

# ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНЫХ ГЕАНГИОБЛАСТОМ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ (ОБЗОР)

DOI: 10.17691/stm2021.13.5.10

УДК 616.832–006.31–089

Поступила 09.06.2021 г.



**С.Ю. Тимонин**, аспирант;

**Н.А. Коновалов**, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, зав. 10-м нейрохирургическим отделением;  
зам. директора по научной работе

Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко  
Минздрава России, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16, Москва, 125047

Интрамедуллярные гемангиобластомы (ГАБ) относятся к очень редким высокоvascularизированным сосудистым опухолям спинного мозга, ассоциированным с различными неврологическими нарушениями. Эффективная терапия ГАБ в значительной мере зависит от точности диагностики и отсутствия интра- и послеоперационных осложнений.

Данная работа представляет собой обзор публикаций, посвященных современным диагностическим и терапевтическим методам борьбы с ГАБ спинного мозга. Показано, что ввиду высокой степени vascularизации ГАБ в ряде случаев для их диагностики и дифференциации целесообразно применять такие методы, как перфузионная компьютерная томография, компьютерная томографическая ангиография и магнитно-резонансная ангиография. Высокой эффективностью обладает метод предоперационной эмболизации, заметно снижающей риски интраоперационных кровотечений. Ряд авторов рекомендуют применение этой процедуры в случае больших размеров опухоли и высоких рисков интраоперационного кровотечения. Рассмотрена также процедура интраоперационной визуализации опухоли и ее питающих сосудов при помощи индоцианина зеленого, обеспечивающая возможность контроля за тотальным удалением опухоли и четкой визуализации ее сосудистой архитектуры. Описаны преимущества и ограничения вышеупомянутых процедур.

**Ключевые слова:** гемангиобластома спинного мозга; предоперационная эмболизация; интраоперационная визуализация; индоцианин зеленый; диагностика сосудистых опухолей.

**Как цитировать:** Timonin S.Yu., Konovalov N.A. Surgical treatment of intramedullary hemangioblastomas: current state of problem (review). *Sovremennye tehnologii v medicine* 2021; 13(5): 83–95, <https://doi.org/10.17691/stm2021.13.5.10>

## English

## Surgical Treatment of Intramedullary Hemangioblastomas: Current State of Problem (Review)

**S.Yu. Timonin**, PhD Student;

**N.A. Konovalov**, MD, DSc, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,  
Head of 10<sup>th</sup> Neurosurgery Department; Deputy Director for Science

N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, Ministry of Health of the Russian Federation,  
16, 4<sup>th</sup> Tverskaya-Yamskaya St., Moscow, 125047, Russia

Intramedullary hemangioblastomas (HAB) refer to very rare highly vascularized vascular spinal cord tumors associated with various neurological disorders. Effective HAB therapy to a greater extent depends on diagnostic accuracy and the absence of intra- and postoperative complications.

The present study is a review of publications concerned with modern diagnostic and therapeutic techniques to control spinal HAB. The authors showed that perfusion computed tomography, computed tomographic angiography, and magnetic resonance angiography can be reasonably used for diagnosis and differentiation in a number of HAB due to their high vascularization. Preoperative embolization significantly reducing intraoperative bleeding risks is highly efficient. Some authors recommend this procedure in case of large lesions and high risks of intraoperative bleeding. The review also considered intraoperative imaging of a tumor and its feeding vessels using

**Для контактов:** Тимонин Станислав Юрьевич, e-mail: [md.timonin@gmail.com](mailto:md.timonin@gmail.com)

indocyanine green providing inspectability over the total tumor resection and clear imaging of tumor vascular architecture. The advantages and restrictions of the mentioned procedures were described.

**Key words:** spinal cord hemangioblastoma; preoperative embolization; intraoperative imaging; indocyanine green; vascular tumor diagnosis.

## Введение

Гемангиобластомы (ГАБ) представляют собой гистологически доброкачественные сосудистые опухоли, относящиеся по классификации ВОЗ к опухолям I степени злокачественности [1]. Появление и развитие ГАБ может быть спорадическим (60%) либо связанным с синдромом фон Гиппеля–Линдау (VHL) (40%). Выявление множественных ГАБ более чем в 90% случаев обусловлено наличием мутаций в гене-супрессоре роста опухоли [2]. В 50–70% случаев ГАБ ассоциированы с кистами [3]. Новообразование, как правило, хорошо отграничено, имеет округлую форму, небольшие размеры и состоит из плотной сети тонкостенных кровеносных сосудов, выстланных плоскими эндотелиальными клетками. Между сосудами располагаются интерстициальные клетки, цитоплазма которых содержит повышенное количество липидов. В зависимости от того, какой компонент (стромальный или сосудистый) преобладает, различают клеточный и ретикулярный гистологический варианты ГАБ [4].

Гемангиобластомы развиваются главным образом в инфратенториальных структурах, таких как мозжечок, ствол головного мозга и спинной мозг. Преимущественно они локализируются в задней черепной ямке (83%). Частота их возникновения в спинном мозге достигает 13% [5].

Гемангиобластомы спинного мозга относятся к очень редким опухолям: за период 2000–2015 гг. в литературе описано менее 1000 случаев ГАБ [6]. В целом они составляют до 3% всех диагностируемых опухолей ЦНС и 2–6% опухолевых заболеваний спинного мозга [1].

В большинстве случаев ГАБ располагаются в дорсальной части спинного мозга, что сопровождается нарастанием чувствительных расстройств ниже зоны солидного или кистозного компонента опухоли [7]. В число моторных нарушений входят гиперрефлексия, снижение силы в конечностях. На поздних стадиях возможно нарушение нормального функционирования кишечника и мочевого пузыря [8]. Сенсорные нарушения и боль присутствуют достаточно часто и связаны в основном с ассоциированными с опухолью дерматомами, кистами и сирингомиелией [9]. Клинические проявления опухоли зависят от ее размера, локализации, а также степени воздействия на спинной мозг. Несмотря на высокую васкуляризацию опухоли, риск субарахноидального кровоизлияния крайне низок.

Основным методом лечения ГАБ является микрохирургическое удаление опухоли под нейрофизиологи-

ческим мониторингом, а его успешность в значительной степени зависит от точности диагностирования, предоперационной визуализации сосудистой анатомии опухоли и правильного планирования хирургического вмешательства.

## Диагностика

Для диагностики опухолей ЦНС, в том числе ГАБ, применяется целый ряд методов лучевого обследования.

**Магнитно-резонансная томография (МРТ).** В настоящее время «золотым стандартом» в отношении инструментальной диагностики опухолей спинного мозга является МРТ. Методы, использовавшиеся в клинической практике до начала широкого применения МРТ, далеко не всегда могли обеспечить четкое представление о характере опухолевого процесса и его распространенности в спинном мозге. МРТ же позволяет визуализировать не только собственно опухоли, но и такие структурные изменения спинного мозга, как сирингомиелические кисты, кровоизлияния и отеки мозговой ткани [10].

