

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ МРТ В ОЦЕНКЕ МЕНИНГИОМ ПОСЛЕ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ РАДИОХИРУРГИИ: МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ

Мельникова М.К.✉, Артемов М.В., Виноградова Ю.Н., Карташев А.В.

Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Минздрава России; Россия, 197758, Санкт-Петербург. пос. Песочный, ул. Ленинградская, 70

✉ Мельникова Марина Константиновна, mk_melnikova@rrcrst.ru, +79111962202

РЕФЕРАТ

Цель: Повысить эффективность диагностического наблюдения за пациентами с менингиомами после стереотаксической радиохирургии.

Материалы и методы: В ретроспективное одноцентровое исследование включены 50 пациентов с менингиомами, которым выполнена стереотаксическая радиохирургия (СРХ) на аппарате Gamma Knife ICON (Elekta). Средний возраст — 64,9 ± 11,6 года. Менингиомы основания черепа выявлены у 21 пациента из 50 (42,0 %), парасагитальной локализации — у 18 из 50 (36,0 %), конвекситальные — у 11 из 50 (22,0 %). Гистологическая верификация (по результатам предшествующей резекции) была у 24 пациентов: Grade I — 10, Grade II — 8, Grade III — 6. Контрольные МРТ-исследования проводились через 3, 6 и 12–14 мес после СРХ. Для каждой опухоли определялись изменения площади (по критериям RANO) и объёма; согласие методов оценивалось коэффициентом каппа Коэна. Кроме того, оценивались качественные МРТ-признаки: характер контрастирования, перифокальный отёк, чёткость контуров, наличие новых очагов.

Результаты: По объёмной классификации прогрессирование наблюдалось у 12 из 50 пациентов (24,0 %; 95 % ДИ: 14,3–37,4), стабилизация — у 32 из 50 (64,0 %), ответ — у 6 из 50 (12,0 %). По критериям RANO: 10 из 50 (20,0 %) / 21 из 50 (42,0 %) / 19 из 50 (38,0 %) соответственно. Согласие двух методов составило 68,0 % (каппа Коэна 0,498). Степень злокачественности значимо ассоциировалась с прогрессированием (хи-квадрат $p = 0,043$; попарно Grade I vs III: $p = 0,035$); локализация — нет ($p = 0,84$). Высокую диагностическую эффективность показала комбинация качественных МРТ-признаков: стойкое сохранение гетерогенного контрастирования к 12–14 мес в сочетании с патологической динамикой перифокальных изменений. Каждый признак характеризовался различным соотношением чувствительности и специфичности: появление новых очагов — Sn 41,7 %, Sp 100 %; перифокальный отёк — Sn 41,7 %, Sp 92,1 %; появление нечётких контуров — Sn 25,0 %, Sp 100 %.

Заключение: Количественная объёмная оценка менингиом после СРХ оказалась более чувствительной по сравнению с оценкой по площади (RANO), дополнительно выявляя случаи скрытого прогрессирования у 2 пациентов (4 %). Степень злокачественности менингиомы является значимым фактором, ассоциированным с риском прогрессирования, достоверное различие установлено между Grade I и Grade III. Локализация образования не влияла на исходы проводимого лечения. Комплекс качественных МРТ-признаков (характер и динамика контрастирования, перифокальный отёк, чёткость контуров, новые очаги) обеспечивает основу для дифференциальной диагностики истинного прогрессирования и постлучевых реакций.

Ключевые слова: менингиома, стереотаксическая радиохирургия, магнитно-резонансная томография, критерии RANO, объёмная оценка, прогрессирование опухоли, псевдопрогрессия, перифокальный отёк

Для цитирования: Мельникова М.К., Артемов М.В., Виноградова Ю.Н., Карташев А.В. Диагностическая значимость МРТ в оценке менингиом после стереотаксической радиохирургии: морфологические признаки и динамика изменений. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(3):49–59.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-3-49-59>

DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE OF MRI IN THE ASSESSMENT OF MENINGIOMAS AFTER STEREOTACTIC RADIOSURGERY: MORPHOLOGICAL FEATURES AND DYNAMICS OF CHANGES

Marina K. Melnikova✉, Maxim V. Artemov, Yulia N. Vinogradova, Artem V. Kartashev

A.M. Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies; 70, Leningradskaya Str., Pesochny, Saint Petersburg, Russia 197758

✉ Marina K. Melnikova, mk_melnikova@rrcrst.ru, +79111962202

ABSTRACT

Purpose: To improve the efficiency of diagnostic monitoring of patients with meningiomas after stereotactic radiosurgery.

Materials and methods: This retrospective, single-center study included 50 patients with meningiomas who underwent stereotactic radiosurgery (SRS) using the Gamma Knife ICON (Elekta). The mean age was 64.9 ± 11.6 years. Skull base meningiomas were detected in 21 of 50 patients (42.0 %), parasagittal meningiomas in 18 of 50 (36.0 %), and convexital meningiomas in 11 of 50 (22.0 %). Histological verification (based on the results of the previous resection) was performed in 24 patients: Grade I — 10, Grade II — 8, Grade III — 6. Follow-up MRI examinations were performed 3, 6, and 12–14 months after SRS. For each tumor, changes in area (using the RANO criteria) and volume were determined; agreement between the methods was assessed using the Cohen's kappa coefficient. In addition, qualitative MRI features were assessed: contrast enhancement pattern, perifocal edema, margin clarity, and the presence of new lesions.

Results: According to the volume classification, progression was observed in 12 of 50 patients (24.0 %; 95 % CI: 14.3–37.4), stabilization in 32 of 50 (64.0 %), and response in 6 of 50 (12.0 %). According to the RANO criteria: 10 of 50 (20.0 %) / 21 of 50 (42.0 %) / 19 of 50 (38.0 %), respectively. The agreement between the two methods was 68.0 % (Cohen's kappa 0.498). The grade of malignancy was significantly associated with progression (chi-square $p = 0.043$; pairwise Grade I vs III: $p = 0.035$); localization was not ($p = 0.84$). A combination of qualitative MR features demonstrated high diagnostic efficacy: persistent heterogeneous contrast enhancement at 12–14 months, combined with pathological dynamics of perifocal changes. Each feature was characterized by a different sensitivity-specificity ratio: the appearance of new lesions — Sn 41.7 %, Sp 100 %; perifocal edema — Sn 41.7 %, Sp 92.1 %; the appearance of fuzzy margins — Sn 25.0 %, Sp 100 %.

Conclusion: Quantitative volumetric assessment of meningiomas after SRS proved more sensitive compared to area-based assessment (RANO), additionally identifying cases of occult progression in 2 patients (4 %). The grade of meningioma malignancy is a significant factor associated with the risk of progression; a significant difference was found between Grade I and Grade III. The location of the lesion did not affect treatment outcomes. A set of qualitative MRI features (characteristics and dynamics of contrast enhancement, perifocal edema, clarity of contours, new lesions) provides the basis for differential diagnosis of true progression and post-radiation reactions.

Keywords: meningioma, stereotactic radiosurgery, magnetic resonance imaging, RANO criteria, volumetric assessment, tumor progression, pseudoprogression, perifocal edema

For citation: Melnikova M.K., Artemov M.V., Vinogradova Y.N., Kartashev A.V. Diagnostic Significance of MRI in the Assessment of Meningiomas after Stereotactic Radiosurgery: Morphological Features and Dynamics of Changes. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(3):49-59. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-3-49-59>

Введение

Менингиомы являются наиболее распространённой группой первичных внеозговых образований и составляют до 36–40 % всех интракраниальных новообразований [1, 2]. По данным CBTRUS, заболеваемость менингиомами устойчиво возрастает в последние десятилетия, что связывают как с улучшением диагностики, так и с увеличением продолжительности жизни населения [2]. Согласно классификации Всемирной организации здравоохранения (2021), менингиомы подразделяются на три степени злокачественности (Grade I–III), отражающие морфологические и молекулярно-генетические особенности опухоли [1].

