

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2025.3.66>

Результаты применения стереотаксической радиохирургии при артериовенозных мальформациях головного мозга в Республике Беларусь

О.А. Гиземова¹, С.В. Капацевич², П.Д. Демешко¹

¹Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова», г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии», г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2025. – Том 24, №3. – С. 66-75.

Gamma Knife radiosurgery outcomes in patients with the brain arteriovenous malformations in the Republic of Belarus

V.A. Hizemava¹, S.V. Kapatsevich², P.D. Dziameshka¹

¹N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2025;24(3):66-75.

Резюме.

Цель – анализ исходов стереотаксической радиохирургии у пациентов, страдающих артериовенозными мальформациями головного мозга, с учетом оценки по шкале RBAS (radiosurgery-based AVM score).

Материал и методы. В исследование включены данные 33 пациентов, которым в период с 2017 по 2024 гг. в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова была проведена стереотаксическая радиохирургия на аппарате Гамма-нож (Elekta, Швеция) по поводу артериовенозных мальформаций головного мозга. Для прогнозирования исходов радиохирургии использовалась шкала прогнозирования исходов радиохирургии RBAS. Для расчета кумулятивной частоты облитерации артериовенозных мальформаций и медианы времени наступления облитерации использован метод Каплана-Мейера. Статистический анализ выполнен с использованием программы SPSS v.23.

Результаты. Оценка по шкале RBAS в среднем составила $0,93 \pm 0,43$. Оценку не более 1,00 имело 20 (60,6%) пациентов, оценку 1,01 – 1,50 – 10 (30,3%) пациентов, оценку 1,51 – 2,00 – 3 (9,1%) пациента. Кумулятивная частота полной облитерации, подтвержденной церебральной ангиографией, составила: 2-летняя $25,1 \pm 11,0\%$; 3-летняя $56,3\% \pm 16,2\%$; медиана времени наступления облитерации – $37,0 \pm 9,2$ месяца. Поздняя лучевая токсичность II и III степени составила 6,1% и 6,1%, соответственно; частота кровоизлияний – 3%, летальность 3%.

Заключение. Согласно полученным нами данным, стереотаксическую радиохирургию можно считать эффективным и безопасным методом лечения правильно отобранных пациентов с артериовенозными мальформациями головного мозга. Необходим длительный период наблюдения и большая когорта пациентов для детального анализа результатов радиохирургии как одной из опций лечения этого порока развития.

Ключевые слова: артериовенозная мальформация, стереотаксическая радиохирургия, Гамма-нож, облитерация.

Abstract.

Objectives. To analyze the stereotactic radiosurgery outcomes in patients with the cerebral arteriovenous malformations, taking into account the RBAS (radiosurgery-based AVM score) score.

Material and methods. The study included the data from 33 patients who underwent stereotactic radiosurgery on a Gamma Knife (Elekta, Sweden) for cerebral arteriovenous malformations in the N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus from 2017 to 2024. The RBAS radiosurgery outcome prediction scale was used to forecast radiosurgery outcomes. The Kaplan-Meier method was used to calculate the cumulative incidence of the arteriovenous malformation obliteration and the median time to obliteration. Statistical analysis was performed using SPSS v.23.

Results. The RBAS score averaged 0.93 ± 0.43 . 20 (60.6%) patients had a score of 1.00 or less, 10 (30.3%) patients had a score of 1.01–1.50, and 3 (9.1%) patients had a score of 1.51–2.00. The cumulative incidence of complete obliteration confirmed by cerebral angiography was: 2-year $25.1 \pm 11.0\%$; 3-year $56.3 \pm 16.2\%$; median time to obliteration was 37.0 ± 9.2 months. Late radiation toxicity of grades II and III was 6.1% and 6.1%, respectively; the incidence of hemorrhage was 3%, and mortality was 3%.

Conclusions. According to the obtained data, stereotactic radiosurgery can be considered an effective and safe method for treating properly selected patients with the brain arteriovenous malformations. A long-term follow-up period and a large cohort of patients are needed for a detailed analysis of the radiosurgery results as one of the treatment options for this malformation.

Keywords: arteriovenous malformation, stereotactic radiosurgery, Gamma Knife, obliteration.

Введение

Артериовенозные мальформации (АВМ) являются врожденной сосудистой аномалией и представляют собой клубок артерий и вен, связанных между собой шунтами, в результате чего артериальная кровь сбрасывается в венозные сосуды, минуя капилляры [1].

Клиническая картина у пациентов с АВМ, которые обращаются на радиохирургическое лечение, чаще всего представлена симптомами перенесенного кровоизлияния, пароксизмальной симптоматикой, головной болью или прогрессирующим неврологическим дефицитом. Чаще началом заболевания является кровоизлияние в головной мозг, которое может быть фатальным, приводить к появлению общемозговой симптоматики или, реже, протекать без какого-либо неврологического дефицита. Риск внутричерепного кровоизлияния при неразорвавшихся АВМ составляет 1,2–4% в год, а при ранее разорвавшихся – 6–18% в год [2]. Суммарный риск повторного кровоизлияния из АВМ в течение 15–20 лет довольно существенный и составляет 42–67% [3]. Инвалидизация после кровоизлияния из АВМ отмечается в 58–81% случаев [4].

В настоящее время возможными способами лечения АВМ являются: хирургическое удаление, эндоваскулярное выключение, лучевые стереотаксические методы [5]. Эти методики используются как самостоятельно, так и в комбинации друг с другом и имеют отличающиеся показатели радикальности выключения АВМ и сроки достижения лечебного эффекта [6].

Наибольшую радикальность 92,9–100% среди методик лечения АВМ имеет хирургическое удаление, при котором риск осложнений составляет 21%, а летальность 1,2%. Однако самостоятельно оно может быть выполнено только у пациентов с АВМ малых и средних размеров

поверхностной локализации. Хирургические риски лечения АВМ связаны с труднодоступностью выключения глубоких афферентов, наличием пара-интранидальных аневризм, аневризм на афферентах, крупных фистул, большими размерами и объемом АВМ, локализацией в функционально значимых зонах головного мозга. Наиболее применяемой шкалой оценки хирургического риска при лечении АВМ является шкала Спецлер-Мартина [7], основанная на размере АВМ, ее локализации и характере венозного оттока.

