ЛЕЧЕНИЕ АРТЕРИОВЕНОЗНЫХ МАЛЬФОРМАЦИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА IV-V СТЕПЕНИ ПО SPETZLER-MARTIN

(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Сенько И.В.[1], **Орлов К.Ю.**[1,2,3,4], ***Залогин С.Д.**[5], **Староверов М.С.**[1,6,7], **Матвеев П.Д.**[1,5], **Григорьев И.В.**[1]

[1]ФГБУ «Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ
[2]РУДН «Российский университет дружбы народов имени Патрисы Лумумбы»
[3]ГБУЗ Морозовская ДГКБ ДЗМ
[4]ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» МЗ РФ
[5]ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»
[6]ФГАОУ ВО «Российский научно-исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ
[7]ГАУЗ Пермского края «Городская клиническая больница № 4»

3.1.1 - Рентгенэндоваскулярная хирургия (медицинские науки)
3.1.15 - Сердечно-сосудистая хирургия (медицинские науки)
3.1.25 - Лучевая диагностика (медицинские науки)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- артериовенозные мальформации
- IV-V степени по шкале Spetzler-Martin
- эндоваскулярное лечение АВМ
- микрохирургическое лечение АВМ
- стереорадиохирургическое лечение АВМ
- комбинированное лечение АВМ

АННОТАЦИЯ:

Лечение артериовенозных мальформаций IV-V степени по шкале Spetzler-Martin является сложной задачей для врача нейрохирурга вне зависимости от его опыта и от оснащения медицинского учреждения в связи с высоким риском проводимого вмешательства любой модальности: микрохирургического, эндоваскулярного или стереорадиохирургического. Несмотря на распространенное мнение о преимуществе консервативного ведения АВМ IV-V степени, накапливается всё больше данных о том, что более злокачественное течение данных АВМ требует применения более агрессивного подхода в их лечении с целью уменьшения отдаленной инвалидизации и смертности больных, имеющих эту патологию.

В настоящее время в лечении АВМ IV-V степени предпочтение отдается следующим 2 стратегиям лечения: комбинации предоперационной эмболизации с микрохирургической резекцией и комбинации парциальной эндоваскулярной эмболизации с последующим стереорадиохирургическим лечением, ввиду отсутствия удовлетворительных результатов лечения при применении мономодальных методик.

Цель: отобразить современное состояние вопроса по лечению АВМ IV-V степени, сформировать литературный обзор.

Для цитирования. *Сенько И.В., Орлов К.Ю., Залогин С.Д., Староверов М.С., Матвеев П.Д., Григорьев И.В.«ЛЕЧЕНИЕ АРТЕРИОВЕНОЗНЫХ МАЛЬФОРМАЦИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА IV-V СТЕПЕНИ ПО SPETZLER-MARTIN (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(4): 41–49.*

TREATMENT OF CEREBRAL ARTERIOVENOUS MALFORMATIONS IV-V GRADE SPETZLER-MARTIN

(LITERATURE REVIEW)

Senko I.V.[1], **Orlov K.Yu.**[1,2,3,4], **Zalogin S.D.**[5], **Staroverov M.S.**[1,6,7], ***Matveev P.D.**[1], **Grigoriev I.V.**[1]

[1]Federal Brain and Neurotechnology Center, Federal Medical and Biological Agency of Russia
[2]RUDN University Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
[3]Morozovskaya Children Hospital
[4]Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology
[5]N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department
[6]N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Ministry of Health of Russia
[7]Perm Region City Clinical Hospital №4

KEY-WORDS:

- arteriovenous malformations
- Spetzler-Martin scale grades IV-V
- endovascular treatment of AVM
- microsurgical treatment of AVM
- stereoradiosurgical treatment of AVM
- combined treatment of AVM

ABSTRACT:

Due to the high risk of any modality of the surgical treatment (microsurgical, endovascular, stereoradiosurgery), the treatment of high-grade arteriovenous malformations (AVMs) remains to be one of the most difficult task for a neurosurgeon, regardless of his experience and the equipment of the medical organization. Despite the widespread belief that conservative treatment of high-grade AVMs is better than surgery, accumulating evidence of a more malignant course of these AVMs suggests the need for surgical treatment of patients to prevent high rate of mortality and severe disability.

Stand-alone modalities show unsatisfactory results, both in terms of radicality and functional outcomes after invasive treatment. Currently, the most common treatment strategies for Grade 4-5 AVMs are the combinaton of microsurgery with preoperative endovascular embolizaton and the combination of stereoradiosurgery with preoperative embolization.

Aim: was to present the current state of knowledge about surgical treatment of AVMs IV-V grade according to Spetzler-Martin scale and make a literature review.

***Адрес для корреспонденции (Correspondence to):** Залогин Савелий Дмтриевич (Zalogin Saveliy D.), e-mail: sovenokpz@gmail.com*

Статья поступила в редакцию в октябре 2024 года.

Введение

Артериовенозные мальформации (АВМ) головного мозга являются самой частой врожденной патологией развития сосудов головного мозга, которая проявляется клинически. Выделяют два основных типа клинического течения АВМ: геморрагический, характеризующийся высокой летальностью и степенью инвалидизации и торпидный, который характеризуется развитием судорожного синдрома, появлением головных болей или очагового неврологического дефицита. В 58% случаев симптоматические АВМ проявляются внутричерепным кровоизлиянием, реже эпилептическим приступом (34%) или неврологическим дефицитом (8%) [1].

