

Оригинальная статья

Опыт применения стереотаксической радиохирургии и стереотаксической радиотерапии в ведущем нейрохирургическом центре СНГ: Данные 20-летнего наблюдения

Received: May 11, 2026

Revised: May 28, 2025

Accepted: June 09, 2026

Published: June 30, 2026

[Голанов А.В.](#)^{1*}, [Усачев Д.Ю.](#)², [Коновалов А.Н.](#)³

Citation: Andrey Golanov, Dmitriy Usachev, Alexander Kononov. Opyt primeneniya stereotaksicheskoy radiokhirurgii i stereotaksicheskoy radioterapii v vedushchem neyrokhirurgicheskom tsentre SNG: Dannye 20-letnego nablyudeniya (Experience in the use of stereotactic radiosurgery and stereotactic radiotherapy in a leading CIS neurosurgical center: Data from a 20-year observation) [in Russian]. Kaz J Clin NeuSci. 2026, 79 (2), kcn046. <https://doi.org/10.53498/4gqk3b05>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



¹ Заведующий отделением радиохирургии, Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия. E-mail: golanov@nsi.ru

² Директор, Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия. E-mail: dousachov@nsi.ru

³ Научный руководитель, Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия. E-mail: akononov@nsi.ru

* Корреспондирующий автор: golanov@nsi.ru

Резюме

Лучевые методы лечения заболеваний центральной нервной системы играют все большее значение в лечении нейрохирургических пациентов. Благодаря появлению новых технических возможностей, развитию нейровизуализации и нейронавигации в последние годы стремительно развивается стереотаксическое направление лучевой терапии.

Цель исследования: обобщить 20-летний опыт применения стереотаксической радиохирургии (РХ) и стереотаксической радиотерапии (СРТ) в отделении радиохирургии Национального медицинского исследовательского центра нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко и Московском центре «Гамма-нож».

Методы. В период с 2005 по 2026 год проведено лечение 42 187 пациентам в возрасте от 7 месяцев до 92 лет (средний возраст — 45 лет). Доля детей составила 9,8%. Использовалось оборудование: аппараты «Гамма-нож», линейные ускорители, роботизированные системы КиберНож. Применялись методики конформных пучков, лучевой терапии под визуальным контролем, лучевой терапии с модулированной интенсивностью, объемно-модулированной дуговой лучевой терапии, HyperArc - высокоточной СРТ по дугам и др. Контроль качества осуществлялся на дозиметрическом оборудовании.

Результаты. Наибольшую группу составили пациенты с менингиомами (n=11 760; 27,9%). Контроль опухолевого роста через 10 лет наблюдения превысил 90%. При менингиомах основания черепа 5-летний контроль достиг 96,8%, улучшение функции черепных нервов отмечено у 40,2% пациентов. Вторую по численности группу составили пациенты с метастатическим поражением головного мозга (n=9 843; 23,3%). Медиана общей выживаемости после РХ составила 11,2 месяца (95% ДИ: 10,1–12,3). Облучение ложа удаленных метастазов в режиме гиподифракционирования снизило частоту локальных рецидивов с 55,3% до 22,5% (p=0,0002). При вестибулярных шванномах (n=5 512; 13,1%) 5-летний контроль роста достигнут в 97,3% случаев, сохранение полезного слуха — у 75,2%. При аденомах гипофиза (n=1 749; 4,1%) 5-летний контроль роста составил 96–98%,

эндокринные осложнения — менее 1%. При краниофарингиомах (n=913; 2,2%) 5-летний контроль роста достигнут в 95,1% случаев, 10-летняя безрецидивная выживаемость — 86,3%. Для артериовенозных мальформаций (n=1 538; 3,6%) полная облитерация через 2–3 года составила 82,3%. При гемангиобластомах как спорадических, так и ассоциированных с синдромом Гиппеля-Линдау (серия из 135 пациентов с 798 опухолями) стереотаксическое облучение в различных режимах применения позволяет достичь почти 99% контроля опухолевого роста при более чем 4-х летнем сроке наблюдения. При спинальной патологии (n=2 089; 5,0%) 12-месячная безрецидивная выживаемость при метастатическом поражении достигнута в 90,2%.

Выводы. Наш опыт применения стереотаксического облучения демонстрирует высокую эффективность и безопасность метода при широком спектре нейрохирургической патологии. РХ и СРТ позволяют достичь результатов, сопоставимых с хирургическими, при значительно более низком риске осложнений и лучшем качестве жизни пациентов.

Ключевые слова: радиохирургия, стереотаксическая радиотерапия, Гамма-Нож, КиберНож, менингиома, метастазы в головной мозг, спинальная радиохирургия, Казахстан, Содружество Независимых Государств.

1. Введение

Лучевые методы лечения заболеваний центральной нервной системы (ЦНС) имеют более чем вековую историю. С момента открытия рентгеновских лучей и радиоактивности предпринимались попытки использования ионизирующего излучения для лечения различных новообразований головного мозга. Первые вмешательства, которые, по-видимому, выполнялись еще в начале XX века и заключались в попытках подведении всей дозы излучения к патологическому очагу за одну фракцию, что, согласно современной терминологии, можно назвать «радиохирургическими». Однако несовершенство лучевых аппаратов и невозможность точной локализации мишени приводили к высокому риску осложнений, что вынудило клиницистов перейти к фракционированию дозы — распределению общего объема излучения на несколько сеансов. Принципиально новый этап в развитии лучевой терапии ЦНС связан с именем шведского нейрохирурга Ларса Лекселла. В 1951 году он предложил концепцию стереотаксической радиохирургии (РХ) — метода прецизионного подведения высоких доз ионизирующего излучения к интракраниально расположенным мишеням с использованием внешних источников и стереотаксической навигации. Целью метода являлось достижение лечебного эффекта (некроза опухолевой ткани, тромбирования патологических сосудов или модуляции функции нервных

структур) при минимальном повреждении окружающих здоровых тканей [1-3].

В 1968 году под руководством Лекселла был создан первый специализированный аппарат для РХ — «Гамма-нож», в котором использовалось пересечение пучков гамма-излучения от множества источников радиоактивного кобальта - 60. Это устройство, оснащенное в современных модификациях 192 источниками, и по сей день остается «золотым стандартом» радиохирургического лечения интракраниальной патологии. В мире функционирует более 300 центров, оснащенных Гамма-ножом [1-3].

С 1990-х годов для РХ стали активно применяться линейные ускорители электронов (ЛУЭ). Появление технологий многолепестковых коллиматоров, систем контроля положения мишени во время облучения (англ.: Image-Guided Radiotherapy (IGRT)) и роботизированных платформ (например, КиберНож) позволило отказаться от жесткой фиксации головы стереотаксической рамой и расширило возможности лечения не только интракраниальных, но и экстракраниальных мишеней [4-7].

В странах бывшего СССР лучевая терапия нейроонкологических заболеваний развивалась в рамках отделений лучевой терапии крупных республиканских центров. Однако специализированное оборудование для стереотаксического облучения, соответствующее мировым стандартам, отсутствовало вплоть до начала XXI века.

Ситуация изменилась в 2005 году, когда по инициативе академика Коновалова А.Н. благодаря поддержке Правительства Российской Федерации в Национальном медицинском исследовательском центре (НМИЦ) нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко (Москва) было открыто первое в СНГ специализированное отделение радиохирургии и стереотаксической радиотерапии. Отделение было оснащено аппаратом Гамма-нож, а впоследствии — двумя его более совершенными модификациями, специализированным линейным ускорителем и роботизированными системами КиберНож [8-13].