Тактика ведения пациентов с менингиомами определяется размерами и локализацией новообразования, его биологической агрессивностью и клиническими проявлениями. Хирургическое удаление остаётся стандартом лечения пациентов с клинической симптоматикой и крупных менингиом, однако при труднодоступной локализации, неполном удалении, рецидивах или отказе пациента от операции широко применяется стереотаксическая радиохирургия (СРХ) [3, 4]. Метод обеспечивает контроль роста у 85–90 % менингиом Grade I при минимальной инвазивности; для опухолей более высоких степеней злокачественности эффективность существенно ниже [5].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является основным методом динамического наблюдения за менингиомами после радиохирургического лечения [3]. Унификация интерпретации результатов лечения обеспечивается критериями Response Assessment in Neuro-Oncology (RANO), которые применительно к менингиомам базируются на изменении произведения двух взаимно перпендикулярных диаметров опухоли в максимальном сечении [6]. Вместе с тем, интерпретация МРТ-картины в постлучевом периоде сопряжена с рядом существенных трудностей.

Во-первых, в ранние сроки (3–6 мес) после СРХ у части пациентов наблюдается транзиторное увеличение размеров опухоли, усиление контрастного накопления и нарастание перифокального отёка, имитирующие истинное прогрессирование (фено-

мен псевдопрогрессии) [7, 8]. Различение истинного прогрессирования и постлучевых реакций имеет принципиальное клиническое значение, поскольку определяет дальнейшую тактику ведения.

Во-вторых, использование двумерных линейных измерений по RANO не всегда адекватно отражает реальное изменение объёма опухоли, особенно при асимметричном росте или изменении формы новообразования [9]. В литературе обсуждается переход к объёмным методам оценки как потенциально более чувствительной альтернативе [10, 11].

Целью настоящего исследования являлась сравнительная оценка двух количественных методов анализа МРТ-изображений (по площади согласно критериям RANO и по объёму) при динамическом наблюдении менингиом после стереотаксической радиохирургии, а также определение диагностической эффективности комплекса качественных МРТ-признаков прогрессирования с учётом динамики характера контрастирования и перифокальных изменений на последовательных этапах наблюдения.

Материалы и методы

В исследование включены 50 пациентов, прошедших стереотаксическую радиохирургию в РНЦРХТ им. ак. А.М. Гранова с февраля 2022 г по декабрь 2024 г. Критериями включения являлись: диагноз «менингиома», подтверждённый гистологически либо установленный на основании клинкорadiологических данных; наличие МРТ до лечения, а также контрольных МРТ-исследований через 3, 6 и 12–14 мес после радиохирургии; срок наблюдения не менее 12 мес. Общая характеристика пациентов представлена в табл.1.

Средний возраст пациентов составил $64,9 \pm 11,6$ года (медиана 66,6 года; диапазон 35,4–87,0 года). В выборке преобладали женщины — 35 пациентов (70,0 %), мужчин было 15 (30,0 %). По локализации опухоли распределились следующим образом: основание черепа — 21 случай (42,0 %), парасагиттальная область — 18 (36,0 %), конвекситальное расположение (лобная, височная, теменная области) — 11 (22,0 %).

У 24 пациентов из 50 (48,0 %), которым ранее выполнялась резекция опухоли, были данные гистоло-

гических исследований. По этим данным Grade I выявлен в 10 случаях (41,7 % подгруппы), Grade II — в 8 (33,3 %), Grade III — в 6 (25,0 %). У 26 пациентов из 50 (52,0 %), не подвергавшихся ранее операции, диагноз «менингиома» устанавливался на основании клинико-радиологических данных.

Стереотаксическую радиохирургию выполняли на аппарате Gamma Knife ICON (Elekta). Маргинальная (краевая) доза облучения составляла 11–14 Гр (медиана 12 Гр), что соответствовало стандартному протоколу для радиохирургического лечения менингиом.

Таблица 1. Общая характеристика пациентов (n = 50)/
Table 1. General characteristics of patients (n = 50)

Показатель	Значение
Возраст, лет (M ± SD)	64,9 ± 11,6
Возраст, медиана [мин; макс]	66,6 [35,4; 87,0]
Пол: женщины / мужчины, n (%)	35 (70,0) / 15 (30,0)
Локализация — основание черепа, n (%)	21 (42,0)
Локализация — парасагитальная, n (%)	18 (36,0)
Локализация — конвексительная, n (%)	11 (22,0)
Гистологическая верификация — Grade I, n	10
Гистологическая верификация — Grade II, n	8
Гистологическая верификация — Grade III, n	6
Без гистологической верификации, n	26
Маргинальная доза СРХ, Гр (медиана; диапазон)	12 (11–14)

МРТ-исследования выполняли на томографах с магнитной индукцией 1,5 Тл с использованием стандартных головных катушек. Протокол включал T₁- и T₂-взвешенные изображения, последовательность FLAIR, диффузионно-взвешенные изображения с построением карт измеряемого коэффициента диффузии (ADC), а также T₁-взвешенные изображения с внутривенным контрастным усилением (T₁ CE) в аксиальной, корональной и сагиттальной плоскостях. Контрастирование осуществлялось гадолиний-содержащим препаратом в стандартной дозе 0,1 ммоль/кг массы тела. Толщина среза составляла 3–5 мм. Динамическое контрастное сканирование с построением кривых интенсивность сигнала — время в стандартный протокол не входило.

Для каждого пациента на исходной и последней контрольной МРТ выполняли измерения трёх взаимно перпендикулярных диаметров опухоли (a — ширина, b — длина, c — высота) в максимальном сечении на постконтрастных T₁-взвешенных изображениях. Площадь опухоли согласно критериям RANO рассчитывалась как произведение двух наибольших взаимно перпендикулярных диаметров ($S = a \times b$) [6]. Объём опухоли вычислялся по упрощённой формуле $V = a \times b \times c$ без применения корректирующего коэффициента, поскольку в задачи исследования входила оценка относительной динамики (ΔV), а не абсолютных значений объёма; данный подход применялся единообразно ко всем опухолям.

Относительные изменения параметров рассчитывались по формулам $\Delta S(\%) = [(S_2 - S_1)/S_1] \times 100 \%$ и $\Delta V(\%) = [(V_2 - V_1)/V_1] \times 100 \%$. Классификация ответа опухоли осуществлялась отдельно по двум критериям.

По критериям RANO для менингиом выделяют следующие варианты ответа: прогрессирование, незначительный ответ, стабилизация, частичный и полный ответы. Прогрессирование определяется при увеличении опухоли на 25 % и более. Незначительный ответ характеризуется уменьшением опухоли в интервале 25–49 %. Частичный ответ при уменьшении размеров образования на 50 % и более. При полном ответе на контрольном исследовании опухоль не определяется. При стабилизации образования могут как увеличиться, так и уменьшиться в пределах 24 %. В связи с наличием малой выборки, принято решение подразделить пациентов на 3 группы в данном исследовании: прогрессирование — при увеличении более чем на 25 %, стабилизация — при изменении размеров в пределах 24 % и ответ — при уменьшении более чем на 25 %. Аналогичные пороговые значения применялись к относительному изменению объёма.

Качественный анализ МРТ-изображений включал оценку характера контрастного усиления на четырёх временных точках (до СРХ, через 3, 6 и 12–14 мес) с присвоением одной из трёх категорий: гомогенное, гетерогенное, отсутствие накопления контрастного вещества. Дополнительно оценивались наличие перифокального отёка (по последовательностям FLAIR и T₂ WI), чёткость контуров опухоли, наличие новых очагов в области облучения или прилежащих структурах головного мозга.

