метастазов среднее значение ADC составило  $867,67 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с (СО  $\pm 138,6 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с). Медиана CBV — 39,85 мл/100 г (ДИ 36,50–46,83 мл/100 г), медиана повышения показателя гCBV — 7,15 раза (ДИ 6,64–7,80). Медиана CBF составила 293 мл/100 г/мин (ДИ 261,65–306,12 мл/100 г/мин), медиана повышения показателя гCBF составила 6,7 раза (ДИ 5,97–6,93). Медиана МТТ — 10,85 секунды (ДИ 10,15–10,86 секунды).

По результатам сравнительного анализа были выявлены статистически значимые различия значе-

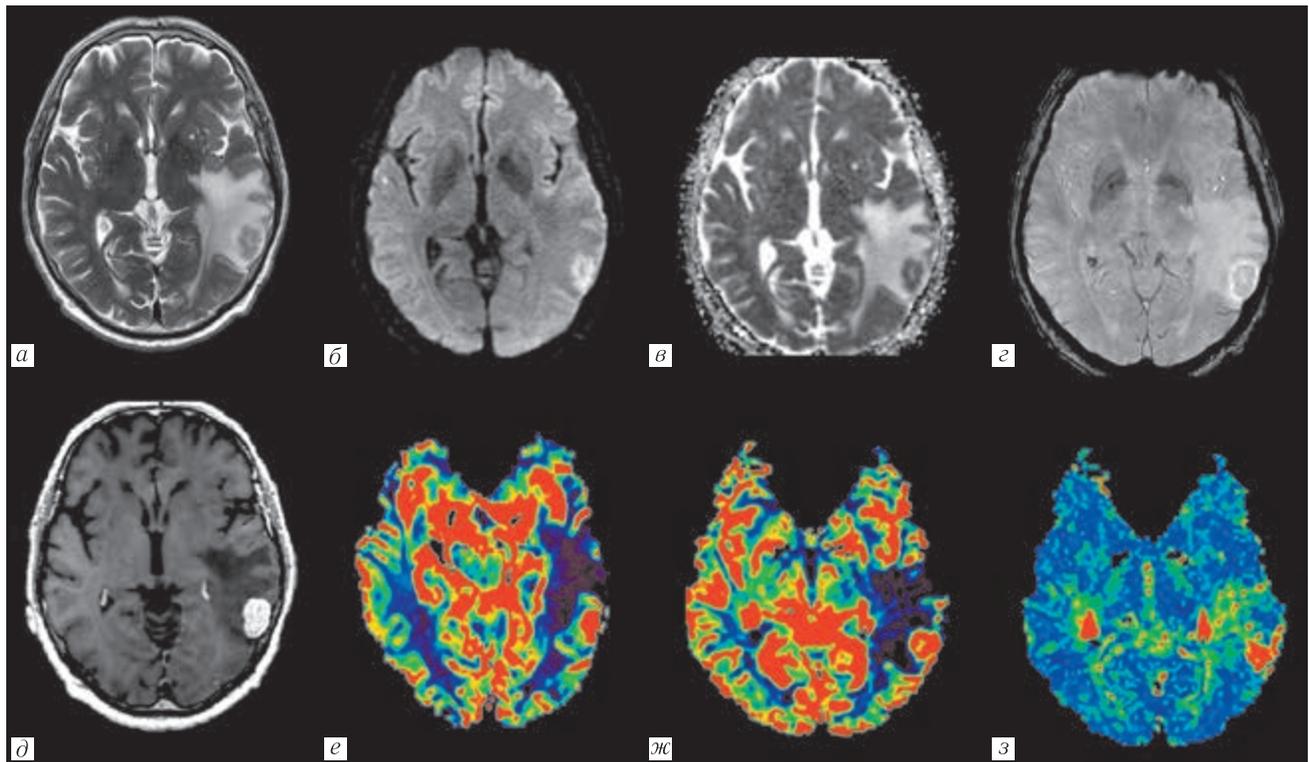
ний показателей CBV, гCBV, CBF и гCBF. В группе метастазов показатели перфузии были достоверно выше ( $p < 0,001$ ).

По данным ADC и МТТ различий выявлено не было ( $p = 0,071$  и  $p = 0,127$  соответственно). Результаты сравнения приведены в таблице и на рис. 7–10.

Определение пороговых значений перфузии (для показателей с достоверными различиями — CBV, гCBV, CBF, гCBF) для дифференцирования менингиом и метастазов в оболочки головного мозга проводилось путем построения ROC-кривых и поиска значений с наилучшими показателями чувствительности и специфичности (рис. 11–14).

Пороговое значение показателя CBV составило 28,25 мл/100 г. Чувствительность и специфичность метода — 76,5% и 78% соответственно.

Пороговое значение показателя гCBV равнялось 5,4. Чувствительность и специфичность метода — 74,5% и 82% соответственно.



**Рис. 4.** МРТ головного мозга с солитарным дуральным метастазом аденокарциномы легкого: *а* — T2-ВИ; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — T1-ВИ с контрастированием; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — MTT. В левой височной области определяется экстрамозговое образование окруженное выраженной зоной перифокального отека, гомогенно копирующее контраст всем объемом, с ограничением диффузии по данным DWI и ADC, с отсутствием артефактов магнитной восприимчивости. На перфузионных картах отмечаются высокие значения показателей rCBV и rCBF и удлинением показателя MTT

**Fig. 4.** Brain MRI in a case of solitary dural metastasis of lung adenocarcinoma: *a* — T2-WI; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — contrast-enhanced T1-WI; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — MTT. There is an extraaxial mass in the left temporal region, surrounded by a pronounced area of perifocal edema, homogeneously accumulating contrast throughout the entire mass, with restricted diffusion according to DWI and ADC, with no susceptibility artifacts. Perfusion maps show high values of rCBV and rCBF and an increase in MTT

Таблица

Средние показатели измеряемого коэффициента диффузии (ADC), среднего времени прохождения крови (MTT), усредненные абсолютные (BF, BV) и нормированные (BFн, BVн) числовые показатели параметров кровотока в опухолях в зависимости от гистологической принадлежности

Table

Average values of apparent diffusion coefficient (ADC), mean blood transit time (MTT), averaged absolute (BF, BV) and normalized (BFн, BVн) numerical parameters of blood flow in tumors depending on histological type

Показатель	Менингиомы	Метастазы	p-lvl
ADC, $\times 10^{-6}$ мм <sup>2</sup> /с	912,14 (СО $\pm$ 102,7)	867,67 (СО $\pm$ 138,6)	=0,071
BV, мл/100 г	19,25 (ДИ 18,08–28,96)	39,85 (ДИ 36,50–46,83)	<0,001
BVн	4,1 (ДИ 4,09–5,46)	7,15 (ДИ 6,64–7,80)	<0,001
BF, мл/100 г/мин	155,0 (ДИ 157,48–206,65)	293,0 (ДИ 261,65–306,12)	<0,001
BFн	3,85 (ДИ 3,98–5,28)	6,7 (ДИ 5,97–6,93)	<0,001
MTT, с	11,0 (ДИ 10,18–11,29)	10,85 (ДИ 10,15–10,86)	=0,127