Для оценки рисков микрохирургического лечения церебральных АВМ в 1986 году была разработана шкала Spetzler-Martin (SM) [2]. На данный момент шкала SM используется для оценки рисков лечения любой модальности: как хирургического (микрохирургия, стереотаксическая радиохирургия, эндоваскулярное вмешательство), так и консервативного лечения. Высокие риски инвалидизации и летальности в послеоперационном периоде обусловливает предпочтительно консервативное ведение пациентов с неразорвавшимися АВМ IV-V степени по SM. АВМ I-II степени и разорвавшиеся АВМ III-V степени требуют агрессивных подходов к лечению, направленных на радикальное выключение.

Артериовенозные мальформации IV-V степени по SM являются комплексными образованиями, большого размера, локализующимися в функционально значимых зонах и имеющими аномальный венозный дренаж. Ежегодный риск разрыва таких АВМ может составлять до 34,4% [3]. В свете развития разных методов лечения АВМ превентивное вмешательство, направленное на предупреждение кровоизлияния становится всё более обсуждаемым методом для пациентов с АВМ IV-V степени, особенно у молодых пациентов.

Лечение АВМ IV-V степени по SM включает такие методы, как: микрохирургическую резекцию, эндоваскулярную эмболизацию, стереотаксическую радиохирургию (одномоментную или стажированную) и их комбинации. Несмотря на большое количество исследований лучшая стратегия в лечении данных АВМ, не определена.

В последние годы комбинированные и гибридные методики выходят на первый план в ходе планирования лечения АВМ IV-V степени, так как выбор одной модальности часто не приводит к удовлетворительным результатам.

АВМ IV-V СТЕПЕНИ

Пациенты с АВМ головного мозга IV-V степени по SM представляют особую группу больных при выборе тактики их ведения, в виду сложности сравнения пользы и рисков, связанных с проведением инвазивных методик лечения. Ключевую роль в принятии решения о выборе вида лечения этих пациентов играет анализ естественного течения этих АВМ, которое остается до конца не ясным.

Корреляция между степенью градации АВМ по SM и риском кровоизлияния противоречива [4]. Исследования, в которых прицельно изучались крупные АВМ свидетельствуют о том, что увеличение степени АВМ по SM повышает риск кровоизлияния. В исследовании Jayaraman и соавт. (2007) средний риск кровоизлияния из АВМ IV-V степени составил 10,4% в год, что значительно превышает средний риск кровоизлияния из общего числа АВМ, который составляет 3,0% [5,6]. Также необходимо брать во внимание факт, что кровоизлияние из АВМ IV-V степени ассоциируется с более высокой частотой летальности и инвалидизации пациентов, которая составляет порядка 39% и 26% соответственно [7]. По данным одного из крупнейших ретроспективных исследований посвященных АВМ IV-V степени по SM, отдаленная степень инвалидизации в группах интервеннционного лечения и естественного течения составила 1,7% и 18,2% соответственно [8]. Более крупные АВМ чаще имеют симптомное течение (27%), чем малые (7%), так как чаще приводят к развитию неврологического дефицита или эпилептических припадков [9,10].

ЛЕЧЕНИЕ АВМ IV-V СТЕПЕНИ ПО SM

Основной задачей в ходе лечения АВМ головного мозга, является радикальное выключение узла АВМ и артериовенозного шунта.

Каждый из существующих методов обладает определенными недостатками и преимуществами в сравнении друг с другом. В последнее время на первый план выходит концепция мультимодального лечения АВМ IV-V степени [11]. Мы посчитали целесообразным разделить тактики лечения на:

(1) эндоваскулярную эмболизацию;
(2) радиохирургическое лечение,
(3) микрохирургическое лечение;
(4) комбинацию эндоваскулярного и микрохирургического методов;
(5) комбинацию эндоваскулярной эмболизации и радиохирургического методов.

Тактика лечения АВМ, при которой используется одна модальность хирургического лечения, в зарубежной литературе получила название ***stand-alone***.

Мономодальные методики

Эндоваскулярная эмболизация АВМ

Теория о потенциальной пользе эндоваскулярной эмболизации АВМ IV-V степени базируется на возможности фокусированного воздействия на 2 значимых самостоятельных фактора риска разрыва АВМ: прямые артериовенозные фистулы и АВМ-ассоциированные аневризмы.

По данным ряда исследований повышенная гемодинамическая нагрузка на АВМ, ассоциированная с повышенным давлением в питающих сосудах, малым временем транзита крови через узел АВМ, а также с недостаточным венозным оттоком обуславливает более высокую вероятность спонтанного разрыва АВМ [12-14]. При этом наиболее выраженная перестройка кровотока в мальформации наблюдалась при эмболизации более чем 50% её узла [13]. В случае с мальформациями смешанного рацемозно-фистулезного типа, первоочередная эмболизация прямых АВМ фистул может снизить общую гемодинамическую нагрузку на узел АВМ и эфферентные сосуды и уменьшить риск кровоизлияния.

По классификации G. Redekop АВМ-связанные аневризмы подразделяются на 3 основные группы: интранидальные, потоковые (проксимальные и дистальные) и несвязанные с АВМ (расположенные в ином сосудистом бассейне, не участвующей в кровоснабжении АВМ). Наличие интранидальных аневризм по результатам исследования Redekop и соавт. (1998) продемонстрировало вдовое более высокую частоту разрыва АВМ (72%) за установленный период наблюдения в сравнении с группой пациентов, у которых отсутствовали аневризмы (в данной группе частота встречаемости геморрагического течения составила 36%). В группе пациентов, у которых имелись только потоковые аневризмы частота кровоизлияний также была более высокой и составила 40%. При этом потоковые аневризмы более часто выявлялись на крупных высокоскоростных АВМ [15].

