DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-122-126

М.С. Кани, Ю.С. Пышкина

РОЛЬ МРТ В ПЛАНИРОВАНИИ И ДИНАМИЧЕСКОМ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ПАЦИЕНТАМИ С АДЕНОМАМИ ГИПОФИЗА ПОСЛЕ РАДИОХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НА УСТАНОВКЕ «ГАММА-НОЖ»

Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, Самара

Контактного лица: Юлия Сергеевна Пышкина, e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить эффективность стереотаксической радиохирургии на аппарате «Гамма-нож» методом магнитно-резонансной томографии у пациентов с аденомами гипофиза (АГ).
Материал и методы: Проведено ретроспективное одноцентровое исследование серии последовательных клинических случаев. В исследование включено 19 пациентов с АГ, проходивших лечение в период с ноября 2023 г. по декабрь 2025 г., в том числе 15 женщин (78,9%) и 4 мужчины (21,1%), средний возраст обследуемых составил 58,7 лет (диапазон 41–75 лет). Ранее хирургическое лечение (эндоскопическая эндоназальная транссфеноидальная операция) в анамнезе было выполнено 78,9 % (*n*=15) пациентов. Всем пациентам СРХ проводилась на установке «Гамма-нож» (модель Leksell Gamma Knife). Всем обследуемым проведена магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга с использованием T_1-взвешенных изображений (ВИ); T_2-ВИ; T_1-ВИ с контрастным веществом; T_1-ВИ с контрастным веществом с подавлением МР-сигнала от жировой ткани. Оценка объемов АГ проводилась с использованием программного обеспечения Leksell GammaPlan методом ручного оконтуривания мишени на T_1-ВИ с контрастным усилением.
Результаты: После стереотаксической радиохирургии объем АГ составлял 0,431–19,785 см^3 (в среднем 6,73 см^3). Средняя разница между объёмами мишени перед СРХ и на контрольной МРТ ГМ составила 1,99 см^3, что является статистически значимым ($p < 0,05$). У одного пациента (5,3%) образование уменьшилось вдвое. У остальных (*n*=18, 94,7%) рост АГ остановился. У всех обследуемых за период наблюдения не были отмечены ухудшение неврологических симптомов и появление новых.
Заключение: Стереотаксическая радиохирургия на аппарате «Гамма-нож» под контролем МРТ является безопасным и эффективным методом лечения АГ, обеспечивающим контроль роста опухоли у подавляющего большинства пациентов и статистически значимое уменьшение ее объема. Применение стандартизированных МРТ-протоколов на этапах планирования и динамического наблюдения является обязательным условием достижения оптимальных клинических результатов.

Ключевые слова: *стереотаксическая радиохирургия, гамма-нож, аденома гипофиза, магнитно-резонансная томография*

Для цитирования: Кани М.С., Пышкина Ю.С. Роль МРТ в планировании и динамическом наблюдении за пациентами с аденомами гипофиза после радиохирургического лечения на установке «Гамма-нож» // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 6. С. 122–126. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-122-126

DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-122-126

M.S. Kani, Yu.S. Pyshkina

MRI in Planning and Follow-up of Pituitary Adenomas after Gamma Knife Radiosurgery

Samara State Medical University, Samara, Russia

Contact person: Yu.S. Pyshkina, e-mail: yu.pyshkina@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: To evaluate the efficacy of Gamma Knife stereotactic radiosurgery under magnetic resonance imaging guidance in patients with pituitary adenomas.
Material and methods: A retrospective, single-center case series study was conducted. The analysis included 19 patients with pituitary adenomas treated between November 2023 and December 2025, comprising 15 women (78.9%) and 4 men (21.1 %), with a median age of 58.7 years (range, 41–75 years). A prior surgical procedure (endoscopic endonasal transsphenoidal surgery) had been performed in 78.9 % (*n*=15) of patients. All patients underwent stereotactic radiosurgery (SRS) on a Leksell Gamma Knife unit. Magnetic resonance imaging (MRI) of the brain was performed in all subjects using T_1-weighted images (WI); T_2-WI; contrast-enhanced T_1-WI; and contrast-enhanced T_1-WI with fat-signal suppression. Pituitary adenoma volumes were assessed using the Leksell GammaPlan software by manual contouring of the target on contrast-enhanced T_1-WI.
Results: Following stereotactic radiosurgery, pituitary adenoma volumes ranged from 0.431 to 19.785 cm³ (mean, 6.73 cm³). The mean difference between target volumes before SRS and on follow-up MRI of the brain was 1.99 cm³, which was statistically significant ($p < 0.05$). In one patient (5.3 %), the lesion reduced in volume by half. In the remaining 18 patients (94.7 %), tumor growth was controlled without further progression. During the follow-up period, no worsening of neurological symptoms or new neurological deficits was observed in any patient.
Conclusion: Stereotactic radiosurgery on the Gamma Knife under MRI guidance represents a safe and effective treatment modality for pituitary adenomas, providing tumor growth control in the vast majority of patients and statistically significant volumetric reduction. The use of standardized MRI protocols at the planning and dynamic follow-up stages is essential for achieving optimal clinical outcomes.