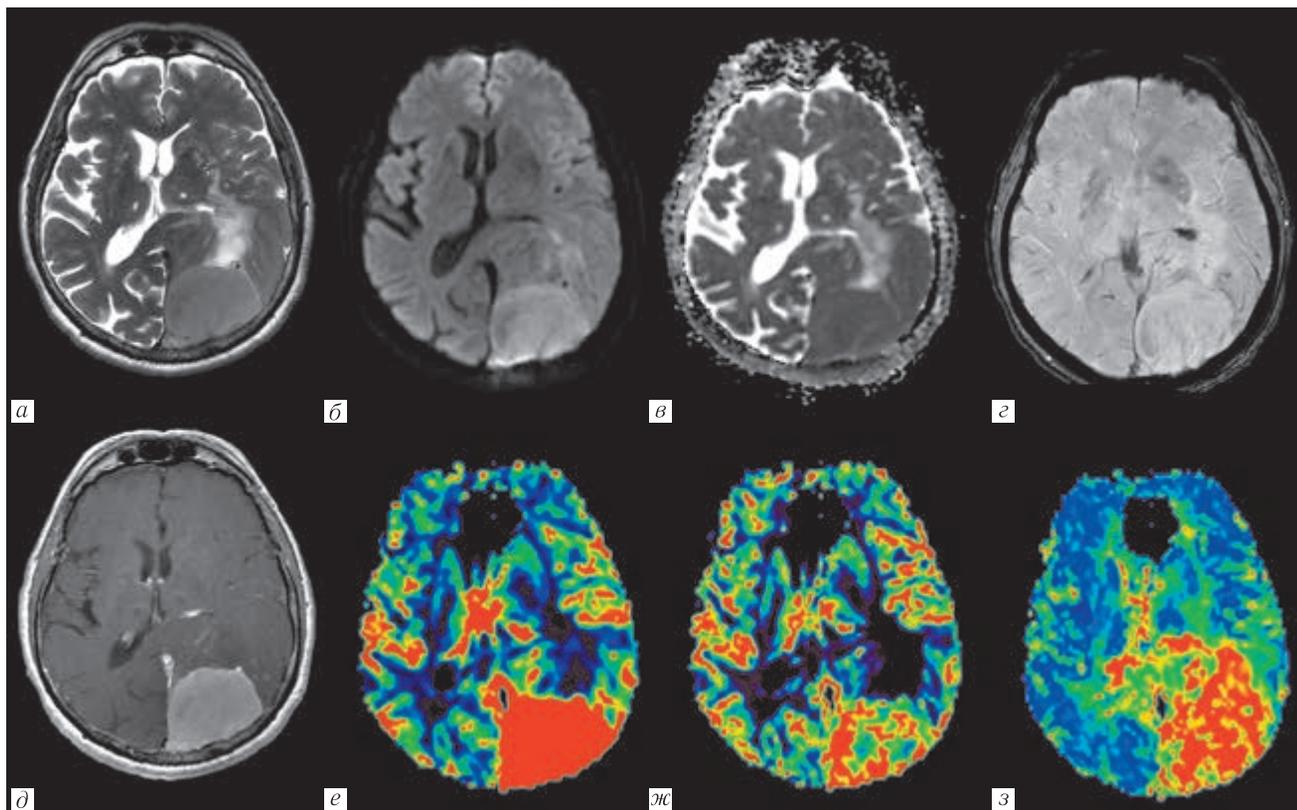
Пороговое значение показателя CBF составило 217,9 мл/100 г/мин. Чувствительность и специфичность метода — 80,4% и 86% соответственно.

Пороговое значение показателя rCBF равнялось 5,6. Чувствительность и специфичность метода — 82,4% и 76% соответственно.

При указанных пороговых значениях всех перечисленных показателей перфузии, равных пороговому или меньше него, стоит прогнозировать менингиому.

Примеры гистологических и иммуногистохимических методов исследования пациентов с атипичной менингиомой Grade 2 (WHO 2021) и пациента с оболочечным сМТС аденокарциномы сигмовидной кишки показаны на рис. 15 и 16.

**Обсуждение.** Самая распространенная опухоль оболочек — менингиома, регулярно диагностируется на МРТ в качестве случайной находки. Большинство менингиом гистологически и биологически



**Рис. 5.** МРТ головного мозга пациента с атипичной менингиомой, WHO Grade 2: *a* — T2-ВИ; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — T1-ВИ с контрастированием; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — МТТ. В затылочной области левого полушария на фоне перифокального отека визуализируется крупная экстрамозговая опухоль с интенсивным и однородным накоплением парамагнетика, ограничением диффузии и повышением показателей объемного и скоростного мозгового кровотока, удлинением времени транзита крови. ИП SWAN демонстрирует наличие периферических дренирующих вен вокруг образования

**Fig. 5.** Brain MRI of a patient with atypical meningioma, WHO Grade 2: *a* — T2-WI; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — contrast-enhanced T1-WI; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — MTT. There is a large extraaxial mass in the occipital region of the left hemisphere, with a background of perifocal edema, demonstrating intense and homogeneous enhancement, diffusion restriction and an increase in of cerebral blood flow volume and velocity, and prolongation of blood transit time. The SWAN sequence demonstrates the presence of peripheral draining veins around the mass

доброкачественные, характеризуются неагрессивным, очень медленным ростом, низким риском рецидива (WHO Grade 1). Небольшие менингиомы клинически бессимптомны. Крупные опухоли и опухоли с перифокальным отеком оказывают масс-эффект, проявляются разнообразием симптомов, наиболее часто головными болями, парезами.

Данные наиболее крупного, одноцентрового исследования, включившего в анализ 1000 случаев с 2004 по 2010 г., показали, что 2% резецированных дуральных образований, первоначально расцененных радиологически и интраоперационно как менингиомы, оказались мимикрирующими патологиями, среди которых наибольшее количество составили МТС [14].

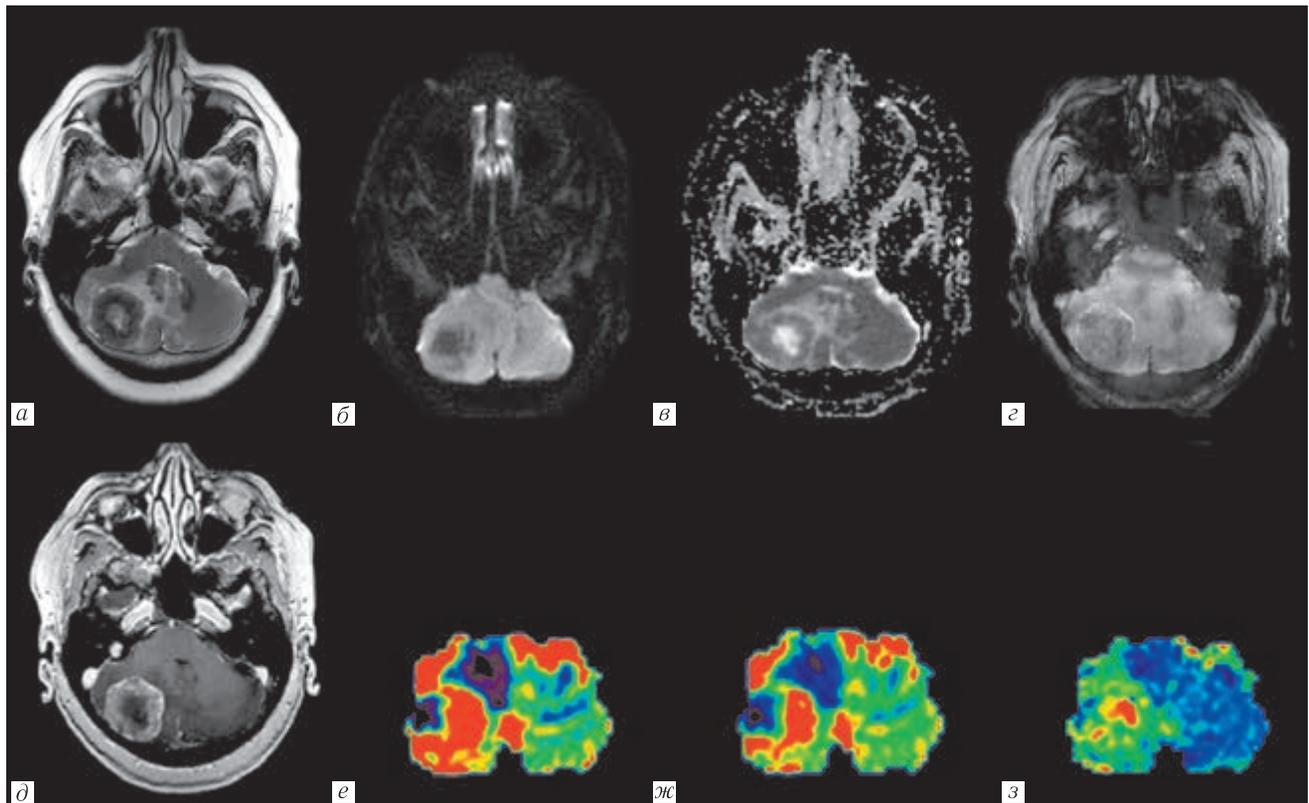
Точную встречаемость дуральных МТС сложно оценить. Карциноматозная инфильтрация ТМО выявляется у пациентов с первичным экстракраниальным ЗНО в 8–9% случаев и обычно в качестве поздней манифестации [12]. Около 20% дуральных МТС не вызывает симптомов. В остальных случаях наиболее часто встречаемые клиниче-

ские проявления — это симптомы повышенного внутричерепного давления, неврологический дефицит, судорожные припадки [12].

Как правило, дифференциальная диагностика менингиомы и метастазов рака в ЦНС не вызывает трудностей у нейроморфолога. В редких случаях на первичном этапе микроскопического исследования гистологических стеклопрепаратов, окрашенных гематоксилином и эозином, четкая картина может складываться не сразу (рис. 17, 18).

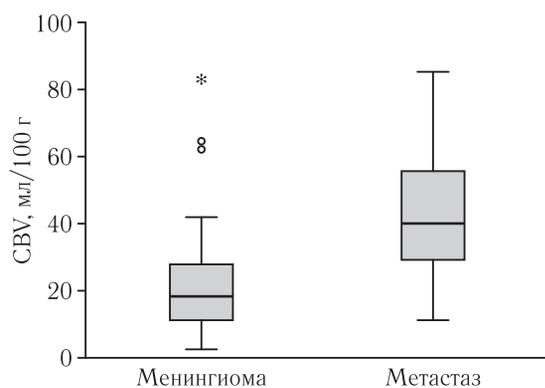
В процессе малигнизации менингиома может приобретать «карциномаподобные» либо «меланомаподобные» черты как на уровне клеточной морфологии, так по структуре и строению в целом [14].