Эмболизация с использованием современных неадгезиных и адгезивных композиций позволяет оказывать таргетное воздействие на наиболее опасные локусы АВМ, такие как прямые фистулы, интранидальные аневризмы и дистальные потоковые аневризмы. Что качается эндоваскулярного лечения проксимальных аневризм, то на текущий момент оно ограничивается применением эмболизации отделяемыми микроспиралями. Применение интракраниальных стентов, требующее назначение антиагрегантной терапии на длительный срок, создает неприемлемо высокий риск обширного кровоизлияния в случае разрыва функционирующей АВМ. Однако, данные методики могут применятся на финальном этапе лечения, когда АВМ уже выключена из кровотока (при условии проведения достоверной оценки радикальности результата лечения).

Частота тотальной эмболизации АВМ высокой степени после использования эндоваскулярной окклюзии, как единственного метода, колеблется по данным большинства исследований от 0 до 67% [16]. По данным Iosif C. и соавт. (2022), использование трансвенозного доступа, новых катетеров и современных ангиографических аппаратов позволяет добиться полной облитерации АВМ высокой степени в большинстве случаев [17]. Однако малая выборка пациентов, преимущественно представленная пациентами с АВМ IV степени, не позволяет делать однозначных выводов о преимуществе указанных методик. Данные об исходах и периоперационных осложнениях у пациентов с АВМ IV-V степени, которым проводилось изолированное эндоваскулярное лечение, весьма скудны, так как чаще всего результаты лечения оценивались в совокупности с АВМ других степеней.

По данным Li и соавт. (2022) полной облитерации в ходе эндоваскулярного вмешательства при АВМ IV-V степени достигли в 5,3% случаев, геморрагические осложнения встретились в 15,8% случаев. На основании полученных данных исследователями сделан вывод, что высокий риск периоперационных осложнений и низкий показатель радикального выключения АВМ высокой степени, позволяет признать паллиативную эмболизацию неэффективной. В пользу этого мнения свидетельствуют и другие исследования, в которых было показано, что эндоваскулярная эмболизация более 25% объема мальформации в ходе одной сессии эмболизации для АВМ высокой градации связано с повышенным риском периоперационных осложнений. Miyamoto и соавт. (2000) [18] продемонстрировали в своем исследовании, что риск кровоизлияния в течение года после паллиативной эмболизации составил 15%, развитие неврологического дефицита 23%, летальность составила 9% соответственно [19,20]. Perez-Alfayate и соавт. (2021). в своем исследовании показали, что общее количество осложнений в когорте из 22 пациентов, которым проводилась парциальная эмболизация составило 65%, у 42% пациентов из них развилось периоперационное кровоизлияние [21]. На данный момент применение эндоваскулярного метода направлено в первую очередь на уменьшение объёма АВМ, для достижения тотального выключения АВМ в дальнейшем могут применяться микрохирургический и стереорадохирургические методы. Приведенные выше данные свидетельствуют об ограниченном применении эмболизации, как единственного метода, применяемого в мономодальном режиме при лечении АВМ IV-V степени по SM.

Стереорадиохирургическое лечение АВМ

Второй методикой, используемой в лечении АВМ IV-V степени является стереотаксическая радиохирургия (СРХ). Радиохирургия обладает меньшей радикальностью в отношении полного закрытия АВМ, о чем свидетельствуют ранние исследования, потому чаще всего лучевое лечение сочетается с применением других, дополняющих данный метод вмешательств.

Для АВМ IV-V степени в исследовании Patibandla и соавт. (2018) трёхлетний, семилетний и десятилетний уровень полной облитерации составил 15%, 34% и 37% соответственно [22]. Оптимальный результат был

достигнут (по указанным выше критериям) всего лишь в 26% случаев. Более поздние исследования, в которых применялись протоколы VS-SRS (стажированная по объему радиохирургии) и DS-SRS (стажированная по дозе радиохирургия), докладывают о более высокой степени радикальности в достижении облитерации АВМ. Так в исследовании Naylor и соавт. (2023) [23] радикальность облитерации составила 76% для АВМ III степени и 71% для АВМ IV-V степени по SM. Фактором, повышающим вероятность успешной облитерации и получение благоприятного неврологического статуса после операции, являлся меньший объем АВМ. В исследовании Lindvall и соавт. (2015) радиохирургия в режиме DS-SRS позволила добиться полной облитерации АВМ высокой степени в 67% случаев, но необходимо отметить, что в этом исследовании средний объем АВМ составлял всего 19 см^3, процент геморрагических осложнений и летальности составил 13% и 17% соответственно [24].

Стереотаксическая хирургия в настоящее время рассматривается преимущественно при лечении АВМ малого объема (менее 10 см^3) и размера (менее 3 см в максимальном диаметре), для пациентов имеющих АВМ глубокой локализации или находящихся в функционально значимых зонах, а также людям, имеющим тяжелые сопутствующие заболевания [11,25].