Keywords: *stereotactic radiosurgery, gamma knife, pituitary adenoma, magnetic resonance imaging*

For citation: Kani MS, Pyshkina YuS. MRI in Planning and Follow-up of Pituitary Adenomas after Gamma Knife Radiosurgery. Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(6):122–126. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-6-122-126

Введение

Аденомы гипофиза (АГ) составляют 12–20% первичных опухолей головного мозга (ГМ) [1], занимают третье место по частоте после глиом и менингиом [2]. Частота встречаемости АГ при аутопсии составляет до 25% [3], что указывает на высокую распространенность бессимптомных форм. АГ часто вызывают эндокринные нарушения и неврологические симптомы, требуя точной диагностики и лечения.

Ранняя и точная верификация этого заболевания имеет большое значение для выбора оптимальной тактики лечения и предотвращения осложнений [4]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) – золотой стандарт топографической диагностики и планирования лечения, а также первичной визуализации опухолей гипофиза и метод выбора [5, 6] для мониторинга динамики заболевания и в оценке эффективности лечения [4] – как хирургического вмешательства, так и консервативной терапии АГ. К основным преимуществам МРТ можно отнести отсутствие лучевой нагрузки [4], получение полипроекционных высококонтрастных изображений, точную локализацию очага и смежных с ним критических структур, определение границы и размеров патологического образования с субмиллиметровой точностью, различение типов тканей и уточнение диагноза при отсутствии гистологической верификации [7, 8]. МРТ также позволяет оценить степень инвазии опухоли в окружающие ткани [9, 10], что имеет значение для выбора тактики лечения.

Возможно несколько вариантов лечения АГ: хирургическое удаление – основной вид лечения – оперативное вмешательство показано при аденомах, рост которых определяется по данным МРТ и сопровождается развитием клинической симптоматики – зрительные и неврологические нарушения, гипопитуитаризм [6]; консервативная медикаментозная симптоматическая терапия; стереотаксическая радиохирургия (СРХ); комбинированный подход и наблюдение [7]. В качестве основного метода лечения АГ по-прежнему рассматривается хирургическое вмешательство, которое, как правило, демонстрирует наилучшие результаты. Однако в реальной практике возникают серьезные ограничения: в некоторых случаях отсутствуют необходимые медицинские ресурсы, такие как современное оборудование, а также квалифицированные специалисты, что делает хирургическое решение недоступным для многих пациентов. Кроме того, данный вид лечения несет в себе определенные риски, среди которых можно выделить вероятность обильного кровотечения, невозможность тотальной резекции при инвазивном росте, соматическая отягощенность пациента, отказ от наркоза и возможные рецидивы.

Эти обстоятельства подчеркивают необходимость поиска менее инвазивных альтернативных методов, которые могли бы обеспечить более безопасный подход к терапии АГ. При этом СРХ способна обеспечить контроль роста опухоли, сохранность зрительных функций, предотвращение ухудшения эндокринного статуса пациента, устранение избыточной секреции гормонов, уменьшение дозировки или отказ от медикаментозной терапии, подавляющей гормональную активность опухоли, и, соответственно, связанных с их приемом расходов, а также снижение риска возникновения когнитивных нарушений и других осложнений. Важно отметить, что радиохирургия, являясь методом с минимальной инвазивностью, фактически выступает как третий этап в комплексной стратегии лечения. Этот подход становится особенно актуальным для пациентов, которые стремятся избежать традиционной хирургии, но при этом нуждаются в эффективной терапии.