Внутрисосудистые вмешательства, по данным различных авторов, позволяют добиться тотальной окклюзии АВМ лишь в 34–52% при риске осложнений 16,7% и летальности 2,3% [8], при этом неполное выключение АВМ не защищает пациентов от повторного кровоизлияния, а в случае нервавшихся АВМ повышает вероятность неблагоприятных исходов в сравнении с консервативным лечением. Результаты невысокой радикальности эндоваскулярного лечения АВМ обусловлены большими размерами АВМ с наличием высокопоточковых шунтов и заинтересованностью функционально значимых зон головного мозга.

С учетом этого, внутрисосудистые вмешательства в настоящее время чаще рассматриваются как этап перед применением более радикальных методик. С помощью эндоваскулярной эмболизации представляется возможным уменьшить объем АВМ, степень шунтирования, выключить труднодоступные афференты и участки АВМ, потенциально опасные в отношении разрыва с пара-интранидальными аневризмами и аневризмы на афферентах.

Стереотаксическая радиохирurgia (СРХ) является высокоэффективным методом при отборе пациентов с АВМ размером до 3 см и отсутствием крупных шунтов и пара-интранидальных аневризм. Полная облитерация АВМ различных градаций по шкале Спецлер-Мартина после СРХ

происходит у 4-94% пациентов при риске радиоиндуцированных осложнений 6-14% и летальности около 2,1%. СРХ может применяться как самостоятельный вариант лечения, так и в комбинации с другими методами [5, 9].

Эффективность метода основана на подведении высоких доз ионизирующего излучения в зону мальформации. Целью радиохирургии является достижение полной облитерации АВМ и предотвращение кровоизлияний.

Предполагается, что повреждение клеток эндотелия сосудистой системы играет ключевую роль в окклюзии сосудов АВМ после СРХ. После воздействия ионизирующего излучения происходит отделение эндотелия от стенки сосуда и увеличение поступления плазменных белков в интиму. Это сопровождается пролиферацией субэндотелия, гладкомышечных клеток и веретенообразных клеток, которые обладают сократительной способностью и способствуют окклюзии сосудов. Затем происходит расширение внеклеточного матрикса в интиму с отложением плотных фибриллярных структур коллагена и гиалиновыми изменениями. Фибробласты и фиброциты играют центральную роль в синтезе коллагена и образовании тромбов. Эти изменения происходят медленно, в течение нескольких лет после СРХ. С течением времени происходит прогрессирующая гиалинизация коллагеновых волокон и фибриновых тромбов с образованием рубцовой ткани. Важно отметить, что изменения в ответ на излучение, по-видимому, происходят концентрическим или эксцентричным образом, затрагивая всю или почти всю окружность стенки сосуда.

Существует несколько провоспалительных и протромботических молекулярных изменений, которые происходят в эндотелии в ответ на СРХ. После СРХ эндотелиальные клетки повреждаются, разделяются и разрушаются. Во время апоптоза эндотелиальные клетки высвобождают IL-1 β , который индуцирует экспрессию эндотелиальных молекул адгезии и провоспалительных цитокинов на окружающих эндотелиальных клетках. Это запускает воспалительный и протромботический каскад, необходимый для облитерации АВМ. Процесс начинается уже через 4 часа после облучения. Кроме того, в ответ на излучение происходит снижение экспрессии ангиогенных факторов, таких как VEGF, TGF- β и ангиопоэтин-2, повышенная экспрессия которых выявляется в АВМ. Эти изменения наблюдаются

через 3 месяца после СРХ, однако их точная роль в окклюзии АВМ до конца не выяснена [10].

Показанием для применения СРХ являются АВМ, недоступные для прямого хирургического удаления, остаточные АВМ после прямых или эндоваскулярных вмешательств. СРХ является наиболее подходящим методом лечения для пациентов с АВМ малых и средних размеров, расположенных в глубинных структурах (ствол, базальные ядра, таламус) или функционально значимых зонах головного мозга (сенсомоторная кора, речевая и зрительная зоны).

Недостатком радиохирургического метода является большой временной промежуток до достижения эффекта, который, как правило, составляет от 12 до 36 месяцев. Большинство данных свидетельствуют о том, что изменения в АВМ происходят не позднее чем через 2-3 года после СРХ, однако некоторые исследования показали, что процесс облитерации может продолжаться до 4-5 лет после облучения. Не вызывает сомнений, что начальный период после СРХ является наиболее критичным для получения окклюзии АВМ [11].

Любая форма лечения АВМ должна быть направлена на полное уничтожение этого порока развития [12]. Таким образом, успешным результатом СРХ следует считать только полную облитерацию сосудистой сети АВМ, подтвержденную церебральной (ЦАГ). Неполная облитерация не предупреждает кровоизлияния и требует дополнительного воздействия до достижения полной окклюзии АВМ.

Шкала Спецлер-Мартина, используемая для оценки хирургического риска, учитывает размеры, а не объем АВМ, который является важным фактором, ассоциированным с успешной СРХ. В то же время, расположение АВМ в функционально значимых зонах коры головного мозга имеет для СРХ меньшую значимость, чем для хирургического вмешательства.