Помимо очагового изменения магнитно-резонансного сигнала от вещества спинного мозга, МРТ-диагностика интрамедуллярных опухолей основывается на трех базовых визуализируемых признаках [10]. Во-первых, это локальное или диффузное увеличение объема спинного мозга [11]; при его отсутствии необходимо принимать во внимание возможные неопухолевые причины миелопатии — демиелинизирующие процессы, сосудистые мальформации, саркоидоз и т.п. [12]. Во-вторых, большинство интрамедуллярных опухолей (даже доброкачественных) склонны накапливать гадолиний-содержащие контрастирующие агенты, т.е. должно присутствовать контрастное усиление [13]. При этом отсутствие контрастирования при увеличенном объеме спинного мозга вовсе не исключает неопластического процесса [14]. Еще одним диагностическим признаком является наличие кист [10].

В качестве ключевых диагностических признаков ГАБ выступают сочетание кистозных изменений спинного мозга с хорошо отграниченным солидным узлом и наличие в субарахноидальном пространстве расширенных извитых сосудов (поскольку данный тип опухоли отличается высокой степенью васкуляризации) [15]. Кроме того, в случае синдрома VHL важным диагностическим критерием является множественность солидных опухолевых узлов.

При МРТ опухоли, как правило, характеризуются

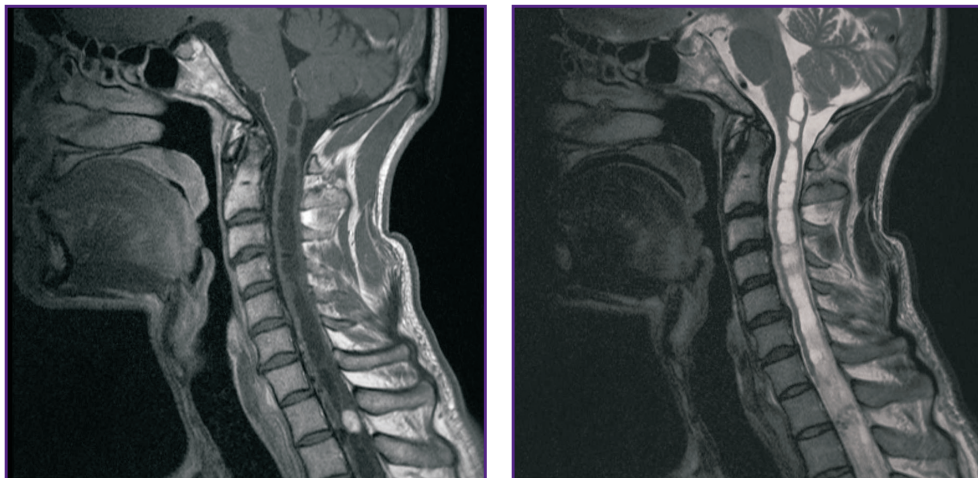


Рис. 1. МРТ-исследование пациента с интрамедуллярной гемангиобластомой на уровне позвонка Th<sub>1</sub>–Th<sub>2</sub> (рисунок авторов)

изо- или гипоинтенсивным сигналом на T1-ВИ [10]. На T2-ВИ сигнал резко гиперинтенсивен с участками потери сигнала (flow voids), появляющимися вследствие наличия в опухоли сосудов с быстрым кровотоком [16]. В большинстве случаев ГАБ спинного мозга характеризуются образованием сирингомиелических кист, расположенных выше и ниже солидного компонента [16], но иногда эти опухоли имеют вид кисты с пристеночным солидным компонентом небольшого размера, что более характерно для их церебральной локализации [17]. После введения контрастного вещества происходит заметное усиление магнитно-резонансного сигнала в опухоли с выявлением ее четких границ. Небольшие по размеру ГАБ обычно демонстрируют однородное накопление контраста, в то время как большие опухоли могут быть негетерогенными из-за присутствия кист, очагов внутриопухолевых кровоизлияний, а также расширенных и извитых сосудов [18] (рис. 1). Интенсивность сигнала от кист может варьировать: высокую интенсивность сигнала дают кисты с высокобелковым содержимым, образовавшимся вследствие внутриузловых кровоизлияний или трансудации содержимого опухоли [19]. В случае отсутствия кист может наблюдаться отек спинного мозга выше и ниже опухоли.

**Перфузионная компьютерная томография (КТ).** Для того чтобы надежно дифференцировать ГАБ от несосудистых новообразований, а также оценить интенсивность их кровоснабжения, может быть применен метод перфузионной КТ. Такое исследование основано на математическом анализе данных, получаемых путем серии последовательных сканирования тканей одного уровня при прохождении через них контрастного препарата. В процессе сканирования последовательно измеряется плотность ткани в каждой точке среза; получаемые значения пропорциональны изменению концентрации проходящего через срез

контрастного препарата. Использование специального программного обеспечения позволяет вычислять количественные параметры микроциркуляции крови, оценивать объем кровотока и его динамические изменения, а также строить перфузионные карты для визуального анализа данных, на которых при помощи цветовой индикации отображаются особенности кровоснабжения исследуемых тканей. Такие карты позволяют быстро определять участки с патологическими изменениями.

Использование перфузионной КТ может быть полезно для предоперационной дифференциальной диагностики ГАБ, особенно в случае преимущественно солидной структуры опухоли. Определяемые для ГАБ значения CBV и CBF оказываются наиболее высокими среди интра- и экстрацеребральных опухолей субтенториальной локализации [20]. М.А. Леонов и соавт. [21] показали, что ГАБ задней черепной ямки является зоной повышенной перфузии по сравнению с мозговым веществом. Анализ информативности применения КТ, МРТ, прямой вертебральной ангиографии, МР-ангиографии и перфузионной КТ показал возможность получения дополнительной информации о гемодинамических изменениях в опухоли с помощью перфузионной КТ, а также эффективность использования данного метода для дифференциальной диагностики ГАБ от других контрастируемых новообразований [22]. Согласно клиническим рекомендациям по диагностике и лечению интрамедуллярных опухолей спинного мозга, перфузионная КТ (рис. 2) является методикой выбора при необходимости дифференциальной диагностики внутри группы интрамедуллярных опухолей спинного мозга, а также для исключения демиелинизирующих заболеваний [23].

**Компьютерная томографическая ангиография (КТ-АГ)** представляет собой методику, позволяющую построить трехмерное КТ-изображение