Микрохирургическое лечение АВМ

Микрохирургия считается методом, позволяющим выключить АВМ из кровотока наиболее радикально, что позволяет добиться минимизации риска внутричерепного кровоизлияния, связанного с АВМ. Количество исследований, в которых избирательно оценивается микрохирургическая методика в лечении АВМ IV-V степени невелико, что связано с тем, что большинство пациентов предварительно подвергаются как минимум 1 сеансу эндоваскулярной эмболизации перед операцией с целью парциальной окклюзии АВМ или выключения ассоциированных с данной АВМ аневризм, вследствие чего отнесение данных пациентов к «чистой» микрохирургической группе весьма затруднительно. В 1986 году Шпецлер и Мартин доложили о результатах микрохирургического лечения 31 пациента с АВМ IV-V степени. Частота выявления малого и большого неврологического дефицита росла пропорционально степени по шкале Spetzler-Martin и составила 20% и 7% для АВМ IV степени и 19% и 12% для V степени соответственно [2]. В исследовании Kim и соавт. (2015) суммарная частота летальности и инвалидизации пациентов с АВМ IV-V степени после проведенного микрохирургического вмешательства составила 39% [26]. Данные исследования показывают, что использование микрохирургии АВМ IV-V степени, как единственного метода лечения связано с высоким риском осложнений и сопутствующей летальности.

Комбинирование эндоваскулярной и микрохирургической методик при лечении АВМ

Однозначное мнение о пользе предоперационной эмболизации в лечении АВМ отсутствует. Предоперационная эмболизация артериовенозных мальформаций головного мозга преследует 2 главные задачи: 1-уменьшение риска нежелательных интраоперационных событий (таких как величина кровопотери и длительность операции) и 2 - улучшение функционального исхода по результатам лечения.

Влияние предоперационной эмболизации на длительность кровотечения и время операции противоречиво. Существует ряд исследований, которые говорят о положительном влиянии предоперационной эмболизации [27,28], другие не находят статистически достоверной разницы на изменение длительности операции и величины кровопотери [29,30]. В большинстве исследований исход хирургического лечения оценивался по модифицированной шкале Рэнкина (где mRS больше двух считается плохим исходом, менее 3 mRS - приемлимым). О положительном влиянии предоперационной эмболизации на функциональный исход отразил в своем исследовании Catapano и соавт. (2021) [31]. В группе пациентов без предоперационной эмболизации ухудшение состояния пациентов было отмечено в 42% случаев (19/45), в то время как при выполнении эмболизации ухудшение неврологического статуса отмечалось лишь в 26% случаев (15/57). Полученные данные свидетельствуют о потенциальном преимуществе выполнения предоперационной эмболизации с целью улучшения функционального исхода у пациентов с АВМ высокой степени по SM, хотя другие исследования не выявляют такой закономерности [32,33].

Несмотря на достижения эндоваскулярной интервенции, микрохирургическая резекция остается основным методом наиболее радикального выключения АВМ IV-V степени из кровотока, однако риск послеоперационной летальности и сопутствующих осложнений крайне высок в данной группе больных и составляет примерно половину пациентов в исследованиях, посвященных изолированному применению микрохирургической резекции, так в исследовании Cannizzaro и соавт. (2022) благоприятного результата лечения (mRS<3) при применении микрохирургического метода удалось достичь лишь у 65% пациентов [34].

Зачастую микрохирургическое удаление АВМ высокой степени осложняется послеоперационным кровоизлиянием, что впервые было описано Шпецлером с соавторами [35], данное явление назвали синдромом «прорыва нормального перфузионного давления». В исследовании Morgan и соавт. (2014) [36], установили протокол, при котором поддержание среднего артериального давления менее 70 мм рт. ст. на протяжении более 7 дней позволяло значительно снизить частоту кровоизлияния в послеоперационном периоде при лечении АВМ высокой степени с 29% до 8%.

Сочетание эмболизации и микрохирургии позволяет увеличить радикальность выключения АВМ за счет микрохирургической составляющей и снизить риск геморрагических осложнений за счет эндоваскулярного метода. В исследованиях, посвященным АВМ высокой степени (к которой многие исследователи помимо АВМ IV-V степени относят и АВМ III степени), частота полного выключения АВМ составила от 90% до 98%, что сопоставимо с сериями, где применялась изолированная микрохирургическая методика, однако эндоваскулярная эмболизация позволила снизить периоперационную летальность и улучшить исходы лечения данных больных [32,37-41].

В последнее время появляется всё больше исследований посвященных «гибридному» подходу в лечении АВМ головного мозга. Гибридное лечение подразумевает выключение АВМ из кровотока посредством применения эндоваскулярного метода на 1 этапе и микрохирургической резекции АВМ на 2 этапе в ходе одной операции. В исследовании Li и соавт. (2022) было отмечено, что гибридная хирургия уменьшает объем интраоперационной кровопотери во время вмешательства по сравнению с изолированной микрохирургической резекцией и имеет более высокую частоту радикальной облитерации (100% по сравнению с 95,2%) [8]. Kocer и соавт. (2019) показал, что использование гибридной стратегии снижает риск отсроченной инвалидизации и смертности до 6,4% [42]. Имеются данные об уменьшении длительности времени операции микрохирургической резекции при гибридной стратегии [39]. Несмотря на многообещающие результаты вышеприведенных исследований, необходим сбор большего количества данных о результативности метода и сравнении его с другими стратегиями лечения.