Важным этапом при ведении пациента после СРХ является контроль постлучевых изменений опухоли и прогнозирование риска развития осложнений. Динамическое проведение МРТ ГМ показано пациентам с аденомой гипофиза, так как возможен быстрый темп роста образования, развитие масс-эффектов опухоли, а также прогрессирования гипопитуитаризма [7]. При отсутствии признаков роста опухоли повторная МРТ рекомендуется 1 раз в год в случае макроаденомы и 1 раз в 2–3 года при микроаденоме в течение последующих 3 лет, в дальнейшем с постепенным уменьшением кратности исследований [7].

Цель исследования: оценить эффективность стереотаксической радиохирургии на аппарате «Гамма-нож» под контролем магнитно-резонансной томографии у пациентов с аденомами гипофиза.

Материал и методы

Проведено ретроспективное одноцентровое исследование серии последовательных клинических случаев.

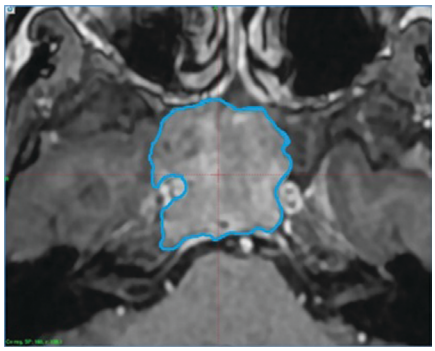
Критерии включения пациентов в исследование: наличие верифицированной АГ (макро- или микроаденомы) по данным МРТ ГМ; проведение СРХ на аппарате «Гамма-нож» в период с ноября 2023 г. по декабрь 2025 г.; наличие не менее двух контрольных МРТ-исследований после проведенного лечения (с интервалом не менее 3 мес); наличие полных клинических, лабораторных и инструментальных данных в медицинской документации. Критерии исключения: отсутствие динамического МРТ-наблюдения; лучевая терапия фракционированным режимом в анамнезе; наличие противопоказаний к проведению МРТ с контрастным усилением.

В исследование включены 19 пациентов с аденомами гипофиза, проходивших лечение в период с ноября 2023 г. по декабрь 2025 г., в том числе 15 женщин (78,9%) и 4 мужчины (21,1%), средний возраст обследуемых составил 58,7 лет (диапазон 41–75 лет). Ранее хирургическое лечение (эндоскопическая эндоназальная трансфеноидальная операция) в анамнезе было выполнено 78,9% (n=15) пациентов. Из них у 12 (80%) СРХ проведена по поводу резидуальной опухоли после нерадикальной резекции, а у 3 (20%) – по поводу прогрессирования (рецидива) в отдаленном послеоперационном периоде. У 12 пациентов (63,2%) выявлена макроаденома (от 11 мм) гипофиза (рис. 1 а), у остальных (36,8%) микроаденома (до 10 мм) (рис. 1 б). У пяти пациентов (26,3%) выявлена функционирующая АГ: соматотропинома диагностирована у трех обследуемых (15,8%; рис. 2 а), пролактинома – у двух (10,5%; рис. 2 б). Основными жалобами пациентов на момент обращения являлись: периодическая головная боль (n=19, 100%), головокружение (n=19, 100 %), артериальная гипертензия (n=19, 100%), зрительные нарушения различной степени выраженности (n=10, 52,6 %), признаки акромегалии – увеличение кистей и стоп на один размер (n=3, 15,8%). Наличие последней подтверждается клинической симптоматикой, проявляющейся изменением уровня гормона, который продуцируется гипофизом [10].

СРХ проводилась на аппарате «Гамма-нож» (модель Leksell Gamma Knife). Всем пациентам под местной анестезией выполнялась фиксация стереотаксической рамы системы Leksell. Планирование сеанса радиохирургии осуществлялось с использованием компьютерной планирующей системы Leksell GammaPlan (версия 11.1.1).