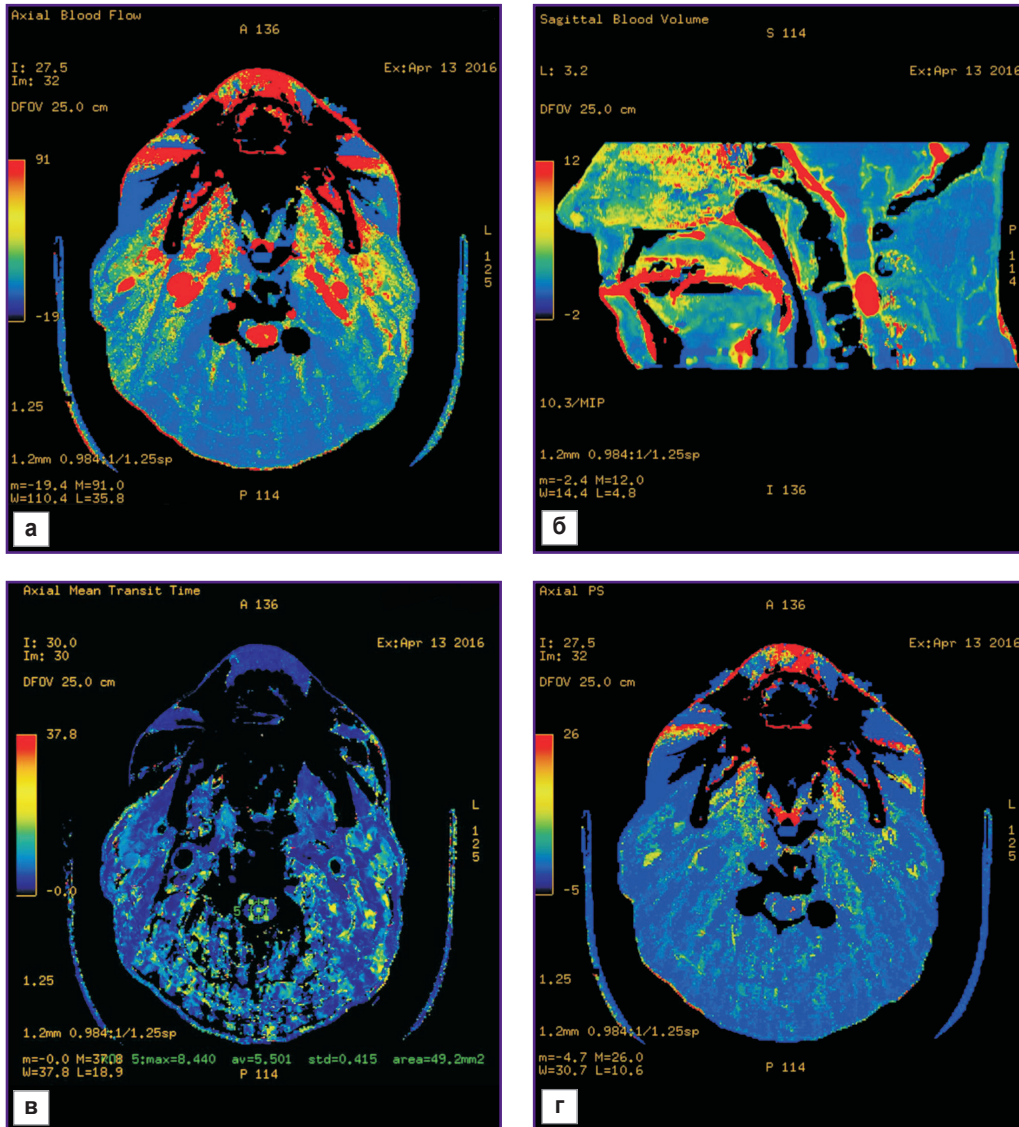


Рис. 2. Перфузионные карты пациента с гемангиобластомой на уровне позвонка С<sub>3</sub> в режимах CBF (а), CBV (б), MTT (в), PS (г) (рисунок авторов)

сосудистой анатомии в области опухоли. Это способствует рациональному планированию хирургического вмешательства по удалению сосудистых опухолей, снижению интра- и постоперационных осложнений, а также обеспечивает более благоприятный прогноз [24, 25]. Кроме того, средняя продолжительность процедуры КТ-АГ довольно невелика: так, например, в работе [26] средняя продолжительность 3D КТ-АГ по сравнению с МРТ при исследовании спинальных опухолей составила всего 1 мин, при этом постобработка данных занимала 30 мин.

Применение КТ-АГ для диагностики ГАБ началось еще в 70–80-е гг. XX в. [27]. Исследователи отмечали более высокую чувствительность и специфичность метода по сравнению с КТ в части идентификации и характеристики узлов ГАБ. Это зачастую обеспечивает возможность точной постановки диагноза и об-

нарушения даже небольших по размеру опухолей. Проведение 3D КТ-АГ позволяет визуализировать анатомию опухоли и ее положение по отношению к позвончику и питающим сосудам. Данный метод также информативен при постоперационном исследовании спинальных ГАБ [26] (рис. 3).

К недостаткам метода относится возможность развития у пациента аллергической реакции на контрастирующее вещество. Кроме того, по мнению некоторых авторов, в случае спинальных ГАБ данный метод исследования не обеспечивает достаточного разрешения при расположении опухоли на грудном уровне, что связано прежде всего с окружающими структурами [28, 29].

**Магнитно-резонансная ангиография (МРА)** представляет собой один из наиболее современных методов диагностики структурных и функциональных

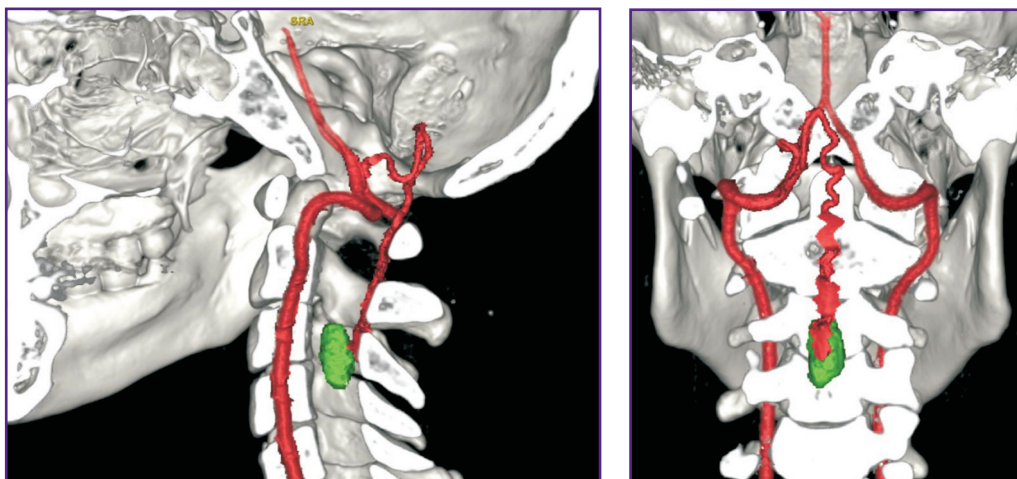


Рис. 3. 3D-реконструкция на основании КТ-АГ сосудистой анатомии интрамедуллярной гемангиобластомы на уровне позвонков С<sub>3</sub>–С<sub>4</sub> (рисунок авторов)

изменений сосудистой системы, который позволяет четко визуализировать сосудистую анатомию здоровой и опухолевой ткани, а также определять функциональные особенности кровотока. МРА может проводиться как с введением контрастного вещества, так и без него. Основными вариантами исследования являются время-пролетная и фазоконтрастная МРА. Времяпролетная МРА требует меньшей продолжительности процедуры, в связи с чем используется в основном в клинической диагностике, особенно при патологии интракраниальных артерий [30]. Однако эта методика не обеспечивает достаточного качества изображения сосудов с медленным кровотоком. Фазоконтрастная МРА позволяет селективно визуализировать сосуды с быстрым или медленным кровотоком, а также получать информацию о его направлении. Она вполне эффективна для изучения кровоснабжения спинальных сосудистых мальформаций, однако весьма чувствительна к турбулентности, что часто приводит к появлению артефактов [31].

