

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАДИОХИРУРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА “ГАММА-НОЖ” В РНПЦ ОМР ИМ. Н.Н. АЛЕКСАНДРОВА

А.И. Бринкевич¹, Е.В. Титович², М.Н. Петкевич¹, И.А. Штуро¹,
П.И. Никитенко¹, О.А. Новосельская¹, О.А. Гиземова¹

¹ Республиканский научно-практический центр онкологии
и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, Минск, Белоруссия

² МАГАТЭ, Вена, Австрия

В настоящее время радиохирургические методики находят все большее применение в лечении интракраниальных опухолевых образований, а также функциональных заболеваний и офтальмопатологии как в самостоятельном варианте, так и в комбинации с хирургическим лечением. В РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова интракраниальная радиохирургия проводится на аппарате “Гамма-нож” модели Perfexion, для корректного использования которого необходимы высококвалифицированные и опытные специалисты, такие как врачи-радиационные онкологи, нейрохирурги и медицинские физики. Контроль характеристик аппарата “Гамма-нож” и его систем технической и радиационной безопасности также являются гарантией качественного проведения сеансов лучевой терапии. Лечебно-консультативная помощь пациентам проводится в несколько этапов: первичная консультация, облучение пациента, последующие контрольные исследования. В работе описан типовой процесс радиохирургии, установившийся за три года использования аппарата “Гамма-нож” в клинической практике, приведены особенности использования данного оборудования в Беларуси. За 3 года работы “Гамма-ножа” было проведено 1273 сеанса облучения (метастазы – 420 (40 %), менингиомы – 252 (24 %), невриномы слухового нерва – 200 (19 %), аденомы гипофиза – 50 (5%), глиомы – 29 (3 %), увеальные меланомы – 24 (2 %), артериовенозные мальформации (АВМ) – 17 (1 %), параганглиомы – 15 (1 %), невралгии тройничного нерва – 8 (1 %), краниофарингиомы – 4 (1 %), другие патологии – 41 (3 %)), 1161 сеанс контроля. В 2020 г. количество контрольных обследований составляет в среднем 10–12 сеансов в неделю.

Ключевые слова: *Гамма-нож, онкология, радиохирургия, нейрорадиохирургия, опухоли головного мозга, МРТ-исследования, контрольные обследования, организация лечения*

Введение

Радиохирургия (далее – РХ) – это процесс высокоточного подведения больших доз ионизирующего излучения (далее – ИИ) непосредственно в мишень за 1 фракцию с целью деструктивного воздействия на патологический очаг. РХ особенно актуальна для пациентов, имеющих сопутствующую патологию, а также при высоком риске ухудшения неврологическо-

го статуса и качества жизни после хирургического лечения. В настоящее время “золотым стандартом” нейрорадиохирургического лечения является аппарат “Гамма-нож”. Это устройство для интракраниальной стереотаксической РХ, в котором используется гамма-излучение 192 (для модели Perfexion) источников ⁶⁰Со. Ионизирующее излучение источников проходит через отверстия в коллиматорном шлеме к изоцентру аппарата из 576 возможных положе-



Рис. 1. “Гамма-нож” модели Perfexion, установленный в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова

ний, вследствие чего излучение каждого отдельного пучка не оказывает повреждающего действия на мозг, а в изоцентре создается высокая суммарная доза. Погрешность наведения радиационного пучка составляет менее 0,5 мм [1]. Стереотаксическая РХ на “Гамма-ноже” может применяться в случае лечения практически всех новообразований, локализованных в головном мозге, сосудистых мальформаций, функциональных заболеваний, офтальмологической патологии, являясь важной частью комбинированной терапии этих заболеваний либо альтернативой хирургическому вмешательству. В Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова установлен и функционирует с 29 августа 2017 г. единственный в Беларуси аппарат “Гамма-нож” (рис. 1).