Настоящая статья представляет собой анализ двадцатилетнего опыта работы указанного отделения, включая данные, опубликованные в журнале «Вопросы нейрохирургии» (№6, 2025) [14], но существенно дополненные и переработанные с учетом новых клинических данных, а также с акцентом на актуальность метода для стран СНГ, включая Казахстан.

Современные определения и технические аспекты

В современной литературе под РХ понимается метод лучевого лечения, характеризующийся следующими признаками [3,15-17]:

1. Однократное (реже — 3–5 фракций при гипотракционировании) подведение ионизирующего излучения к мишени.
2. Использование узких, точно сфокусированных пучков излучения, сходящихся в патологическом очаге (фотоны от ЛУЭ или источников кобальта-60, протоны, ионы углерода).
3. Высокая прецизионность облучения — погрешность не более 1 мм для интракраниальных мишеней и 1,5 мм для экстракраниальных.
4. Конформность — максимальное соответствие объема, получившего предписанную дозу, объему мишени.
5. Селективность — резкий градиент дозы на границе мишени, минимизирующий облучение окружающих здоровых тканей.
6. Использование стереотаксической навигации — жесткой рамы или систем масочной фиксации с контролем положения мишени по изображениям, получаемым во время лечения (IGRT).
7. Цель РХ — локальный контроль опухолевого роста, облитерация патологических сосудов или модуляция функции нервных структур [3-5,15-17].

Стереотаксическая радиотерапия (СРТ) отличается от РХ режимом фракционирования. Она применяется в случаях, когда размеры или локализация мишени (например, близость к хиазме, стволу мозга, гипофизу) делают однократное подведение высокой дозы слишком

рискованным. СРТ подразумевает проведение 3–30 фракций с использованием тех же принципов стереотаксической точности и конформности [4-5,17].

Особое место занимает гипотракционирование (ГФ) — режим облучения крупными фракциями (4–12 Гр) за 3–5 сеансов. ГФ основан на радиобиологическом принципе различной чувствительности и скорости восстановления здоровых и опухолевых тканей. Он позволяет эффективно воздействовать на радиорезистентные опухоли (меланома, саркома, хордома) и облучать относительно крупные объемы (более 10–15 см³) с приемлемым риском осложнений [17,18].

Ключевым условием формирования качественного дозного распределения является использование некомпланарных направлений облучения, что позволяет максимально «обойти» критические структуры. Современные методы доставки дозы включают:

- 3D-конформное облучение статическими полями;
- лучевую терапию с модуляцией интенсивности (англ.: Intensity-Modulated Radiotherapy (IMRT)) [19].
- объемно-модулированную ротационную терапию (англ.: Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)); [20].
- роботизированную доставку излучения (КиберНож);
- специализированные программно-аппаратные комплексы, такие как HyperArc - высокоточная стереотаксическая РХ по дугам (автоматизированная непланарная VMAT).

Радиобиологические основы стереотаксического облучения

Развитие радиобиологии в последние десятилетия позволило глубже понять механизмы повреждающего действия высоких доз ионизирующего излучения на ткани. Традиционно считалось, что основной эффект лучевой терапии обусловлен необратимым повреждением ДНК опухолевых клеток, приводящим к митотической гибели или потере способности к делению. Однако применительно к РХ (дозы за фракцию 12–24 Гр и выше) реализуются дополнительные механизмы [21,22]:

1. Повреждение эндотелия сосудов опухоли. Высокие дозы вызывают апоптоз эндотелиальных клеток, что приводит к тромбозу сосудов микроциркуляторного русла и вторичной ишемической гибели опухолевых клеток. Этот эффект особенно важен при лечении артериовенозных мальформаций (АВМ) [23].

2. *Иммуномодулирующий эффект.* В последние годы установлено, что однократное облучение в дозе 10–20 Гр и более стимулирует как локальный, так и системный противоопухолевый иммунный ответ. Высвобождение антигенов из погибающих опухолевых клеток активирует дендритные клетки и цитотоксические Т-лимфоциты. Профессор Bodo Lippitz кратко сформулировал это положение: «Радиохирургия — это вид иммунотерапии» [24].

3. *Радиомодулирующее воздействие.* При функциональных показаниях (невралгия тройничного нерва, эпилепсия, обсессивно-компульсивные расстройства) подведение высокой

дозы к функционально значимым структурам приводит не к их полной деструкции, а к изменению биохимической и биоэлектрической активности клеток, что проявляется торможением или стимуляцией определенных нейрональных пулов [24].

Важно подчеркнуть, что риск развития радиоиндуцированных опухолей после РХ крайне низок. Согласно исследованиям с периодом наблюдения более 10 лет, кумулятивная заболеваемость составляет 0,00045% (95% ДИ: 0,00–0,0034), что соответствует спонтанному риску в популяции [26].

2. Материалы и методы

Клиническая база

Исследование основано на анализе работы отделения радиохирургии НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко и Московского центра «Гамма-нож» за период с марта 2005 года по декабрь 2025 года.

Критерии включения:

- Все пациенты, получившие стереотаксическое облучение по поводу первичных и вторичных опухолей ЦНС, сосудистых мальформаций, функциональных заболеваний, патологии спинного мозга.

- Наличие полных клинических и радиологических данных до лечения и в динамике.

Демографическая характеристика

Всего за 20 лет пролечено 42 187 пациентов (мужчин — 19 278 (45,7%), женщин — 22 909 (54,3%)).

Возраст: от 7 месяцев до 92 лет, средний возраст — $45,2 \pm 15,8$ года.

Доля детей (0–17 лет) составила 9,8% (n=4 134).

Доля пациентов старше 70 лет — 12,5% (n=5 273).

Использованное оборудование

1. Гамма-нож (Elekta Instruments AB, Швеция):

- Модель 4C (2005–2011) — 2017 процедур.
- Модель Perfexion (2010–2020) — 5129 лечения.
- Модель ICON (2020–2025) — 5694 лечения.

2. Линейный ускоритель Novalis (BrainLAB/Varian, Германия/США) — 5 642 процедуры.

3. Роботизированная система КиберНож (Accuray Inc., США):

- Модель VSI (2010–2020) — 10 503 лечения.
- Модель M6 (2024–2025) — 2 789 лечения.

Методики облучения

В зависимости от нозологии, объема и локализации мишени, количества очагов и состояния пациентов применялись следующие методики:

- Радиохирургия (одна фракция) с использованием стереотаксической рамы (Гамма-нож, Novalis) или роботизированной системы (КиберНож с системой 6D Skull Tracking).

- Гипофракционирование (3–5 фракций) на линейных ускорителях с использованием термopластических масок или вакуумных матрасов при спинальной патологии.

- IGRT — контроль положения мишени с помощью КТ-изображений (конусно-лучевая КТ) или рентгеновских снимков непосредственно перед и во время сеанса.

- IMRT и VMAT для сложных мишеней неправильной формы.

- HyperArc — для множественных метастазов головного мозга.

Необходимо отметить, что радиохирургический подход (лечение за одну фракцию с использованием различных фиксирующих устройств, включая стереотаксическую раму, индивидуальные пластиковые маски различной степени жесткости и вакуумные матрасы при спинальной патологии) применялся более чем в половине случаев.

Планирование и дозиметрия

Планирование лечения осуществлялось на специализированных рабочих станциях: Leksell GammaPlan (Гамма-нож), iPlan/Brainlab (Novalis), MultiPlan (КиберНож).