В связи с этим, для прогнозирования исходов СРХ была предложена шкала RBAS (radiosurgery-based AVM score), которая учитывает возраст пациента, объем АВМ и локализацию. Согласно этой шкале, при проведении радиохирургии неблагоприятной локализацией АВМ являются только базальные ядра, таламус и ствол головного мозга. Оценка по шкале RBAS коррелирует с долей пациентов с облитерацией АВМ без новых неврологических дефицитов. При оценке $\leq 1,00$ уровень облитерации без новых неврологических дефицитов составляет около 90% в течение 70

месяцев; 1,01–1,50 – 70%; 1,51–2,00 – 60%; >2,00 – <50%. Использование RBAS позволяет достаточно точно прогнозировать результаты СРХ и является, наряду со шкалой Спецлер-Мартина, основой для выбора метода лечения пациентов с АВМ. Шкала была валидизирована многочисленными центрами, использующими Гамма-нож, линейные ускорители и Кибер-нож [5, 13]. Однако авторы опубликованного в 2022 г. систематического обзора и метаанализа, целью которого была оценка эффективности радиохирургического лечения АВМ, не смогли надежно количественно оценить исходы в соответствии с оценкой RBAS, так как во включенных исследованиях не было стратификации по оценке RBAS, медиана которой составила 1,42 [9].

Цель нашего исследования – анализ исходов СРХ у пациентов, страдающих АВМ головного мозга, с учетом оценки по шкале RBAS.

Материал и методы

В исследование включены данные 33 пациентов, которым в период с 2017 по 2024 гг. в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова была проведена СРХ на аппарате Гамма-нож (Elekta, Швеция) по поводу АВМ головного мозга.

В исследуемой группе было 13 (39,4%) мужчин, 12 (36,4%) женщин и 8 (24,2%) детей. Возраст пациентов составил 7-69 лет (медиана – 32 года).

У 21 (63,6%) пациентов в анамнезе имелись кровоизлияния, у 12 (36,4%) пациентов кровоизлияний в анамнезе не было, АВМ клинически проявлялись судорожным синдромом либо другой неврологической симптоматикой.

АВМ имели супратенториальную локализацию у 29 (87,9%) пациентов, субтенториальную локализацию у 4 (12,1%) пациентов; у 6 (18,2%) АВМ локализовалась в базальных ядрах и таламусе.

Размер АВМ составил 0,5-3,9 см (среднее значение $1,7 \pm 0,8$ см); объем АВМ составил 0,1-4,7 см³ (среднее значение $1,2 \pm 1,2$ см³).

Выбор метода лечения осуществлялся на основании оценки хирургического и радиохирургического риска. Для оценки хирургического риска использовалась шкала Спецлера-Мартина [7]. При высоком хирургическом либо анестезиологическом риске, расположении АВМ в функционально значимых зонах, отказе пациента от хирургического вмешательства рассматривался вопрос о СРХ или комбинации эндоваскулярного и радиохирургического лечения.

Для прогнозирования исходов СРХ использовалась шкала RBAS. Оценка прогноза успешной СРХ рассчитывалась по формуле Поллока-Фликинжера (формула 1) [13]:

$$\begin{aligned} \text{Оценка} = & (0,1) \times (\text{объем, мл}) + \\ & + (0,02) \times (\text{возраст, год}) + \\ & + (0,5) \times (\text{местоположение:} \\ & \text{полушарие / мозолистое тело / мозжечок} = 0; \\ & \text{базальные ганглии / таламус / ствол мозга} = 1) \quad (1) \end{aligned}$$

У 15 (45,5%) пациентов СРХ была проведена в самостоятельном варианте, у 18 (54,5%) пациентов СРХ была использована как этап комбинированного лечения после ранее проведенной эмболизации либо хирургического лечения.

Радиохирургическое лечение при наличии остаточного объема функционирующей АВМ осуществлялось не ранее, чем через 6 месяцев после хирургического вмешательства, через 1-3 месяца после эмболизации у пациентов с неразорвавшимися АВМ и через 3-6 месяцев – у пациентов с разорвавшимися АВМ.

СРХ реализовалась на установке «Гамма-нож» модели Perfexion/Icon с использованием инвазивной фиксации головы пациента стереотаксической рамой и выполнением топометрической МРТ и ЦАГ в стереотаксической раме и локализаторе с нанесенными на него маркерами для определения стереотаксической системы координат.

Планирование облучения осуществлялось на системе Leksell Gamma Plan. Мишенью для СРХ являлся артериовенозный узел без афферентных и эфферентных сосудов. Создание плана облучения осуществлялось медицинским физиком при участии врача-радиационного онколога и врача-нейрохирурга РНПЦ неврологии и нейрохирургии, специалиста по рентгенэндоваскулярным методам лечения.

Предписанная доза (ПД) рассчитывалась по формуле 2 [20]:

$$\text{ПД} = 27 / (\text{объем АВМ})^{1/3} \quad (2)$$

При выборе ПД учитывалось положение относительно критических структур и объем, получивший дозу 12 Гр, включая АВМ ($V_{12\text{Гр}}$), который должен был составлять не более 10 см³, с целью снижения риска постлучевых осложнений [21]. Минимальная ПД составила 16 Гр, максимальная 25 Гр, среднее значение – 22,6 Гр. Анализ дозиметрических показателей осуществлялся с помощью гистограмм «доза-объем». СРХ проводилась по утвержденному плану, имеющему оптимальные дозиметрические показатели.

Наблюдение за пациентами после СРХ осуществлялось в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова и РНПЦ неврологии и нейрохирургии. Пациентам была рекомендована МРТ головного мозга с контрастным усилением через 6-12 месяцев после СРХ, затем ежегодно МРТ с МР-ангиографией в течение 3 лет; ЦАГ – через 2-3 года или при признаках облитерации АВМ по данным МРТ.

Медиана периода наблюдения за пациентами составила $24,2 \pm 2,6$ мес. Степень выраженности лучевой токсичности оценивалась на основании шкалы RTOG/EORTC [16].

Представление информации и статистический анализ данных выполнены в соответствии с требованиями к проведению медико-биологических исследований. Качественные признаки представлены абсолютными величинами и относительными частотами. Количественные показатели представлены медианой, минимальным и максимальным значениями (разброс значений), либо средним значением $\pm$ стандартное отклонение в зависимости от характера распределения признака. Для расчета кумулятивной частоты облитерации АВМ и медианы времени наступления облитерации использован метод Каплана-Мейера. Статистический анализ выполнен с использованием программы SPSS v.23.