Для работы на таком высокотехнологичном аппарате, как “Гамма-нож”, необходимы не только высококвалифицированные и опытные радиационные онкологи, но и высококвалифицированные и прошедшие курсы специальной подготовки медицинские физики. В лечебном и консультативном процессе в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова задействованы два радиационных онколога, два медицинских физика, одна медицинская сестра.

Первичный консультативный приём и показания к РХ с использованием “Гамма-ножа”

На первичной консультации, которая в соответствии с приказом МЗ РБ проводится только при наличии направления установлен-

ного образца от высококвалифицированного клинициста, специализирующегося на данной патологии [2], решается вопрос о возможности и целесообразности лечения пациента с использованием аппарата “Гамма-нож”. Показаниями к РХ на “Гамма-ноже” в нашем центре могут являться:

- ✓ первично выявленные опухоли головного мозга диаметром до 3 см;
- ✓ рецидив или остаточная опухоль головного мозга после хирургического удаления диаметром до 3 см;
- ✓ артериовенозные мальформации (АВМ) при невозможности хирургического лечения и эмболизации [3];
- ✓ невралгия тройничного нерва при отсутствии или недостаточной медикаментозной компенсации [4];
- ✓ увеальная меланома при невозможности проведения брахитерапии [5].

В ряде случаев и при образованиях более 3 см в диаметре рассматривается возможность проведения стажированной по объему или по времени РХ [6, 7].

Тем не менее, даже при наличии указанных выше патологий не все пациенты могут проходить облучение с применением “Гамма-ножа”. Необходимыми условиями для проведения РХ являются [8]:

- ✓ отсутствие признаков внутричерепной гипертензии и/или компрессии зрительных путей, и/или ирритации ствола головного мозга;
- ✓ состояние по шкале Карновского не менее 70 %;
- ✓ выбор пациента.

Для первичной консультации пациенту необходимо иметь CD- или DVD-диски с МРТ головного мозга, предварительно описанные рентгенологом. Необходимы серии с контрастно усиленными тонкими срезами, что особенно актуально в случае метастатического поражения головного мозга. Для уточнения характера опухоли и определения показаний для радиохирургии могут потребоваться некоторые дополнительные методы обследования, такие как КТ, ОФЭКТ, ПЭТ, ангиография и др.

Во время консультации радиационный онколог, специализирующийся на проведении радиохирургических процедур, в доступной форме информирует пациента о возможных результатах и побочных эффектах лечения, этапах проведения РХ, дает рекомендации о необходимости дополнительных диагностиче-

ских процедур. Пациенту в полном объеме предоставляется информация об альтернативных методах лечения, их преимуществах и недостатках. Кроме того, для принятия решения о проведении РХ могут потребоваться осмотры невролога, офтальмолога, сурдолога, эндокринолога и других медицинских специалистов.

При установлении целесообразности проведения РХ и согласия пациента назначается дата лечения. Срок возможного ожидания при злокачественных новообразованиях составляет не более 1 нед, при доброкачественных – 1 мес.

Этапы проведения процедуры РХ

Процедура РХ на “Гамма-ноже” в подавляющем большинстве клинических случаев хорошо переносится и обычно проводится амбулаторно. Однако в некоторых случаях, например, при лечении АВМ, требуется госпитализация [9]. РХ преимущественно проводится за один сеанс лучевого лечения, состоящий из 5 этапов:

1. Фиксация стереотаксической рамы.
2. Получение изображения методом МРТ.
3. Дозиметрическое планирование условий облучения.
4. Облучение пациента.
5. Снятие стереотаксической рамы.