Временной интервал между эмболизацией и микрохирургической резекцией потенциально определяет исход оперативного вмешательства в ходе комбинированного лечения АВМ. В настоящий момент не существует четких рекомендаций по времени разнесения эндоваскулярной эмболизации и микрохирургической резекции. Stieger и соавт. (2004) считают, что интервал между эмболизацией и открытой хирургией должен составлять несколько недель, что объясняется нормализацией оттока от узла АВМ за этот период времени [43]. Иного мнения придерживается Pasqualin с соавторами, исследователи полагают, что длительный интервал между эмболизацией и операцией повышает риск реканализации АВМ и коллатерального кровоснабжения узла мальформации. Авторы полагают, что хирургия может быть безопасной спустя 5-7 дней после предварительной эмболизации [44].

Комбинирование эндоваскулярной эмболизации и стереорадиохирургии (СРХ)

Ввиду достижения меньшей частоты полной облитерации АВМ IV-V степени при применении СРХ в мономодальном режиме, лучевое лечение чаще всего дополняется применением предварительной эндоваскулярной эмболизации [22,45]. Несмотря на это в литературе имеются данные, что предоперационная эмболизация АВМ приводит к снижению эффективности СРХ и сопровождается снижением радикальности облитерации АВМ [46-50].

Причиной этого по мнению исследователей является: реканализация частей АВМ, которая не была подвергнута эмболизации; сложность в выборе мишени для стереорадиохирургии, после проведенной эмболизации; неоангиогенезом, развившимся после эмболизации и поглощением эффективной дозы облучения окклюзирующим агентом [51-54].

Несмотря на это появляется все больше исследований, говорящих о благоприятном результате лечения при комбинации эндоваскулярной эмболизации и СРХ. Так в исследовании Todhem и соавт. (2019) посвященному разорвавшимся АВМ III-V степени применение эндоваскулярной эмболизации с целью умень-шения гемодинамической нагрузки на АВМ для профилактики повторного разрыва и последующее применение СРХ позволило добиться хорошего исхода (mRS<2) во всех случаях для АВМ IV-V степени , хотя радикальность облитерации составила всего 25% [55]. Комбинирование тейлорированной(прицельной) эндоваскулярной эмболизации АВМ высокой степени до достижения объема резидуального узла менее 10 см^3 с последующим радиохирургическим лечением в исследовании Jiang и соавт. (2023) привело к облитерации АВМ в 77% случаев, все эти пациенты имели удовлетворительный исход по модифицированной шкале Рэнкина (mRS<3), катамнез составил 3 года и опосредован наличием латентного периода при стереорадиохирургическом лечении [11]. Несмотря на то, что в исследовании Jiang и соавт. помимо АВМ 4-5 степени были включены АВМ III+ приведенные обобщенные результаты говорят об определенных преимуществах применения данной комбинации в лечении АВМ IV-V степени.

Заключение

АВМ IV-V степени по SM – это вызов для любого нейрохирурга, вне зависимости от уровня его опыта и мастерства. Наилучшая стратегия в лечении данной группы пациентов окончательно не определена и требует проведения когортных исследований, в которых требуется сравнение различных опций и комбинаций методов лечения данных АВМ. На данный момент пациенты с данной патологией нередко ведутся консервативно, и связано это с большой частотой осложнений и неоднозначными результатами лечения данных АВМ. Несмотря на это, имеющиеся данные о том, что течение АВМ IV-V степени по SM имеет более злокачественную картину побуждает исследователей

искать новые методы в борьбе с данной патологией. Геморрагическая манифестация, фармакорезистентная эпилепсия, усугубление неврологической симптоматики на фоне хронической церебральной ишемии могут являться показаниями к выбору более агрессивной тактики в отношении данных мальформаций. Общепринятыми стратегиями в лечении данной патологии являются: эмболизация, дополненная микрохирургической резекцией или применением стереорадиохирургии. Учитывая, что изолированная СРХ доказала свою эффективность только при лечении патологий малого объема, можно рассматривать комбинации СРХ с другими опциями, однако появление новых протоколов лечения, таких как VS-SRS и DS-SRS заставляют пересмотреть взгляд на изолированное применение SRS. ■

Список литературы/References

1. Derdeyn CP, Zipfel GJ, Albuquerque FC, et al. Management of Brain Arteriovenous Malformations: A Scientific Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2017; 48(8).
https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000134

2. Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J Neurosurg.* 1986; 65(4): 476-483.
https://doi.org/10.3171/jns.1986.65.4.0476

3. Stapf C, Mast H, Sciacca RR, et al. Predictors of hemorrhage in patients with untreated brain arteriovenous malformation. *Neurology*. 2006; 66(9): 1350-1355.
https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000210524.68507.87

4. Han PP, Ponce FA, Spetzler RF. Intention-to-treat analysis of Spetzler-Martin Grades IV and V arteriovenous malformations: natural history and treatment paradigm. *J Neurosurg*. 2003; 98(1): 3-7.
https://doi.org/10.3171/jns.2003.98.1.0003

5. Gross BA, Du R. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. *J Neurosurg.* 2013; 118(2): 437-443.
https://doi.org/10.3171/2012.10.JNS121280

6. Jayaraman MV, Marcellus ML, Do HM, et al. Hemorrhage Rate in Patients With Spetzler-Martin Grades IV and V Arteriovenous Malformations. *Stroke.* 2007; 38(2): 325-329.
https://doi.org/10.1161/01.STR.0000254497.24545.de