Результаты

В исследуемой группе 1 (3%) пациент относился к I градации по шкале Спецлер-Мартина, однако имел соматические противопоказания к хирургическому и эндоваскулярному лечению,

в связи с чем была проведена СРХ в самостоятельном варианте. Ко II градации относилось 14 (42,4%) пациентов. Из них СРХ в самостоятельном варианте была проведена 8 (24,2%) пациентам в связи с глубинным расположением АВМ либо отказом пациентов от хирургического и эндоваскулярного лечения, у 4 (12,1%) пациентов – в комбинации с эмболизацией и у 2 (6%) пациентов – на остаточную функционирующую часть АВМ после хирургического лечения. Из 14 (39,4%) пациентов, относящихся к III градации, у 6 (18,2%) пациентов с АВМ, расположенных в глубинных и функционально значимых зонах была выполнена СРХ в самостоятельном варианте, у 6 (18,2%) пациентов – как этап комбинированного лечения после частичной эмболизации и у 2 (6%) – на остаточную функционирующую часть АВМ после хирургического лечения. У всех пациентов IV градации СРХ являлась вторым методом в комбинированном лечении после этапов эндоваскулярного лечения. У пациентов V градации СРХ не применялась.

Оценка по шкале прогнозирования исходов радиохирургии RBAS в среднем составила $0,93 \pm 0,43$. Оценку не более 1,00 имело 20 (60,6%) пациентов, оценку 1,01 – 1,50 – 10 (30,3%) пациентов, оценку 1,51 – 2,00 – 3 (9,1%) пациента (рис. 1).

Таким образом, все пациенты в исследуемой группе имели высокие шансы полной облитерации АВМ без развития новых неврологических дефицитов и являлись хорошими кандидатами для радиохирургического лечения.

Все пациенты перенесли СРХ удовлетворительно. Острой лучевой токсичности выше II сте-

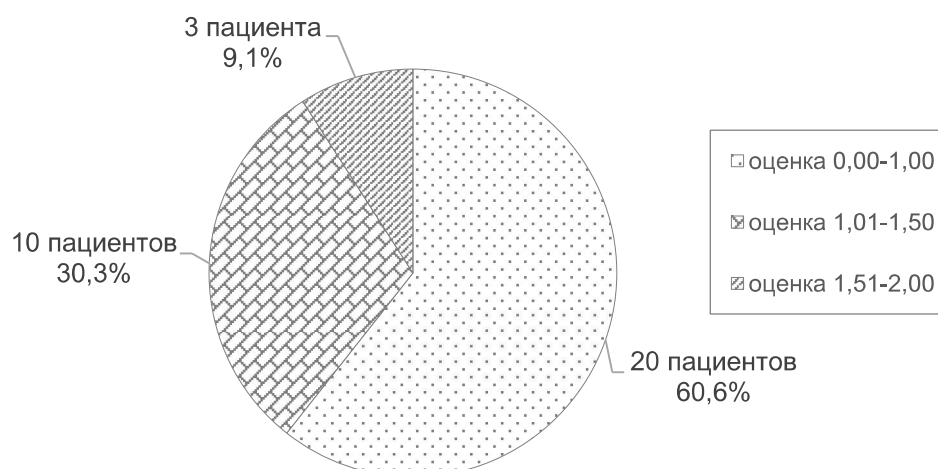


Рисунок 1 – Распределение пациентов по шкале RBAS

пени по шкале RTOG/EORTS зарегистрировано не было.

Оценка облитерации. Согласно рекомендациям, МРТ головного мозга с контрастным усилением через 6-12 месяцев выполнили 30 (90,9%) пациентов. В этой группе у 25 (83,3%) уже при первом контрольном МРТ исследовании наблюдалось улучшение в виде уменьшения объема АВМ. Однако контрольную ЦАГ выполнили только 12 (36,4%) пациентов. ЦАГ была выполнена на сроке 18,1-51,4 (медиана $28,6 \pm 10,2$) месяца при наличии признаков облитерации АВМ по данным контрольной МРТ. Не была выполнена ЦАГ 11 (33,3%) пациентам в связи с недостаточным периодом наблюдения, 6 (21,2%) пациентам в связи с отказом от обследования, 1 (3,0%) – в связи с противопоказаниями к выполнению ЦАГ, 1 (3,0%) – в связи со смертью через 5 месяцев после СРХ. С 2 (6,1%) пациентами был потерян контакт и данные их неизвестны.

Из группы пациентов, которым была выполнена ЦАГ, у 10 (83,3%) пациентов по данным ЦАГ подтверждена тотальная либо субтотальная облитерация АВМ: у 7 (58,3%) – полная облитерация, у 3 (25,0%) – субтотальная облитерация. У 1 (8,3%) пациентов не было выявлено динамики после СРХ. У 1 (8,3%) пациента, где СРХ была вторым этапом после эндоваскулярного лечения,

была выявлена реканализация части АВМ.

Пример полной окклюзии АВМ правого полушария мозжечка после комбинированного лечения (эмболизация и СРХ) у пациента 54 лет продемонстрирован на рисунках 2-4. На первом этапе проведено эндоваскулярное лечение, в результате которого достигнута частичная окклюзия АВМ (рис. 2).

На втором этапе проведен сеанс СРХ на Гамма-ноже на оставшуюся функционирующую часть АВМ, объем которой составил $3,2 \text{ см}^3$. Оценка по шкале RBAS=1,40; краевая доза 20 Гр по 50% изодозе (рис. 3).

Через 2 года после СРХ по данным МРТ была зарегистрирована полная облитерация оставшейся функционирующей части АВМ. Пациенту проведена контрольная ЦАГ, которая подтвердила полную окклюзию АВМ (рис. 4).

Кумулятивная частота полной облитерации, подтвержденной ЦАГ, составила: 2-летняя $25,1 \pm 11,0\%$; 3-летняя $56,3 \pm 16,2\%$; медиана времени наступления облитерации – $37,0 \pm 9,2$ месяца (рис. 5).