В зависимости от степени злокачественности может наблюдаться различная выраженность ядерного полиморфизма и митотической активности, утрата типичных для менингиом микроконцентрических и вихревых структур, псаммомных телец либо формирование псевдопапиллярной архитектуры, а клетки могут приобретать рабдоидную и светлоклеточную морфологию. В таких случаях патолог



**Рис. 6.** МРТ головного мозга пациента с солитарным дуральным метастазом карциномы сигмовидной кишки: *а* — T2-ВИ; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — T1-ВИ с контрастированием; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — MTT. В области правой гемисферы мозжечка визуализируется экстрааксовое образование с гетерогенным контрастированием, рестрикцией диффузии, окруженное выраженной зоной отека. ИП SWAN указывает на наличие точечных артефактов магнитной восприимчивости за счет кровоизлияний и интратуморальных сосудистых шунтов. По результатам МР-перфузии определяются высокие значения rCBV и rCBF в структуре опухоли. Показатель MTT удлиннен

**Fig. 6.** Brain MRI of a patient with solitary dural metastasis of sigmoid carcinoma: *a* — T2-WI; *б, в* — DWI, ADC; *г* — SWAN; *д* — contrast-enhancement T1-WI; *е* — CBV; *ж* — CBF; *з* — MTT. There is an extraaxial mass in the right hemisphere of the cerebellum, with heterogeneous contrast enhancement, diffusion restriction, surrounded by a pronounced area of edema. SWAN sequence indicates the presence of punctate susceptibility artifacts due to hemorrhages and intratumoral vascular shunts. MR perfusion demonstrated high values of rCBV and rCBF in the tumor. The MTT value is increased



**Рис. 7.** Графики объема церебрального кровотока для менингиом и метастазов в оболочке головного мозга. Медиана CBV была значительно выше при метастазах, чем при менингиомах ( $p < 0,001$ ). По оси Y отложены значения объема церебрального кровотока в мл/100 г

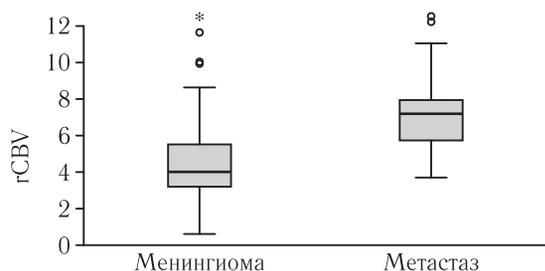
**Fig. 7.** Graphs of cerebral blood flow volume for meningiomas and meningeal metastases. The median CBV was significantly higher for metastases compared to meningiomas ( $p < 0.001$ ). The Y-axis plots the values of cerebral blood flow volume in ml/100g

использует метод иммуногистохимического исследования для определения гистогенеза опухоли. При клинической необходимости проводятся молекулярно-генетические методы исследования.

В своем большинстве менингиомы экспрессируют такие маркеры, как Somatostatin receptor 2a (SSTR2a), EMA, Vimentin, Progesteron receptor. Ядерная экспрессия последнего снижается при повышении степени злокачественности опухоли [15]. До 33% менингиом экспрессируют S100 протеин [16].

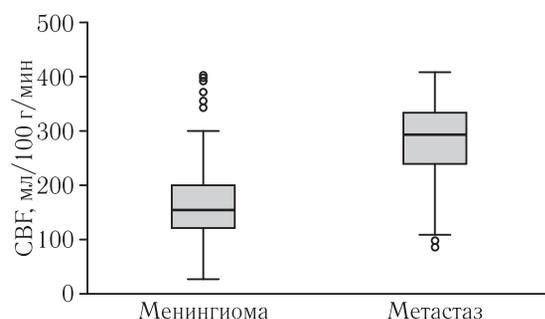
Иммунный фенотип метастазов значительно различается в зависимости от типа первичной опухоли. Поскольку некоторые из вышеперечисленных маркеров могут быть позитивны и в метастазах, для проведения дифференциальной диагностики, определения первичного очага обычно требуется комбинация цитокератинов, особенно, pankeratin cocktail (AE1/AE3), который негативен в менингиомах в 94% [16].

С радиологической точки зрения, типичная менингиома и типичный метастаз — две существенно отличающиеся друг от друга опухоли при рутинной МРТ.



**Рис. 8.** Графики нормализованного объема церебрального кровотока для менингиом и метастазов в оболочки головного мозга. Медиана повышения значений показателя rCBV была значительно выше при метастазах, чем при менингиомах ( $p < 0,001$ ). По оси Y отложено отношение объема церебрального кровотока в ROI к нормальному белому веществу полуовального центра, представляющее нормализованный объем церебрального кровотока

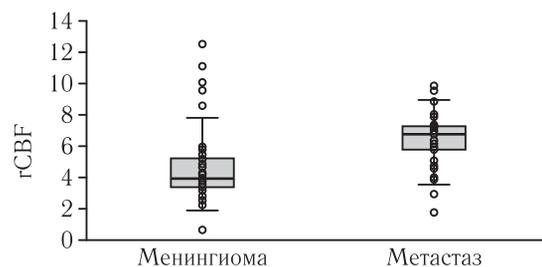
**Fig. 8.** Graphs of the normalized cerebral blood flow volume for meningiomas and meningeal metastases. The median increase in rCBV was significantly higher for metastases than for meningiomas ( $p < 0.001$ ). The y-axis represents the ratio of cerebral blood flow volume in the ROI to the normal white matter of the semioval center, representing the normalized cerebral blood flow volume



**Рис. 9.** Графики скорости церебрального кровотока для менингиом и метастазов в оболочки головного мозга. Медиана CBF была значительно выше при метастазах, чем при менингиомах ( $p < 0,001$ ). По оси Y отложены значения скорости церебрального кровотока в мл/100 г/мин

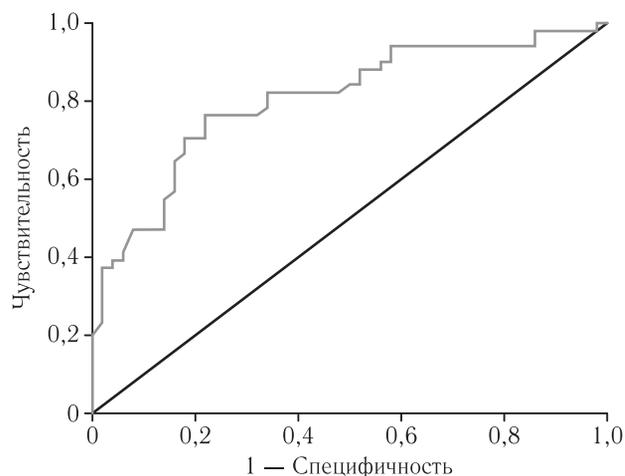
**Fig. 9.** Graphs of cerebral blood flow velocity for meningiomas and meningeal metastases. Median CBF was significantly higher for metastases than for meningiomas ( $p < 0.001$ ). The Y-axis plots the values of cerebral blood flow velocity in ml/100g/min

Доброкачественные менингиомы имеют близкую к сферической (globoid) или бляшкообразную, стелющуюся вдоль ТМО (en plaque) конфигурацию. Часто менингиомы очерчены от мозговой паренхимы ликворной щелью, иногда содержащей поддавленные внемозговые сосуды (CSF-vascular cleft). Характерным для менингиом является наличие почти всегда выраженного и гомогенного контрастного усиления, сопровождающегося непатогномичным реактивным утолщением ТМО в виде «дурального хвоста» (dural tail), видимого в 60–



**Рис. 10.** Графики нормализованной скорости церебрального кровотока для менингиом и метастазов в оболочки головного мозга. Медиана rCBF была значительно выше при метастазах, чем при менингиомах ( $p < 0,001$ ). По оси Y отложено отношение скорости церебрального кровотока в ROI к нормальному белому веществу полуовального центра, представляющее нормализованную скорость церебрального кровотока

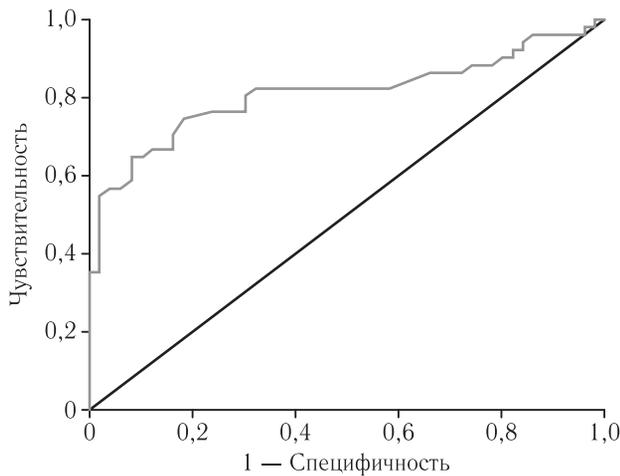
**Fig. 10.** Graphs of normalized cerebral blood flow velocity for meningiomas and meningeal metastases. The median rCBF was significantly higher for metastases than for meningiomas ( $p < 0.001$ ). The y-axis represents the ratio of cerebral blood flow velocity in the ROI to the normal white matter of the semioval center, representing the normalized cerebral blood flow velocity