МРТ-исследования выполнялись на томографе Philips с индукцией магнитного поля 1,5 Тл по стандартизированным протоколам. МРТ-протокол для подготовки плана стереотаксической радиохирургии АГ включа-

а



б

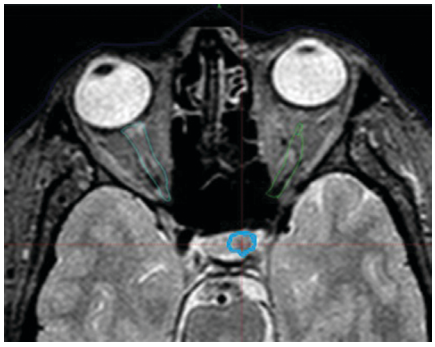
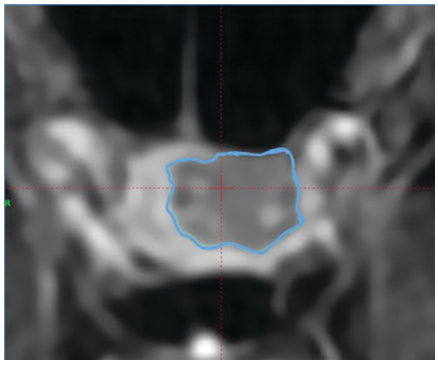


Рис. 1. МРТ головного мозга, T_1-ВИ с контрастным усилением, аксиальная проекция. Магнитно-резонансные признаки макроаденомы (а); микроаденомы (б)

Fig. 1. MRI of the brain: T_1-weighted with contrast, axial projection. Magnetic resonance imaging findings of a macroadenoma (a); microadenoma (б)

а



б

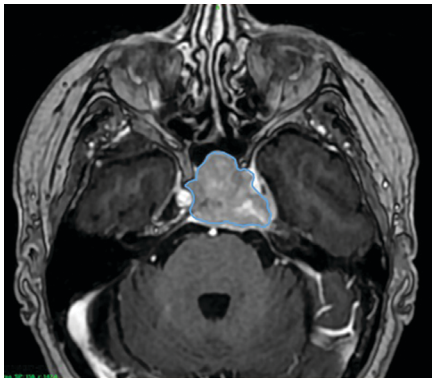


Рис. 2. МРТ головного мозга, T_1-ВИ с контрастным усилением, аксиальная проекция: соматотропинома (а); пролактинома (б)

Fig. 2. MRI of the brain: T_1-weighted with contrast, axial projection: somatotropinoma (a); prolactinoma (б)

ет выполнение T_1-взвешенных изображений (ВИ), T_1-ВИ с контрастным усилением гадолинием всей головы, T_2-ВИ области интереса [6], T_1-ВИ с контрастированием и подавлением жира области интереса. Все последовательности МРТ выполнены с шагом 1 мм. МРТ ГМ для контроля АГ после СРХ включал следующие режимы: T_1-ВИ, T_2-ВИ, FLAIR, МР-перфузия всей головы с шагом менее 5 мм; 3D-SPGR с контрастным усилением гадолинием всей головы с шагом менее 1 мм в строго аксиальной проекции [11].

Оценка объемов аденом гипофиза проводилась с использованием программного обеспечения Leksell GammaPlan методом ручного оконтуривания мишени на T_1-ВИ с контрастным усилением.

Статистический анализ выполнен с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics (версия 10.0, USA). Количественные переменные представлены в виде среднего арифметического и диапазона значений (min–max). Сравнение объемов опухоли до и после СРХ проводилось с использованием парного непараметрического критерия Уилкоксона, проверка различий проводилась в целой группе. Различия считались статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты

До стереотаксической радиохирургии объем мишени варьировался от 0,129 до 20,122 см^3 (в среднем 7,92 см^3). Предписанная доза при СРХ составила в среднем 19,5 Гр (диапазон 14-27,5 Гр), предписанная изодоза 51,8% (диапазон 47–64%). Стоит отметить, что гормонально-активные опухоли получали более высокую дозу, чем гормонально-неактивные АГ. Объем черепа, облученный дозой более 10 Гр, составлял в среднем 13,6 см^3 (для максимально допустимой дозы – 100 см^3). Среднее время облучения составило 139,2 минут (диапазон 23,8-271,9 минут). Критические структуры (зрительные нервы, хиазма, гипоталамус, стебель гипофиза) контурировались в процессе планирования; предельно допустимые уровни лучевой нагрузки на данные органы не были превышены ни в одном случае.

После стереотаксической радиохирургии объем АГ (рис. 3) составлял 0,431–19,785 см^3 (в среднем 6,73 см^3). Средняя разница между объёмами мишени перед СРХ и на контрольной МРТ ГМ составила 1,99 см^3, что является статистически значимым ($p < 0,05$). У одного пациента (5,3%) образование уменьшилось вдвое. У остальных (n=18, 94,7%) рост АГ остановился. У всех обследуемых за период наблюдения не были отмечены ухудшение неврологических симптомов и появление новых.