Статистический анализ выполнен с использованием программ Microsoft Excel и Python (библиотеки *scipy*, *scikit-learn*). Описательная статистика представлена в виде средних значений со стандартным отклонением (M ± SD), медиан с межквартильным размахом (Me [Q1; Q3]) и абсолютных частот с долями и 95 % доверительными интервалами по методу Уилсона. Связь признаков с исходом анализировалась с помощью точного критерия Фишера и критерия хи-квадрат Пирсона; для количественных переменных применялся U-критерий Манна-Уитни. Согласие двух методов классификации оценивалось коэффициентом каппа Коэна. Диагностическая эффективность отдельных МРТ-признаков определялась путём расчёта чувствительности (Sn), специфичности (Sp), прогностической ценности положительного и отрицательного результатов с 95 % ДИ. Для количественного признака (исходный объём) дополнительно проводился ROC-анализ с расчётом площади под характеристической кривой (AUC) с 95 % ДИ по методу Хенли-МакНила и определением оптимальной точки отсечения по индексу Юдена. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

По объёмной классификации после СРХ контроль роста опухоли (стабилизация и ответ) был достигнут у 38 из 50 пациентов (76,0 %; 95 % ДИ: 62,6–85,7), прогрессирование — у 12 из 50 (24,0 %; 95 % ДИ: 14,3–37,4). При этом стабилизация наблюдалась в 32 случаях из 38 (64,0 %), ответ — в 6 из 38 (12,0 %).

При раздельном применении к одной и той же выборке двух количественных методов оценки ответа опухоли — по изменению площади (критерии RANO) и по изменению объёма — были получены существенно различающиеся распределения исходов (рис 1). Прогрессирование по объёмной оценке зарегистрировано у 12 пациентов из 50 (24,0 %), по RANO — у 10 из 50 (20,0 %); стабилизация — у 32 из 50 (64,0 %) против 21 из 50 (42,0 %); ответ — у 6 из 50 (12,0 %) против 19 из 50 (38,0 %).

Совпадение результатов классификации двух методов отмечено только в 34 из 50 случаев (68,0 %); расхождение — в 16 из 50 (32,0 %; 95 % ДИ: 20,8–45,8). Коэффициент каппа Коэна составил 0,498, что соответствует умеренному уровню согласия. Наиболее частым типом расхождения было отнесение опухоли к категории «ответ» по RANO при отсутствии значимого изменения объёма (12 наблюдений). В трёх случаях направления изменений были разнонаправленными: у двух пациентов отмечалось уменьшение площади на фоне роста объёма (опухоль изменила форму, став более компактной по сечению, но возросшей по высоте), у одного пациента — обратное соотношение.

Графически расхождения между двумя методами наглядно демонстрирует диаграмма рассеяния

процентного изменения площади и объёма (рис. 2). Большинство точек располагается в зонах согласованной классификации, однако значительная их часть смещена за пределы линии полного совпадения, особенно в области умеренного уменьшения площади при сохранении или росте объёма.

Полученные данные показывают, что оценки по объёму и по площади не являются взаимозаменяемыми. RANO-классификация склонна чаще регистрировать ответ, тогда как объёмная — стабилизацию; при этом объёмная оценка выявляет случаи скрытого прогрессирования, которые не регистрируются по двумерным измерениям при изменении формы опухоли. Дальнейший анализ проводился с использованием объёмной классификации как первичной.

Анализ зависимости исхода СРХ от анатомической локализации опухоли не выявил статистически значимых различий. Прогрессирование данным объёмной оценки было зафиксировано при менингиомах основания черепа в 5 случаях из 21 (23,8 %), парасagitальной локализации — в 5 из 18 (27,8 %), конвекситальной — в 2 из 11 (18,2 %); $\chi^2 = 0,35$; $p = 0,84$. Сопоставимые частоты прогрессирования между анатомическими группами свидетельствуют о том, что локализация менингиомы при стандартизированной дозиметрии радиохирургического лечения не является самостоятельным фактором, определяющим исход.

В подгруппе пациентов с гистологической верификацией диагноза (24 из 50) выявлена отчётливая зависимость частоты прогрессирования от степени злокачественности менингиомы (рис. 3). При Grade I прогрессирование наблюдалось в 2 случаях из 10 (20,0 %), при Grade II — в 3 из 8 (37,5 %), при Grade

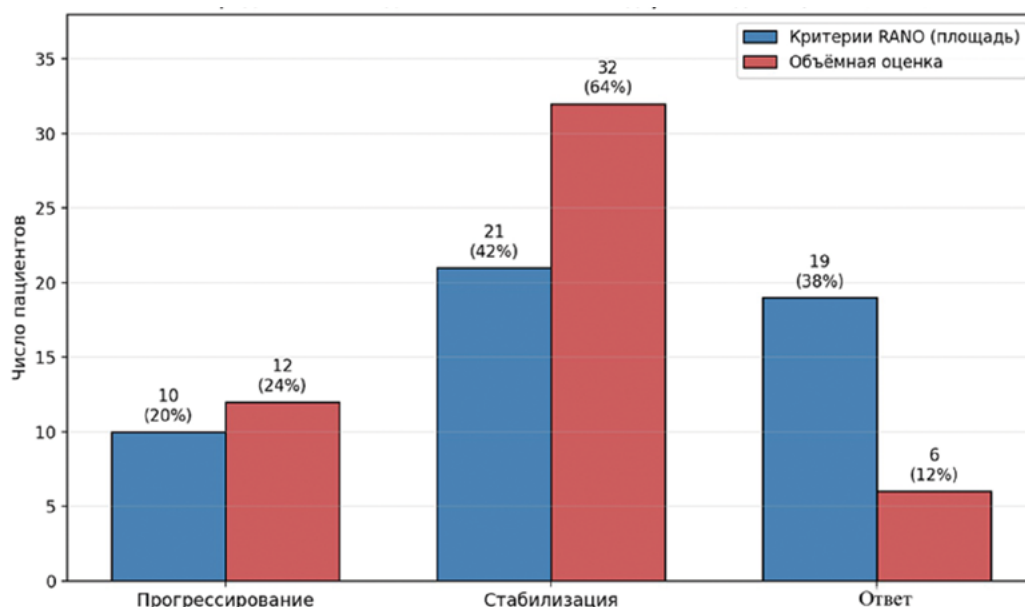


Рис. 1. Распределение исходов СРХ менингиом по двум методам количественной оценки. Объёмная классификация смещена в сторону стабилизации, тогда как RANO-классификация чаще регистрирует значимый регресс

Fig. 1. Distribution of outcomes of SRS meningiomas by two methods of quantification. Volumetric classification is biased towards stabilization, whereas RANO-classification more often registers a significant regression