Использовались МРТ (T1 с контрастированием, T2, FLAIR, 3D-ангиография), КТ с толщиной среза 0,5–1 мм, при сосудистой патологии — дигитальная субтракционная ангиография (ДСА). Дозиметрический контроль качества проводился на оборудовании PTW (Германия) с использованием фантомов, ионизационных камер, пленочных и матричных детекторов.

Статистический анализ

Статистическая обработка выполнена с использованием пакета программ SPSS Statistics версия 26.0 (IBM Corp., США). Для анализа

выживаемости применялся метод Каплана-Майера, сравнение групп — лог-ранговый критерий. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

3. Результаты

Общая характеристика распределения пациентов

Распределение пациентов по основным группам патологии представлено на рисунке 1.

Наибольшую долю составили пациенты с менингиомами (27,9%), за ними следуют метастазы в головной мозг (23,3%) и вестибулярные шванномы

(13,1%). Сосудистая патология (АВМ, каверномы) суммарно составила 5,1%, функциональные заболевания — 0,6%. Подробный анализ представлен в таблице 1.

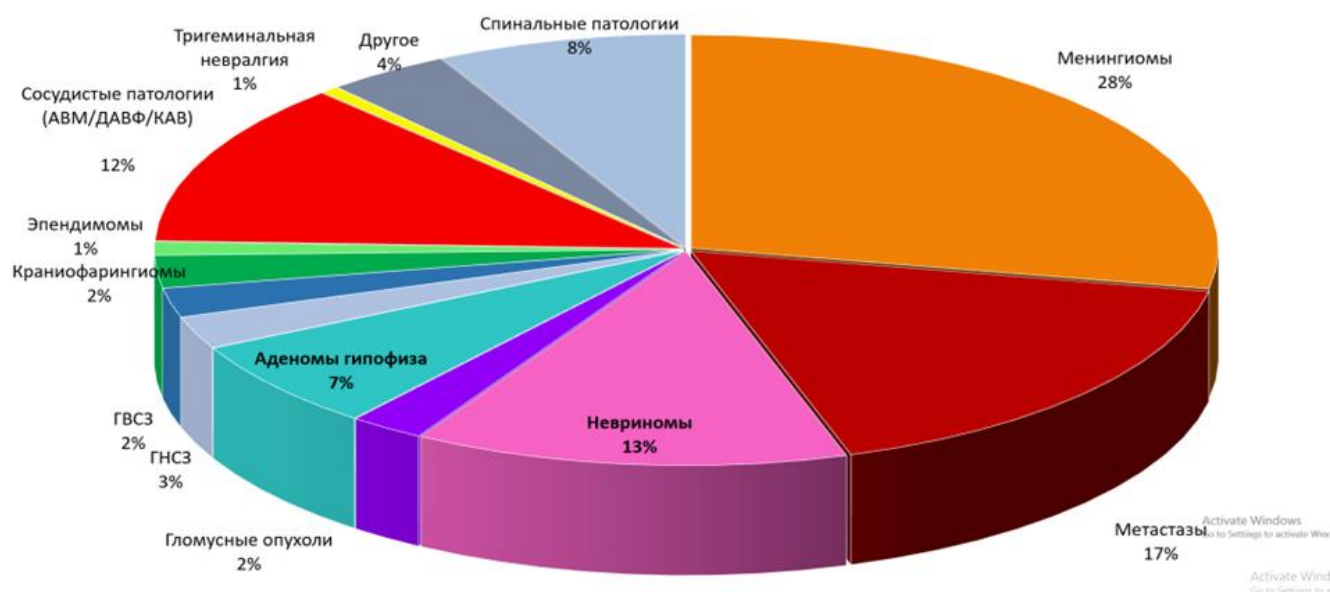


Рисунок 1 - Распределение пациентов по основным группам патологии

Таблица 1 - Подробный анализ по нозологическим группам

Показатель	Доля
1. Менингиомы (n=11 760)	
<i>Распределение по локализации:</i>	
Конвекситальные и парасагитальные	4 822 (41,0%)
Основание черепа (включая петроклиальные, кавернозный синус, крылья основной кости)	5 642 (48,0%)
Множественные менингиомы	1 176 (10,0%)
<i>Атипичные и анапластические (Grade II–III)</i>	
<i>Показания к РХ/СРТ:</i>	
Первичное лечение (неоперабельные опухоли, отказ пациента от операции)	38%
Лечение остаточной опухоли после неполного удаления	45%
Лечение рецидива после ранее проведенного хирургического лечения	17%

Продолжение таблицы 1 - Подробный анализ по нозологическим группам

Виды опухолей и их подробный анализ	Доля
1. Менингиомы (n=11 760)	
<i>Результаты:</i>	
Общий 5-летний контроль роста	94,3%
10-летний контроль роста	90,1%
Для менингиом основания черепа (n=2 150 с периодом наблюдения >36 мес.) - 5-летний контроль	96,8% (95% ДИ 94,2–98,1%)
<i>Функциональные исходы:</i>	
Улучшение функции черепных нервов	40,2%
в том числе улучшение зрения	31,5%
* 5-летняя безрецидивная выживаемость при атипичных и анапластических менингиомах	68,5%
<i>Осложнения:</i>	
Преходящий перифокальный отек	7,2%
Постлучевые некрозы, потребовавшие медикаментозной терапии или хирургического вмешательства	1,8%
Вновь возникшие неврологические дефициты	2,1%
2. Метастазы в головной мозг (n=9 843)	
<i>Первичные опухоли:</i>	
Рак легкого	4 528 (46,0%)
Рак молочной железы	2 165 (22,0%)
Меланома кожи	1 084 (11,0%)
Рак почки	788 (8,0%)
Рак желудочно-кишечного тракта	492 (5,0%)
Другие	786 (8,0%)
<i>Распределение по количеству очагов:</i>	
1 очаг	3 740 (38,0%)
2–4 очага	4 528 (46,0%)
5–10 очагов	1 378 (14,0%)
Более 10 очагов	197 (2,0%)
<i>Варианты лечения:</i>	
РХ только метастазов	7 185 (73,0%)
РХ ложа после удаления метастаза (адьювантная)	1 575 (16,0%)
Предоперационная РХ (неоадьювантная)	295 (3,0%)
СРТ всего головного мозга с интеграцией буста	788 (8,0%)
<i>Результаты в группе РХ (n=7 185)</i>	
Медиана общей выживаемости (ОВ)	11,2 месяца (95% ДИ 10,1–12,3)
ОВ на сроке 12 мес.	48,5%
ОВ на сроке 24 мес.	28,5%
Локальный контроль через 12 мес.	84,6%
<i>Результаты адьювантного облучения ложа (n=1 575):</i>	
Частота локальных рецидивов через 12 мес.	55,3% (только удаление) vs 22,5% (удаление + ГФ), p=0,0002
<i>Предоперационная РХ (n=295):</i>	
Частота лептоменингеального распространения	3,9% (против 8–12% при послеоперационной РХ)
Частота симптомного лучевого некроза	4,3% (против 15–20%)
3. Вестибулярные шванномы (n=5 512)	
<i>Классификация по Koos:</i>	
I степень	1 213 (22,0%)
II степень	2 645 (48,0%)