**Рис. 11.** Площадь под ROC-кривой (AUC), соответствующей CBV для дифференциации менингиом и метастазов, составила  $0,805 \pm 0,44$  с 95% ДИ  $0,719 - 0,890$  ( $p < 0,001$ ). Пороговое значение CBV равно 28,25 мл/100 г. При значениях CBV равных или меньших пороговому — прогнозируется наличие менингиомы у пациента. Чувствительность и специфичность метода — 76,5% и 78% соответственно

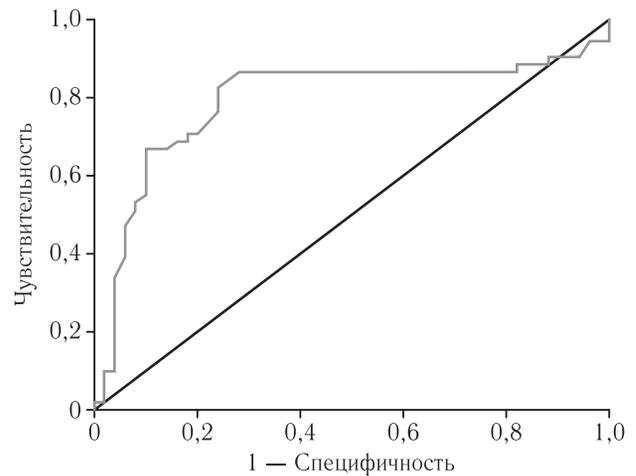
**Fig. 11.** The area under the ROC curve (AUC) representing CBV for differentiation of meningiomas and metastases was  $0.805 \pm 0.44$  with 95% CI:  $0.719 - 0.890$  ( $p < 0.001$ ). The threshold value for CBV is 28.25 ml/100g. If the CBV values are equal to or less than the threshold, the patient is predicted to have a meningioma. Sensitivity and specificity of the method are 76.5% and 78%, respectively

72% случаев [17]. Около четверти менингиом содержат кальцинаты, наличие которых ассоциировано с медленным темпом роста и низкой степенью



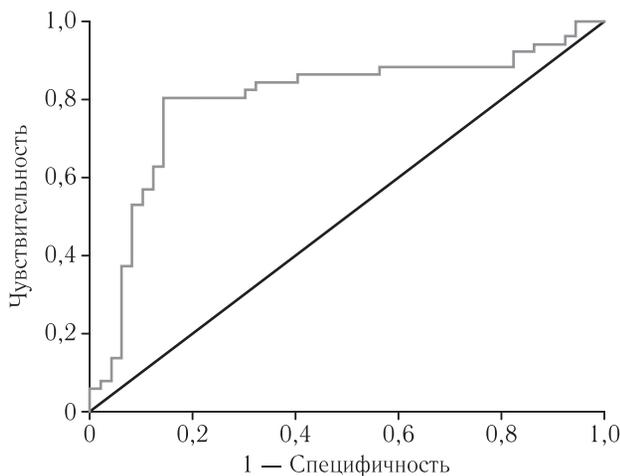
**Рис. 12.** Площадь под ROC-кривой (AUC), соответствующей rCBV для дифференциации менингиом и метастазов, составила  $0,811 \pm 0,46$  с 95% ДИ 0,722–0,900 ( $p < 0,001$ ). Пороговое значение rCBV равно 5,4. При значениях rCBV равных или меньших пороговому — прогнозируется наличие менингиомы у пациента. Чувствительность и специфичность метода — 74,5% и 82% соответственно

**Fig. 12.** The area under the ROC curve (AUC) representing rCBV for differentiation of meningiomas and metastases was  $0.811 \pm 0.46$  with a 95% CI: 0.722–0.900 ( $p < 0.001$ ). The threshold value of rCBV is 5.4. If rCBV values are equal to or less than the threshold value, the presence of meningioma was predicted. Sensitivity and specificity of the method — 74.5% and 82%, respectively



**Рис. 14.** Площадь под ROC-кривой (AUC), соответствующей rCBF для дифференциации менингиом и метастазов, составила  $0,79 \pm 0,5$  с 95% ДИ 0,692–0,888 ( $p < 0,001$ ). Пороговое значение rCBF равно 5,6. При значениях rCBF равных или меньших пороговому — прогнозируется наличие менингиомы у пациента. Чувствительность и специфичность метода — 82,4% и 76% соответственно

**Fig. 14.** The area under the ROC curve (AUC) representing rCBF for differentiating meningiomas from metastases was  $0.79 \pm 0.5$  with 95% CI: 0.692–0.888 ( $p < 0.001$ ). The threshold value of rCBF is 5.6. If rCBF values are equal to or less than the threshold value, the presence of meningioma is predicted. Sensitivity and specificity of the method — 82.4% and 76%, respectively



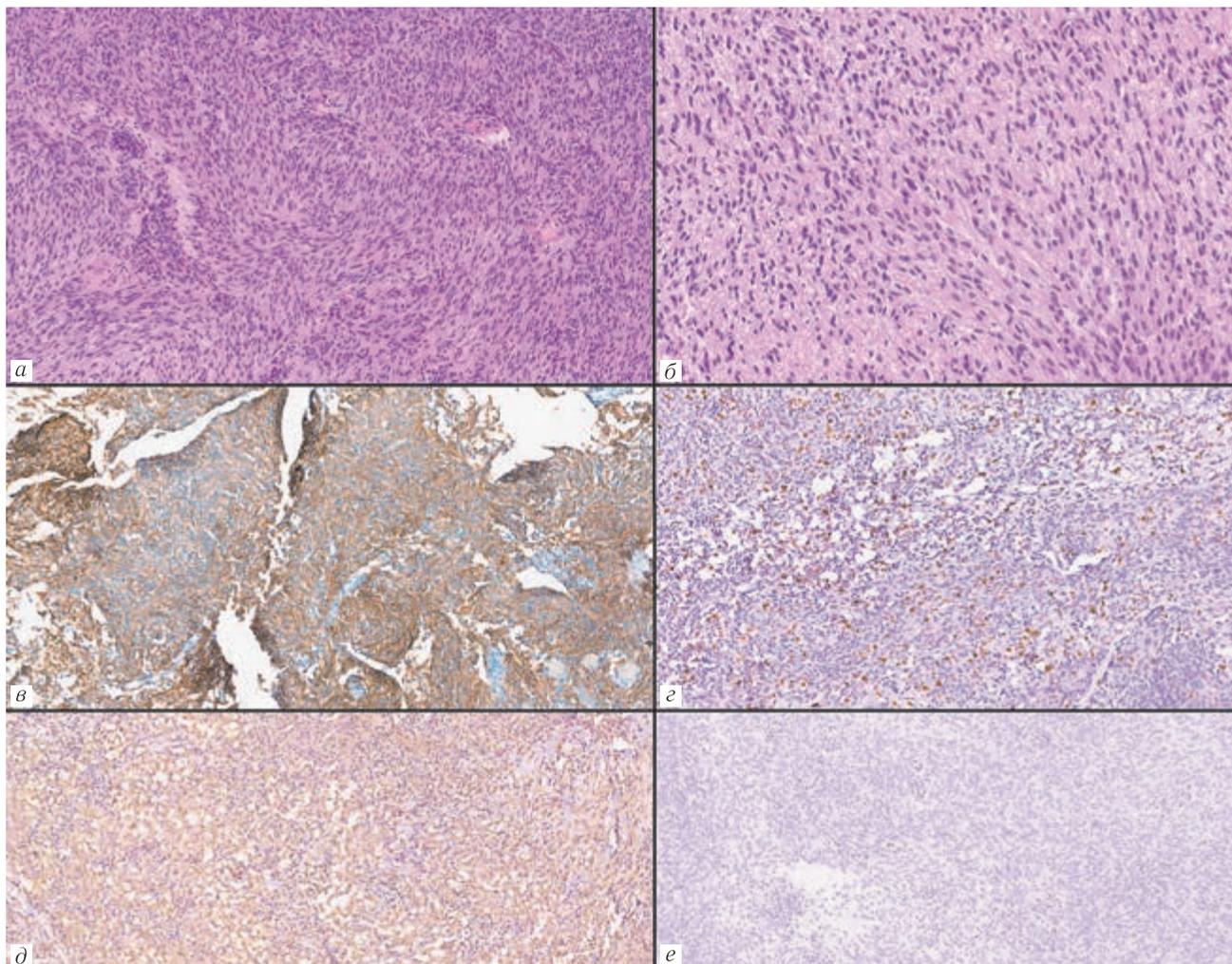
**Рис. 13.** Площадь под ROC-кривой (AUC), соответствующей CBF для дифференциации менингиом и метастазов, составила  $0,8 \pm 0,48$  с 95% ДИ 0,706–0,894 ( $p < 0,001$ ). Пороговое значение CBF равно 217,9 мл/100 г/мин. При значениях CBF равных или меньших пороговому — прогнозируется наличие менингиомы у пациента. Чувствительность и специфичность метода — 80,4% и 86% соответственно