7. Laakso A, Dashti R, Juvela S, et al. Risk of Hemorrhage in Patients With Untreated Spetzler-Martin Grade IV and V Arteriovenous Malformations: A Long-term Follow-up Study in 63 Patients. *Neurosurgery.* 2011; 68(2): 372-378.
https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181ffe931

8. Li N, Yan D, Li Z, et al. Long-term outcomes of Spetzler-Martin grade IV and V arteriovenous malformations: a single-center experience. *Neurosurg Focus.* 2022; 53(1): E12.
https://doi.org/10.3171/2022.4.FOCUS21648

9. Brown RD, Wiebers DO, Forbes G, et al. The natural history of unruptured intracranial arteriovenous malformations. *J Neurosurg.* 1988; 68(3): 352-357.
https://doi.org/10.3171/jns.1988.68.3.0352

10. Ferch RD, Morgan MK. High-grade arteriovenous malformations and their management. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2002; 9(1): 37-40.
https://doi.org/doi:10.1054/jocn.2000.0927

11. Jiang H, Tang X, Weng R, et al. Long-term outcome of a tailored embolization strategy with Gamma Knife radiosurgery for high-grade brain arteriovenous malformations: a single-center experience. *J Neurosurg. 2022: 1-8.*
https://doi.org/10.3171/2022.11.JNS221363

12. Nico E, Hossa J, McGuire LS, Alaraj A. Rupture-Risk Stratifying Patients with Cerebral Arteriovenous Malformations Using Quantitative Hemodynamic Flow Measurements. *World Neurosurg*. 2023; 179: 68-76.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.08.047

13. Li Z, Chen Y, Chen P, et al. Quantitative evaluation of hemodynamics after partial embolization of brain arteriovenous malformations. *J Neurointerv Surg*. 2022; 14(11): 1112-1117.
https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2021-018187

14. Zhang Y, Chen Y, Li R, et al. Overloaded transnidal pressure gradient as the hemodynamic mechanism leading to arteriovenous malformation rupture: a quantitative analysis using intravascular pressure monitoring and color-coded digital subtraction angiography. *J Neurointerv Surg.* 2024: jnis-2023-021348.
https://doi.org/10.1136/jnis-2023-021348

15. Redekop G, TerBrugge K, Montanera W, Willinsky R. Arterial aneurysms associated with cerebral arteriovenous malformations: classification, incidence, and risk of hemorrhage. *J Neurosurg*. 1998; 89(4): 539-546.
https://doi.org/10.3171/jns.1998.89.4.0539

16. Strauss I, Frolov V, Buchbut D, Gonen L, Maimon S. Critical appraisal of endovascular treatment of brain arteriovenous malformation using Onyx in a series of 92 consecutive patients. *Acta Neurochir (Wien).* 2013; 155(4): 611-617.
https://doi.org/10.1007/s00701-013-1633-0

17. Iosif C, Mendes GAC, Saleme S, et al. Endovascular transvenous cure for ruptured brain arteriovenous malformations in complex cases with high Spetzler-Martin grades. *J Neurosurg.* 2015; 122(5): 1229-1238.

https://doi.org/10.3171/2014.9.JNS141714

18. Miyamoto S, Hashimoto N, Nagata I, et al. Post-treatment Sequelae of Palliatively Treated Cerebral Arteriovenous Malformations. *Neurosurgery.* 2000; 46(3): 589-595.
https://doi.org/10.1097/00006123-200003000-00013

19. Saatci I, Geyik S, Yavuz K, Cekirge HS. Endovascular treatment of brain arteriovenous malformations with prolonged intranidal Onyx injection technique: long-term results in 350 consecutive patients with completed endovascular treatment course. *J Neurosurg*. 2011; 115(1): 78-88.
https://doi.org/10.3171/2011.2.JNS09830

20. Chang SD, Marcellus ML, Marks MP, et al. Multimodality Treatment of Giant Intracranial Arteriovenous Malformations. *Neurosurgery*. 2003; 53(1): 1-13.
https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000068700.68238.84

21. Pérez-Alfayate R, Grasso G, Pérez CF, et al. Does Endovascular Treatment with Curative Intention Have Benefits for Treating High-Grade Arteriovenous Malformation versus Radiosurgery? Efficacy, Safety, and Cost-Effectiveness Analysis. *World Neurosurg*. 2021; 149: e178-e187.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.02.053

22. Patibandla MR, Ding D, Kano H, et al. Stereotactic radiosurgery for Spetzler-Martin Grade IV and V arteriovenous malformations: an international multicenter study. *J Neurosurg*. 2018; 129(2): 498-507.
https://doi.org/10.3171/2017.3.JNS162635

23. Naylor RM, Graffeo CS, Nesvick CL, et al. Stereotactic radiosurgery for intermediate- and high-grade arteriovenous malformations: outcomes stratified by the supplemented Spetzler-Martin grading system. *J Neurosurg*. 2023; 138(3): 804-809.
https://doi.org/10.3171/2022.5.JNS22761

24. Lindvall P, Grayson D, Bergström P, Bergenheim AT. Hypofractionated stereotactic radiotherapy in medium-sized to large arteriovenous malformations. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2015; 22(6): 955-958.
https://doi.org/10.1016/j.jocn.2014.12.015

25. Graffeo CS, Sahgal A, De Salles A, et al. Stereotactic Radiosurgery for Spetzler-Martin Grade I and II Arteriovenous Malformations: International Society of Stereotactic Radiosurgery (ISRS) Practice Guideline. *Neurosurgery.* 2020; 87(3): 442-452.
https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa004