Продолжение таблицы 1 - Подробный анализ по нозологическим группам

Виды опухолей и их подробный анализ	Доля
3. Вестибулярные шванномы (n=5 512)	
<i>Классификация по Koos:</i>	
III степень	1 323 (24,0%)
IV степень	331 (6,0%)
<i>Результаты:</i>	
5-летний контроль роста	97,3%
10-летний контроль роста	92,5%
Сохранение «полезного» слуха	75,2%
Сохранение функции лицевого нерва	97,8%
Сохранение функции тройничного нерва	89,4%
<i>Осложнения:</i>	
Преходящая вестибулярная симптоматика	4,2%
Постоянное ухудшение слуха	7,5%
Постоянная слабость мимической мускулатуры	1,1%
4. Аденомы гипофиза (n=1 749)	
<i>Тип аденом:</i>	
Гормонально-неактивные	399 (22,8%)
Гормонально-активные	1 350 (77,2%)
<i>из них:</i>	
пролактиномы	42%
соматотропиномы	28%
кортикотропиномы	18%
<i>Результаты контроля роста:</i>	
5-летняя безрецидивная выживаемость	96,2% (гормонально-активные) и 98,1% (гормонально-неактивные)
<i>Результаты гормональной ремиссии:</i>	
5-летняя ремиссия без медикаментов	48–55%
<i>Осложнения:</i>	
Новые глазодвигательные нарушения	2,0%
Снижение остроты зрения	0,3%
Новый гипопитуитаризм	5,2%
5. Краниофарингиомы (n=913)	
<i>Результаты:</i>	
5-летний контроль роста	95,1%
10-летний контроль роста	86,3%
Уменьшение размеров кистозного компонента	у 62% пациентов
<i>Осложнения:</i>	
Ухудшение зрения	4,8%
Новый эндокринный дефицит	1,9%
Постлучевые изменения лобных долей	2,1%
6. Гемангиобластомы (n=287)	
<i>Результаты:</i>	
Контроль роста при среднем наблюдении 48,2 мес.	98,7%.
Уменьшение размеров	42%
Симптоматическое улучшение	67%
<i>Осложнения:</i>	
постлучевой отек	3,8% (преходящий)

Продолжение таблицы 1 - Подробный анализ по нозологическим группам

Виды опухолей и их подробный анализ	Доля
7. Глиомы (n=1 624)	
<i>Пилоцитарные астроцитомы (Grade I) n=629</i>	
5-летняя общая выживаемость	99,1%
5-летний контроль роста	97,5%
<i>Глиобластомы (Grade IV) — n=543</i>	
Повторное облучение рецидива: медиана выживаемости от момента диагностики рецидива	14,7 мес.
Медиана общей выживаемости от первичного диагноза	27,4 мес.
8. Гломусные опухоли (n=820)	
<i>Результаты:</i>	
Рентгенологический контроль роста	94,0%
Клиническая стабилизация или улучшение	87,5%
<i>Осложнения:</i>	
нарушения глотания/фонации	2,4% (преходящие)
9. Сосудистая патология	
<i>Артериовенозные мальформации (АВМ) n=1 538</i>	
Полная облитерация через 2–3 года	82,3%
** Риск кровоизлияния в латентном периоде	1,8% в год, снижается после проведения радиохирургического лечения
<i>Кавернозные мальформации — n=624</i>	
Снижение частоты симптоматических кровоизлияний/эпилептических приступов	с 8,4% до 2,1% в год (p<0,001)
10. Функциональная патология	
<i>Тригеминальная невралгия — n=155</i>	
Стойкое улучшение через 3 года	78,1%
<i>Осложнения</i>	
лицевая гипестезия	8,4%
11. Спинальная патология (n=2 089)	
<i>Метастатическое поражение позвоночника — n=1 610</i>	
Локальный контроль через 1 год	90,2%
Купирование или значительное снижение боли	68,4%
<i>Первичные и интрамедуллярные опухоли — n=479</i>	
Контроль роста через 3 года	86,7%

* При атипичных и анапластических менингиомах адъювантное облучение после хирургического удаления является обязательным компонентом комбинированного лечения

** Показано, что предшествующие эндоваскулярные вмешательства, если они не приводят к выключению мальформации ухудшают результаты радиохирургического лечения

4. Обсуждение

Представленный анализ крупнейшей в СНГ серии стереотаксических облучений (более 42 000 пациентов за 20 лет) убедительно демонстрирует эффективность и безопасность метода при широком спектре нейрохирургической патологии, который продолжает увеличиваться, что целиком соответствует международным данным, представленным в современной литературе [14,27].

Ключевые выводы:

1. Изменение парадигмы лечения. РХ и СРТ перестали быть «терапией отчаяния» для неоперабельных пациентов. Сегодня они являются полноценной альтернативой или важным компонентом комбинированного лечения.

При менингиомах основания черепа стереотаксическое облучение позволяет достичь контроля роста, сопоставимого с радикальной резекцией, при значительно лучшем

функциональном исходе [28-30]. При вестибулярных и других шванномах малого и среднего размера РХ становится методом выбора [31,32]. При других труднодоступных новообразованиях, таких как краниофарингиомы стереотаксическое облучение позволяет получить такие же высокие показатели контроля опухолевого роста, как и после тотального удаления – на уровне 95,8% при гораздо более высоких показателях качества жизни и сохранении эндокринного статуса [33,34].

2. *Метастатическое поражение мозга.* Произошла полная смена парадигмы: от тотального облучения всего головного мозга к локальному стереотаксическому лечению очагов. Адьювантное облучение ложа удаленного метастаза стало стандартом, снижающим риск локального рецидива более чем вдвое [35-38]. Предоперационная РХ крупных метастазов — многообещающее направление, позволяющее снизить частоту лучевых некрозов и лептоменингеального распространения, улучшить логику и преемственность комплексного лечения [39,40].

3. *Глиомы.* При рецидивах или невозможности удаления пилоцитарных астроцитомах стереотаксическая лучевая терапия становится методом выбора [41]. Роль стереотаксического облучения при злокачественных глиомах в первую очередь связана с лечением рецидивов. Повторное облучение в комбинации с современными режимами системной терапии позволяет добавить пациентам с глиобластомами несколько дополнительных месяцев качественной жизни [42].

4. *Сосудистая патология.* РХ остается наиболее эффективным малоинвазивным методом лечения небольших и глубиннорасположенных АВМ [9,10]. При каверномах ствола и других функционально значимых зон РХ позволяет снизить риск повторных кровоизлияний и эпилептических приступов [43]. При таких сосудистых опухолях как гемангиобластомы различной локализации как спорадических так в составе синдрома Гипеля-Линдау эффективность проведения стереотаксического облучения достигает 98% при сроке наблюдения до 5 лет [44,45].

5. *Безопасность.* Частота серьезных осложнений во всех группах была низкой. Риск

радиоиндуцированных опухолей в нашей серии не превысил популяционных значений.

6. *«Гамма-нож» — золотой стандарт нейрорадиохирургии.* За два десятилетия работы аппараты «Гамма-нож» использованы у более чем 12 000 пациентов с интракраниальными мишенями. Высокая точность, минимальная лучевая нагрузка на окружающие структуры и доказанная долгосрочная эффективность подтверждают его статус эталонного метода для лечения менингиом, вестибулярных шванном, аденом гипофиза, АВМ и метастазов в том числе множественных небольшого объема [9].

7. *Развитие радиохирургии в Казахстане и перспективы сотрудничества.* В 2021 году при поддержке НМИЦ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко и «Делового центра нейрохирургии» в Астане на базе АО «Национальный центр нейрохирургии» открыт первый в Казахстане радиохирургический центр, оснащенный аппаратом «Гамма-нож». Казахская команда — нейрохирурги, радиотерапевты, медицинские физики — прошла стажировку в Москве, что позволило обеспечить преемственность стандартов и высокое качество лечения с первых дней работы. На сегодняшний день в центре пролечено уже более 1200 пациентов, и этот опыт подтверждает воспроизводимость результатов, достигнутых в других центрах. Сотрудничество между двумя учреждениями продолжается в рамках совместных научных исследований, обучающих программ и обмена опытом. Это является наглядным примером эффективной интеграции высоких технологий в здравоохранение стран СНГ.