Фиксация стереотаксической рамы (рис. 2) осуществляется под местной анестезией при непосредственном участии врачей и медицинской сестры, прошедших специальную подготовку. Для анестезии используется ропивакаина гидрохлорид 10 мг/мл либо бупивакаин 5 мг/мл. Во время фиксации рамы у пациента возникает ощущение сильного дав-

ления на голову, однако после окончания фиксации дискомфорт, связанный со сдавливанием головы, быстро проходит. Длительность данного этапа составляет, как правило, не более 10 мин. После фиксации стереотаксической рамы производится измерение геометрических характеристик черепа пациента, полученные данные вносятся в систему планирования [8]. После фиксации рамы пациент проходит МРТ-исследование для получения наиболее точных и информативных снимков, необходимых для осуществления корректного дозиметрического планирования облучения.

МРТ для интроскопии выполняется на магнитно-резонансном томографе Siemens Avanto, 1,5 Тл. Для всех пациентов используется режим T_1 с контрастным усилением, реже – режим T_1 без контраста, T_2 и др. В некоторых случаях необходима дополнительная визуализация с помощью МСКТ или ангиографии. После МРТ-исследования у пациента есть свободное время, когда осуществляется планирование облучения.

Планирование процедуры облучения осуществляется с использованием планирующей системы Leksell Gamma Plan 10.1.1 медицинским физиком при участии радиационного онколога. Данная версия программного обеспечения позволяет совмещать осуществленные ранее КТ-, МРТ-, ПЭТ-исследования с диагностическими процедурами, сделанными в стереотаксической раме в день проведения РХ. Во время дозиметрического планирования проводится оконтуривание мишеней облучения и критических органов, формирование приемлемого дозового распределения. Предписанная доза определяется характером образования, его размером и положением относительно кри-

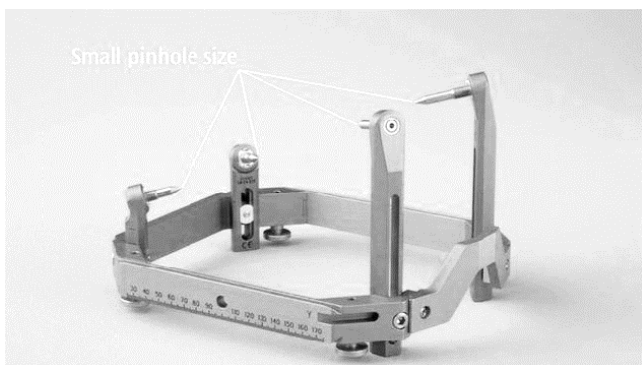


Рис. 2. Фиксация стереотаксической рамы



Таблица 1
Патологии, для лечения которых осуществлялась РХ на аппарате Гамма-нож в РНПЦ ОМР им. Н.Н.Александрова

Патологии	Количество пациентов	%
Метастазы в головном мозге	420	40
Менингиомы	252	24
Невриномы слухового нерва	200	19
Аденомы гипофиза	50	5
Глиомы	29	2
Увеальные меланомы	24	2
АВМ	17	1
Параганглиомы	15	1
Невралгии тройничного нерва	8	1
Краниофарингиомы	4	1
Другие патологии	41	4

тических структур и варьируется в пределах от 12 до 150 Гр (при функциональной РХ). После комплексной оценки медицинскими физиками и врачами-радиационными онкологами нагрузки на здоровые ткани утверждается клинически приемлемый план лечения и осуществляется его экспорт в консоль управления “Гамма-ножа”.

Длительность сеанса облучения зависит от типа новообразования, его локализации, облучаемого объема и количества очагов и может варьировать от нескольких минут до нескольких часов, в среднем длительность сеанса облучения составляет 55 мин. На протяжении всей процедуры за состоянием пациента при помощи системы видеонаблюдения следит медицинский персонал.

По окончании облучения медицинская сестра и врач снимают стереотаксическую раму, а места фиксации обрабатываются антисептиком, накладываются асептические пластыри.

Сроки проявления эффекта облучения проявляются не сразу и отличаются при различных патологиях.