В диагностике сосудистых опухолей, включая ГАБ, используют в основном МРА с контрастированием, поскольку без контрастного усиления этот метод не дает полного представления о степени и источниках кровоснабжения ГАБ [4]. Применение МРА позволяет дифференцировать сосудистые опухоли от других мальформаций, а также визуализировать движение контраста. Так, С.А. Binkert с соавт. [32] продемон-

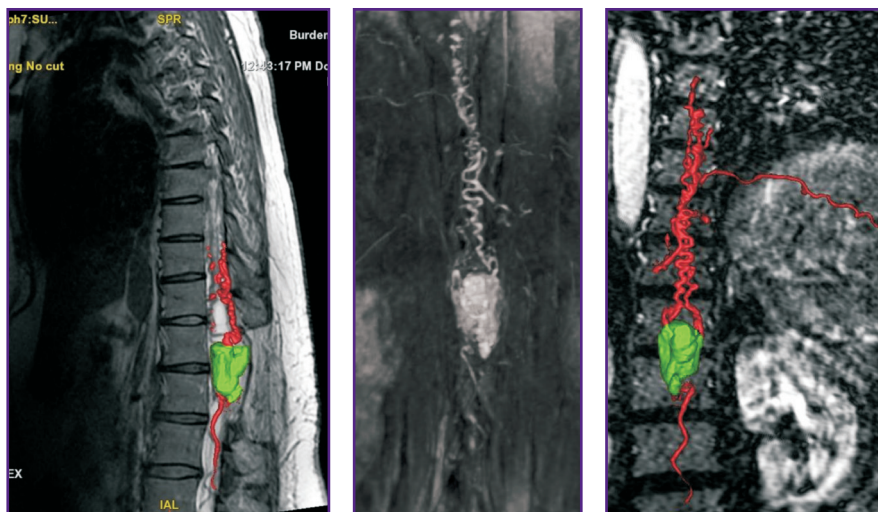


Рис. 4. МРТ-TRIKS с реконструкцией (пациент с интрамедуллярной гемангиобластомой на уровне позвонка Th<sub>12</sub>) (рисунок авторов)

стрировали корректность дифференциации методом МРА таких спинальных сосудистых заболеваний, как артериовенозные мальформации и фистулы, тератомы и гемангиомы. G. Crisi с соавт. [33] показали, что с помощью МРА можно отследить кровоток в опухоли начиная с ранней артериальной и завершая поздней венозной фазой, установить сосудистую природу опухоли, степень ее васкуляризации, а также особенности кровоснабжения. Кроме того, на поздней венозной стадии метод позволяет наблюдать разделение солидного и кистозного компонентов опухоли (рис. 4).

### Хирургическое лечение

Общепринятым стандартом лечения пациентов с интрамедуллярными ГАБ является радикальное

удаление опухоли под нейрофизиологическим контролем, при этом чем менее будут выражены ассоциированные с опухолью неврологические нарушения к началу операции, тем более благоприятными будут прогнозы в отношении восстановления функционального состояния пациента в постоперационный период [34].

Тактика лечения спинальных ГАБ имеет ряд отличий, связанных с особенностями их кровоснабжения. Ввиду высокой степени васкуляризации ГАБ операцию производят с использованием микрохирургической техники, стараясь полностью удалить опухоль, при этом сохранив неповрежденными окружающие ткани спинного мозга. Неполное удаление опухоли может быть выполнено в случае ее расположения в передних столбах спинного мозга, что осложняет подход к ней, а также наличия плотных спаек с передней спинальной артерией или между фрагментами опухоли и спинным мозгом.

При выборе наиболее подходящего хирургического подхода принимаются во внимание локализация опухоли, наличие ассоциированных с ней кист или сириномиелии и наличие отека окружающих тканей. Большое значение для выработки соответствующего плана действий играет предоперационная визуализация опухоли и ее сосудистой системы, что особенно важно в случае вентрального расположения опухоли. Повышенный риск интраоперационного кровотечения может быть снижен путем предоперационной эмболизации и интраоперационной визуализации.

Наиболее крупные серии операций по удалению ГАБ приведены в таблице. В большинстве случаев сообщается о проведении тотальной резекции опухоли у

>90% пациентов (см., например, работы [2, 26, 35–42]). В некоторых сериях отмечается повышенное количество случаев субтотальной резекции — 15,0–37,5% [18, 43–45]. Ряд авторов отмечают, что субтотальная резекция опухоли чаще приводит к рецидивам болезни или появлению новых опухолей [44, 45], при этом, согласно исследованию К. Такаи с соавт. [44], рецидивы опухоли не коррелируют с наличием синдрома VHL.

В краткосрочном послеоперационном периоде некоторые авторы отмечают кратковременное ухудшение неврологического статуса у части пациентов. Так, длительное нарушение сенсорных функций и болевые ощущения были отмечены у 57% прооперированных лиц [38]. Полученные цифры авторы связывают со сравнительно коротким временем послеоперационного наблюдения (в среднем 17 мес). Согласно [46], постоперационные неврологические нарушения наблюдаются у 50–80% пациентов, причем в долгосрочной перспективе они сохраняются у 10%.

Из таблицы видно, что хирургическое вмешательство приводило к улучшению неврологического статуса пациента в долгосрочной перспективе в среднем в 40,8% случаев (6–100%). Не изменялся статус у 57,2% пациентов (0–80%). Ухудшение статуса отмечали в среднем в 10% случаев (0–25%). Некоторые авторы связывают ухудшение состояния пациентов после операции с наличием синдрома VHL [35, 43], с неполным удалением опухоли [26] или ее вентральным расположением либо с принадлежностью к полнотью интрамедуллярному типу [35].

**Предоперационная эмболизация как способ минимизации риска кровоизлияний.** Неконтролируемое интраоперационное кровотечение при резек-

**Исследования, посвященные гемангиобластомам спинного мозга**

Источник	Годы выборки	Пациенты/ проведенные операции	Пациенты с болезнью фон Гиппеля–Линдау	Изменение функционального статуса после операции, процент случаев			Сроки постоперационного наблюдения, мес
				улучшение	без изменений	ухудшение	
[2]	1988–2011	14/15	0	53,3	33,3	13,3	12–276
[18]	1994–2006	9/9	5	33	67	0	4–75
[26]	2007–2011	92/102	32	41,3	43,5	15,2	24–78
[35]	1984–2008	108/156	108	6	80	14	6–250
[36]	1997–2011	17/17	11	23,5	76,5	0	2–165
[37]	2000–2014	16/17	0	12,5	6,25	81,25	6–144
[38]	1996–2014	21/23	0	76	n/a	n/a	17 (в среднем)
[39]	2000–2013	14/18	7	78,6	n/a	n/a	6–96
[40]	2000–2013	24/26	10	41,2	47	11,8	12–144
[41]	2005–2015	11/11	0	72,7	27,3	0	6–48
[42]	2012–2017	18/37	2	100	0	0	3–18
[43]	1985–2002	34/40	25	32	50	18 (все VHL)	36–204
[44]	1988–2008	24/24	8	37	53	10	5–221

Окончание таблицы

Источник	Годы выборки	Пациенты/ проведенные операции	Пациенты с болезнью фон Гиппеля– Линдау	Изменение функционального статуса после операции, процент случаев			Сроки пост- операционного наблюдения, мес
				улучшение	без изменений	ухудшение	
[45]	2003–2012	16/30	4	18,7	56,3	25	4–290
[46]	2001–2014	15/19	8	80	6	14	6–132
[47]	1984–1997	19/22	0	40,9	50	9,1	6–142
[48]	1988–1997	44/55	44	7	84	9	6–12
[49]	1986–2000	14/14	6	57,2	21,4	21,4	15–161
[50]	1990–2005	23/23	8	21,7	74	4,3	6–120
[51]	1991–2005	20/24	2	29,2	58,3	12,5	6–78
[52]	2002–2007	15/17	4	6,5	87	6,5	15–72
[53]	1995–2008	20/20	11	25	65	10	1–62
[54]	2000–2017	20/20	4		90	10	30,9 (в среднем)
[55]	2010–2018	18/18	16		94,5	5,5	n/a

З д е с ь: n/a — нет данных.