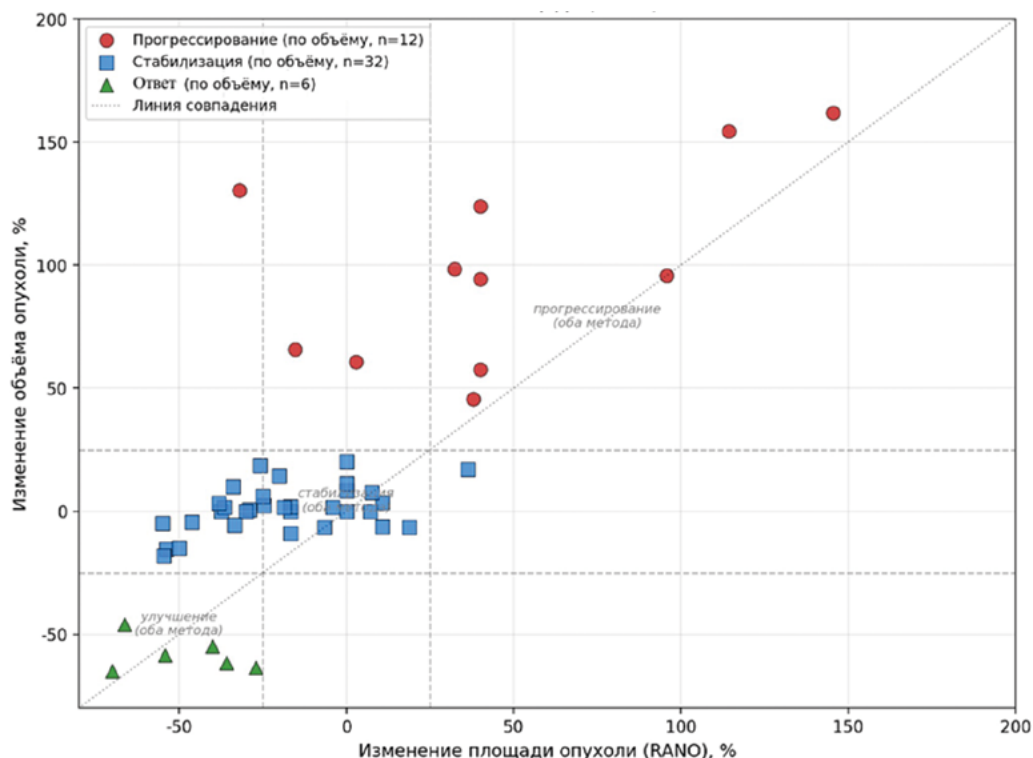


Рис. 2. Сопоставление процентного изменения площади (RANO) и объёма опухоли для каждого пациента (n = 50). Цветом обозначен исход по объёмной классификации. Пунктирные линии — пороги $\pm 25\%$; диагональ — линия теоретического совпадения двух методов

Fig. 2. Comparison of the percentage change in area (RANO) and tumor volume for each patient (n = 50). The color indicates the outcome based on the volume classification. The dotted lines represent the $\pm 25\%$ thresholds, and the diagonal represents the theoretical overlap between the two methods

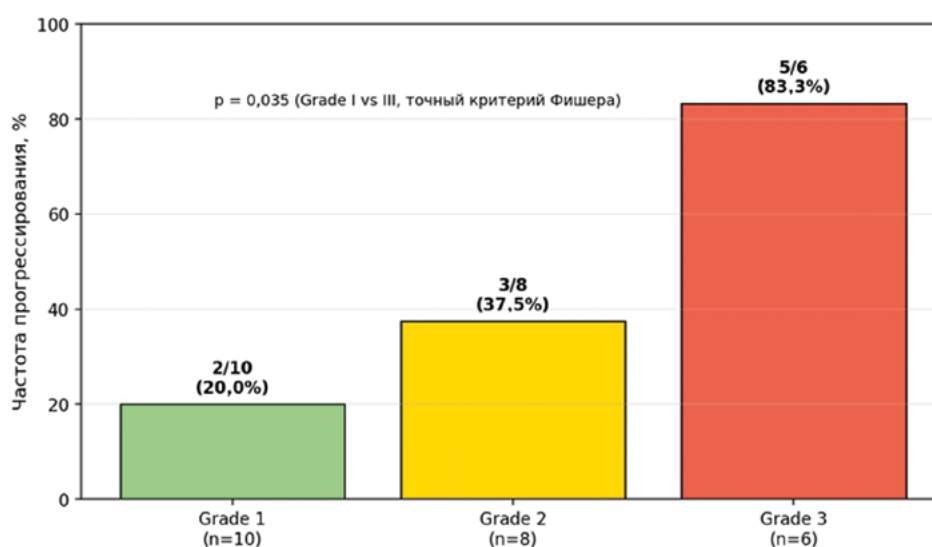


Рис. 3. Частота прогрессирования менингиом после CRH в зависимости от степени злокачественности (подгруппа с гистологической верификацией, n = 24). Над колонками — абсолютные значения и процентные доли

Fig. 3. The frequency of meningioma progression after CRH, depending on the degree of malignancy (subgroup with histological verification, n = 24). Above the columns are absolute values and percentages

III — в 5 из 6 (83,3 %) (рис 3). Различие распределений по критерию хи-квадрат Пирсона достигло статистической значимости ($\chi^2 = 6,27$; $p = 0,043$); точный тест Фишера для таблицы 3×2 дал значение $p = 0,062$, находящееся на границе значимости. При попарном сравнении достоверное различие частот прогрессирования установлено только между Grade I и Grade III ($p = 0,035$, точный критерий Фишера). Существенным ограничением является малая численность подгруппы Grade III ($n = 6$), что не позволяет делать категоричных выводов и требует подтверждения на более крупных выборках.

Помимо количественных характеристик, для каждой опухоли оценивали ряд качественных МРТ-признаков, отражающих биологические изменения новообразования и его взаимодействия с прилежащими структурами после радиохирургического лечения. Анализировались характер контраст-

ного усиления на каждом этапе наблюдения (до СРХ, через 3, 6 и 12–14 мес), наличие и динамика перифокального отёка, чёткость контуров опухоли, появление новых очагов в зоне облучения или прилежащих структурах. Ни один признак, взятый в отдельности, не обеспечивает абсолютной диагностической надёжности, однако в совокупности они формируют клинически значимую семиотику.

Сводные диагностические показатели отдельных качественных признаков представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Анализ контрастирования к завершению наблюдения показал, что у всех 12 пациентов с прогрессированием опухоли характер контрастного усиления к 12–14 мес был гетерогенным; вместе с тем, гетерогенность к этому сроку отмечалась и у 7 пациентов из группы контроля роста. Чувствительность статической оценки финального контрастирования состави-

Таблица 2. Диагностическая эффективность качественных МРТ-признаков для распознавания истинного прогрессирования менингиом после СРХ

Table 2. Diagnostic efficiency of qualitative MRI features for detecting true progression of meningiomas after SRS

Признак	Sn, % (95 % ДИ)	Sp, % (95 % ДИ)	p
Гетерогенное контрастирование к 12–14 мес	100 (75,7–100)	81,6 (66,6–90,8)	<0,0001
Появление новых очагов	41,7 (19,3–68,0)	100 (90,8–100)	0,0004
Перифокальный отёк	41,7 (19,3–68,0)	92,1 (79,2–97,3)	0,014
Появление нечётких контуров после СРХ	25,0 (8,9–53,2)	100 (90,8–100)	0,011
Исходный гетерогенный контраст (до СРХ)	33,3 (13,8–60,9)	84,2 (69,6–92,6)	0,225

Примечания: Sn — чувствительность; Sp — специфичность. 95 % ДИ для Sn и Sp рассчитаны методом Уилсона. p — точный двусторонний критерий Фишера