За три года в РНПЦ ОМР проведено 1273 сеанса облучения для 1060 пациентов. Количественный анализ патологических очагов, подвергавшихся процедурам РХ в период с 29 августа 2017 г. по 29 августа 2020 г., представлены в табл. 1. Следует отметить, что в течение 2018 г. значительно возросло количество сеансов облучения, проведенных на “Гамма-ноже”, и с сентября 2018 г. оно остается постоянным и составляет в среднем 40 сеансов в месяц, или



Рис. 3. Динамика количества сеансов облучения на аппарате Гамма-нож с сентября 2017 г. по август 2020 г.

9–11 сеансов в неделю, несмотря на распад источников ИИ ^{60}Co (рис. 3).

Контрольное обследование

Контрольное обследование (контроль) проводится для оценки результатов РХ и выбора дальнейшего способа лечения пациента в случае необходимости. Контроль включает в себя осмотр пациента, анализ результатов обследований специалистами, назначенными лечащим врачом, МРТ или КТ-исследования (при противопоказаниях к проведению МРТ). Первая контрольная МРТ проводится в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова. В дальнейшем пациент наблюдается и обследуется по месту жительства и является на консультации в кабинет “Гамма-нож” в назначенные врачом сроки.

Для возможности детального анализа результатов РХ МРТ-изображение головного мозга должно быть импортировано в систему “Гамма-план”, в которой изначально проводилось дозиметрическое планирование параметров сеанса облучения. Для того, чтобы импорт был возможным, МРТ-изображение должно быть выполнено в квадратной матрице, с тонкими, строго аксиальными срезами, без зазоров между ними. Серия с тонкими срезами должна захватывать всю голову, на снимке не должно быть геометрических искажений и артефактов. В обязательном порядке должны быть представлены серии T_1 без и с контрастным усилением, T_2 . Другие серии выполняются по показаниям в зависимости от диагноза и цели исследования. Контрольная МРТ совмещается с ис-