ции ГАБ, возникающее ввиду интенсивного кровоснабжения этого типа сосудистых опухолей, является основной причиной неблагоприятных операционных исходов [56]. Кровотечение из стромы опухоли, питающих ее артерий или дренирующих вен представляет собой фактор риска в отношении возможных кровоизлияний в окружающие ткани или в остатки опухоли (при неполном ее удалении), развития отека и нарушения кровообращения. Существенное повышение безопасности хирургического вмешательства обеспечивает технология предоперационной эмболизации, которая позволяет снизить кровоток в солидной части опухоли, соответственно снижая риск интраоперационного кровотечения; в некоторых случаях эта процедура даже позволяет проводить резекцию опухолей, ранее рассматривавшихся как неоперабельные [56]. Кроме того, в случае опухолей спинного мозга эмболизация может облегчить симптомы заболевания, уменьшить степень компрессии спинного мозга и, возможно, замедлить рост опухоли без проведения открытого вмешательства [57].

Несмотря на вышеописанные положительные эффекты, процедура предоперационной эмболизации способна привести к целому ряду нежелательных осложнений из-за близости питающих артерий к радикулоспинальной артерии. Относительным противопоказанием служит некорректируемая коагулопатия, почечная недостаточность [56]. Промежуток времени между эмболизацией и последующей резекцией опухоли в среднем не должен превышать 3 сут [58].

В качестве эмболизационных материалов для терапии опухолей спинного мозга используются микрочастицы (поливиниловый спирт (PVA), желатиновые

микросферы) или жидкие эмболизирующие составы (NBCA, Опух). Наиболее распространенным эмболическим агентом, состоящим из микрочастиц, является PVA, однако его частицы варьируют по размерам и форме поверхности и разбухают в присутствии контрастирующего агента, что может приводить к их агрегации и закупорке катетера [59].

Жидкие эмболизирующие материалы обеспечивают быструю и перманентную эмболизацию, а также глубокое проникновение в опухоль. Однако их использование требует определенного опыта и технических навыков, а результаты сложнее поддаются контролю, что повышает риск нецелевой эмболизации, которая может привести к неврологическим осложнениям вследствие ишемических осложнений [60]. NBCA представляет собой неадсорбируемый агент, способный к быстрой полимеризации при контакте с кровью или солевыми растворами. В то же время эти свойства повышают риск закупорки микрокатетера или разрыва питающей артерии при извлечении катетера [58]. Следовательно, его инъекция должна осуществляться быстро и непрерывно, что ухудшает точность доставки [61]. Введение препарата Опух происходит медленнее и занимает больше времени, что обеспечивает полное его проникновение в сосуды опухоли и более точный контроль процесса эмболизации [62].

Анализ публикаций за 1990–2015 гг. [58] (37 публикаций, описывающих >1300 случаев метастатического поражения опухолей, интрадуральных и экстрадуральных опухолей) показал, что в 45,5% операционных случаев, описанных после 2008 г. (год появления Опух), процедуру проводили именно этим материалом.

Ввиду относительной редкости ГАБ в целом и

спинальных ГАБ в частности, а также сложной анатомии питающих их артерий опыт предоперационной эмболизации этих опухолей к настоящему времени все еще остается небольшим. Ретроспективный обзор [63] систематизирует информацию о 29 случаях проведения предоперационной эмболизации спинальных ГАБ. Остальные публикации сообщают о меньших сериях исследуемых пациентов (2–7) с периодом постоперационного наблюдения от 1 до 161 мес [35, 43, 45, 49, 51, 53, 64–66]. Следует также отметить сообщение о 24 случаях предоперационной эмболизации спинальных ГАБ, выполненных в Китае [67].

В указанных выше работах большинству пациентов после проведения эмболизации была осуществлена тотальная резекция опухоли (например, 93% случаев из обзора [63], 86% — из [65], 100% — из [45, 49, 66]). Исключениями стали два случая. Первый представлял собой субтотальную резекцию из-за интраоперационного кровотечения, объем которого достиг 2,2 л [51]. Еще в одном случае ввиду проникновения эмболизирующего агента в опухоль и отвердения последней резекция оказалась невозможной и пациент был оставлен под наблюдением [65].

Ряд авторов приводят сведения об изменениях неврологического статуса больных по классификации Маккормика после проведения операции с предварительной эмболизацией опухоли. Так, сообщается [49], что в выборке из 4 пациентов в 1 случае статус не изменился (IV→IV), в то время как в остальных случаях было отмечено улучшение (III→II, III→I, I→0). В работе [51] неврологический статус улучшился у 1 пациента (0→I), а у двух других остался без изменений (0→0, III→III). В работе [53] у 3 пациентов неврологический статус не изменился (I→I, I→I, II→II), у 2 — улучшился (II→I, II→I). Наконец, в исследовании [65] из семи пациентов с дооперационным статусом I или II шестеро остались без изменений, а у одного состояния улучшилось (II→I). Остальные авторы либо не приводят информацию об изменении неврологического статуса, либо ограничиваются упоминанием об улучшении. Сведений об ухудшении статуса после операции с эмболизацией не обнаружено.

Авторы ряда публикаций сообщают об отсутствии осложнений, связанных с процедурой эмболизации [35, 43, 45, 49, 64, 66, 68], другие отмечают их редкость и временный характер. Так, из 29 случаев, рассмотренных в обзоре [63], временные осложнения наблюдались только у 3 пациентов и включали проблемы с глотанием (1), сниженную чувствительность (1) и спастичность (1). В долгосрочной перспективе (6–108 мес) эти симптомы полностью исчезли. Проведенный в работе [65] анализ 18 случаев показал, что клинические осложнения, отмеченные у 2 пациентов, носили временный характер и были ассоциированы с локальным отеком и небольшими аллергическими реакциями; применение кортикостероидов позволяло нормализовать ситуацию. Кроме того, авторы описали серию из 7 операций по удалению

спинальных ГАБ с предварительной эмболизацией. В двух случаях отмечались осложнения, вызвавшие перенос назначенных операций. У одного пациента развилась незначительная аллергическая реакция, и операция была проведена на 3 мес позже. Во втором случае осложнение (вертебробазальный инфаркт с последующим унилатеральным мозжечковым синдромом и нарушением походки) привело к откладыванию операции на 4 мес. У 2 пациентов были зарегистрированы небольшие излияния эмболизирующего агента за пределы целевых афферентов, при этом каких-либо последствий от процедуры пациенты не испытывали. Тем не менее у одного из них последующее удаление опухоли оказалось невозможным из-за того, что она приобрела твердую консистенцию, а спинной мозг выглядел отекавшим. Хирург принял решение прервать операцию во избежание серьезных неврологических нарушений, а пациенту было рекомендовано регулярное прохождение клинического и радиологического обследования. По истечении 56 мес наблюдения опухоль оставалась стабильной. D.K. Lee с соавт. [49] выполнили 4 процедуры эмболизации. Только в одном случае процедура прошла неудачно из-за возникшей частичной окклюзии левой задней нижней мозжечковой артерии, вызвавшей диплопию и расстройство речи. После прерывания процедуры эти симптомы исчезли. Следует отметить, что в рассмотренных работах не было отмечено ни одного смертельного случая. Большинство авторов сообщают, что при проведении у эмболизированных пациентов операции по удалению опухоли кровопотери были небольшими или ниже ожидаемых [63, 67]. В одном случае отмечена массивная интраоперационная кровопотеря (2,2 л), которую не удалось полностью предупредить эмболизацией [51].