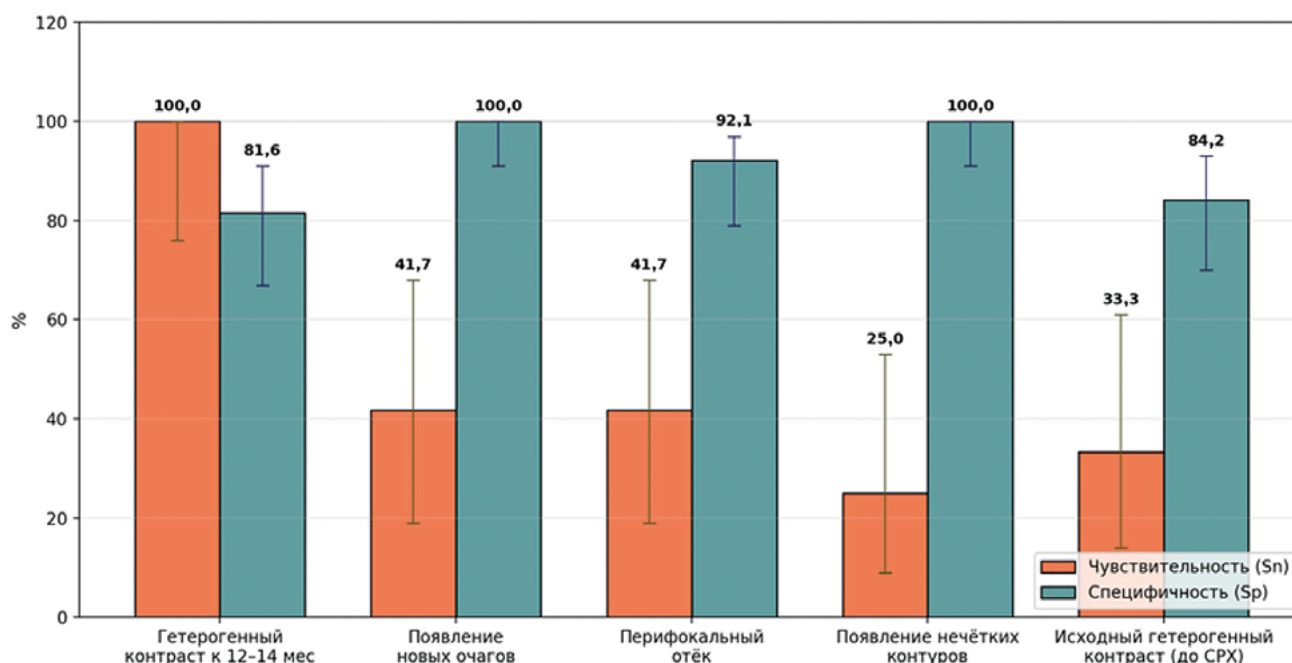


Рис. 4. Диагностическая эффективность качественных МРТ-признаков прогрессирования менингиом после СРХ с 95 % доверительными интервалами по методу Уилсона

Fig. 4. Diagnostic efficiency of qualitative MRI signs of meningioma progression after SRS with 95 % confidence intervals using the Wilson method

ла 100 % (95 % ДИ: 75,7–100), специфичность — 81,6 % (95 % ДИ: 66,6–90,8). Высокая чувствительность отражает закономерное появление структурных изменений в активно прогрессирующих опухолях, однако умеренная специфичность ограничивает диагностическую ценность статической оценки на финальной точке — часть стабильных опухолей также демонстрирует гетерогенность как реакцию на лучевое воздействие.

Оценка исходного характера контрастирования (до СРХ) не показала значимой связи с последующим прогрессированием. Из 10 пациентов (20,0 %) с исходно гетерогенным контрастированием 4 в дальнейшем прогрессировали, 5 стабилизировались, 1 регрессировал; точный тест Фишера $p = 0,225$; чувствительность — 33,3 %, специфичность — 84,2 %. Это означает, что гетерогенность как статическая характеристика опухоли до лечения не является фактором риска неблагоприятного исхода — клинически значима именно её динамика после СРХ.

Анализ полной последовательности характеристик контрастирования на четырёх временных точках (до СРХ, через 3, 6 и 12–14 мес) позволил систематизировать наблюдения в виде четырёх типов траекторий. Тип А (стабильно гомогенное контрастирование) соответствует контролю роста опухоли; тип Б (транзиторное появление гетерогенности с возвратом к гомогенному паттерну) — феномену псевдопрогрессии; тип В (стойкое сохранение гетерогенного контрастирования к завершению наблюдения) — истинному прогрессированию; тип Г (переход к отсутствию контрастного накопления) — биологическому регрессу с потерей кровоснабжения опухолевой ткани.

В нашей выборке распределение опухолей по типам траекторий было следующим: тип А — 20 пациентов (40,0 %), тип Б — 9 (18,0 %), тип В — 17 (34,0 %), тип Г — 2 (4,0 %); у 2 пациентов траектория не соответствовала ни одному из четырёх типов и была отнесена к категории «прочее». В группе типа Б 8 из 9 случаев соответствовали по динамике размеров феномену псевдопрогрессии; в группе типа В 12 из 17 опухолей прогрессировали.

Репрезентативные клинические наблюдения, иллюстрирующие каждый из четырёх типов траекторий, представлены на рис. 5–8. МРТ-изображения представлены постконтрастными T_1 -взвешенными сериями в аксиальной и корональной плоскостях на четырёх временных точках (до СРХ, через 3, 6 и 12–14 мес).

Перифокальный отёк регистрировался у 8 пациентов (16,0 %); из них у 5 опухоль истинно прогрессировала, у 3 — соответствовала псевдопрогрессии. Чувствительность признака для распознавания истинного прогрессирования составила 41,7 % (95 % ДИ: 19,3–68,0), специфичность — 92,1 % (95 % ДИ: 79,2–97,3). Принципиальной находкой явилось то, что перифокальный отёк не наблюдался ни в одном случае истинной стабилизации или регресса опухоли (0 из 35 наблюдений): его появление в течение наблюдения служит индикатором патологической динамики, требующей углублённого анализа. Вместе с тем, сам факт наличия отёка не разделяет истинное прогрессирование и псевдопрогрессию — это различие проявляется в его дальнейшей эволюции: у пациентов с истинным прогрессированием отёк сохранялся или нарастал к 12–14 мес, у пациентов с псевдопрогрессированием — регрессировал параллельно с возвратом контрастирования к гомогенному паттерну.

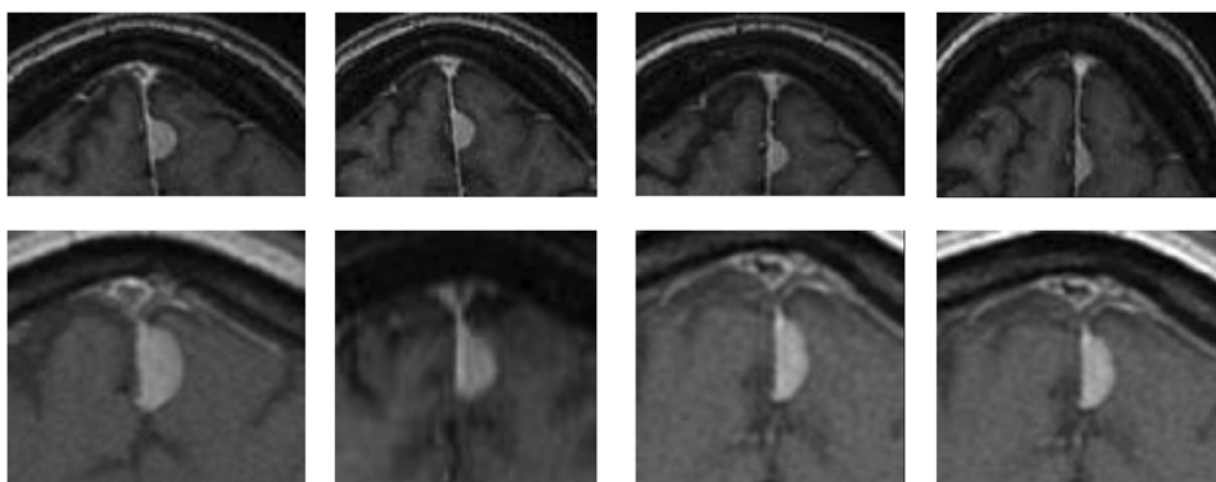


Рис. 5. Тип А (стабильно гомогенное контрастирование). МРТ-серии T_1 СЕ в аксиальной (верхний ряд) и корональной (нижний ряд) плоскостях на четырёх временных точках: до СРХ — 3 мес — 6 мес — 12 мес.

Характер контрастирования сохраняется гомогенным на всех этапах

Fig. 5. Type A (stably homogeneous contrasting). MRI-series T_1 CE in the axial (upper row) and coronal (lower row) planes at four time points: before SRS — 3 months — 6 months — 12 months.