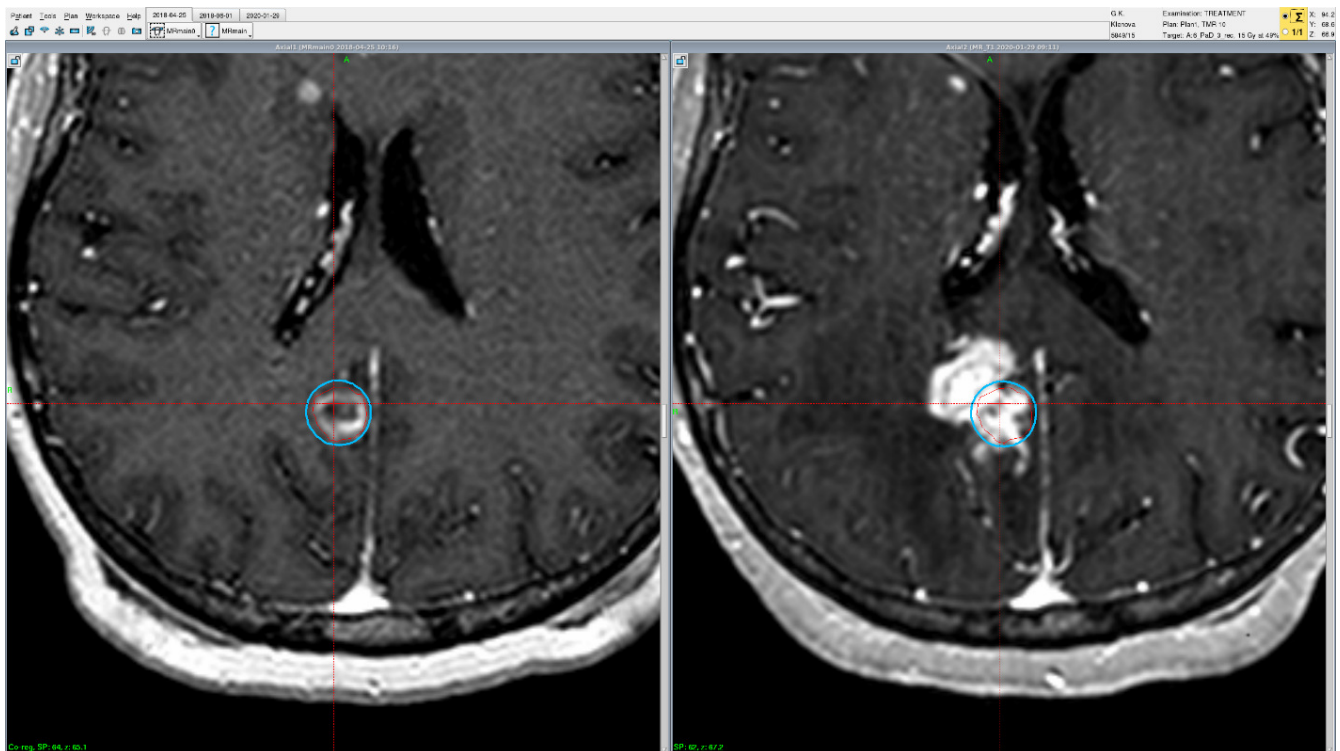


Рис. 4. Краевой рецидив метастаза рака молочной железы через 2 года после РХ

следованием на момент РХ и с предыдущими контролями (если таковые были), что занимает в среднем 5–7 мин. После этого возможно производить оконтуривание и измерение линейных размеров и объема мишеней на контрольной МРТ. Контуры на момент РХ могут быть наложены на контрольные снимки, благодаря чему возможно достоверно выявить зону краевого рецидива. Совпадение области накопления рентгеноконтрастного вещества с совмещенной с МРТ-изображением изодозной кривой помогает дифференцировать некроз от продолженного роста (рис. 4) [3, 8].

Далее радиационный онколог демонстрирует полученные изображения пациенту, дает рекомендации по дальнейшему обследованию, наблюдению и, при необходимости, лечению. Стоит отметить, что в некоторых зарубежных центрах процедурой контроля занимается отдельный специалист, не занятый в тот день в облучении пациентов.

На рис. 5 показано рабочее окно контроля. Снимки представлены в трех плоскостях: аксиальной, фронтальной, сагиттальной. У данного пациента проводилось лечение и 2 контроля, красным контуром показан первич-

ный объем облучаемой опухоли (акустическая невринома). На рис. 5 (верхняя строка) показан снимок, по которому проводилось планирование. Первоначальный объем опухоли составлял $0,824 \text{ см}^3$, размеры $14,3 \times 9,5 \times 11,6 \text{ мм}$. При первом контроле через 6 мес (рис. 5 – средняя строка) объем опухоли составил $1,030 \text{ см}^3$, а размеры – $17,0 \times 10,2 \times 12,5 \text{ мм}$. Увеличение размера и объема, или псевдопрогрессия, обусловлена реакцией опухоли на РХ – постлучевым патоморфозом [10].

На втором контроле через 18 мес после РХ (рис. 5 – нижняя строка) хорошо видно значительное уменьшение опухоли: объем $0,255 \text{ см}^3$, размер $10,5 \times 6,3 \times 5,3 \text{ мм}$. Таким образом, объем опухоли уменьшился в 3,2 раза по сравнению с первоначальным.