8. *Доступность в регионе.* Несмотря на впечатляющие результаты, доступность стереотаксического облучения в России и других странах СНГ остается недостаточной. Расчетная потребность (около 100 000 пациентов в год в России) покрывается менее чем на 10–15%. В Казахстане, благодаря открытию центра в Астане, часть пациентов получила доступ к современному лечению, однако для полного удовлетворения потребностей необходимо расширение сети радиохирургических центров, внедрение единых клинических протоколов и развитие системы непрерывного медицинского образования.

5. Выводы

Двадцатилетний опыт применения стереотаксической радиохирургии и стереотаксической радиотерапии в НМИЦ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко,

охватывающий более 42 тысяч пациентов, подтверждает, что эти методы являются высокоэффективными и безопасными при лечении широкого спектра нейрохирургической патологии:

от доброкачественных и злокачественных опухолей до сосудистых и функциональных заболеваний.

Основные достижения:

- Достигнуты высокие показатели локального контроля при менингиомах, вестибулярных шванномах, аденомах гипофиза, краниофарингиомах, гемангиобластомах и др. (90–97% в отдаленные сроки).

- Изменен подход к лечению метастазов в головной мозг в сторону радиохирургического подхода с сохранением когнитивных функций.

- Улучшены результаты лечения пациентов с рецидивами злокачественных глиом.

- Снижены риски инвалидизации при лечении сосудистых мальформаций глубокой локализации.

- Подтверждена высокая экономическая эффективность (отсутствие необходимости в госпитализации, общей анестезии, длительной реабилитации), что также показано в международных исследованиях.

Стереотаксическое облучение позволяет сместить акцент с «максимального радикализма» на «максимальную функцию», что особенно важно в эпоху персонализированной медицины, где качество жизни пациента является приоритетом лечения.

Стереотаксическое направление и радиохirurgия, продолжают развиваться.

Совершенствуется технологии производства, доставки и планирования ионизирующего облучения. Перспективы нейрорадиохirurgии связаны с дальнейшим расширением показаний (психорадиохirurgия в том числе при обсессивно-компульсивном синдроме; коррекция болевого синдрома при неукротимых раковых болях, в том числе, резистентных к опиатам; предоперационная РХ при глиобластомах и др.), интеграцию с иммунотерапией, а также внедрением методов искусственного интеллекта для автоматизации процессов оконтуривания и планирования, оптимизацией персонализированного подхода к радиохирургическому лечению нейрорхирургических пациентов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Источников финансирования нет. Данная работа является инициативной и содержит анализ опыта применения обсуждаемой технологии.

Вклад авторов. Концептуализация – Г.А.В.; написание черновой версии – Г.А.В., У.Д.Ю.; написание и редактирование – Г.А.В., У.Д.Ю., К.А.Н.; анализ и обработка данных – Г.А.В., У.Д.Ю., К.А.Н.

ИИ декларация. Авторы заявляют о том, что при подготовке данной рукописи ИИ не применялся.

Литература

1. Leksell, L. (1951). The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta chir scand*, 102, 316-319. PMID: 14914373.
2. Leksell, L. (1968). Gammathalamotomy in two cases of intractable pain. *Acta Chir. Scand.*, 134, 585-595. PMID: 5713443.
3. Kondziolka, D., Lunsford, L. D., & Flickinger, J. C. (2008). The application of stereotactic radiosurgery to disorders of the brain. *Neurosurgery*, 62(suppl_2), SHC707-SHC720. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000316275.12962.0e>
4. Schell, M.C., Bova, F.J., Larson, D.A., et al. (1992) Stereotactic Radiosurgery. Woodbury, NY: American Institute of Physics (AAPM Report No. 54). https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_54.PDF
5. Chang, E. L., Brown, P. D., Lo, S. S., Sahgal, A., & Suh, J. H. (Eds.). (2024). *Adult CNS radiation oncology: Principles and Practice*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-67878-3>
6. Adler Jr, J. R., Chang, S. D., Murphy, M. J., Doty, J., Geis, P., & Hancock, S. L. (1997). The Cyberknife: a frameless robotic system for radiosurgery. *Stereotactic and functional neurosurgery*, 69(1-4), 124-128. <https://doi.org/10.1159/000099863>
7. Conti, A., Romanelli, P., Pantelis, E., Soltys, S. G., Cho, Y. H., & Lim, M. (Eds.). (2020). *CyberKnife NeuroRadiosurgery: A Practical Guide* (pp. 1-588). Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-50668-1>
8. Golanov, A. V., Konovalov, A. N., Kornienko, V. N., Ilyalov, S. R., Kostyuchenko, V. V., Pronin, I. N., ... & Nikonova, N. G. (2007). Pervyi opyt primeneniya ustanovki "Gamma-nozh" dlya radiokhirurgicheskogo lecheniya intrakranial'nykh ob'emnykh obrazovaniy (First experience of using the "Gamma Knife" unit for radiosurgical treatment of intracranial space-occupying lesions) [In Russian]. *Voprosy Neirokhirurgii im. N.N. Burdenko*, (1), 3-10. <https://istina.ficp.ac.ru/publications/article/193426975/>