**Fig. 13.** The area under the ROC curve (AUC) representing CBF for differentiating meningiomas from metastases was  $0.8 \pm 0.48$  with a 95% CI: 0.706–0.894 ( $p < 0.001$ ). The threshold value for CBF is 217.9 ml/100g/min. If the CBF values are equal to or less than the threshold, the patient is predicted to have a meningioma. Sensitivity and specificity of the method are 80.4% and 86%, respectively

злокачественности [18]. Кровоизлияния не характерны для менингиом. В 20% случаев кость, на которой находится основание менингиомы, демонстрирует фокальный реактивный гиперостоз в виде шипа [19]. Поскольку центр менингиомы кровоснабжается через ножку в месте прикрепления к ТМО из ветвей наружной сонной артерии (например, из средней менингеальной артерии), питающая артерия лучисто ветвится из одной точки на периферию опухоли, создавая рисунок в виде «солнечных лучей» или «спицевого колеса» на T2-WI, постконтрастных T1-WI. Менингиомы могут прорастать в смежную кость и даже скальп, в просвет дурального синуса или обволакивать нервы и артерии, типично обуславливая стеноз последних. Более 50% менингиом имеет перитуморальный вазогенный отек [20].

На DWI менингиомы выглядят как клеточные опухоли, так как демонстрируют высокий сигнал. Считается, что злокачественные менингиомы отличаются более низкими значениями ADC, однако доброкачественные менингиомы также могут иметь схожие числа показателя диффузии, что создает путаницу [21].

Менингиомы — это высоко васкуляризированные опухоли. Хирургическая резекция менингиомы сопряжена с высоким риском кровопотери, которая может составлять от 200 мл до 2,2 л [22]. При PWI



**Рис. 15.** Пациент с атипичной менингиомой WHO Grade 2. При исследовании серии стеклопрепаратов, окрашенных гематоксилином и эозином (*а, б*), определяется опухолевая ткань, построенная из арахноидэндотелиальных клеток. Клеточность повышена. Ядра преимущественно округло-овальные либо слегка вытянутой формы с мелким центрально расположенным ядрышком. Цитоплазма варьирует по тинкториальным свойствам от оптически прозрачной до светло-оксифильной. Клетки располагаются сплошными полями с формированием разнонаправленных завихрений. В наиболее клеточных зонах встречаются фигуры митозов до 4–5 фигур на 10ПЗ ( $\times 40$ ). Строма неравномерно выражена, богата коллагеном. При иммуногистохимическом исследовании опухолевые клетки экспрессируют Vimentin (*в*), неравномерно диффузно anti-EMA (*г*). Полное отсутствие экспрессии pankeratin AE1/AE3 (*д*). Индекс пролиферации по Ki-67 — 10% (*е*)

**Fig. 15.** Patient with atypical WHO Grade 2 meningioma. Examination of a series of hematoxylin and eosin stained pathology slides (*a, б*) reveals tumor tissue consisting of arachnoid endothelial cells. Cellularity is increased. The nuclei are predominantly round-oval or slightly elongated with a small centrally located nucleolus. The cytoplasm's tinctorial properties vary from optically transparent to lightly oxyphilic. The cells are located in continuous fields forming multidirectional vortices. In the most cellular areas, mitotic figures are up to 4–5 figures per 10 pts ( $\times 40$ ). The stroma is unevenly expressed, rich in collagen. On immunohistochemical examination, tumor cells express Vimentin (*в*), non-uniformly diffuse anti-EMA (*г*). There is a complete absence of pankeratin AE1/AE3 expression (*д*) Ki-67 proliferation index — 10% (*е*)

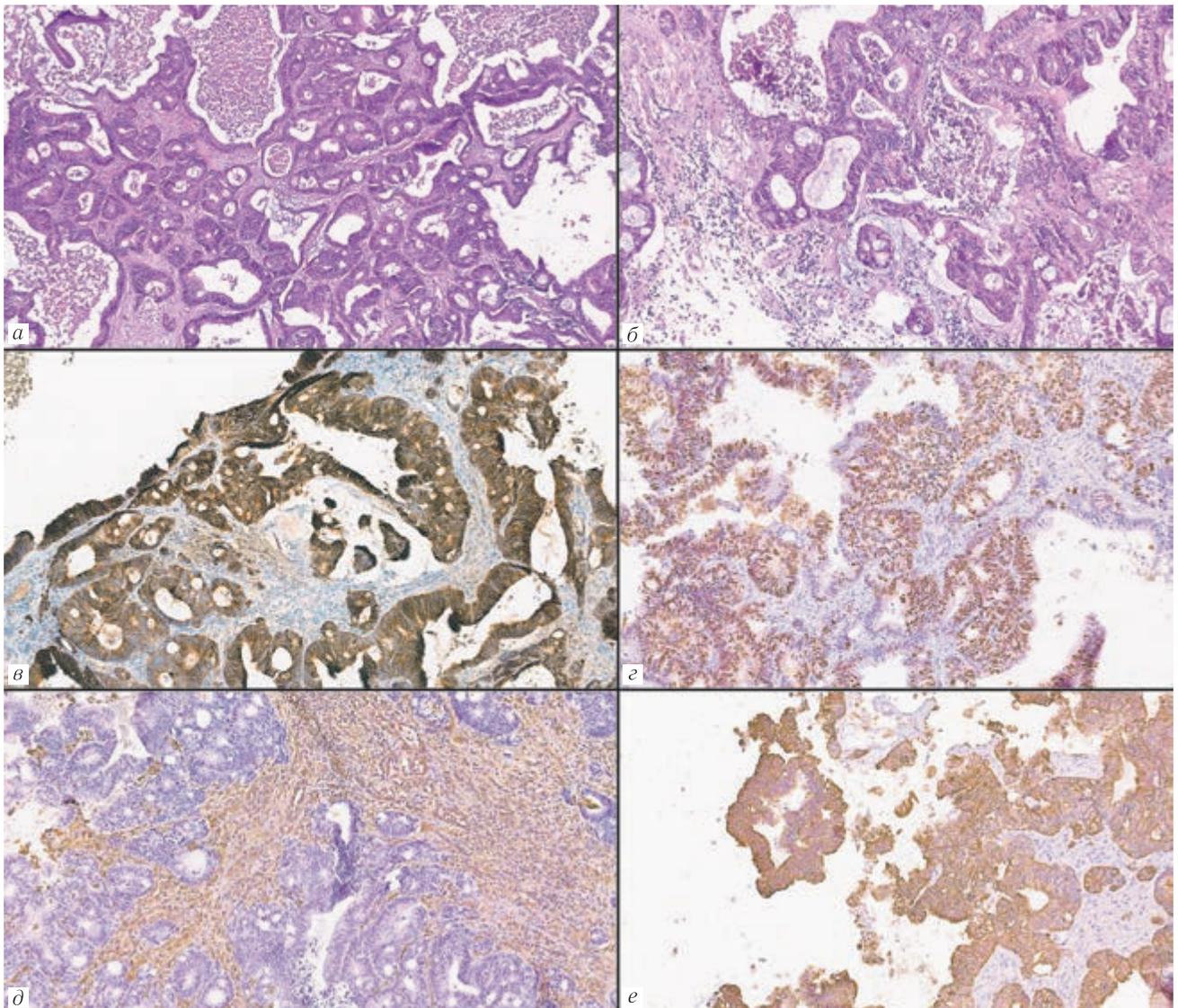
менингиомы показывают повышенные значения гСВВ, немного различающиеся в зависимости от гистологического подтипа [23].

Интрааксиальные сМТС в преобладающем большинстве случаев легко отличимы от менингиом по данным мпрМРТ и имеют ряд типичных визуализационных характеристик. МТС, как правило, располагаются на границе серого и белого вещества и в пограничных зонах между территориями артериальных бассейнов, сопровождаются умеренно выра-

женным вазогенным отеком. Для МТС типичен кольцевидный паттерн контрастирования с центральной зоной некроза, кровоизлияниями.

Средние значения ADC в пределах  $919,4 \pm 200 \times 10^{-6}$  мм<sup>2</sup>/с. Характерны повышенные показатели перфузии по периферии образования [24].