Контрольные МРТ головного мозга проводятся каждые 3 мес после лечения злокачественных опухолей. При лечении доброкачественных опухолей МРТ проводится первый раз через 6–12 мес после облучения, последующие контрольные исследования проводятся ежегодно. При лечении сосудистых патологий первый контроль проводится через 12 мес

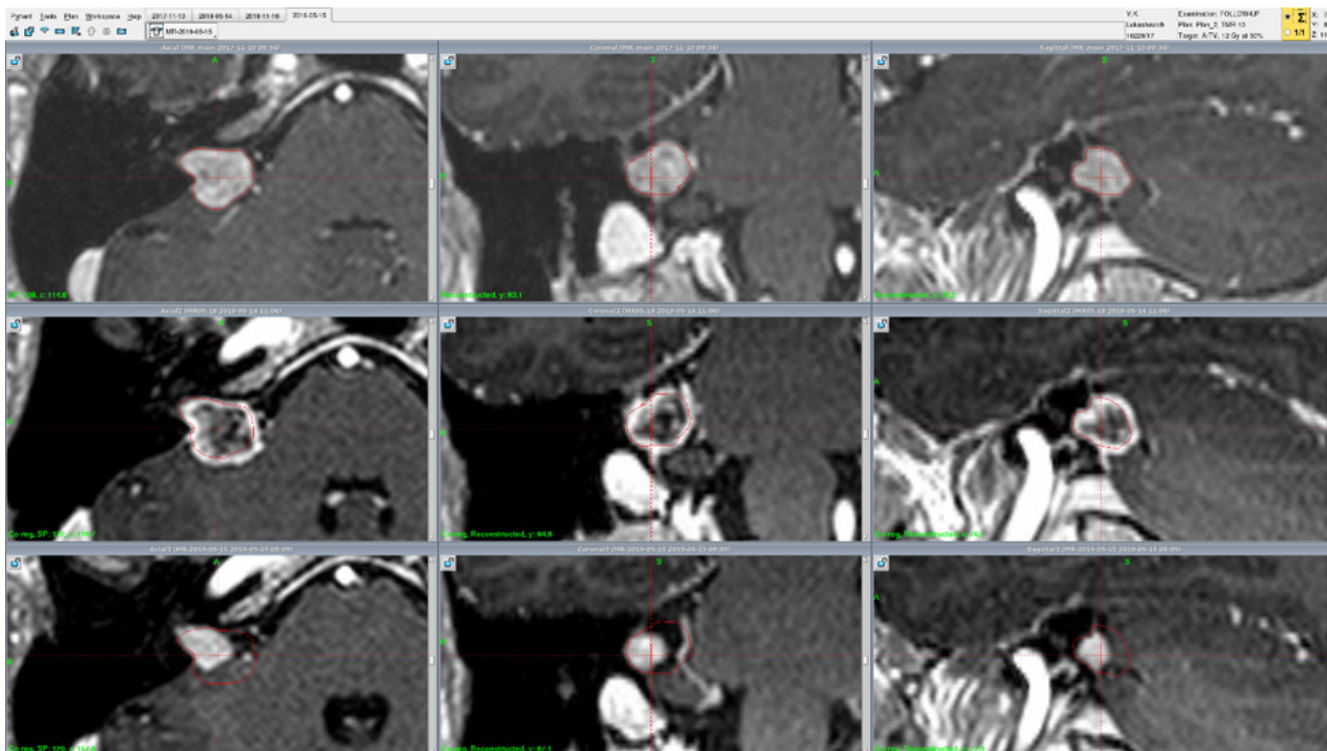


Рис. 5. Верхний ряд – МРТ-сканы во время РХ; средний ряд – МРТ-сканы первого контроля; нижний ряд – МРТ-сканы второго контроля; левый столбец – аксиальные срезы; средний столбец – фронтальные срезы; правый столбец – сагиттальные срезы

после облучения, в дальнейшем – каждые 24 месяца [8].

За три года в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова проведен 1161 сеанс контроля. За 2018–2019 гг. количество сеансов контроля значительно возросло и составляет в среднем 52 сеанса в месяц, или 10–12 сеансов в неделю. Следует отметить, что с января 2020 г. наблюдается снижение динамики роста количества контрольных осмотров, что может быть обусловлено распространением коноровирусной инфекции (рис. 6).