The nature of the contrasting is maintained homogeneous at all stages

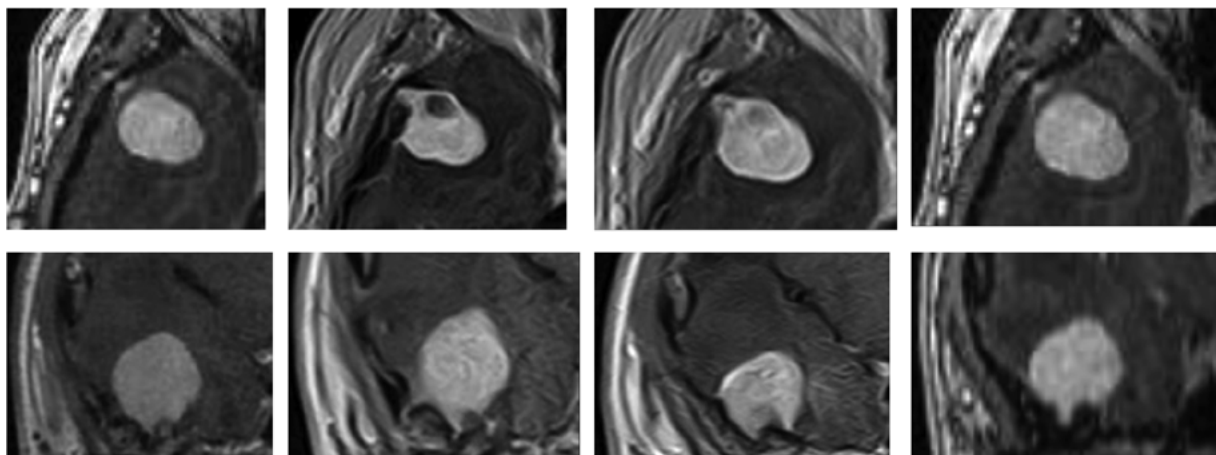


Рис. 6. Тип Б (транзиторная гетерогенность с возвратом к гомогенному паттерну). МРТ-серии T_1 CE в аксиальной (верхний ряд) и корональной (нижний ряд) плоскостях: до СРХ — 3 мес — 6 мес — 14 мес.

На 3 и/или 6 мес отмечается переход к гетерогенному контрастированию, к 14 мес — возврат к гомогенному паттерну.

Fig. 6. Type B (transient heterogeneity with return to a homogeneous pattern). T_1 CE MRI series in the axial (top row) and coronal (bottom row) planes: before SRS — 3 months — 6 months — 14 months.

At 3 and/or 6 months, there is a transition to heterogeneous contrasting, by 14 months — a return to a homogeneous pattern

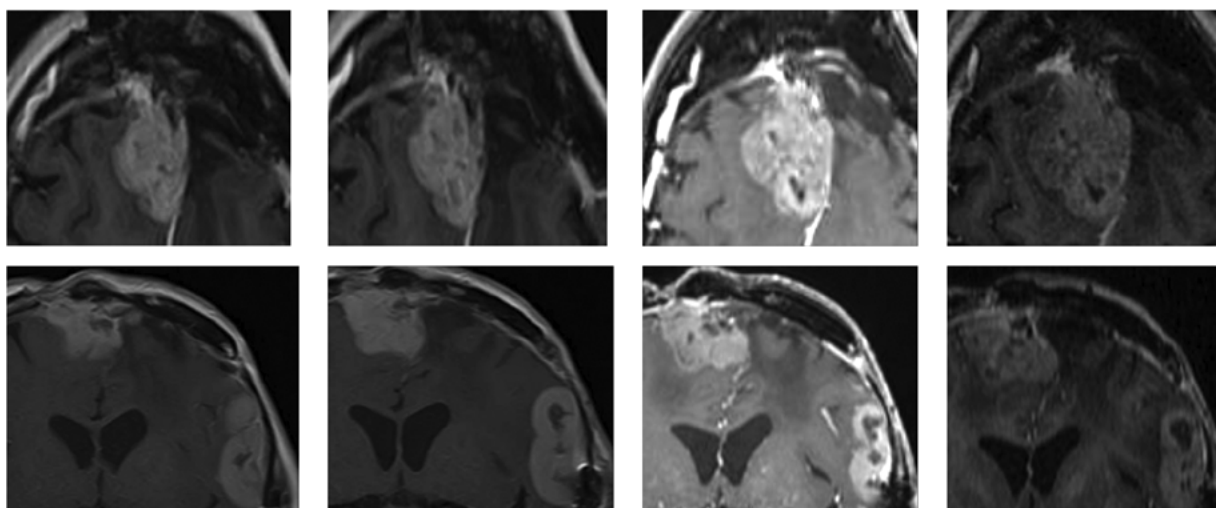


Рис. 7. Тип Б (стойко гетерогенное контрастирование, истинное прогрессирование). Репрезентативный пациент. МРТ-серии T_1 CE в аксиальной (верхний ряд) и корональной (нижний ряд) плоскостях: до СРХ — 3 мес — 6 мес — 12 мес. Появление гетерогенного контрастирования на ранних этапах сохраняется к финальному исследованию

Fig. 7. Type B (persistently heterogeneous contrast enhancement, true progression). Representative patient. T_1 CE MRI series in axial (top row) and coronal (bottom row) planes: before SRS — 3 months — 6 months — 12 months. Heterogeneous contrast enhancement appears in the early stages and persists by the final examination

Появление новых очагов в области облучения или прилежащих структурах головного мозга было зарегистрировано в 5 случаях (10,0 %); все они расценены как истинное прогрессирование. Чувствительность данного признака составила 41,7 %, специфичность — 100 %. Несмотря на низкую частоту встречаемости, появление новых очагов является высокоспецифическим признаком прогрессирования и не наблюдалось ни в одном случае стабилизации или улучшения.

Изменение чёткости контуров опухоли (переход от чётких к нечётким после СРХ) было выявлено у 3 пациентов; во всех случаях исход — прогресси-

вание. Чувствительность признака составила лишь 25,0 % (95 % ДИ: 8,9–53,2), однако специфичность достигала 100 %. Подобно появлению новых очагов, нечёткость контуров представляет высокоспецифический, но малочувствительный признак истинного роста.

В настоящем исследовании было зафиксировано 9 случаев (18,0 %) псевдопрогрессирования — транзиторного увеличения размеров опухоли в ранние сроки (3–6 мес) с последующей стабилизацией или регрессом к 12–14 мес. Из этих 9 пациентов у 7 итоговый исход расценён как стабилизация, у 2 — как улучшение. 8 из 9 случаев попали в траекторию кон-

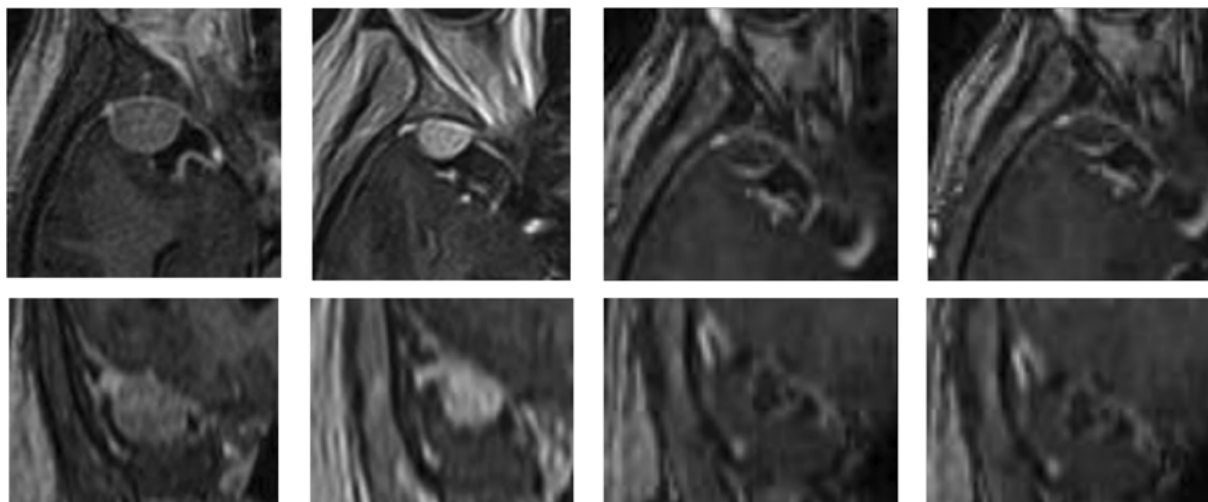


Рис. 8. Тип Г (биологический регресс с переходом к отсутствию контрастирования). МРТ-серии T₁ CE в аксиальной (верхний ряд) и корональной (нижний ряд) плоскостях: до СРХ — 3 мес — 6 мес — 12 мес. Через 6 мес формируются участки отсутствия накопления контрастного вещества