По мнению ряда авторов [25, 26], дуральные МТС могут выглядеть идентично менингиомам, и любое оболочечное поражение подлежит дифференциальной диагностике.



**Рис. 16.** Пациент с метастазом аденокарциномы сигмовидной кишки. При исследовании серии стеклопрепаратов, окрашенных гематоксилином и эозином (*а, б*), определяется опухолевая ткань, построенная из атипичных клеток эпителиального вида с явлениями выраженного ядерного полиморфизма. Ядерно-цитоплазматическое отношение повышено. Рисунок хроматина неоднородный, смазанный. Встречаются многочисленные патологические митозы, 1–2 фигуры в каждом поле зрения ( $\times 40$ ). Клетки формируют крибровые и тубулярные железистые структуры.

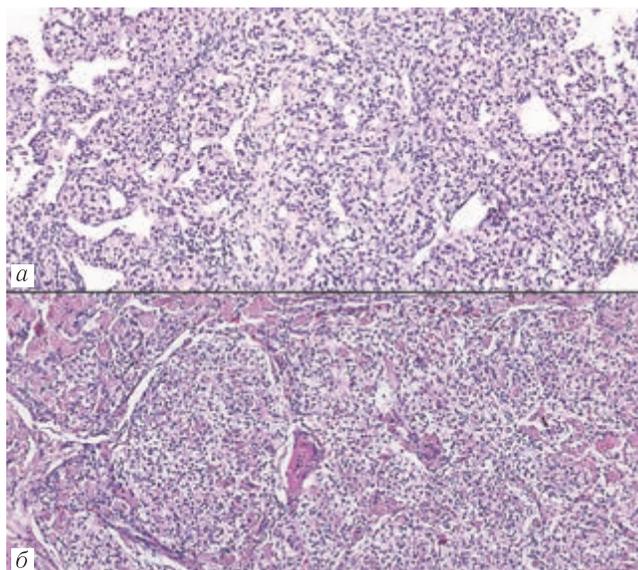
Строма с миксоидными изменениями, выражена скудно, инфильтрирована малыми лимфоцитами. Обширные некрозы по всем полям зрения. Опухолевые клетки тотально экспрессируют anti-EMA (*в*) и pankeratin AE1/AE3 (*г*), экспрессия Vimentin в стромальном компоненте (*д*), индекс пролиферативной активности Ki-67 — 50% (*е*)

**Fig. 16.** A patient with metastatic adenocarcinoma of the sigmoid colon. Examination of a series of hematoxylin and eosin stained pathology slides (*a, b*) shows tumor tissue, consisting of atypical epithelial cells with manifestations of pronounced nuclear polymorphism. The nuclear-cytoplasmic ratio is increased. The chromatin pattern is irregular, indistinct. There are numerous pathological mitoses, 1–2 figures in each field of view ( $\times 40$ ). Cells form cribriform and tubular glandular structures. Stroma shows myxoid changes, is poorly expressed, infiltrated with small lymphocytes. Extensive necrosis in all fields of view. Tumor cells totally express anti-EMA (*в*) and pankeratin AE1/AE3 (*г*), Vimentin expression in the stromal component (*д*), Ki-67 proliferative activity index is 50% (*е*)

Дуральные сМТС обычно проявляются в виде фокального узлового утолщения твердой мозговой оболочки, сопровождающегося перифокальным вазогенным отеком переменной выраженности, не связанным с размером образования. Обширный отек оказывает масс-эффект, сдавливает паренхиму мозга [27]. В редких случаях отек может отсутствовать. На постконтрастных сериях оболочечные МТС демонстрируют интенсивное накопление парамагне-

тика. В половине случаев встречается феномен «дурального хвоста», иногда наблюдаются кровоизлияния в структуре опухоли.

Ряд авторов считают, что дуральные МТС чаще демонстрируют облегченную диффузию [12, 28, 29]. Небольшое количество исследований выявило корреляцию между низкими значениями ADC и низкой дифференцировкой метастазов, повышенной клеточностью [30]. Существуют и другие исследования,



**Рис. 17.** *a* — Метастаз светлоклеточной почечно-клеточной карциномы, окраска гематоксилином и эозином, ув.  $\times 20$ ; *б* — светлоклеточная менингиома, окраска гематоксилином и эозином, ув.  $\times 20$ ; клетки имеют схожую морфологию по форме и размеру, цитоплазма в обоих случаях оптически прозрачная, клетки располагаются сплошными полями, местами стромальный компонент очерчивает мелкие дольчатые структуры

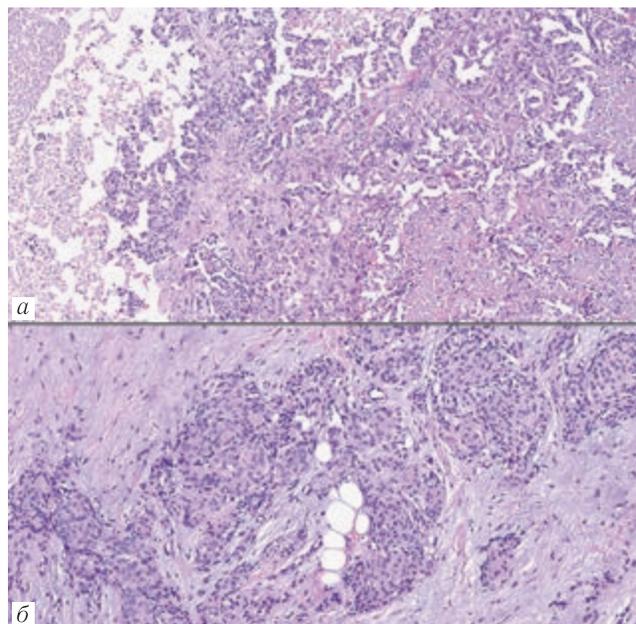
**Fig. 17.** *a* — Metastasis of clear cell renal cell carcinoma, staining with hematoxylin and eosin, magnification  $\times 20$ ; *б* — clear cell meningioma, stained with hematoxylin and eosin, magnification  $\times 20$ ; cells have a similar morphology in shape and size, the cytoplasm is optically transparent in both cases, the cells form continuous areas, in some places the stromal component outlines small lobulated structures

отрицающие какую-либо корреляцию между значениями ADC и гистологической природой метастаза [31].

Перфузия метастазов варьируется в зависимости от природы первичного очага и может быть как гипо-, так и гиперваскулярной. Большинство метастазов, в частности метастазы карциномы почки, меланомы, метастазы нейроэндокринной карциномы, являются гиперваскулярными. По данным исследований Kremer и соавт. и Furtner и соавт. с небольшой выборкой пациентов, дуральные МТС менее васкуляризованные, чем менингиомы [32, 33]. Работы Fink и соавт. и Vendini и соавт. показали, что значения показателей rCBF и rCBV могут быть схожим с показателями менингиом на перфузионных картах [29, 34]. Lui и соавт. на основании анализа 12 случаев менингиом и 8 случаев метастазов не выявили статистически значимых различий rCBV и МТТ между исследуемыми группами [32].

Несмотря на гистологические и радиологические различия, встречаются ситуации, когда менингиомы и дуральные сМТС выглядят на МРТ похоже и дифференциальный диагноз между этими опухолями на основании только визуализации неоднозначен. Помимо этого, анамнез заболевания не всегда

исчерпывающий, а архивные данные могут быть недоступны, что лишает возможности оценить динамику роста. Предоперационное разграничение требуется для определения тактики лечения: динамическое наблюдение, хирургическая резекция, дообследование для поиска первичного очага и стадирования, адьювантная терапия. Интрадуральные МТС,



**Рис. 18.** *a* — Метастаз ацинарной аденокарциномы предстательной железы, окраска гематоксилином и эозином, ув.  $\times 20$  — клетки крупного размера с железистой морфологией, ядра полиморфные по форме и размеру, цитоплазма очерчена, оптически светлая, варьирует по объему, умеренная лимфоцитарная инфильтрация, слева и справа сплошные поля некрозов; *б* — менинготелиальная менингиома, окраска гематоксилином и эозином, ув.  $\times 20$  — клетки среднего размера, однотипного строения, арахноидэндотелиального вида, формируют типичные микроконцентрические структуры, ядра округло-овальные, мономорфные; строма волокнистая, хорошо выражена

**Fig. 18.** *a* — Metastasis of acinar prostatic adenocarcinoma, stained with hematoxylin and eosin, magnification  $\times 20$  — large cells with glandular morphology, nuclei are polymorphic in shape and size, the cytoplasm is outlined, optically clear, varies in volume, there is moderate lymphocytic infiltration, and areas of necrosis on the left and right; *б* — meningeothelial meningioma, stained with hematoxylin and eosin, magnification  $\times 20$  — cells of medium size, similar cell structure, arachnoid endothelial appearance, form typical microconcentric structures, nuclei are round-oval, monomorphic; stroma is fibrous and well pronounced

в отличие от паренхиматозных и лептоменингеальных МТС, локализованы за пределами гематоэнцефалического барьера, благодаря чему остаются подвержены влиянию системной химиотерапии [27]. И поэтому поиск надежных радиологических маркеров, позволяющих дифференцировать дуральный МТС, необходим в клинической практике.