Поскольку данные об эффективности предоперационной эмболизации и о сопряженных с ней рисках часто основываются на ретроспективном анализе операций, выполненных с применением различных материалов, в настоящее время не существует единого мнения о целесообразности этой процедуры в терапии интрамедуллярных ГАБ. Одни авторы придерживаются мнения о полезности процедуры (при отсутствии прямых противопоказаний) ввиду снижения интраоперационной кровопотери и общей продолжительности операции, а также увеличения шансов на тотальную резекцию опухоли [35, 43, 45, 49, 66, 67, 69–73], другие отмечают возможность развития связанных с этой процедурой осложнений, таких как интрадуральные кровоизлияния, ишемия спинного мозга, а также небольшие излияния эмболизирующего агента вовнутрь самой опухоли, уплотняющие ее и осложняющие резекцию [42, 53, 65, 74]. В целом имеющиеся данные позволяют предположить, что в отсутствие прямых противопоказаний эта процедура может быть показана пациентам с высоким риском интраоперационного кровотечения, а также при существенном размере опухоли [63]. В то же время, по мнению тех же авто-



ров, проведение эмболизации не дает существенного преимущества в изменении неврологического статуса пациентов по сравнению с микрохирургическим удалением опухоли. Таким образом, эта процедура может рассматриваться скорее как метод, позволяющий упростить проведение операции и снизить сопутствующие риски, чем как способ существенно улучшить послеоперационный статус пациента.

**Интраоперационный видеоконтроль.** Еще одним серьезным риском, ассоциированным с хирургическим удалением ГАБ спинного мозга, помимо интраоперационного кровотечения, считается травма солидного компонента опухоли до визуализации и выключения питающих ее артерий. Данное действие может привести к значительной кровопотере, порой достигающей 3 л [75], а также к стойкому неврологическому дефициту в послеоперационном периоде, часто развивающемуся из-за длительных попыток остановки кровотечения с помощью биполярной коагуляции [76]. Вследствие этого четкая идентификация питающих артерий и дренирующих вен, а также выключение артериального кровоснабжения до начала этапа удаления опухоли являются важными условиями для безопасной и тотальной (*en bloc*) резекции.

Одним из возможных решений данной проблемы стал метод интраоперационного видеоконтроля при помощи видеоангиографии индоцианином зеленым (ICG-VA) (рис. 5).

Впервые ICG-VA начали применять в середине 70-х гг. XX в. для проведения офтальмической ангиографии. Затем эту технологию стали активно использовать и для других исследований, включая хирургию аневризм и опухолей головного мозга (см., например, работы [77, 78]). Начиная с 2011 г. количество публикаций, связанных с применением ICG-VA, стало расти экспоненциально [79], однако работ об успешном использовании ICG-VA в хирургии интрамедуллярных опухолей спинного мозга на сегодняшний день относительно немного. Установлено [80], что эта технология позволяет контролировать тотальное удаление интрамедуллярной ГАБ. Она высокоэффективна для

визуализации питающих опухоль сосудов при резекции солидного компонента опухоли на уровне позвонков C<sub>7</sub>–Th<sub>2</sub> [81]. Кроме того, с помощью ICG-VA можно визуализировать сосуды дорсальной ГАБ на уровне позвонка Th<sub>12</sub>, а также контролировать тотальность ее удаления [82].

S. Nao с соавт. [83] сообщают о применении ICG-VA у 7 пациентов с ГАБ спинного мозга. В результате сравнительного анализа пре-, интра- и послеоперационных изображений авторы смогли определить местоположение питающих артерий и дренирующих вен, а также границ опухоли у 5 человек. Из оставшихся пациентов у одного остаточная деваскуляризованная опухоль была расположена глубоко в паренхиме спинного мозга и оказалась недоступна для визуализации, у второго были визуализированы только дренирующие вены, поскольку вентролатеральная опухоль располагалась под паренхимой спинного мозга. Проведенные операции позволили полностью удалить шесть из семи опухолей и частично — седьмую, причем ни у одного пациента не было отмечено существенных послеоперационных неврологических нарушений. Таким образом, в случае вентральных и глубоко расположенных опухолей возможности технологии ICG-VA оказываются ограниченными.

T. Takami с соавт. [84] описали 14 случаев хирургического лечения пациентов с интрамедуллярными опухолями спинного мозга в цервикальном и торакальном отделах. Ни в одном случае не выявлено побочных эффектов или осложнений, связанных с использованием ICG-VA, а качество полученного изображения существенно лучше, чем при субтракционной ангиографии. Основными преимуществами метода авторы считают возможность локализации обычных спинальных артерий и вен, оценки постоперационной циркуляции крови по спинальным венам, а также четкой дифференциации питающих артерий, опухоли и дренирующих вен. В их следующей работе на основе обобщения опыта применения ICG-VA у 48 пациентов с интрамедуллярными опухолями спинного мозга сделан вывод, что ICG-VA представляет



**Рис. 5. Интрамедуллярная гемангиобластома (рисунок авторов):**

*а* — интраоперационный вид (зеленые стрелки — питающие артерии; голубые стрелки — дренирующие вены); видеоангиография: *б* — 1-я секунда после начала контрастирования опухоли (зеленая стрелка — первая питающая артерия; красная стрелка — солидный компонент опухоли); *в* — 3-я секунда после начала контрастирования (зеленые стрелки — питающие артерии; красная стрелка — активно контрастируемая солидная часть опухоли)

собой безопасный и полезный способ, позволяющий добиться точности в удалении опухоли [85]. Применение ICG-VA наиболее перспективно в хирургии высокососудистых опухолей. Так, в исследовании С.А. Molina с соавт. [76] установлено, что комбинация ICG-VA с преоперативной цифровой субтракционной ангиографией во время операции по удалению ГАБ *en bloc* способствовала точному определению сосудистой архитектуры опухоли, что позволило снизить кровопотерю до 100 мл и обеспечить отсутствие изменений в сигналах системы нейромониторинга.