Контроль качества

Контроль характеристик аппарата “Гамма-нож” и его систем технической и радиационной безопасности являются гарантией качественного проведения сеансов лучевой терапии. Контроль качества на “Гамма-ноже” осуществляется медицинским физиком согласно установленной программе, созданной специалистами РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова в



Рис. 6. Количество сеансов контроля на аппарате Гамма-нож с сентября 2017 г. по август 2020 г.

соответствии с международными стандартами лучевой терапии.

Ежедневному контролю качества гамма-терапевтического аппарата подлежат характеристики систем радиационной безопасности,

управления аппаратом и устройств, применяемых для укладки пациентов. Контроль системы радиационной безопасности включает проверку следующих устройств, обеспечивающих радиационную безопасность: информационные табло, визуальные проверки функционирования адаптера рамки, предупреждающие звуковые сигналы, дверные блокировки на входе в процедурное помещение, аварийное освещение, сигнализатор радиационного фона. Адаптер фиксации головы пациента предназначен для жесткой фиксации головы пациента для трех гамма-углов (трех углов наклона) относительно плоскости стола. Проверка работоспособности адаптера необходима для точного и корректного выполнения планов облучения пациентов.

Во время ежемесячного контроля проводятся проверки, предусмотренные ежедневным контролем, а также проверка аварийных выключателей, проверка точности фокуса, проверка работоспособности источников бесперебойного питания, проверка рукояток высвобождения стола, системы видеонаблюдения и аудиосвязи, а также проверка системы ручного управления столом и боковых защитных панелей. Проверка точности фокуса является одним из важнейших этапов контроля качества и заключается в идентификации текущего положения точки радиологического фокуса и его сопоставлении с положением, зарегистрированным системой в период прохождения приемных испытаний при установке устройства Leksell Gamma Knife Perfexion. Любое отклонение позиции фокуса не должно выходить за рамки установленных пределов. Данная проверка проводится ежемесячно либо в случае предполагаемого повреждения адаптера рамы или инструмента гарантии качества.

Во время ежеквартального контроля проводятся проверки, предусмотренные ежедневным и ежемесячным контролем, а также измерение мощности поглощенной дозы в водозэквивалентном фантоме ABS. Измерение мощности поглощенной дозы проводится также после профилактических работ или ликвидации аварии, которые могут повлиять на формирование пучков излучения и величину мощности дозы гамма-излучения.

По результатам всех проверок делаются отметки в специальных протоколах контроля качества.

Заключение

В работе описан типовой процесс РХ, установившийся за три года использования аппарата “Гамма-нож” в клинической практике в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, приведены особенности использования данного оборудования и статистические данные по ряду характеристик проводимого лучевого лечения. В частности, проведено 1273 сеанса облучения, из которых – метастазы – 420 (40 %), менингиомы 252 – (24 %), невриномы слухового нерва – 200 (19 %), аденомы гипофиза – 50 (5 %), глиомы – 29 (3 %), увеальные меланомы – 24 (2 %), АВМ 17 (1 %), параганглиомы – 15 (1 %), невралгии тройничного нерва – 8 (1 %), краниофарингиомы – 4 (1 %), другие патологии – 41 (3 %), 1161 сеанс контроля. В 2020 г. количество контрольных обследований составляет в среднем 10–12 сеансов в неделю.

Показано, что с увеличением количества пролеченных пациентов количество контрольных обследований постепенно возрастает, что значительно увеличивает нагрузку на врачей-радиационных онкологов и медицинских физиков, что следует учитывать при формировании штатного расписания группы специалистов, занимающихся этим или подобными методами оказания высокотехнологичной медицинской помощи. Также описаны наиболее важные процедуры контроля качества гамма-ножа, проводимые согласно установленной программе, созданной в соответствии с международными стандартами лучевой терапии.