Все пациенты, у которых была достигнута полная облитерация, подтвержденная ЦАГ, имели оценку по шкале RBAS<1,50.

Кровоизлияния после СРХ. В исследуемой группе за период наблюдения у 1 (3,0%) пациента

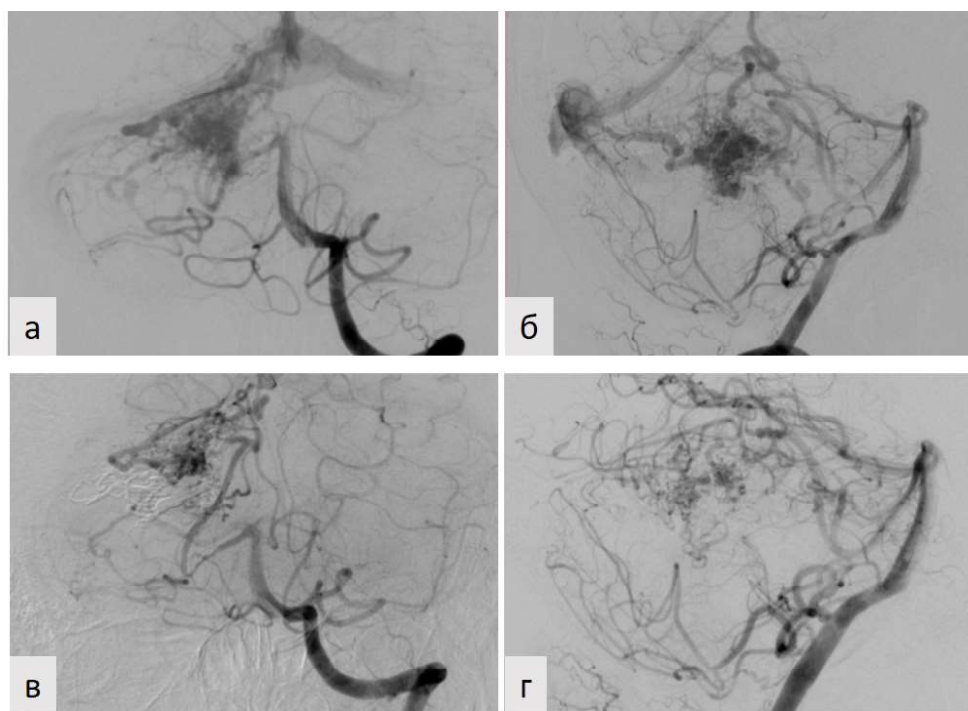


Рисунок 2 – Церебральная ангиография до этапа эндоваскулярного лечения: а – прямая проекция; б – боковая проекция) и после частичной эмболизации артериовенозной мальформации; в – прямая проекция; г – боковая проекция)

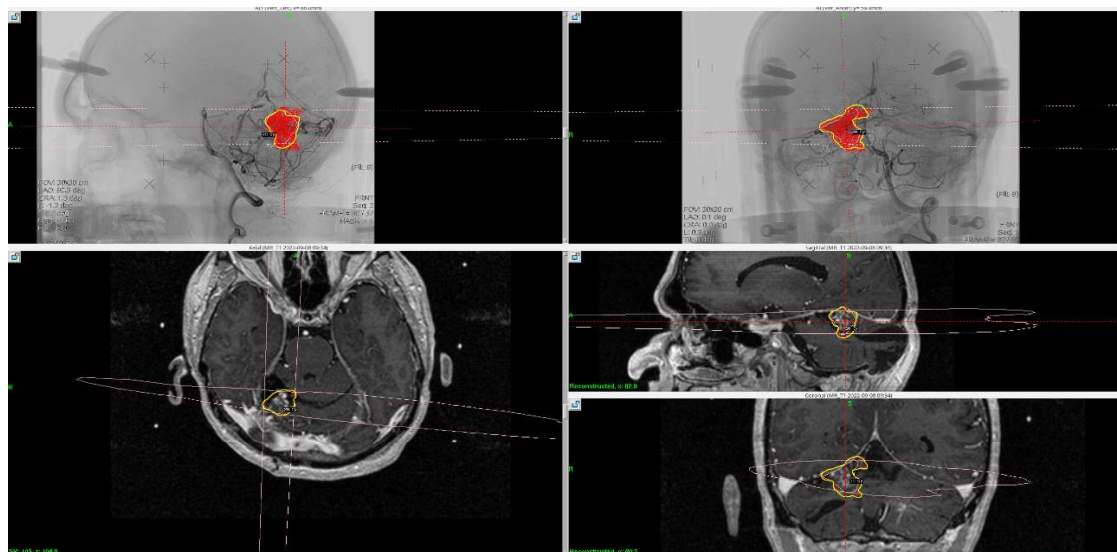


Рисунок 3 – План радиохирургического лечения

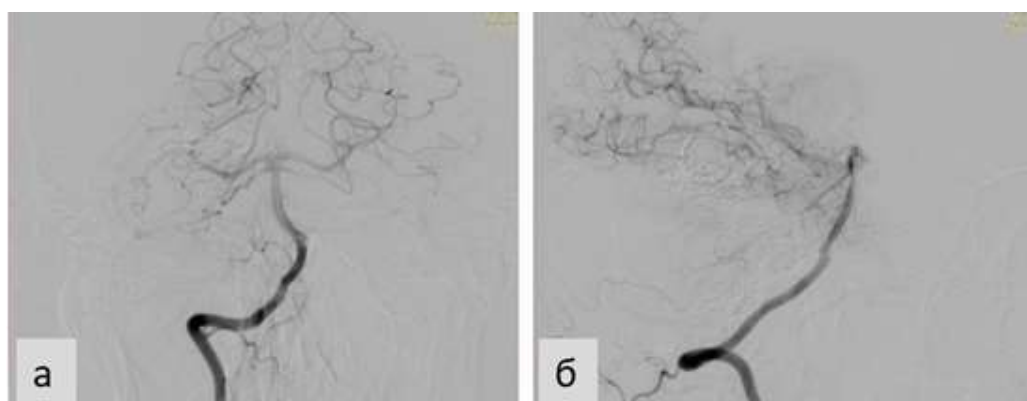


Рисунок 4 – Контрольная церебральная ангиография через 2 года после радиохирургии, демонстрирующая полную окклюзию артериовенозной мальформации: а – прямая проекция; б – боковая проекция

было зарегистрировано внутримозговое кровоизлияние через 5 месяцев после СРХ, приведшее к летальному исходу. Следует отметить, что данный пациент имел сопутствующую патологию, по поводу которой принимал антикоагулянты (варфарин), что могло являться фактором, способствовавшим кровоизлиянию и смерти.