Fig. 8. Type G (biological regression with transition to lack of contrast). T₁ CE MRI series in axial (top row) and coronal (bottom row) planes: before SRS — 3 months — 6 months — 12 months. After 6 months, areas of lack of contrast agent accumulation form

трастирования типа Б (транзиторная гетерогенность с возвратом к гомогенному паттерну); один случай характеризовался иной комбинацией изменений и был отнесён к категории «прочее».

Дифференциальная диагностика истинного прогрессирования и псевдопрогрессирования в нашем материале опиралась на сочетание нескольких признаков. Различие в траектории контрастирования являлось ориентиром, однако само по себе не было достаточным, дополнительной характеристикой феномена псевдопрогрессирования служила динамика перифокального отёка: у 3 из 9 пациентов (33,3 %) с псевдопрогрессированием перифокальный отёк появлялся на ранних контрольных МР-исследованиях (3 или 6 мес), однако к 12–14 мес регрессировал

(рис. 9). В отличие от этого, у всех пациентов с истинным прогрессированием, у которых на ранних МРТ был зафиксирован перифокальный отёк, последний сохранялся либо нарастал к финальному исследованию.

Полученные результаты подчёркивают принципиальную важность динамической оценки и недопустимость заключения о прогрессировании по результатам единственного раннего контрольного исследования. Для надёжной дифференциальной диагностики необходим анализ полной картины с оценкой совокупности признаков: характера и динамики контрастирования, перифокальных изменений, чёткости контуров и наличия новых очагов.

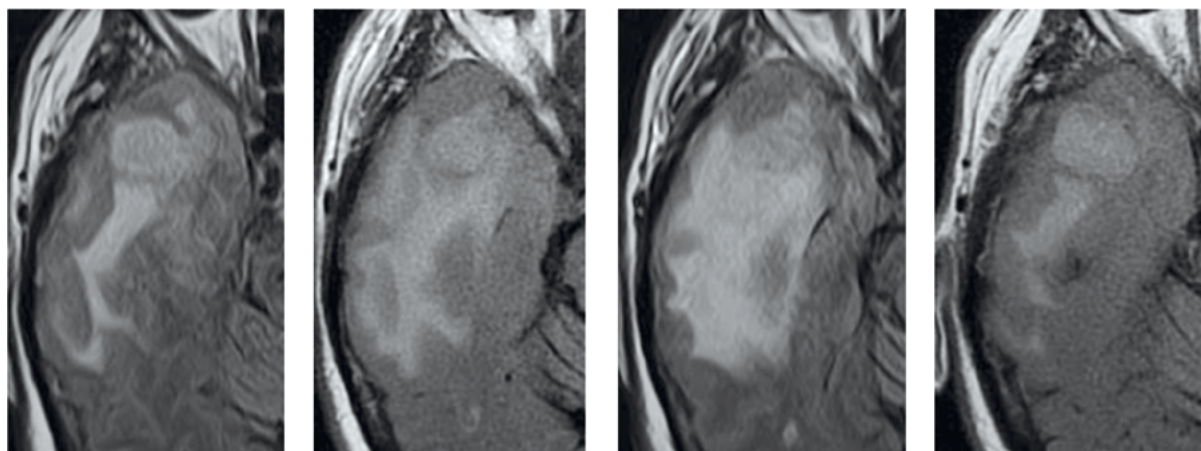


Рис. 9. МР-серии FLAIR в аксиальной плоскости: до СРХ — 3 мес — 6 мес — 12 мес. Отмечается нарастание перифокального отека на 3 и 6 мес после СРХ, с дальнейшим уменьшением его выраженности к 12 мес

Fig. 9. FLAIR MR-series in the axial plane: before SRS — 3 months — 6 months — 12 months. There is an increase in perifocal edema at 3 and 6 months after SRS, with a further decrease in its severity by 12 months

Обсуждение

Стереотаксическая радиохирургия в последние десятилетия стала основным неинвазивным методом лечения менингиом, не подлежащих радикальной резекции. Высокая эффективность метода в отношении контроля опухолевого роста подтверждена многочисленными исследованиями [4, 5]. Однако у части пациентов после СРХ наблюдается прогрессирование, что требует надёжных методов раннего выявления и дифференциальной диагностики истинного роста и постлучевых реакций. В нашем исследовании частота прогрессирования по объёмной оценке составила 24,0 %, что несколько выше показателей крупных мета-анализов для менингиом Grade I (10–15 %) [5]. Это объясняется составом нашей выборки, в которую вошли пациенты с менингиомами высоких степеней злокачественности и пациенты после частичной резекции — обе категории сами по себе являются факторами повышенного риска вторичного роста.

В нашей работе обращает на себя внимание значительное расхождение классификаций ответа опухоли при использовании двух количественных методов оценки. Совпадение исходов между критериями RANO (по площади) и объёмной оценкой составило 68 %; коэффициент каппа Коэна 0,498 соответствует умеренному уровню согласия. Это означает, что выбор метода количественной оценки прямо влияет на формальное заключение о результате лечения, что имеет принципиальное значение для клинической практики и сопоставимости результатов разных исследований. Особого внимания заслуживают случаи разнонаправленных изменений: уменьшение двумерных размеров при росте объёма, наблюдавшееся в нашей выборке у двух пациентов, отражает изменение формы опухоли и не может быть выявлено стандартными RANO-измерениями. Аналогичные наблюдения о большей чувствительности объёмных методов представлены в работах Н. Speckter et al [10, 11], где волюметрический анализ позволял раньше выявлять реакцию опухоли на лечение.

Анализ исходных характеристик опухоли подтвердил известные из литературы закономерности: опухоли более высокой степени злокачественности сопряжены с повышенным риском прогрессирования. Вместе с тем, диагностическая ценность этого параметра на индивидуальном уровне остаётся ограниченной и требует осторожной интерпретации; на больших выборках различия, по-видимому, будут более выражены, что согласуется с данными литературы [1, 14].

Отсутствие значимой связи локализации опухоли с исходом ($p = 0,84$) совпадает с результатами ряда исследований [4, 5], в которых при стандартизации дозы и объёма облучения анатомическая зона перестаёт играть решающую роль.

Анализ комплекса качественных МРТ-признаков показал, что ни один из них в отдельности не обеспечивает оптимального баланса чувствительности и специфичности. Это обосновывает целесообразность интерпретации МРТ-картины с учётом совокупности признаков, а не опоры на единственный диагностический критерий. В клинической практике сочетание стойкой гетерогенности контрастирования с перифокальным отёком, нечёткостью контуров или появлением новых очагов с высокой вероятностью указывает на истинное прогрессирование.