26. Kim H, Abla AA, Nelson J, et al. Validation of the Supplemented Spetzler-Martin Grading System for Brain Arteriovenous Malformations in a Multicenter Cohort of 1009 Surgical Patients. *Neurosurgery.* 2015; 76(1): 25-33.
https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000556

27. Vicuela F, Dion JE, Duckwiler G, et al. Combined endovascular embolization and surgery in the management of cerebral arteriovenous malformations: experience with 101 cases. *J Neurosurg*. 1991; 75(6): 856-864.
https://doi.org/10.3171/jns.1991.75.6.0856

28. Lv X, Wu Z, Jiang C, et al. Endovascular Treatment Accounts for a Change in Brain Arteriovenous Malformation Natural History Risk. *Interventional Neuroradiology.* 2010; 16(2): 127-132.
https://doi.org/10.1177/159101991001600203

29. Nataraj A, Mohamed MB, Gholkar A, et al. Multimodality Treatment of Cerebral Arteriovenous Malformations. *World Neurosurg*. 2014; 82(1-2): 149-159.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2013.02.064

30. Conger A, Kulwin C, Lawton M, Cohen-Gadol A. Endovascular and microsurgical treatment of cerebral arteriovenous malformations: Current recommendations. *Surg Neurol Int.* 2015; 6(1): 39.
https://doi.org/10.4103/2152-7806.153707

31. Catapano JS, Frisoli FA, Nguyen CL, et al. Spetzler-Martin Grade III Arteriovenous Malformations: A Multicenter Propensity-Adjusted Analysis of the Effects of Preoperative Embolization. *Neurosurgery.* 2021; 88(5): 996-1002.
https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa551

32. Luzzi S, Del Maestro M, Bongetta D, et al. Onyx Embolization Before the Surgical Treatment of Grade III Spetzler-Martin Brain Arteriovenous Malformations: Single-Center Experience and Technical Nuances. *World Neurosurg*. 2018; 116: e340-e353.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.203

33. Pandey P, Marks MP, Harraher CD, et al. Multimodality management of Spetzler-Martin Grade III arteriovenous malformations. *J Neurosurg*. 2012; 116(6): 1279-1288.
https://doi.org/10.3171/2012.3.JNS111575

34. Cannizzaro D, Scibilia A, Frio F, et al. IV and V grade arteriovenous Malformations: A multicenter surgical experience. Use of multiple grading system to predict surgical risk. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2022; 104: 96-102.
https://doi.org/10.1016/j.jocn.2022.08.011

35. Spetzler RF, Wilson CB, Weinstein P, Mehdorn M, Townsend J, Telles D. Normal Perfusion Pressure Breakthrough Theory. *Neurosurgery.* 1978; 25(Supplement 1): 651-672.
https://doi.org/10.1093/neurosurgery/25.CN_suppl_1.651

36. Starke RM, Sheehan JP, Ding D, et al. Conservative Management or Intervention for Unruptured Brain Arteriovenous Malformations. *World Neurosurg*. 2014; 82(5): e668-e669.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.07.001

37. Lawton MT. Spetzler-Martin Grade III Arteriovenous Malformations: Surgical Results and a Modification of the Grading Scale. *Neurosurgery*. 2003; 52(4): 740-749.
https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000053220.02268.9C

38. Abecassis IJ, Nerva JD, Feroze A, et al. Multimodality Management of Spetzler-Martin Grade 3 Brain Arteriovenous Malformations with Subgroup Analysis. *World Neurosurg*. 2017; 102: 263-274.
https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.03.046

39. Chen Y, Li R, Ma L, et al. Single-Stage Combined Embolization and Resection for Spetzler-Martin Grade III/IV/V Arteriovenous Malformations: A Single-Center

Experience and Literature Review. *Front Neurol.* 2020; 11. https://doi.org/10.3389/fneur.2020.570198

40. Alfter M, Albica-Palmarola P, Cimpoca A, et al. Multi-Stage Treatment for Spetzler–Martin Grades III, IV, and V Arteriovenous Malformations: Preoperative Embolization and Microsurgical Resection in a Consecutive Series of 250 Patients. *J Clin Med.* 2023; 12(18): 5990. https://doi.org/10.3390/jcm12185990

41. Luzzi S, Del Maestro M, Bongetta D, et al. Onyx Embolization Before the Surgical Treatment of Grade III Spetzler-Martin Brain Arteriovenous Malformations: Single-Center Experience and Technical Nuances. *World Neurosurg.* 2018; 116: e340-e353. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.203

42. Kocer N, Kandemirli SG, Dashti R, et al. Single-stage planning for total cure of grade III–V brain arteriovenous malformations by embolization alone or in combination with microsurgical resection. *Neuroradiology.* 2019; 61(2): 195-205. https://doi.org/10.1007/s00234-018-2140-z

43. Steiger HJ, Brackmann H, Mayer T, Schmid-Elsaesser R, Zausinger S. Congested residual nidus after preoperative intranidal embolization in midsize cerebral arteriovenous malformations of 3-6 cm in diameter. *Acta Neurochir (Wien).* 2004; 146(7). https://doi.org/10.1007/s00701-004-0273-9

44. Tsukahara T, Regli L, Hänggi D, Turowski B, Steiger HJ, eds. Trends in Neurovascular Surgery. *Springer Vienna.* 2011; 112. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0661-7