Поздняя лучевая токсичность. Позднюю лучевую токсичность II степени, которая проявлялась головной болью, незначительным нарастанием гемипареза, единичным судорожным приступом, имели 2 пациента (6,1%). Поздняя лучевая токсичность III степени, потребовавшая стационарного лечения, была также зарегистрирована у 2 (6,1%) пациентов. У одного пациента клиническими проявлениями были выраженная головная боль, тошнота, рвота; по данным МРТ был зарегистрирован радионекроз через 8 месяцев после СРХ. У второй пациентки через 7 месяцев после первого этапа

позаппаной СРХ развился тромбоз варикозного узла на эфференте, впадающего в вену Галена, что проявилось глазодвигательными нарушениями, вялостью, головной болью. Все возникшие осложнения имели транзиторный характер и полностью регрессировали после курса медикаментозного лечения, не принеся пациентам стойкого ухудшения неврологического дефицита, повлиявшего на качество жизни.

Обсуждение

В нашем исследовании СРХ на Гамма-ноже была проведена хорошо отобранной группе пациентов, страдающих АВМ. Все пациенты этой группы имели оценку по шкале RBAS < 2,00 и, соответственно, имели высокие шансы успешной СРХ (60-90%). Анализ литературы демонстрирует частоту полной облитерации сосудистой сети

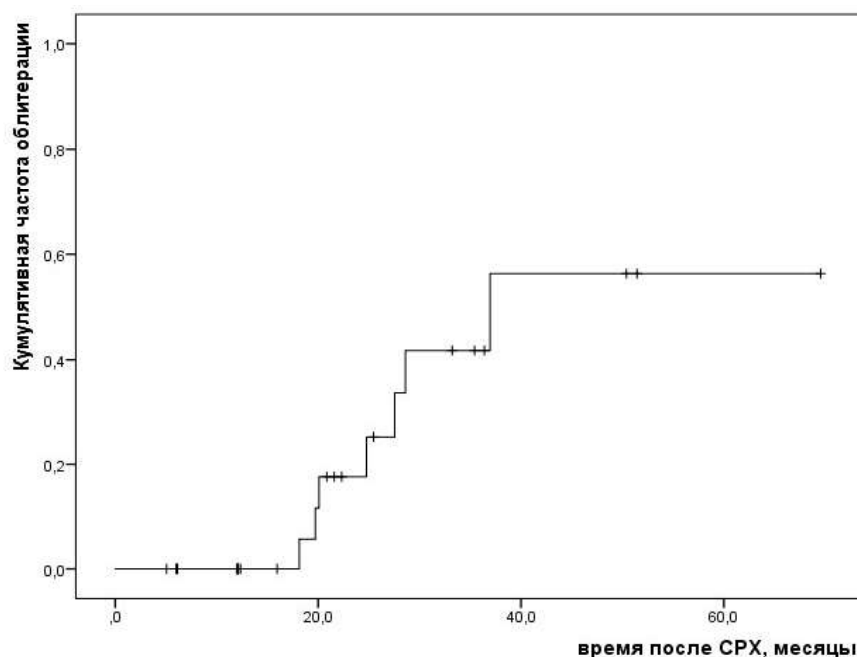


Рисунок 5 – Кумулятивная частота полной облитерации после стереотаксической радиохирургии

АВМ, подтвержденной ЦАГ, после СРХ 60,47% (95% ДИ 54,2–66,74%), а подтвержденной ЦАГ либо МРТ – 69,7% (95% ДИ 65,89–73,48%) [9]. Однако МРТ не является достоверным подтверждением облитерации, так как чувствительность метода составляет 77–85%, а специфичность 89–95% [17] и не должна использоваться для окончательной оценки результата СРХ. Даже при наличии небольшого остаточного функционирующего участка АВМ, незарегистрированного при МРТ, сохраняется риск кровоизлияния, в связи с чем необходимо рассматривать варианты повторной СРХ или другого метода лечения. К сожалению, несмотря на четкие рекомендации о выполнении в необходимые сроки МРТ и ЦАГ, некоторые пациенты в исследуемой когорте ограничились только выполнением первого МР-контроля. В дальнейшем, в связи с положительной динамикой по данным МРТ и хорошим самочувствием, эти пациенты не выполняли дальнейшие рекомендации по наблюдению и обследованию. Кроме того, часть пациентов имела период наблюдения, недостаточный для наступления полной облитерации, и ЦАГ была запланирована на более поздние сроки.

Тем не менее, предварительный анализ полученных результатов у пациентов, которым была выполнена контрольная ЦАГ, показал, что полная облитерация произошла у 58,3% пациентов, при поздней лучевой токсичности, носящей транзиторный характер, 12,2% и летальности 3%, что со-

ответствует данным литературы [9]. Что касается развития новых неврологических дефицитов, то ни у одного из этих пациентов не развились осложнения, из-за которых радиохирургическое лечение следовало бы признать неуспешным [18].

Учитывая низкие оценки по прогностической шкале RBAS, отсутствие фактов кровоизлияний после СРХ у 97% пациентов, при дальнейшем наблюдении и более широком охвате контрольными МР- и ангиографическими исследованиями изучаемой когорты пациентов, мы предполагаем увеличение частоты полной облитерации АВМ и, соответственно, успешной СРХ.