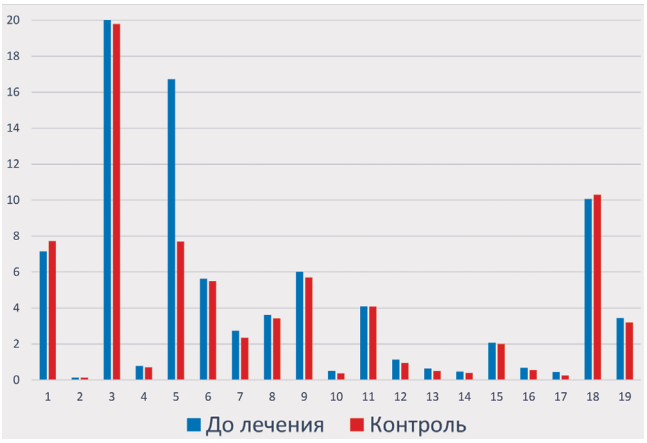
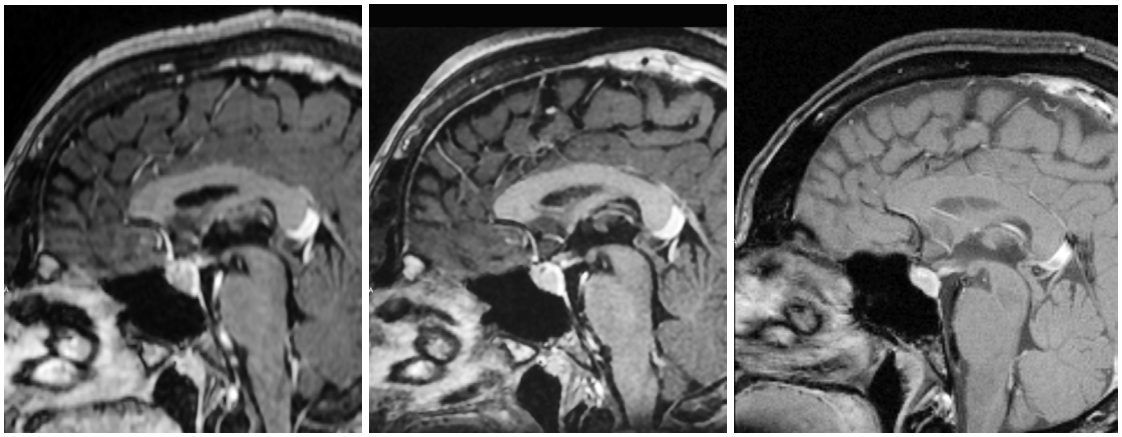


Рис. 3. Динамика изменения объемов аденом гипофиза у пациентов до СРХ и после на контрольной МРТ ГМ

Fig. 3. Volumetric changes in pituitary adenomas before stereotactic radiosurgery and at follow-up MRI of the brain



а б в

Рис. 4. МРТ головного мозга, T_1-ВИ с контрастным усилением, сагитальная проекция. Магнитно-резонансные признаки соматотропиномы. Объем мишени при СРХ 0,78 см³ (а). Объем образования через 4 мес – 0,705 см³ (б), через 10 мес – 0,431 см³ (в)

Fig. 4. MRI of the brain: T_1-weighted with contrast, sagittal projection. Magnetic resonance imaging findings of a somatotropinoma. The target volume is 0.78 cm³ (a). The volume of the formation after 4 months is 0.705 cm³ (б), after 10 months is 0.431 cm³ (в)

Полученные данные хорошо иллюстрирует следующий клинический случай.

Пациентка Б., 55 лет в феврале 2024 г. обратилась на прием к радиотерапевту с диагнозом макроаденомы гипофиза, соматотропиномы, акромегалии, с целью определения возможности проведения СРХ на аппарате «Гамма-нож». Жалобы женщины на момент обращения включали повышение артериального давления (140 и 90 мм.рт.ст.), головокружение, слабость, сдавливающие головные боли в височных областях, увеличение кистей и размера стоп. Из анамнеза заболевания: симптомы появились в 2021 г., при этом пациентка отметила ухудшение самочувствия в период с 2021 по 2023 гг. В 2023 г. при проведении МРТ ГМ была диагностирована макроаденома гипофиза, по данным анализа крови выявлено повышение уровня инсулиноподобного фактора роста-1. После осмотра и изучения медицинской документации было принято решение о проведении СРХ на аппарате «Гамма-нож».