В таких ситуациях рентгенолог старается увеличить специфичность дополнительными инструментами и выполнить мультипараметрическое исследование, в частности DWI/ADC и PWI. Согласно нашим данным, статистически значимых различий между средними значениями ADC и МТТ менингиом и дуральных сМТС не выявлено. При анализе перфузионных показателей (CBV, rCBV, CBF, rCBF) опухолей пациентов выборки была установлена противоположная данным Kremer и соавт. и Furtner и соавт. закономерность: показатели перфузии дуральных сМТС оказались выше таковых у менингиом. Удалось найти пороговое значение показателя CBF, превышение которого позволяет прогнозировать дуральный сМТС с чувствительностью и специфичностью в районе 90% (80,4% и 86%).

**Заключение.** Диффузионно-взвешенные изображения не являются надежными критериями при

дифференцировании менингиом и дуральных сМТС и не должны влиять на предполагаемый по визуализации диагноз. Методика оценки перфузии оболочечного поражения позволяет прогнозировать метастаз с чувствительностью и специфичностью, близкой к 80–90%, и заслуживает внимания при постановке диагноза. В перспективе для уменьшения количества ложноотрицательных и ложноположительных результатов мпМРТ требует внесения в протокол дополнительных критериев. Поскольку дуральные МТС отличаются от менингиом выраженностью неангиогенеза и, соответственно, большей проницаемостью сосудов, потенциально уточняющим критерием для разграничения дуральных поражений может оказаться методика оценки проницаемости сосудов (параметр wash-in при динамическом контрастном усилении).

#### Сведения об авторах:

*Талыбов Рустам Сабирович* — врач-рентгенолог, заведующий отделением Областной клинической больницы № 2; 625039, Тюмень, ул. Мельникайте, д. 75; e-mail: rustam230789@gmail.com; ORCID 0000-0003-3820-2057;

*Трофимова Татьяна Николаевна* — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории нейровизуализации федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мозга человека имени Н. П. Бехтерева» Российской академии наук; 197376, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9; e-mail: ttrofimova@groupmmc.ru; ORCID 0000-0003-4871-2341;

*Тамразов Расим Ильхамович* — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 625023, Тюмень, Одесская ул., д. 54, ORCID 0000-0002-6831-6971;

*Швецов Иван Владимирович* — кандидат медицинских наук, и.о. главного врача Областной клинической больницы №2; 625039, Тюмень, ул. Мельникайте, д. 75; e-mail: shved1906@mail.ru; ORCID 0000-0001-9761-1198;

*Мочалов Вадим Васильевич* — врач-рентгенолог, Областная клиническая больница № 2; 625039, Тюмень, ул. Мельникайте, д. 75; e-mail: Luther1992@gmail.com; ORCID 0000-0003-0608-8915;

*Спасенников Владислав Владимирович* — студент VI курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 625023, Тюмень, Одесская ул., д. 54; e-mail: acrispire@gmail.com; ORCID 0000-0002-1180-4886;

*Дубошинский Роман Игоревич* — студент VI курса лечебного факультета федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 625023, Тюмень, Одесская ул., д. 54; e-mail: tf2bunnyhopper@gmail.com; ORCID 0000-0002-2782-514.

#### Information about authors:

*Rustam S. Talybov* — Radiologist, Head of the Regional clinical hospital № 2, 625039, Tyumen, Melnikaite St., 75; e-mail: rustam230789@gmail.com; ORCID 0000-0003-3820-2057;

*Tatyana N. Trofimova* — Dr. of Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, the Federal State Budgetary Institution of Science «The Institute of the Human Brain of N. P. Bekhtereva, RAS, Chief Scientific Officer of Neuroimaging Laboratory, 197376, St. Petersburg, 9, Academician Pavlov St; e-mail: ttrofimova@groupmmc.ru; ORCID 0000-0003-4871-2341;

*Rasim I. Tamrazov* — Dr. of Sci. (Med.), professor, Head of the Department of Oncology with a course of radiation diagnostics and radiation therapy Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Odesskaya st. 54, ORCID 0000-0002-6831-6971;

*Ivan V. Shvetsov* — Cand. of Sci. (Med.), Head physician of the Regional clinical hospital № 2, 625039, Tyumen, Melnikaite St., 75; e-mail: shved1906@mail.ru; ORCID 0000-0001-9761-1198;

*Vadim V. Mochalov* — Radiologist, Regional clinical hospital № 2, 625039, Tyumen, Melnikaite St., 75; e-mail: luther1992@gmail.com; ORCID 0000-0003-0608-8915;

*Vladislav V. Spasennikov* — sixth year student Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Odesskaya st. 54; e-mail: acrispire@gmail.com; ORCID 0000-0002-1180-4886;

*Roman I. Duboshinsky* — sixth year student Tyumen State Medical University, 625023, Tyumen, Odesskaya st. 54; e-mail: tf2bunnyhopper@gmail.com; ORCID 0000-0002-1180-4886.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Т.Н. Трофимова, Р.С. Талыбов, И.В. Швецов*; сбор и математический анализ данных — *Р.И. Тамразов, В.В. Мочалов, В.В. Спасенников, Р.И. Дубошинский*; подготовка рукописи — *Р.С. Талыбов, Т.Н. Трофимова, И.В. Швецов*.

**Authors' contributions.** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *RST, TNT, IVS* aided in the concept and plan of the study; *RIT, VVM, VVS, RID* provided collection and mathematical analysis of data; *RST, TNT, IVS* preparation of the manuscript.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare that they have no competing interests.

**Соответствие принципам этики:** информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ГАУЗ ТО «МКМЦ Медицинский город» (Тюмень, Россия), протокол № 01/-10-2022 от 01.10.2022 г.

**Adherence to ethical standards:** informed consent is obtained from each of the patient. The study was approved by the Ethics Committee the Meditsinskii gorod (Tyumen, Russia), protocol No 01/-10-2022 от 01.10.2022.

Поступила/Received: 07.11.2022.

Принята к печати/Accepted: 24.02.2023.