Таким образом, интраоперационная видеоангиография с применением индоцианина зеленого является полезным инструментом в хирургии ГАБ, обеспечивающим визуализацию в реальном времени как самой опухоли, так и ее питающих и дренирующих сосудов, а также позволяющим избежать чрезмерных кровопотерь и неполного удаления тела опухоли. Однако при принятии решения о целесообразности использования этой процедуры следует учитывать сложность визуализации питающих артерий, локализуемых внутри солидного компонента [83]. Большинство ГАБ расположены на дорсальной поверхности спинного мозга [48], поэтому визуализация питающих их артерий при помощи ICG-VA не является сложной задачей. В случае опухолей, локализуемых на вентральной поверхности спинного мозга, питание происходит за счет артерий из бассейна передней спинномозговой артерии. В такой ситуации применение ICG-VA слабо влияет на степень визуализации питающих сосудов, а также самой опухоли. Кроме того, если фрагменты опухоли, не полностью удаленные во время операции, оказываются деваскуляризованы, применение этого метода не дает возможности их обнаружения; в таком случае необходимо дополнительно использовать МРТ или интраоперационную ультрасонографию [83].

## Заключение

Ввиду высокой васкуляризации гемангиобластом в ряде случаев для диагностики и дифференциации спинальных опухолей помимо МРТ целесообразно применять такие методы, как перфузионная компьютерная томография (при солидной структуре опухоли, для дифференциальной диагностики гемангиобластом от других интрамедуллярных опухолей спинного мозга, с целью исключения демиелинизирующих заболеваний), компьютерная томографическая ангиография (для идентификации и характеристики узлов гемангиобластомы, визуализации опухоли и питающих сосудов) и магнитно-резонансная ангиография (для дифференциации гемангиобластом от других сосудистых мальформаций, визуализации кровотока через опухоль).

Хирургическое удаление гемангиобластом спинного мозга может сопровождаться проведением предоперационной эмболизации, снижающей риски интраоперационных кровотечений и обладающей сравнительно

низкими интраоперационными рисками. Несмотря на некоторые разногласия, существующие между авторами в отношении риска развития осложнений, приводимые ими результаты исследований позволяют предположить, что данная процедура может быть показана в случае больших размеров опухоли и высоких рисков интраоперационного кровотечения как способ снижения последнего. Перспективной представляется также методика интраоперационной визуализации опухоли и ее питающих сосудов при помощи индоцианина зеленого, обеспечивающая возможность контроля за тотальным удалением опухоли и четкой визуализации ее сосудистой архитектуры, что также вносит свой вклад в минимизацию операционных кровопотерь.

**Вклад авторов.** Все авторы принимали равное участие в написании статьи.

**Финансирование исследования.** Работа проведена без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов** отсутствует.

## Литература/References

1. Bamps S., Calenbergh F.V., Vleeschouwer S.D., Loon J.V., Sciot R., Legius E., Goffin J. What the neurosurgeon should know about hemangioblastoma, both sporadic and in Von Hippel–Lindau disease: a literature review. *Surg Neurol Int* 2013; 4: 145, <https://doi.org/10.4103/2152-7806.121110>.
2. Sun H.I., Özduman K., Usseli M.I., Özgen S., Pamir M.N. Sporadic spinal hemangioblastomas can be effectively treated by microsurgery alone. *World Neurosurg* 2014; 82(5): 836–847, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.05.024>.
3. Samartzis D., Gillis C.C., Shih P., O'Toole J.E., Fessler R.G. Intramedullary spinal cord tumors: part I — epidemiology, pathophysiology, and diagnosis. *Global Spine J* 2015; 5(5): 425–435, <https://doi.org/10.1055/s-0035-1549029>.
4. Metelo A., Iliopoulos O. Hemangioblastomas of the central nervous system. In: *Rosenberg's molecular and genetic basis of neurological and psychiatric disease*. Academic Press; 2015; p. 955–961.
5. Neumann H.P., Eggert H.R., Weigel K., Friedburg H., Wiestler O.D., Schollmeyer P. Hemangioblastomas of the central nervous system. A 10-year study with special reference to von Hippel–Lindau syndrome. *J Neurosurg* 1989; 70(1): 24–30, <https://doi.org/10.3171/jns.1989.70.1.0024>.
6. Westwick H.J., Giguère J.F., Shamji M.F. Incidence and prognosis of spinal hemangioblastoma: a surveillance epidemiology and end results study. *Neuroepidemiol* 2015; 46(1): 14–23, <https://doi.org/10.1159/000441147>.
7. Chamberlain M.C., Tredway T.L. Adult primary intradural spinal cord tumors: a review. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2011; 11(3): 320–328, <https://doi.org/10.1007/s11910-011-0190-2>.
8. Raco A., Esposito V., Lenzi J., Piccirilli M., Delfini R., Cantore G. Long-term follow-up of intramedullary spinal cord tumors: a series of 202 cases. *Neurosurg* 2005; 56(5): 972–981.
9. Khan N.R., Ghazanfar A., Patel N., Arnautović K.I. Spinal cord hemangioblastomas. In: *Spinal cord tumors*. Arnautović K.I., Gokaslan Z.L. (editors). Springer, Cham; 2019; p. 243–271.
10. Савинцева Ж.И., Трофимова Т.Н., Прахова Л.Н.,

Назинкина Ю.В., Скворцова Т.Ю. Лучевая диагностика интрамедуллярных опухолей спинного мозга: собственные клинические наблюдения и обзор литературы. *Лучевая диагностика и терапия* 2014; 2: 46–56.

Savintseva Zh.I., Trofimova T.N., Prakhova L.N., Nazinkina Yu.V., Skvortsova T.Yu. Diagnostics of intramedullary spinal cord tumors. *Lucevaa diagnostika i terapiya* 2014; 2: 46–56.

11. Takemoto K., Matsumura Y., Hashimoto H., Inoue Y., Fukuda T., Shakudo M., Nemoto Y., Onoyama Y., Yasui T., Hakuba A., Nishimura S., Ban S. MR imaging of intraspinal tumors — capability in histological differentiation and compartmentalization of extramedullary tumors. *Neuroradiology* 1988; 30(4): 303–309, <https://doi.org/10.1007/bf00328180>.

12. Lee M., Epstein F.J., Rezai A.R., Zagzag D. Nonneoplastic intramedullary spinal cord lesions mimicking tumors. *Neurosurgery* 1998; 43(4): 788–795, <https://doi.org/10.1097/00006123-199810000-00034>.

13. Parizel P.M., Balériaux D., Rodesch G., Segebarth C., Lalmand B., Christophe C., Lemort M., Haesendonck P., Niendorf H.P., Flament-Durand J., Brotchi J. Gd-DTPA enhanced MR imaging of spinal tumors. *AJR Am J Roentgenol* 1989; 152(5): 1087–1096, <https://doi.org/10.2214/ajr.152.5.1087>.

14. Froment J.C., Baleriaux D., Turjman F. Diagnosis: neuroradiology. In: *Intramedullary spinal cord tumors*. Fischer G., Brotchi J. (editors). Stuttgart: Thieme; 1996; p. 33–52.

15. Бублиевский Д.В., Евзиков Г.Ю., Фарафонов А.В., Шашкова Е.В. Клиника, диагностика и результаты микрохирургического удаления спинальных гемангиобластом. *Нейрохирургия* 2013; 3: 15–23, <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2013-0-3-15-23>.