Пациентке было выполнено топометрическое МРТ-сканирование ГМ с контрастированием от 14.02.2023 г.: в хиазмально-селлярной области выявлялось объемное образование (аденома, соматотропинома), без перифокального отека, без МРТ-признаков внутричерепной гипертензии (рис. 4). В условиях процедурного кабинета, с соблюдением правил асептики и антисептики, под местной анестезией была произведена фиксация стереотаксической рамы системы Leksell четырьмя винтами. С применением компьютерной планирующей системы Leksell GammaPlan 11.1.1 было выполнено планирование сеанса радиохирургии. Объем мишени при СРХ составил 0,78 см³, предписанная доза – 27,5 Гр, предписанная изодоза – 59%. Продолжительность лечения – 88,1 мин. Максимальная доза облучения – 46,6 Гр. Объем черепа, облученный дозой более 10 Гр, – 4,85 см³. После окончания сеанса облучения рама была снята, наложены асептические пластыри. Общее состояние после проведенного лечения удовлетворительное. Гемодинамика была стабильной. Пациентка выписана под наблюдение невролога по месту жительства. Далее пациентке назначили контрольную МРТ ГМ с контрастом через 3–4 мес после СРХ.

По данным контрольной МРТ ГМ с контрастом при сопоставлении в режиме ко-регистрации в программе Leksell GammaPlan 11.1.1 отмечается изменение объема опухоли: на момент СРХ – 0,78 см³ (рис. 4 А), через четыре месяца – 0,705 см³ (рис. 4 Б), через десять месяцев – 0,431 см³ (рис. 4 В). После СРХ на аппарате «Гамма-нож» по данным лабораторных анализов у пациентки нормализовался уровень гормонов при сохранении внешних признаков акромегалии.

Обсуждение

В настоящем исследовании продемонстрировано, что стереотаксическая радиохирургия на аппарате «Гамма-нож» у 19 пациентов с АГ привела к стабилизации роста опухоли в 94,7 % случаев и статистически значимому уменьшению среднего объема образования на 1,99 см³ ($p < 0,05$, критерий Уилкоксона). Функционирующие аденомы (соматотропиномы и пролактиномы) сопровождались нормализацией гормонального профиля в отдаленном периоде.

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, в работах N. Wei et al и B.M.F. Arkawazi et al [12, 13] сообщается о частоте контроля роста АГ после СРХ на уровне 85–95% при сроках наблюдения 3–5 лет. Аналогичные показатели эффективности (90–95%) представлены в мета-анализе [14] для секретирующих АГ. Нормализация гормональной гиперсекреции при соматотропиномах, по данным [15], достигается у 50–70% пациентов; в нашем исследовании клинико-лабораторная ремиссия отмечена в 26,3% случаев, что сопоставимо с результатами крупных серий. В отличие от фракционированной лучевой терапии, СРХ характеризуется более низким риском когнитивных нарушений и гипопитуитаризма при соблюдении дозовых ограничений на критические структуры [16].

В нашем исследовании предельно-допустимые дозы на хиазму и зрительные нервы не были превышены, что согласуется с рекомендациями [17].

Высокая точность лечения, достигнутая в настоящем исследовании, обеспечивалась использованием стандартизированного МРТ-протокола (T_1-ВИ с контрастированием, шаг среза 1 мм), что соответствует современным требованиям к радиохирургическому лечению [11, 18]. Динамическое МРТ-наблюдение позволило своевременно оценить постлучевые изменения и подтвердить стабильность состояния у подавляющего большинства пациентов.

Результаты подтверждают, что СРХ является эффективным методом лечения как резидуальных, так и рецидивирующих АГ, особенно у пациентов с противопоказаниями к повторной операции или высоким риском хирургических осложнений. Применение СРХ в комбинации с МРТ-мониторингом позволяет реализовать персонализированный подход с минимизацией лучевой нагрузки на окружающие критические структуры.

Настоящее исследование имеет ряд ограничений: 1) ретроспективный дизайн и небольшой объем выборки (n=19) ограничивают возможность генерализации результатов; 2) отсутствие контрольной группы (например, пациенты, получавшие только медикаментозную терапию или наблюдение) не позволяет напрямую сравнить эффективность различных подходов; 3) средний срок наблюдения составил 3–12 мес, что недостаточно для оценки отдаленных результатов (включая риск поздних рецидивов и лучевых осложнений). Дальнейшие проспективные исследования с большей выборкой и длительным наблюдением необходимы для подтверждения полученных данных.