9. Golanov A.V., Kostyuchenko V.V., eds. *Neiroporadiokhirurgiya na Gamma-nozhe* (Neuroradiosurgery with Gamma Knife) [In Russian]. Moscow: Izdatel'stvo IP "T.A. Alekseeva"; 2018. <https://istina.msu.ru/collections/123012828/>
10. Golanov, A. V., Trunin, Yu. Yu., Kostyuchenko, V. V., Antipina, N. A., Vetlova, E. R., Galkin, M. V., Zolotova, S. V., Maryashev, S. A., Lubnin, A. Yu., Kalinin, P. L., Nikitin, K. V., & Sorokin, V. S. (2017). Stereotaksicheskoe obluchenie patologii TsNS na sisteme "KiberNozh" (Stereotactic irradiation of CNS pathologies with the CyberKnife system) [In Russian]. Moscow.
11. Golanov, A. V., Pronin, I. N., Gorlachev, G. E., Kobayakov, G. L., Galkin, M. V., Razumova, N. I., & Rodionov, P. V. (2010). Primenenie neironavigatsionnoi sistemy ExacTrac pri obluchenii patsientki s disseminated pineoblastoma (Application of the ExacTrac neuronavigation system in irradiation of a patient with disseminated pineoblastoma) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko*, (1), 43-46.
12. Golanov, A. V., Antipina, N. A., Kostyuchenko, V. V., Trunin, Yu. Yu., Krasnyanskii, S. A., & Usachev, D. Yu. (2021). Izmenenie paradigmy lecheniya neirokhirurgicheskikh bol'nykh v epokhu stereotaksicheskogo oblucheniya. K 15-letiyu neiroporadiokhirurgii v Rossii (Changing the treatment paradigm for neurosurgical patients in the era of stereotactic irradiation. On the 15th anniversary of neuroradiosurgery in Russia) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko*, 85(5), 48-54. <https://doi.org/10.17116/neiro20218505148>
13. Konovalov, A. N., Golanov, A. V., Gorlachev, G. E., Kornienko, V. N., Trunin, Yu. Yu., Kotelnikova, T. M., Zolotova, S. V., Andronov, A. V., Kozlov, A. V., Galkin, M. V., Filchenkova, N. A., Maryashev, S. A., Pronin, I. N., Arutyunov, N. V., Lubnin, A. Yu., Soboleva, O. I., Nikitin, K. V., & Yakovlev, S. B. (2010). Stereotaksicheskaya lucheovaya terapiya i radiokhirurgiya s ispol'zovaniem sistemy Novalis v lechenii neirokhirurgicheskikh patsientov (Stereotactic radiotherapy and radiosurgery using the Novalis system in the treatment of neurosurgical patients)[In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko*, (1), 4-12. <https://doi.org/10.17116/neiro20218505148>
14. Golanov, A. V., Usachev, D. Yu., Konovalov, A. N., et al. (2025). Dvadtsat' let radiokhirurgii v NMITs neirokhirurgii imeni akademika N.N. Burdenko: rezul'taty i perspektivy (Twenty years of radiosurgery at the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery: results and prospects) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii im. N.N. Burdenko*, 89(6), 5-18. <https://doi.org/10.17116/neiro2025890617>
15. Rye, S. (2013). On the definition of Radiosurgery and SBRT. *Journal of Radiosurgery and SBRT*, 2(3), 173–174.
16. Barnett, G. H., Linskey, M. E., Adler, J. R., Cozzens, J. W., Friedman, W. A., Heilbrun, M. P., ... & Sloan, A. E. (2007). Stereotactic radiosurgery—an organized neurosurgery-sanctioned definition. *Journal of neurosurgery*, 106(1), 1-5. <https://doi.org/10.3171/jns.2007.106.1.1>
17. Benedict, S. H., Yenice, K. M., Followill, D., Galvin, J. M., Hinson, W., Kavanagh, B., Keall, P., Lovelock, D. M., Meeks, C. R., Papiez, L., Purdie, T., Sadagopan, R., Schell, M. C., Salter, B., Schlesinger, D. J., Shiu, S. A., Solberg, T., Song, D. Y., Stieber, V., & Yin, F. F. (2008). Stereotactic radiosurgery: A review and comparison of available technologies. *Journal of Neurosurgery*, 109 (Suppl 1), 1–10. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/12/S1>
18. Kirkpatrick, J. P., Soltys, S. G., Lo, S. S., Beal, K., Shrieve, D. C., & Brown, P. D. (2017). The radiosurgery fractionation quandary: single fraction or hypofractionation? *Neuro-Oncology*, 19(Suppl_2), ii38–ii49. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nox002>
19. Otto, K. (2008). Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical physics*, 35(1), 310-317. <https://doi.org/10.1118/1.2818738>
20. Ohira, S., Ueda, Y., Akino, Y., Hashimoto, M., Masaoka, A., Hirata, T., ... & Teshima, T. (2018). HyperArc VMAT planning for single and multiple brain metastases stereotactic radiosurgery: a new treatment planning approach. *Radiation Oncology*, 13(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s13014-017-0948-z>
21. Brown, J. M., Carlson, D. J., & Brenner, D. J. (2014). The tumor radiobiology of SRS and SBRT: Are more than the 5 Rs involved? *International Journal of Radiation OncologyBiologyPhysics*, 88(2), 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2013.07.022>
22. Garcia-Barros, M., Paris, F., Cordon-Cardo, C., Lyden, D., Rafii, S., Haimovitz-Friedman, A., Fuks, Z., & Kolesnick, R. (2003). Tumor response to radiotherapy regulated by endothelial cell apoptosis. *Science*, 300(5622), 1155–1159. <https://doi.org/10.1126/science.1082504>
23. Fuks, Z., & Kolesnick, R. (2005). Engaging the vascular component of the tumor response. *Cancer cell*, 8(2), 89-91. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2005.07.014>
24. Lippitz, B. (2018). Stereotactic radiosurgery and immunotherapy: a new alliance? *Journal of Neurosurgery*, 129(Suppl_1), 1–3.

25. Régis, J., Carron, R., & Park, M. (2019). Radiosurgery for functional disorders. *Progress in Neurological Surgery*, 34, 244–253.
26. Rowe, J., Grainger, A., Walton, L., Silcocks, P., Radatz, M., & Kemeny, A. (2007). Risk of malignancy after gamma knife stereotactic radiosurgery. *Neurosurgery*, 60(1), 60–66. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000255492.34063.32>
27. De Jesus, O. (2025). Neurosurgical breakthroughs of the last 50 years: a historical journey through the past and present. *World Neurosurgery*, 196, 123816. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.123816>
28. Golanov, A. V., Konovalov, A. N., Serova, N. K., Il'yalov, S. R., Pronin, I. N., & Kornienko, V. N. (2015). Stereotaksicheskoe luchevoe lechenie meningiom osnovaniya cherepa (Stereotactic radiotherapy for skull base meningiomas) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 79(2), 15–24.
29. Golanov, A. V., Cherekaev, V. A., Serova, N. K., Pronin, I. N., Gorlachev, G. E., Kotelnikova, T. M., Podoprigora, A. E., Kudryavtseva, P. A., & Galkin, M. V. (2010). Stereotaksicheskoe obluchenie meningiom medial'nykh otdelov sredney cherepnoy yamki na lineynom uskoritele Novalis (Stereotactic irradiation of medial middle fossa meningiomas using the Novalis linear accelerator) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, (1), 13–18.
30. Shimanskiy, V. N., Sultanov, R. A., Tanyashin, S. V., Golanov, A. V., Galkin, M. V., Karnaukhov, V. V., Danilov, G. V., & Strunina, Yu. V. (2023). Analiz rezul'tatov khirurgicheskogo i kombinirovannogo lecheniya patsientov s meningiomami kraniovertebral'nogo perekhoda: odnotsentrovoye retrospektivnoye issledovanie 196 sluchaev (Analysis of the results of surgical and combined treatment of patients with meningiomas of the craniovertebral junction: a single-center retrospective study of 196 cases) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 87(2), 22–29. <https://doi.org/10.17116/neiro20238702122>
31. Zolotova, S. V., Golanov, A. V., Kotelnikova, T. M., Soboleva, O. I., Gorlachev, G. E., Filchenkova, N. A., Nikonova, N. G., Kapitanov, D. N., Makhmudov, U. B., Shimanskiy, V. N., Arutyunov, N. V., & Pronin, I. N. (2010). Stereotaksicheskaya radiokhirurgiya i lucheovaya terapiya u patsientov s intrakranial'nymi shvannomami (Stereotactic radiosurgery and radiotherapy in patients with intracranial schwannomas) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, (1), 18–23.
32. Il'yalov, S. R., Golanov, A. V., & Banov, S. M. (2024). Stereotaksicheskaya radiokhirurgiya vestibulyarnykh shvannom: evolyutsiya filosofii lecheniya (Stereotactic radiosurgery for vestibular schwannomas: evolution of the treatment philosophy) [In Russian]. *Neirokhirurgiya*, 26(1), 110–122. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-1-110-122>
33. Golanov, A. V., Savateev, A. N., Trunin, Yu. Yu., Gorelyshev, S. K., Konovalov, A. N., & Mazerkina, N. A. (2025). Lucheovaya terapiya i radiokhirurgiya kraniofaringiom (Radiation therapy and radiosurgery for craniopharyngiomas) [In Russian]. In A. N. Konovalov (Ed.), *Kraniofaringiomy (Craniopharyngiomas)* (pp. 124–139). Moscow: GEOTAR-Media. <https://www.geotar.ru/lots/NF0029020.html>
34. Kutin, M. A., Kalinin, P. L., Golanov, A. V., Fomichev, D. V., Trunin, Yu. Yu., Savateev, A. N., Strunina, Yu. V., Klochkova, I. S., Ivanov, V. V., & Konovalov, A. N. (2024). Pokazateli bezretsivivnoy vyzhivaemosti pri khirurgicheskom i kombinirovannom lechenii v pervye vyyavlennykh kraniofaringiom u vzroslykh patsientov (Disease-free survival rates after surgical and combined treatment of newly diagnosed craniopharyngiomas in adult patients) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 88(5), 54–59. <https://doi.org/10.17116/neiro20248805154>
35. Golanov, A. V., Banov, S. M., Vetlova, E. R., Vartanyan, K. F., & Zhmaeva, E. N. (2023). Metastaticheskoye porazhenie golovnoy mozga: klinika, diagnostika i lechenie (Metastatic brain lesions: clinical presentation, diagnosis and treatment) [In Russian]. *Klinicheskii Razbor v Obshchei Meditsine*, 4(5), 37–44. <https://doi.org/10.47407/kr2023.4.5.00233>
36. Vetlova, E. R., Banov, S. M., Golanov, A. V., Pronin, I. N., Antipina, N. A., & Galkin, M. V. (2023). Rezul'taty gipofraktsionirovannoy stereotaksicheskoy luchevoy terapii krupnykh metastazov v golovnoy mozg posle khirurgicheskoy rezektsii i v kachestve samostoyatel'nogo lecheniya (Results of hypofractionated stereotactic radiotherapy for large brain metastases after surgical resection and as a standalone treatment) [In Russian]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 87(6), 67–73. <https://istina.fnkcr.ru/publications/article/623884508/>
37. Vetlova, E. R., Banov, S. M., & Golanov, A. V. (2017). Sovremennaya strategiya kombinatsii khirurgicheskogo i lucheвого lecheniya u patsientov s metastazami v golovnom mozge [A modern strategy of combined surgical and radiation treatment in patients with brain metastases]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 81(6), 108–115. <https://doi.org/10.17116/neiro2017816108-115>