45. Ding D, Starke RM, Kano H, et al. Stereotactic radiosurgery for Spetzler-Martin Grade III arteriovenous malformations: an international multicenter study. *J Neurosurg.* 2017; 126(3): 859-871. https://doi.org/10.3171/2016.1.JNS152564

46. Kano H, Kondziolka D, Flickinger JC, et al. Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations after embolization: a case-control study. *J Neurosurg.* 2012; 117(2): 265-275. https://doi.org/10.3171/2012.4.JNS111935

47. Andrade-Souza YM, Ramani M, Scora D, et al. Embolization before radiosurgery reduces the obliteration rate of arteriovenous malformations. *Neurosurgery.* 2007; 60(3): 443-452. https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255347.25959.D0

48. Russell D, Peck T, Ding D, et al. Stereotactic radiosurgery alone or combined with embolization for brain arteriovenous malformations: a systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg.* 2018; 128(5): 1338-1348. https://doi.org/10.3171/2016.11.JNS162382

49. Chen CJ, Ding D, Lee CC, et al. Stereotactic Radiosurgery With Versus Without Embolization for Brain Arteriovenous Malformations. *Neurosurgery.* 2021; 88(2): 313-321. https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa418

50. Chen CJ, Ding D, Lee CC, et al. Stereotactic radiosurgery with versus without prior Onyx embolization for brain arteriovenous malformations. *J Neurosurg.* 2021; 135(3): 742-750. https://doi.org/10.3171/2020.7.JNS201731

51. Bing F, Doucet R, Lacroix F, et al. Liquid Embolization Material Reduces the Delivered Radiation Dose: Clinical Myth or Reality? *American Journal of Neuroradiology.* 2012; 33(2): 320-322. https://doi.org/10.3174/ajnr.A2943

52. Andrade-Souza YM, Ramani M, Beachey DJ, et al. Liquid embolisation material reduces the delivered radiation dose: a physical experiment. *Acta Neurochir (Wien).* 2008; 150(2): 161-164. https://doi.org/10.1007/s00701-007-1482-9

53. Buell TJ, Ding D, Starke RM, et al. Embolization-induced angiogenesis in cerebral arteriovenous malformations. *Journal of Clinical Neuroscience.* 2014; 21(11): 1866-1871. https://doi.org/10.1016/j.jocn.2014.04.010

54. Valle R Del, Zenteno M, Jaramillo J, et al. Definition of the key target volume in radiosurgical management of arteriovenous malformations: a new dynamic concept based on angiographic circulation time. *J Neurosurg.* 2008; 109(Supplement): 41-50. https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/12/S8

55. Todnem N, Ward A, Nahhas M, et al. A Retrospective Cohort Analysis of Hemorrhagic Arteriovenous Malformations Treated with Combined Endovascular Embolization and Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery. *World Neurosurg.* 2019; 122: e713-e722. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.10.125

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

СЕНЬКО ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ – [**ORCID:** 0000-0002-5743-8279]
д.м.н., врач-нейрохирург, заведующий нейрохирургическим отделением,
«Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ,
117513 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1 стр. 10;
ОРЛОВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ – [**ORCID:** 0000-0002-7921-9253]
д.м.н., врач по РЭДиЛ, руководитель научно-исследовательского центра
эндоваскулярной нейрохирургии,
«Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ,
117513 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1 стр. 10;
профессор кафедры неврологии и нейрохирургии с курсом комплексной реабилитации,
РУДН «Российский университет дружбы народов имени Патрисы Лумумбы»,
117198 Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6;
врач-нейрохирург,
ГБУЗ Морозовская ДГКБ ДЗМ,
119049 Российская Федерация, г. Москва 4-й Добрынинский переулок, 1/9;
врач-нейрохирург,
ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» МЗ РФ,
117997 Российская Федерация, г. Москва ул. Саморы Машела, 1;
ЗАЛОГИН САВЕЛИЙ ДМИТРИЕВИЧ – [**ORCID:** 0000-0003-4804-4398]
клинический ординатор по специальности «Нейрохирургия»,
ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»,
129090 Российская Федерация, г. Москва, Большая Сухаревская пл., 3;
СТАРОВЕРОВ МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ – [**ORCID:** 0000-0002-7341-797X]
врач-нейрохирург,
«Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ,
117513 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1 стр. 10;
ассистент кафедры фундаментальной нейрохирургии ФДПО ИНОПР,
ФГАОУ ВО «Российский научно-исследовательский медицинский
университет им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ,
117997 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1;
врач-нейрохирург,
ГАУЗ Пермского края «Городская клиническая больница № 4»,
614107 Российская Федерация, г. Пермь, ул. Ким, 2;
МАТВЕЕВ ПАВЕЛ ДМИТРИЕВИЧ – [**ORCID:** 0000-0002-1114-6238]
заведующий отделения РХМДиЛ,
«Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ,
117513 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1 стр. 10;
врач по РЭДЛ, младший научный сотрудник,
ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»,
129090 Российская Федерация, г. Москва, Большая Сухаревская пл., 3;
ГРИГОРЬЕВ ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ – [**ORCID:** 0000-0002-1320-5772]
к.м.н., врач-нейрохирург,
«Федеральный центр мозга и нейротехнологий» ФМБА РФ,
117513 Российская Федерация, г. Москва, ул. Островитянова, 1 стр. 10.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики.
Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.