Список литературы

1. Gamma Knife Radiosurgery. Ed. by Liscak R. – New York: Nova Science Publishers. 2013. 326 pp.
2. Приказ Министерства здравоохранения № 3-1-9/5168 от 29.11.2017 г.
3. Friedman DP, Morales RE, Goldman HW. MR imaging findings after stereotactic radiosurgery using Gamma Knife. *AJR*, 2001; 176: 1589-95.
4. Tuleasca C, Regis J, Sahgal A et al. Stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia: a systematic review. *J Neurosurg*, 2019; 130: 733-57.
5. Modorati GM, Dagan R, Mikkelsen LH et al. Gamma Knife radiosurgery for uveal melanoma: a retrospective review of clinical

- complications in a Tertiary Referral Center. *Ocular Oncol Pathol.* 2020; 6: 115-22.
6. Su CF, Liu DW, Lee CC, Chiu TL. Volume-Staged Gamma Knife surgery for the treatment of large skull base meningioma surrounding the optical apparatus: a snowman-shape design. *J Chin Med Assoc.* 2017; 80(11): 697-704.
 7. Yamamoto M, Higuchi Y, Serizawa T et al. Three stage Gamma Knife treatment for metastatic brain tumors larger 10 cm³: a 2-institute study including re-analyses of earlier results using competing risk analysis. *J Neurosurg.* 2018; 129: 77-84.
 8. Нейрорадиохирургия на Гамма-ноже/ Под ред. Голанова А.В., Костюченко В.В. – М.: Издательство ИП “Т.А. Алексеева”. 2018. 96 с.
 9. Маряшев СА, Голанов АВ, Коновалов АН и др. Радиохирургическое облучение пациентов с артериовенозными мальформациями головного мозга на аппарате “Гамма-нож”. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2013; (5): 16-29.
 10. Pollock BE. Management of vestibular schwannomas that enlarge after stereotactic radiosurgery: treatment recommendations based on a 15-year experience. *Neurosurgery.* 2006; 58(2): 241-8.

GAMMA KNIFE RADIOSURGERY IN THE N.N. ALEXANDROV NATIONAL CANCER CENTER OF BELARUS

A. Brynkevich¹, E. Titovich², M. Piatkevich¹, I. Shturo¹, P. Nikitenko¹, O. Novosel'skaya¹, O. Gizemava¹

¹ N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus

² IAEA, Vienna, Austria

Nowadays, radiosurgical techniques are increasingly used in the treatment of intracranial tumor formations, as well as functional diseases and ophthalmopathology, both in an independent version and in combination with surgical treatment. In the N.N. Aleksandrov NCCB intracranial radiosurgery is performed using the Gamma Knife Perfexion apparatus, which requires highly qualified and experienced specialists, such as radiation oncologists, neurosurgeons and medical physicists, to use it correctly. Control of the characteristics of the Gamma Knife Perfexion apparatus and its technical and radiation safety systems are also a guarantee of the high-quality conduct of radiation therapy sessions. Medical-advisory help to patients consists of several stages: initial consultation, patient exposure, the subsequent follow-up studies. The paper describes a typical SRS process, established over three years of using the Gamma Knife apparatus in clinical practice, describes the features of using this equipment in the Republic of Belarus, and presents some treatment results. For 3 years of the Gamma Knife exploitation in the N.N. Aleksandrov NCCB, 1273 radiosurgery treatments were performed (metastases – 420 (40 %), meningiomas – 252 (24 %), acoustic neuromas – 200 (19 %), pituitary adenomas – 50 (5 %), gliomas – 29 (3 %), uveal melanomas – 24 (2 %), AVM – 17 (1 %), paragangliomas – 15 (1 %), trigeminal neuralgia – 8 (1 %), craniopharyngiomas – 4 (1 %), other pathologies – 41 (3 %)), 1161 follow-ups performed. In 2020, the number of follow-ups is 10–12 sessions per week on average.

Key words: *Gamma Knife, oncology, radiosurgery, neuroradiosurgery, brain tumors, MRI studies, follow-up, organization of treatment*

E-mail: annabrijerry@gmail.com