38. Banov, S. M., Golanov, A. V., Vetlova, E. R., & Redkin, A. N. (2017). Luchevaya terapiya i targetnaya terapiya u patsientov s metastaticheskimi porazheniyami golovnogogo mozga: novye vozmozhnosti lecheniya [Radiation therapy and targeted therapy in patients with metastatic brain lesions: new treatment opportunities]. *Voprosy Onkologii*, 63(5), 684–694. <https://cyberleninka.ru/article/n/luchevaya-terapiya-i-targetnaya-terapiya-u-patsientov-s-metastaticheskimi-porazheniyami-golovnogogo-mozga-novye-vozmozhnosti-lecheniya>
39. Ostapenko, M. Yu., Lukshin, V. A., Usachev, D. Yu., Golanov, A. V., Vetlova, E. R., Durgaryan, A. A., & Kobayakov, N. G. (2024). Sravnitel'nyy analiz metodov kombinirovannogo lecheniya patsientov s edinichnymi metastaticheskimi porazheniyami golovnogogo mozga [Comparative analysis of combined treatment methods for patients with single metastatic brain lesions]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 88(4), 13–21. <https://doi.org/10.17116/neiro20248804113>
40. Lukshin, V. A., Usachev, D. Yu., Golanov, A. V., Vetlova, E. R., Ostapenko, M. Yu., Durgaryan, A. A., & Kobayakov, N. G. (2024). Rezul'taty kombinirovannogo lecheniya patsientov s edinichnymi metastaticheskimi porazheniyami golovnogogo mozga [Results of combined treatment of patients with single metastatic brain lesions]. *Rossiiskii Neurokhirurgicheskii Zhurnal Imeni Professora A.L. Polenova*, 16(Special Issue), 132. <https://istina.ficp.ac.ru/publications/article/676495301/>
41. Trunin, Yu. Yu., Golanov, A. V., Konovalov, A. N., Pronin, I. N., Likhterman, L. B., & Zagirov, R. I. (2023). Stereotaksicheskaya radiokhirurgiya i radioterapiya v kompleksnom lechenii patsientov s intrakranial'nymi piloidnymi astrotsitomami [Stereotactic radiosurgery and radiotherapy in the complex treatment of patients with intracranial pilocytic astrocytomas]. *Klinicheskii Razbor v Obshchei Meditsine*, 4(5), 25–31. <https://doi.org/10.47407/kr2023.4.5.00231>
42. Belyashova, A. S., Osinov, I. K., Kobayakov, G. L., Trunin, Yu. Yu., Zolotova, S. V., Antipina, N. A., Kostyuchenko, V. V., Golanov, A. V., Absalyamova, O. V., & Pavlova, G. V. (2023). Povtorno obлучenie v rezhimakh radiokhirurgii i gipofraktsionirovaniya pri progressirovani polusharnykh glioblastom [Re-irradiation in radiosurgery and hypofractionation modes for progression of hemispheric glioblastomas]. *Voprosy Onkologii*, 69(3), 452–461. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2023-69-3-452-461>
43. Semenov, D. E., Belousova, O. B., Kostyuchenko, V. V., & Golanov, A. V. (2024). Radiokhirurgicheskoe lechenie kavernoznykh mal'formatsiy golovnogogo mozga: sistematiicheskiy obzor literatury [Radiosurgery for cerebral cavernous malformations: a systematic review]. *Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko*, 88(4), 107–116. <https://doi.org/10.17116/neiro202488041107>
44. Golanov AV, Lestrovaya A, Konovalov N, Pronin I, Irina D, Usachev D. Stereotactic radiotherapy for intracranial and intramedullary hemangioblastomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2025;123(1):e265. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2025.06.2117>
45. Golanov, A. V., Antipina, N. A., Vetlova, E. R., Zolotova, S. V., Galkin, M. V., & Lestrovaya, A. I. (2023). Stereotaksicheskoe obлучenie novoobrazovaniy pozvonochnika. Obzor literatury i opyt NMITs neyrokhirurgii im. akad. N.N. Burdenko. Chast' I. Radiokhirurgicheskoe lechenie dobrokachestvennykh pervichnykh opukholey i sosudistykh mal'formatsiy spinnogo mozga [Stereotactic irradiation of spinal neoplasms. Literature review and experience of the N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery. Part I. Radiosurgical treatment of benign primary tumors and vascular malformations of the spinal cord]. *Onkologicheskii Zhurnal: Luchevaya Diagnostika, Luchevaya Terapiya*, 6(3), 9–23. <https://doi.org/10.37174/2587>

ТМД-дағы жетекші нейрохирургиялық орталықта стереотактикалық радиохирургия және стереотактикалық радиотерапия тәжірибесі: 20 жылдық бақылау деректері

[Голанов А.В.](#) ¹, [Усачев Д.Ю.](#) ², [Коновалов А.Н.](#) ³

¹ Радиохирургия бөлімінің меңгерушісі, Н.Н. Бурденко атындағы Ұлттық медициналық нейрохирургия орталығы, Мәскеу, Ресей. E-mail: golanov@nsi.ru

² Директор, Н.Н. Бурденко атындағы Ұлттық медициналық нейрохирургия орталығы, Мәскеу, Ресей. E-mail: dousachov@nsi.ru

³ Ғылыми жетекші, Н.Н. Бурденко атындағы Ұлттық медициналық нейрохирургия орталығы, Мәскеу, Ресей. E-mail: akonovalov@nsi.ru

Түйіндеме

Орталық жүйке жүйесінің ауруларын сәулелік ем нейрохирургиялық науқастарды емдеудегі маңызды әдіс болып табылады. Жаңа техникалық мүмкіндіктердің, нейробейнелеу және нейронавигация саласындағы жетістіктердің арқасында соңғы жылдары стереотаксикалық сәулелік терапия қарқынды дамыды.