Заключение

Стереотаксическая радиохирургия на аппарате «Гамма-нож» под контролем МРТ является безопасным и эффективным методом лечения аденом гипофиза, обеспечивающим контроль роста опухоли у подавляющего большинства пациентов и статистически значимое уменьшение ее объема. Применение стандартизированных МРТ-протоколов на этапах планирования и динамического наблюдения является обязательным условием достижения оптимальных клинических результатов.

Информированное согласие

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Garg K., Singh M. Role of Stereotactic Radiosurgery in Pituitary Adenomas. Neurol India. 2020;68;Suppl: S123-S128. Doi: 10.4103/0028-3886.287674. PMID: 32611902.
2. Курносов А.Б., Кутин М.А., Шарипов О.И., Калинин П.Л., Фомичев Д.В., Малеваная Н.В. Эффективность применения гипертонического солевого раствора для достижения устойчивой интраоперационной внутричерепной гипотензии в эндоскопической эндоназальной транссфеноидальной хирургии // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. 2020. Т.9. №3. С. 363-368 [Kurnosov A.B., Kutin M.A., Sharipov O.I., Kalinin P.L., Fomichev D.V., Malevanaya N.V. Efficiency of Using Hypertonic Saline Solution to Achieve Stable Intraoperative Intracranial Hypotension in Endoscopic Endonasal Transsphenoidal Surgery. *Neotlozhnaya Meditsinskaya Pomoshch'. Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo* = Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care. 2020;9;3:363-368 (In Russ.)]. Doi: 10.23934/2223-9022-2020-9-3-363-368.
3. Kim I., Yan M., Sourour M., Heaton R., Faulkner C., Kalyvas A., Keilty D.M., Cusimano M.D., Payne D., Laperriere N., Shultz D.B., Alli S.B., Zadeh G., Tsang D.S. Pituitary Neuroendocrine Tumors Treated with Stereotactic Radiosurgery. J Neurooncol. 2025;171;2:423-430. Doi: 10.1007/s11060-024-04864-3. PMID: 39466561.
4. Zheng B., Zhao Z., Zheng P., Liu Q., Li S., Jiang X., Huang X., Ye Y., Wang H. The Current State of MRI-Based Radiomics in Pituitary Adenoma: Promising but Challenging. Front Endocrinol (Lausanne). 2024;15:1426781. Doi: 10.3389/fendo.2024.1426781. PMID: 39371931.
5. Manuweera T., Karunakaran K., Baechler C., Rosales J., Kleckner A.S., Rosenblatt P., Ciner A., Kleckner I.R. Barriers and Facilitators for Participation in Brain Magnetic Resonance Imaging (MRI) Scans in Cancer Research: a Feasibility and Acceptability Analysis. Res Sq [Preprint]. 2024:rs.3.rs-4595719. Doi: 10.21203/rs.3.rs-4595719/v1. Update in: Support Care Cancer. 2025;33;6:497. Doi: 10.1007/s00520-025-09549-9. PMID: 39070661.
6. Bashari W.A., Senanayake R., Fernández-Pombo A., Gillett D., Koulouri O., Powlson A.S., Matys T., Scoffings D., Cheow H., Mendichovszky I., Gurnell M. Modern Imaging of Pituitary Adenomas. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab. 2019;33;2:101278. Doi: 10.1016/j.beem.2019.05.002. PMID: 31208872.
7. Первичные опухоли центральной нервной системы: Клинические рекомендации. М.: Минздрав России, 2025. 99 с. [*Pervichnyye Opukholi Tsentral'noy Nervnoy Sistemy* = Primary Tumors of the Central Nervous System: Clinical Guidelines. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 2025. 99 p. (In Russ.)]. URL: https://clck.ru/3FQKZU.
8. Gadelha M.R., Barbosa M.A., Lamback E.B., Wildemberg L.E., Kasuki L., Ventura N. Pituitary MRI Standard and Advanced Sequences: Role in the Diagnosis and Characterization of Pituitary Adenomas. J Clin Endocrinol Metab. 2022;107;5:1431-1440. Doi: 10.1210/clinem/dgab901. PMID: 34908114.