Заключение

Согласно полученным нами данным, СРХ можно считать эффективным и безопасным методом лечения правильно отобранных пациентов с АВМ головного мозга. Необходим длительный период наблюдения и большая когорта пациентов для детального анализа результатов СРХ как одной из опций лечения этого порока развития.

Благодарность. Авторы выражают благодарность О.А. Новосельской, И.А. Штуро, П.И. Никитенко.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to O.A. Novoselskaya, I.A. Shturo, P.I. Nikitenko.

Литература

1. The natural history of unruptured intracranial arteriovenous malformations / R. D. Brown, D. O. Wiebers, G. Forbes [et al.] // *Journal of neurosurgery*. 1988 Mar. Vol. 68, № 3. P. 352–357. DOI: 10.3171/jns.1988.68.3.0352
2. Natural history of brain arteriovenous malformations: a systematic review / I. J. Abecassis, D. S. Xu, H. H. Batjer, B. R. Bendok // *Neurosurgical focus*. 2014 Sep. Vol. 37, № 3. P. E7. DOI: 10.3171/2014.6.FOCUS14250
3. Morbidity of intracranial hemorrhage in patients with cerebral arteriovenous malformation / A. Hartmann, H. Mast, J. P. Mohr [et al.] // *Stroke*. 1998 May. Vol. 29, № 5. P. 931–934. DOI: 10.1161/01.str.29.5.931
4. Inoue, H. K. Hemorrhage risks and obliteration rates of arteriovenous malformations after gamma knife radiosurgery / H. K. Inoue, C. Ohye // *Journal of neurosurgery*. 2002 Dec. Vol. 97, № 5, suppl. P. 474–476. DOI: 10.3171/jns.2002.97.supplement
5. Naranbhai, N. Management of Brain Arteriovenous Malformations: A Review / N. Naranbhai, R. Pérez // *Cureus*. 2023 Jan. Vol. 15, № 1. Art. e34053. DOI: 10.7759/cureus.34053
6. Stereotactic Radiosurgery for Spetzler-Martin Grade I and II Arteriovenous Malformations: International Society of Stereotactic Radiosurgery (ISRS) Practice Guideline / C. S. Graffeo, A. Sahgal, A. De Salles [et al.] // *Neurosurgery*. 2020 Sep. Vol. 87, № 3. P. 442–452. DOI: 10.1093/neuros/nyaa004
7. Spetzler, R. F. A proposed grading system for arteriovenous malformations / R. F. Spetzler, N. A. Martin // *Journal of neurosurgery*. 1986 Oct. Vol. 65, № 4. P. 476–483. DOI: 10.3171/jns.1986.65.4.0476
8. Solomon, R. A. Arteriovenous Malformations of the Brain / R. A. Solomon, E. S. Connolly // *New England Journal of Medicine*. 2017 May. Vol. 376, № 19. P. 1859–1866. DOI: 10.1056/NEJMc1707399
9. Gamma Knife radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations: a systematic review and meta-analysis / M. China, A. Vastani, C. S. Hill [et al.] // *Neurosurgical review*. 2022 Jun. Vol. 45, № 3. P. 1987–2004. DOI: 10.1007/s10143-022-01751-1
10. Microenvironment changes in arteriovenous malformations after stereotactic radiation / T. H. Ung, K. Belanger, A. Hashmi [et al.] // *Frontiers in human neuroscience*. 2022 Dec. Vol. 16. Art. 982190. DOI: 10.3389/fnhum.2022.982190
11. Tu, J. Endothelial gene expression and molecular changes in response to radiosurgery in in vitro and in vivo models of cerebral arteriovenous malformations / J. Tu, Z. Hu, Z. Chen // *BioMed research international*. 2013. Vol. 2013. DOI: 10.1155/2013/408253
12. Expert Consensus on the Management of Brain Arteriovenous Malformations / Y. Kato, V. H. Dong, F. Chaddad [et al.] // *Asian journal of neurosurgery*. 2019 Nov. Vol. 14, № 4. P. 1074–1081. DOI: 10.4103/ajns.AJNS_234_19
13. Pollock, B. E. Development and testing of a radiosurgery-based arteriovenous malformation grading system / B. E. Pollock // *Progress in neurological surgery*. 2013. Vol. 27. P. 58–66. DOI: 10.1159/000341620
14. Stereotactic radiosurgery of intracranial arteriovenous malformations and the use of the K index in determining treatment dose / S. Missios, K. Bekelis, G. Al-Shyal [et al.] // *Neurosurgical focus*. 2014 Sep. Vol. 37, № 3. P. E15. DOI: 10.3171/2014.7.FOCUS14157
15. Complications from arteriovenous malformation radiosurgery: multivariate analysis and risk modeling / J. C. Flickinger, D. Kondziolka, B. E. Pollock [et al.] // *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 1997 Jun. Vol. 38, № 3. P. 485–490. DOI: 10.1016/s0360-3016(97)89481-3
16. Cox, J. D. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) / J. D. Cox, J. Stetz, T. F. Pajak // *International journal of radiation oncology, biology, physics*. 1995 Mar. Vol. 31, № 5. P. 1341–1346. DOI: 10.1016/0360-3016(95)00060-C
17. The predictive value of magnetic resonance imaging in evaluating intracranial arteriovenous malformation obliteration after stereotactic radiosurgery / C. C. Lee, M. A. Reardon, B. Z. Ball [et al.] // *Journal of neurosurgery*. 2015 Jul. Vol. 123, № 1. P. 136–144. DOI: 10.3171/2014.10.JNS141565
18. Pollock, B. E. A proposed radiosurgery-based grading system for arteriovenous malformations / B. E. Pollock, J. C. Flickinger // *Journal of neurosurgery*. 2002 Jun. Vol. 96, № 1. P. 79–85. DOI: 10.3171/jns.2002.96.1.0079

Поступила 05.02.2025 г.