Феномен псевдопрогрессии, наблюдавшийся в 18,0 % случаев, представляет особую диагностическую сложность. В нашем материале основное различие между псевдопрогрессией и истинным прогрессированием проявлялось в комбинации признаков: при псевдопрогрессии гетерогенность контрастирования регрессировала к 12–14 мес, и параллельно регрессировал перифокальный отёк; при истинном прогрессировании гетерогенность сохранялась или нарастала, и отёк сохранялся либо нарастал. Принципиальной находкой явилось то, что перифокальный отёк в наших наблюдениях не зафиксирован ни в одном случае истинной стабилизации или регресса опухоли (0 из 35 пациентов) — его появление в течение наблюдения является чувствительным маркером патологической биологической активности, тогда как именно дальнейшая динамика отёка позволяет дифференцировать постлучевую реакцию от истинного роста. Эта закономерность согласуется с патофизиологическими представлениями: транзиторные постлучевые реакции связаны с воспалением и преходящим нарушением проницаемости сосудов без образования зон необратимого некроза, тогда как истинное прогрессирование сопровождается стойкими структурными изменениями опухолевой ткани [7, 8]. Это подчёркивает критическую важность динамической оценки и недопустимость заключения о прогрессировании по результатам единственного раннего контрольного исследования.

Заключение

Сравнительный анализ количественных методов оценки ответа менингиом на стереотаксическую радиохирургию показал, что классификации по площади (критерии RANO) и по объёму дают согласующиеся результаты лишь в 68 % случаев. Объёмная оценка более чувствительна к скрытому прогрессированию при изменении формы опухоли и должна рассматриваться как предпочтительный метод для раннего выявления неблагоприятной динамики.

Степень злокачественности является значимым прогностическим фактором, что подтверждается данными литературы. Локализация опухоли не влияет на исход лечения.

Комплекс качественных МРТ-признаков (характер контрастирования и его динамика на этапах наблюдения, перифокальный отёк, чёткость контуров, появление новых очагов) обеспечивает основу для дифференциальной диагностики истинного прогрессирования и постлучевых реакций. Ни один признак, взятый в отдельности, не является универсальным, но в совокупности они формируют клинически значимую семиотику.

Полученные результаты могут служить основой для формирования стандартизированных протоколов МРТ-наблюдения за пациентами с менигиомами после стереотаксической радиохирургии с акцентом на оценку совокупности количественных и качественных признаков.

Список литературы / References

1. Louis DN, Perry A, Wesseling P, et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Neuro Oncol.* 2021;23(8):1231-1251. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab106>
2. Ostrom QT, Price M, Neff C, et al. CBRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2016–2020. *Neuro Oncol.* 2023;25(Suppl_4):iv1–iv99. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noad149>
3. Goldbrunner R, Stavrinos P, Jenkinson MD, et al. EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. *Neuro Oncol.* 2021;23(11):1821-1834. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab150>
4. Голанов АВ, Антипина НА, Костюченко ВВ и соавт. Изменение парадигмы лечения нейрохирургических пациентов в эпоху стереотаксического облучения. К 15-летию нейрорадиохирургии в России. Журнал «Вопросы нейрохирургии» им.Н.Н. Бурденко. 2021;85(5):48554. Golanov AV, Antipina NA, Kostjuchenko VV, et al. Changes in treatment paradigm for neurosurgical patients in the era of stereotactic irradiation. By the 15th anniversary of the Neurosurgery in Russia. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2021;85(5):48-54. (In Russ., In Engl.) <https://doi.org/10.17116/neiro20218505148>
5. Marchetti M, Sahgal A, De Salles AAF, et al. Stereotactic Radiosurgery for Intracranial Noncavernous Sinus Benign Meningioma: International Stereotactic Radiosurgery Society Systematic Review, Me-

- ta-Analysis and Practice Guideline. *Neurosurgery.* 2020;87(5):879-890. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa169>
6. Huang RY, Bi WL, Weller M, et al. Proposed response assessment and endpoints for meningioma clinical trials: report from the Response Assessment in Neuro-Oncology Working Group. *Neuro Oncol.* 2018;21(1):26-36. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noy137>
7. Cohen-Inbar O, Tata A, Moosa S, Lee CC, Sheehan JP. Stereotactic radiosurgery in the treatment of parasellar meningiomas: long-term volumetric evaluation. *J Neurosurg.* 2018;128(2):362-372. <https://doi.org/10.3171/2016.11.JNS161402>
8. Patel TR, Chiang VL. Secondary neoplasms after stereotactic radiosurgery. *World Neurosurg.* 2014;81(3-4):594-599. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.10.043>
9. Vogelbaum MA, Jost S, Aghi MK, et al. Application of novel response/progression measures for surgically delivered therapies for gliomas: Response Assessment in Neuro-Oncology (RANO) Working Group. *Neurosurgery.* 2012;70(1):234-243. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318223f5a7>
10. Speckter H, Bido J, Hernandez G, et al. Pretreatment texture analysis of routine MR images and shape analysis of the diffusion tensor for prediction of volumetric response after radiosurgery for meningioma. *J Neurosurg.* 2018;129(Suppl1):31-37. <https://doi.org/10.3171/2018.7.GKS181327>
11. Speckter H, Radulovic M, Trivodaliev K, et al. MRI radiomics in the prediction of the volumetric response in meningiomas after gamma knife radiosurgery. *J Neurooncol.* 2022;159(2):281-291. <https://doi.org/10.1007/s11060-022-04063-y>
12. Суровцев ЕН, Капишников АВ. Прогнозирование ответа первичных внеозговых опухолей на стереотаксическую радиохирургию на основе радиомического анализа МРТ изображений. Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. 2023;2023(4):77-92. EDN: RWIPNG. Surovcev EN, Kapishnikov AV. Predicting the response of primary extra-axial tumors to stereotactic radiosurgery based on radiomic analysis MRI images. *Bulletin of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology.* 2023;2023(4):77-92. (In Russ.)
13. Sahm F, Schrimpf D, Stichel D, et al. DNA methylation-based classification and grading system for meningioma: a multicentre, retrospective analysis. *Lancet Oncol.* 2017;18(5):682-694. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30155-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30155-9)

Information about the authors

Marina K. Melnikova, <https://orcid.org/0009-0005-2336-7520>
Maxim V. Artemov, <https://orcid.org/0009-0007-1229-1203>
Yulia N. Vinogradova, <https://orcid.org/0000-0002-0938-5213>
Artem V. Kartashev <https://orcid.org/0000-0002-6714-6413>

Вклад авторов

Мельникова М.К. — анализ данных, расчёты количественных показателей, систематический обзор литературы.
Артемов М.В. — обеспечил экспертное сопровождение по интерпретации МРТ-данных и участвовал в научном руководстве разработкой статьи.
Виноградова Ю.Н. — сформулировала общий вектор, концепцию и методологию, критически оценивала полученные результаты, вносила необходимые коррективы.
Картасhev А.В. — предоставил данные пациентов, обеспечил контроль качества полученных данных и консультационную поддержку по вопросам применения СРХ.

Финансирование

Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Ю.Н. Виноградова является членом редакционного совета журнала «Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия», но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Соответствие принципам этики

Не требовалось.

Информированное согласие

Не требовалось.

Поступила: 27.05.2026
Принята к публикации: 19.07.2026
Опубликована online: 26.09.2026

Authors' contributions

Marina K. Melnikova — conducted data analysis, performed calculations of quantitative indicators, and carried out a systematic review of the literature.
Maxim V. Artemov — provided expert support for the interpretation of MRI data and participated in the scientific supervision of the article's development.
Yulia N. Vinogradova — formulated the overall direction, concept, and methodology, critically assessed the obtained results, and made the necessary adjustments.
Artem V. Kartashev — provided patient data, ensured the quality control of the obtained data, and provided consulting support on the use of SRS.

Funding

The study had no sponsorship.

Conflict of interests

Conflict of interests. Yulia N. Vinogradova is a member of the editorial council of the journal "Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy" but had no role in the decision to publish this article. The article has undergone the journal's established peer-review process. The authors have declared no other conflicts of interest.

Ethical compliance

Not required.

Informed consent

Not required.

Received: 27.05.2026
Accepted for publication: 19.07.2026
Published online: 26.09.2026