9. O'Connor J.P., Rose C.J., Waterton J.C., Carano R.A., Parker G.J., Jackson A. Imaging Intratumor Heterogeneity: Role in Therapy Response, Resistance, and Clinical Outcome. Clin Cancer Res. 2015;21;2:249-57. Doi: 10.1158/1078-0432.CCR-14-0990. PMID: 25421725.
10. Sav A. Editorial: Diagnosis and Treatment of Non-Functioning Pituitary Tumors. Front Endocrinol (Lausanne). 2025;16:1558988. Doi: 10.3389/fendo.2025.1558988. PMID: 40248145.
11. Захарова Н.Е., Пронин И.Н., Баталов А.И., Чехонин И.В., Тюрина А.Н. Визуализация опухолей головного мозга: снова о стандартизированном МРТ-протоколе // Радиология – практика. 2024. №1. С. 66-84 [Zakharova N.Ye., Pronin I.N., Batalov A.I., Chekhonin I.V., Tyurina A.N. Visualization of Brain Tumors: again about the Standardized MRI Protocol. *Radiologiya – Praktika* = Radiology – Practice. 2024;1:66-84 (In Russ.)]. Doi: 10.52560/2713-0118-2024-1-66-84.
12. Wei N., Gunawan K., Tsai C.L., Yang S.H., Hsu F.M., Lai D.M., Xiao F. Long-Term Outcomes after CyberKnife Radiosurgery for Nonfunctioning Pituitary Adenomas. Neurosurgery. 2025;96;4:892-900. Doi: 10.1227/neu.0000000000003174. PMID: 39264192.
13. Arkawazi B.M.F., Al Atraqchi A., Adnan A., Dheyab S. Efficacy of Gamma Knife Radiosurgery in the Management of Pituitary Prolactinoma. Surg Neurol Int. 2021;12:357. Doi: 10.25259/SNI_230_2021. PMID: 34345497.
14. Mathieu D., Kotecha R., Sahgal A., De Salles A., Fariselli L., Pollock B.E., Levivier M., Ma L., Paddick I., Regis J., Yomo S., Suh J.H., Rubens M., Sheehan J.P. Stereotactic Radiosurgery for Secretory Pituitary Adenomas: Systematic Review and International Stereotactic Radiosurgery Society Practice Recommendations. J Neurosurg. 2021;136;3:801-812. Doi: 10.3171/2021.2.JNS204440. PMID: 34479203.
15. Slavinsky P., Gonzalez Pernas M., Miragaya K., Antico J., Margni A., Condomí Alcorta M., Katz D.A. Gamma Knife Radiosurgery in Pituitary Adenomas. A Single-Center Experience. Medicina (B Aires). 2022;82;1:111-116. PMID: 35037869.
16. Sud S., Botticello T., Niemierko A., Daly J., Bussiere M., Shih H.A. Dosimetric Comparison of Proton Versus Photon Radiosurgery for Treatment of Pituitary Adenoma. Adv Radiat Oncol. 2021;6;6:100806. Doi: 10.1016/j.adro.2021.100806. PMID: 34934865.
17. La Rosa A., Wroe A., Fellows Z., Kotecha R. Proton Radiosurgery: Current Concepts and Limitations for CNS Radiosurgery. Neurol India. 2023;71;12 Suppl 2:S174-S182. Doi: 10.4103/0028-3886.373636. PMID: 37026350.
18. Zarei F., Nematollahi F., Jalil A., Zeinali-Rafsanjani B., Saeedi-Moghadam M. Rethinking MRI Protocols for Pituitary Microadenomas: Prioritizing Non-Contrast Imaging for Safe Follow-Up. Tomography. 2025;11;9:105. Doi: 10.3390/tomography11090105. PMID: 41003488.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. *Пышкина Ю.С.*: разработка концепции исследования, разработка дизайна исследования; разработка и модификация методик исследования; написание и научное редактирование текста; *Кани М.С.*: проведение исследования, сбор и анализ литературного материала, статистическая обработка данных, написание текста.

Поступила: 20.06.2026. Принята к публикации: 25.07.2026.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. *Pyshkina Yu.S.*: development of the research concept, development of the research design; development and modification of research methods, writing and scientific editing of the text; *Kani M.S.*: conduct of research, collection and analysis of literary material, statistical data processing, writing of the text.

Article received: 20.06.2026. Accepted for publication: 25.07.2026.