Принята в печать 13.06.2025 г.

References

1. Brown RD, Wiebers DO, Forbes G, O'Fallon WM, Piepgras DG, Marsh WR, et al. The natural history of unruptured intracranial arteriovenous malformations. *Journal of Neurosurgery*. 1988 Mar;68(3):352-357. doi: 10.3171/jns.1988.68.3.0352
2. Abecassis IJ, Xu DS, Batjer HH, Bendok BR. Natural history of brain arteriovenous malformations: a systematic review. *Neurosurgical Focus*. 2014 Sep;37(3):E7. doi: 10.3171/2014.6.FOCUS14250
3. Hartmann A, Mast H, Mohr JP, Koennecke HC, Osipov A, Pile-Spellman J, et al. Morbidity of intracranial hemorrhage in patients with cerebral arteriovenous malformation. *Stroke*. 1998 May;29(5):931-934. doi: 10.1161/01.str.29.5.931
4. Inoue HK, Ohye C. Hemorrhage risks and obliteration rates of arteriovenous malformations after gamma knife radiosurgery. *Journal of Neurosurgery*. 2002 Dec;97(5 Suppl):474-476. doi: 10.3171/jns.2002.97.supplement
5. Naranbhai N, Pérez R. Management of Brain Arteriovenous Malformations: A Review. *Cureus*. 2023 Jan;15(1):e34053. doi: 10.7759/cureus.34053
6. Graffeo CS, Sahgal A, De Salles A, Fariselli L, Levivier M, Ma L, et al. Stereotactic Radiosurgery for Spetzler-Martin Grade I and II Arteriovenous Malformations: International Society of Stereotactic Radiosurgery (ISRS) Practice Guideline. *Neurosurgery*. 2020 Sep;87(3):442-452. doi: 10.1093/neuros/nyaa004
7. Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *Journal of Neurosurgery*. 1986 Oct;65(4):476-483. doi: 10.3171/jns.1986.65.4.0476
8. Solomon RA, Connolly ES. Arteriovenous Malformations of the Brain. *New England Journal of Medicine*. 2017 May;376(19):1859-1866. doi: 10.1056/NEJMc1607407
9. China M, Vastani A, Hill CS, Tancu C, Grover PJ. Gamma Knife radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurgical Review*. 2022 Jun;45(3):1987-2004. doi: 10.1007/s10143-022-01751-1
10. Ung TH, Belanger K, Hashmi A, Sekar V, Meola A, Chang SD. Microenvironment changes in arteriovenous malformations

- after stereotactic radiation. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022 Dec;16:982190. doi: 10.3389/fnhum.2022.982190
11. Tu J, Hu Z, Chen Z. Endothelial gene expression and molecular changes in response to radiosurgery in in vitro and in vivo models of cerebral arteriovenous malformations. *BioMed Research International*. 2013. Vol. 2013. DOI: 10.1155/2013/408253
 12. Kato Y, Dong VH, Chaddad F, Takizawa K, Izumo T, Fukuda H, et al. Expert Consensus on the Management of Brain Arteriovenous Malformations. *Asian Journal of Neurosurgery*. 2019 Nov;14(4):1074-1081. doi: 10.4103/ajns.AJNS_234_19
 13. Pollock BE. Development and testing of a radiosurgery-based arteriovenous malformation grading system. *Progress in Neurological Surgery*. 2013;27:58-66. doi: 10.1159/000341620
 14. Missios S, Bekelis K, Al-Shyal G, Rasmussen PA, Barnett GH. Stereotactic radiosurgery of intracranial arteriovenous malformations and the use of the K index in determining treatment dose. *Neurosurgical Focus*. 2014 Sep;37(3):E15. doi: 10.3171/2014.7.FOCUS14157
 15. Flickinger JC, Kondziolka D, Pollock BE, Maitz AH, Lunsford LD. Complications from arteriovenous malformation radiosurgery: multivariate analysis and risk modeling. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*. 1997 Jun;38(3):485-90. doi: 10.1016/s0360-3016(97)89481-3
 16. Cox JD, Stetz J, Pajak TF. Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*. 1995 Mar;31(5):1341-6. doi: 10.1016/0360-3016(95)00060-C
 17. Lee CC, Reardon MA, Ball BZ, Chen CJ, Yen CP, Xu Z, et al. The predictive value of magnetic resonance imaging in evaluating intracranial arteriovenous malformation obliteration after stereotactic radiosurgery. *Journal of Neurosurgery*. 2015 Jul;123(1):136-44. doi: 10.3171/2014.10.JNS141565
 18. Pollock BE, Flickinger JC. A proposed radiosurgery-based grading system for arteriovenous malformations. *Journal of Neurosurgery*. 2002 Jan;96(1):79-85. doi: 10.3171/jns.2002.96.1.0079

Submitted 05.02.2025

Accepted 13.06.2025

Сведения об авторах:

Гиземова Ольга Анатольевна – к.м.н., врач-радиационный онколог радиологического отделения №3, РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, <https://orcid.org/0000-0002-9724-6925>, e-mail: gizemova@mail.ru;
С.В. Капацевич – к.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник нейрохирургического отдела, РНПЦ неврологии и нейрохирургии;

П.Д. Демешко – д.м.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории лучевой терапии, РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова, <https://orcid.org/0000-0002-1324-3656>.

Information about authors:

Volha A. Hizemava – Candidate of Medical Sciences, radiation oncologist, radiology department №3, N.N. Alexandrov National Cancer Center of Belarus, <https://orcid.org/0000-0002-9724-6925>, e-mail: gizemova@mail.ru;

S.V. Kapatsevich – Candidate of Medical Sciences, associate professor, Leading Researcher of the Neurosurgical Department, Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery;

P.D. Dziameshka – Doctor of Medical Sciences, professor, chief researcher of the laboratory of radiation therapy, N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, <https://orcid.org/0000-0002-1324-3656>.