Опубликована/Published: 29.06.2023.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Dolecek T.A., Propp J.M., Stroup N.E., Kruchko C. CBTRUS statistical report: primary brain and central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2005–2009 // *Neuro-Oncology*. 2012. Vol. 6. P. 1–49. doi: 10.1093/neuonc/nos218.
2. Louis D.N., Perry A., Wesseling P., Brat D.J., Cree I.A., Figarella-Branger D., Hawkins C., Ng H.K., Pfister S.M., Reifenberger G., Soffietti R., von Deimling A., Ellison D.W. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Neuro-Oncology*. 2021. Vol. 23, No. 8. P. 1231–1251. doi: 10.1093/neuonc/noab106.
3. Olar A., Wani K.M., Sulman E.P., Mansouri A., Zadeh G., Wilson C.D., DeMonte F., Fuller G.N., Aldape, K. D. Mitotic Index is an Independent Predictor of Recurrence-Free Survival in Meningioma // *Brain pathology*. 2015. Vol. 25, No. 3. P. 266–275. doi: 10.1111/bpa.12174.
4. Perry A., Scheithauer B.W., Stafford S.L., Lohse C.M., Wollan P.C. «Malignancy» in meningiomas: a clinicopathologic study of 116 patients, with grading implications // *Cancer*. 1999. Vol. 85, No. 9. P. 2046–2056. doi: 10.1002/(sici)1097-0142(19990501)85:9<2046::aid-cnrc23>3.0.co;2-m
5. Sughrue M.E., Sanai N., Shangari G., Parsa A.T., Berger M.S., McDermott M.W. Outcome and survival following primary and repeat surgery for World Health Organization Grade III meningiomas // *Journal of neurosurgery*. 2010. Vol. 113, No. 2. P. 202–209. doi: 10.3171/2010.1.JNS091114.
6. Marciscano A.E., Stemmer-Rachamimov A.O., Niemierko A., Larvie M., Curry W.T., Barker F.G., Martuza R.L., McGuone D., Oh K.S., Loeffler J.S., Shih H.A. Benign meningiomas (WHO Grade I) with atypical histological features: correlation of histopathological features with clinical outcomes // *Journal of neurosurgery*. 2016. Vol. 124, No. 1. P. 106–114. doi: 10.3171/2015.1.JNS142228.
7. Fox B.D., Cheung V.J., Patel A.J., Suki D., Rao G. Epidemiology of metastatic brain tumors // *Neurosurgery clinics of North America*. 2011. Vol. 22, No. 1. P. 1–v. doi: 10.1016/j.nec.2010.08.007.
8. Valiente M., Ahluwalia M.S., Boire A., Brastianos P.K., Goldberg S.B., Lee E.Q., Le Rhun E., Preusser M., Winkler F., Soffietti R. The Evolving Landscape of Brain Metastasis // *Trends in cancer*. 2018. Vol. 4, No. 3. P. 176–196. doi: 10.1016/j.trecan.2018.01.003.
9. Preusser M., Capper D., Ilhan-Mutlu A., Berghoff A.S., Birner P., Bartsch R., Marosi C., Zielinski C., Mehta, M.P., Winkler F., Wick W., von Deimling A. Brain metastases: pathobiology and emerging targeted therapies // *Acta neuropathologica*. 2012. Vol. 123, No. 2. P. 205–222. doi: 10.1007/s00401-011-0933-9.
10. Gaspar L., Scott C., Rotman M., Asbell S., Phillips T., Wasserman T., McKenna W.G., Byhardt R. Recursive partitioning analysis (RPA) of prognostic factors in three Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) brain metastases trials // *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 1997. Vol. 37, No. 4. P. 745–751. doi: 10.1016/s0360-3016(96)00619-0.
11. Ostrom Q.T., Gittleman H., Liao P., Vecchione-Koval T., Wolinsky Y., Kruchko C., Barnholtz-Sloan J.S. CBTRUS Statistical Report: Primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010–2014 // *Neuro-oncology*. 2017. Vol. 19, No. 5. P. 1–88. doi: 10.1093/neuonc/nox158.
12. Laigle-Donadey F., Taillibert S., Mokhtari K., Hildebrand J., Delattre J.Y. Dural metastases // *Journal of Neuro-oncology*. 2005. Vol. 75, No. 1. P. 57–61. doi: 10.1007/s11060-004-8098-1.
13. Gavrilovic I.T., Posner J.B. Brain metastases: epidemiology and pathophysiology // *Journal of neuro-oncology*. Vol. 75, No. 1. P. 5–14. doi: 10.1007/s11060-004-8093-6.
14. Louis D.N., Perry A., Reifenberger G., von Deimling A., Figarella-Branger D., Cavenee W.K., Ohgaki H., Wiestler O.D., Kleihues P., Ellison D.W. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Acta neuropathologica*. 2016. Vol. 131, No. 6. P. 803–820. doi: 10.1007/s00401-016-1545-1.
15. Shibuya M. Pathology and Molecular Genetics of Meningioma: Recent Advances // *Neurologia Medico-chirurgica*. 2015. Vol. 55, No. 1. P. 14–27. doi: 10.2176/nmc.ra.2014-0233.
16. Boulagnon-Rombi C., Fleury C., Fichel C., Lefour S., Marchal Bressenot A., Gauchotte G. Immunohistochemical Approach to the Differential Diagnosis of Meningiomas and Their Mimics // *Journal of neuropathology and experimental neurology*. 2017. Vol. 76, No. 4. P. 289–298. doi: 10.1093/jnen/nlx008.
17. Wallace E.W. The dural tail sign // *Radiology*. 2004. Vol. 233, No. 1. P. 56–57. doi: 10.1148/radiol.2331021332.
18. Zeng L., Liang P., Jiao J., Chen J., Lei T. Will an Asymptomatic Meningioma Grow or Not Grow? A Meta-analysis // *Journal of neurological surgery. Part A, Central European neurosurgery*. 2015. Vol. 76, No. 5. P. 341–347. doi: 10.1055/s-0034-1543959.
19. O’Leary S., Adams W.M., Parrish R.W., Mukonoweshuro W. Atypical imaging appearances of intracranial meningiomas // *Clinical radiology*. 2007. Vol. 62, No. 1. P. 10–17. doi: 10.1016/j.crad.2006.09.009.
20. Kim B.W., Kim M.S., Kim S.W., Chang C.H., Kim O.L. Peritumoral brain edema in meningiomas: correlation of radiologic and pathologic features // *Journal of Korean Neurosurgical Society*. 2011. Vol. 49, No. 1. P. 26–30. doi: 10.3340/jkns.2011.49.1.26.
21. Filippi C.G., Edgar M.A., Ulug A.M., Prowda J.C., Heier L.A., Zimmerman R.D. Appearance of meningiomas on diffusion-weighted images: correlating diffusion constants with histopathologic findings // *American journal of neuroradiology*. 2001. Vol. 22, No. 1. P. 65–72.
22. Nania A., Granata F., Vinci S., Pitrone A., Barresi V., Morabito R., Settineri N., Tomasello F., Alafaci C., Longo M. Necrosis score, surgical time, and transfused blood volume in patients treated with preoperative embolization of intracranial meningiomas. Analysis of a single-centre experience and a review of literature // *Clinical neuroradiology*. 2014. Vol. 24, No. 1. P. 29–36. doi: 10.1007/s00062-013-0215-0.
23. Zimny A., Sasiadek M. Contribution of perfusion-weighted magnetic resonance imaging in the differentiation of meningiomas and other extra-axial tumors: case reports and literature review // *Journal of neuro-oncology*. 2011. Vol. 103, No. 3. P. 777–783. doi.org: 10.1007/s11060-010-0445-9.
24. Talybov R., Beylerli O., Mochalov V., Prokopenko A., Ilyasova T., Trofimova T., Sufianov A., Guang Y. Multiparametric MR Imaging Features of Primary CNS Lymphomas // *Frontiers in surgery*. 2022. Vol. 9. 887249. doi: 10.3389/fsurg.2022.887249.
25. Kremer S., Grand S., Remy C., Esteve F., Lefournier V., Pasquier B., Hoffmann D., Benabid A.L., Le Bas J.F. Cerebral blood volume mapping by MR imaging in the initial evaluation of brain tumors // *Journal of neuroradiology*. 2002. Vol. 29, No. 2. P. 105–113.
26. Lyndon D., Lansley J.A., Evanson J., Krishnan A.S. Dural masses: meningiomas and their mimics // *Insights into imaging*. 2019. Vol. 10, No. 1. P. 11. doi: 10.1186/s13244-019-0697-7.
27. Nayak L., Abrey L.E., Iwamoto F.M. Intracranial dural metastases // *Cancer*. 2009. Vol. 115, No. 9. P. 1947–1953. doi: 10.1002/cncr.24203.
28. Seki S., Kamide T., Tamase, A., Mori K., Yanagimoto K., Nomura M. Intraparenchymal hemorrhage from dural metastasis of breast cancer mimicking meningioma // *The neuroradiology journal*. 2016. Vol. 29, No. 3. P. 179–182. doi: 10.1177/1971400916638351.
29. Fink K.R., Fink J.R. Imaging of brain metastases // *Surg. Neurol. Int.* 2013. Vol. 4, No. 5. P. 209–212. doi: 10.4103/2152–7806.111298.
30. Hayashida Y., Hirai T., Morishita S., Kitajima M., Murakami R., Korogi Y., Makino K., Nakamura H., Ikushima I., Yamura M., Kochi M., Kuratsu J.I., Yamashita Y. Diffusion-weighted imaging of metastatic brain tumors: comparison with histologic type and tumor cellularity // *American journal of neuroradiology*. 2006. Vol. 27, No. 7. P. 1419–1425.
31. Duygulu G., Ovali G. Y., Calli C., Kitis O., Yünter N., Akalin T., Islekel S. Intracerebral metastasis showing restricted diffusion: correlation with histopathologic findings // *European journal of radiology*. 2010. Vol. 74, No. 1. P. 117–120. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.03.004.
32. Lui Y.W., Malhotra A., Farinhas J.M., Dasari S.B., Weidenheim K., Freeman K., LaSala, P.A. Dynamic perfusion MRI characteristics of dural metastases and meningiomas: a pilot study characterizing the first-pass wash-in phase beyond relative cerebral blood volume // *American journal of roentgenology*. 2011. Vol. 196, No. 4. P. 886–890. doi: 10.2214/AJR.10.5309.
33. Furtner J., Oth I., Schöpi V., Nennung K.H., Asenbaum U., Wöhrer A., Woitek R., Widhalm G., Kiesel B., Berghoff A.S., Hainfellner J.A., Preusser M., Prayer D. Noninvasive Differentiation of Meningiomas and Dural Metastases Using Intratumoral Vascularity Obtained by Arterial Spin Labeling // *Clinical neuroradiology*. 2020. Vol. 30, No. 3. P. 599–605. doi: 10.1007/s00062-019-00808-x.
34. Bendini M., Marton E., Feletti A., Rossi S., Curtolo S., Inches I., Ronzon M., Longatti P., Di Paola F. Primary and metastatic intraaxial brain tumors: prospective comparison of multivoxel 2D chemical-shift imaging (CSI) proton MR spectroscopy, perfusion MRI, and histopathological findings in a group of 159 patients // *Acta neurochirurgica*. 2011. Vol. 153, No. 2. P. 403–412. doi: 10.1007/s00701-010-0833-0.