Зерттеудің мақсаты: Н.Н. Бурденко атындағы Ұлттық медициналық нейрохирургия орталығының және Мәскеу Гамма пышақ орталығының радиохирургия бөлімінде стереотаксикалық радиохирургияны (СРХ) және стереотаксикалық сәулелік терапияны (СРТ) қолданудың 20 жылдық тәжірибесін қорытындылау.

Әдістері. 2005 жылдан 2026 жылға дейін 7 айдан 92 жасқа дейінгі (орташа жасы 45 жас) 42 187 науқас емделді. Қатысушылардың 9,8%-ын балалар құрады. Зерттеуді келесі жабдықтар пайдаланылды: Гамма пышақ құрылғылары және сызықтық үдеткіштері және КиберПышақ роботтық жүйелері. Конформды сәулелік әдістер, визуалды бақылаудағы сәулелі терапия, қарқындылығы модульденген сәулелі терапия, көлемдік модульденген доғалық терапия, НурерАгс жоғары дәлдіктегі радиохирургиясы және басқа әдістер қолданылды. Сапаны бақылау дозиметриялық жабдықты пайдалану арқылы жүргізілді.

Нәтижелері. Ең үлкен топ менингиомалары бар науқастардан тұрды ($n=11\,760$; 27,9%). 10 жылдық бақылаудан кейін ісік өсуін бақылау 90%-дан асты. Бас сүйегінің негізінің менингиомалары үшін 5 жылдық бақылау 96,8%-ға жетті, ал бас сүйегінің жүйке қызметінің жақсаруы науқастардың 40,2%-ында байқалды. Екінші үлкен топ - метастаздық ми зақымданулары бар науқастардан тұрды ($n=9\,843$; 23,3%). СРХ кейінгі орташа жалпы өмір сүру ұзақтығы 11,2 айды құрады (95% сенімділік аралығы: 10,1–12,3). Алынған метастаз төсегін гипофракцияланған сәулелендіру жергілікті қайталану деңгейін 55,3%-дан 22,5%-ға дейін төмендетті ($p=0,0002$). Вестибулярлық шванномаларда ($n=5512$; 13,1%), 5 жылдық өсуді бақылау жағдайлардың 97,3%-ында, ал пайдалы естуді сақтау 75,2%-да қол жеткізілді. Гипофиз аденомаларында ($n=1749$; 4,1%), 5 жылдық өсуді бақылау 96-98%-ды, ал эндокриндік асқынулар 1%-дан аз болды. Краниофарингиомаларда ($n=913$; 2,2%), 5 жылдық өсуді бақылау жағдайлардың 95,1%-ында қол жеткізілді. Ал 10 жылдық ісіктің қайталанусыз өмір сүру деңгейі 86,3%-ды құрады. Артериовенозды мальформациялар үшін ($n=1538$; 3,6%), 2-3 жылдан кейін толық облитерация 82,3% құрады. Гемангиобластомаларда, спорадикалық және фон Гиппель-Линдау синдромымен байланысты (798 ісік пен 135 науқастан тұратын серия), әртүрлі енгізу режимдеріндегі стереотаксикалық сәулелендіру ісіктің өсуін 4 жылдан астам бақылау кезеңімен шамамен 99% бақылауға мүмкіндік береді. Омыртқа патологиясында ($n=2089$; 5,0%), метастаздық зақымданулар үшін 12 айлық қайталанусыз өмір сүру деңгейі 90,2% құрады.

Қорытынды. Біздің СРТ тәжірибеміз әдістің нейрохирургиялық патологиялардың кең ауқымында жоғары тиімділігі мен қауіпсіздігін көрсетеді. Радиохирургия және СРТ хирургиялық нәтижелерге ұқсас нәтижелерге қол жеткізді. Асқынудың даму қаупі айтарлықтай төмен және науқастардың өмір сүру сапасы жақсарды.

Түйін сөздер: радиохирургия, стереотаксикалық сәулелік терапия, Гамма-Пышақ, КиберПышақ, менингиома, ми метастаздары, жұлын радиохирургиясы, Қазақстан, Біріккен Ұлттар Ұйымы.

Experience with Stereotactic Radiosurgery and Stereotactic Radiotherapy at a Leading Neurosurgical Center in the CIS: 20-Year Observation Data

[Andrey Golanov](#)¹, [Dmitriy Usachev](#)², [Alexander Konovalov](#)³

¹ Head of the Radiosurgery Department, Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russia.

E-mail: golanov@nsi.ru

² Director, Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russia. E-mail: dousachov@nsi.ru

³ Scientific Director, Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Moscow, Russia. E-mail: akonovalov@nsi.ru

Abstract

Radiation treatment of central nervous system diseases is playing an increasingly important role in the management of neurosurgical patients. Due to new technical capabilities, advances in neuroimaging and neuronavigation, stereotactic radiation therapy has been developing rapidly in recent years.

Objective. To summarize 20 years of experience using stereotactic radiosurgery (SRS) and stereotactic radiotherapy (SRT) in the Radiosurgery Department of the N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery and the Moscow Gamma Knife Center.

Methods. From 2005 to 2026, 42,187 patients aged 7 months to 92 years (mean age 45 years) were treated. Children accounted for 9.8%. The following equipment was used: Gamma Knife devices, linear accelerators, and CyberKnife robotic systems. Conformal beam techniques, Image-guided radiation therapy, Intensity-modulated radiation therapy, Volumetric modulated arc therapy, HyperArc - High-definition radiosurgery and others were used. Quality control was carried out on dosimetric equipment.

Results. The largest group consisted of patients with meningiomas (n=11,760; 27.9%). Tumor growth control at 10 years of follow up exceeded 90%. For skull base meningiomas, 5 year control reached 96.8%, and improvement in cranial nerve function was observed in 40.2% of patients. The second largest group comprised patients with brain metastases (n=9,843; 23.3%). Median overall survival after radiosurgery was 11.2 months (95% CI: 10.1–12.3). Irradiation of the resection cavity of resected metastases using hypofractionation reduced local recurrence rates from 55.3% to 22.5% (p=0.0002). For vestibular schwannomas (n=5,512; 13.1%), 5 year tumor growth control was achieved in 97.3% of cases, and useful hearing preservation in 75.2%. For pituitary adenomas (n=1,749; 4.1%), 5 year growth control was 96–98%, with endocrine complications below 1%. For craniopharyngiomas (n=913; 2.2%), 5 year growth control was achieved in 95.1% of cases, and 10 year recurrence free survival was 86.3%. For arteriovenous malformations (n=1,538; 3.6%), complete obliteration at 2–3 years was 82.3%. For hemangioblastomas – both sporadic and those associated with von Hippel–Lindau syndrome (a series of 135 patients with 798 tumors) – stereotactic irradiation using various fractionation regimens achieved nearly 99% tumor growth control with more than 4 years of follow up. For spinal lesions (n=2,089; 5.0%), 12 month recurrence free survival for metastatic disease was 90.2%.

Conclusions. Our experience with SRT demonstrates the method's high efficacy and safety across a wide range of neurosurgical pathologies. Radiosurgery and SRT achieve results comparable to those of surgery, with a significantly lower risk of complications and improved patient quality of life.

Keywords: radiosurgery, stereotactic radiotherapy, Gamma Knife, CyberKnife, meningioma, brain metastases, spinal radiosurgery, Kazakhstan, Commonwealth of Independent States.