Bublievsky D.V., Evzikov G.Yu., Farafontov A.V., Shashkova E.V. Clinical signs, diagnostics and surgical treatment results at patients with spinal hemangioblastomas. *Neirokhirurgiya* 2013; 3: 15–23, <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2013-0-3-15-23>.

16. Osborn A.G. Tumors, cysts, and tumorlike lesions of the spine and spinal cord. In: *Diagnostic neuroradiology*. St. Louis: Mosby Year Book; 1994; p. 895–916.

17. Balériaux D., Parizel P., Bank W.O. Intraspinal and intramedullary pathology. In: *Imaging of the spine and spinal cord*. Menefse C. (editor). New York: Raven Press; 1992; p. 832–890.

18. Na J.H., Kim H.S., Eoh W., Kim J.H., Kim J.S., Kim E.S. Spinal cord hemangioblastoma: diagnosis and clinical outcome after surgical treatment. *J Korean Neurosurg Soc* 2007; 42(6): 436–440, <https://doi.org/10.3340/jkns.2007.42.6.436>.

19. Merhemic Z., Thurnher M.M. Diagnostics and differential diagnostics of spinal cord tumors. In: *Spinal cord tumors*. Arnautović K.I., Gokaslan Z.L. (editors). Springer, Cham; 2019; p. 55–70.

20. Dolgushin M., Kornienko V., Pronin I. Hemangioblastoma. In: *Brain metastases*. Springer, Cham; 2018; p. 375–376, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57760-9\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57760-9_33).

21. Леонов М.А., Арутюнов Н.В., Корниенко В.Н. Рентгенологическая диагностика гемангиобластом задней черепной ямки. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко* 2005; 1: 20–23.

Leonov M.A., Arutyunov N.V., Kornienko V.N. X-ray

diagnosis of hemangioblastomas of the posterior cranial fossa. *Voprosy neurokhirurgii im. N.N. Burdenko* 2005; 1: 20–23.

22. Anderson I., Kumar R., Patankar T., Tyagi A. Lateral ventricle haemangioblastoma: the role of perfusion scanning and embolisation in diagnosis and management. *BMJ Case Rep* 2014; bcr2014205736, <https://doi.org/10.1136/bcr-2014-205736>.

23. *Клинические рекомендации. Диагностика и лечение интрамедуллярных опухолей спинного мозга*. URL: [https://ruans.org/Text/Guidelines/spinal\\_intramedullary\\_tumors.pdf](https://ruans.org/Text/Guidelines/spinal_intramedullary_tumors.pdf).

*Clinical recommendations. Diagnostics and treatment of intramedullary spinal cord tumors*. URL: [https://ruans.org/Text/Guidelines/spinal\\_intramedullary\\_tumors.pdf](https://ruans.org/Text/Guidelines/spinal_intramedullary_tumors.pdf).

24. Chen J.Q., Guan Y., Li G., Chen J.Q., Guan Y., Li G., Li X.H., Zhan Y.F., Li X.Y., Nie L., Han X.J. Application of 3D-computed tomography angiography technology in large meningioma resection. *Asian Pac J Trop Med* 2012; 5(7): 577–581, [https://doi.org/10.1016/s1995-7645\(12\)60102-3](https://doi.org/10.1016/s1995-7645(12)60102-3).

25. Matsumoto M., Kodama N., Endo Y., Sakuma J., Suzuki K., Sasaki T., Murakami K., Suzuki K., Katakura T., Shishido F. Dynamic 3D-CT angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28(2): 299–304.

26. Deng X., Wang K., Wu L., Yang C., Yang T., Zhao L., Yang J., Wang G., Fang J., Xu Y. Intraspinal hemangioblastomas: analysis of 92 cases in a single institution: clinical article. *J Neurosurg Spine* 2014; 21(2): 260–269, <https://doi.org/10.3171/2014.1.spine13866>.

27. Seeger J.F., Burke D.P., Knake J.E., Gabrielsen T.O. Computed tomographic and angiographic evaluation of hemangioblastomas. *Radiology* 1981; 138(1): 65–73, <https://doi.org/10.1148/radiology.138.1.7192875>.

28. Sciubba D.M., Mavinkurve G.G., Gailloud P., Garonzik I.M., Recinos P.F., McGirt M.J., Woodworth G.F., Witham T., Khavkin Y., Gokaslan Z.L., Wolinsky J.P. Preoperative imaging of cervical spine hemangioblastomas using three-dimensional fusion digital subtraction angiography. *J Neurosurg Spine* 2006; 5(1): 96–100, <https://doi.org/10.3171/spi.2006.5.1.96>.

29. Yoshino M., Nakatomi H., Kin T., Saito T., Shono N., Nomura S., Nakagawa D., Takayanagi S., Imai H., Oyama H., Saito N. Usefulness of high-resolution 3D multifusion medical imaging for preoperative planning in patients with posterior fossa hemangioblastoma: technical note. *J Neurosurg* 2016; 127(1): 139–147, <https://doi.org/10.3171/2016.5.jns152646>.

30. Абрамова Н.Н., Беличенко О.И. Магнитно-резонансная томография и магнитно-резонансная ангиография в визуализации сосудистых структур. *Вестник рентгенологии и радиологии* 1997; 2: 50–54.

Abramova N.N., Belichenko O.I. Magnetic resonance tomography and magnetic resonance angiography in a visualization of vascular structures. *Vestnik rentgenologii i radiologii* 1997; 2: 50–54.

31. Mascacchi M., Quilici N., Ferrito G., Mangiafico S., Scazzari F., Torselli P., Petruzzi P., Cosottini M., Tessa C., Bartolozzi C. Identification of the feeding arteries of spinal vascular lesions via phase-contrast MR angiography with three-dimensional acquisition and phase display. *AJNR Am J Neuroradiol* 1997; 18(2): 351–358.

32. Binkert C.A., Kollias S.S., Valavanis A. Spinal cord vascular disease: characterization with fast three-dimensional contrast-enhanced MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999; 20(10): 1785–1793.

33. Crisi G., Giombelli E., Ventura E. Non-von

- Hippel–Lindau hemangioblastoma in the hippocampus: characterization with time-resolved MRA using TRICKS sequence at 3T. *Neuroradiol J* 2010; 23(4): 416–419, <https://doi.org/10.1177/197140091002300407>.
34. Sayyahmelli S., Aycan A., Erginoglu U., Başkaya M.K. Spinal hemangioblastomas: clinical presentation, radiology, and treatment. *Contemp Neurosurg* 2019; 41(9): 1–5.
35. Mehta G.U., Asthagiri A.R., Bakhtian K.D., Auh S., Oldfield E.H., Lonser R.R. Functional outcome after resection of spinal cord hemangioblastomas associated with von Hippel–Lindau disease. *J Neurosurg Spine* 2010; 12(3): 233–242, <https://doi.org/10.3171/2009.10.spine09592>.
36. Harati A., Satopää J., Mahler L., Billon-Grand R., Elsharkawy A., Niemelä M., Hernesniemi J. Early microsurgical treatment for spinal hemangioblastomas improves outcome in patients with von Hippel–Lindau disease. *Surg Neurol Int* 2012; 3: 6, <https://doi.org/10.4103/2152-7806.92170>.
37. Joaquim A.F., Ghizoni E., dos Santos M.J., Valadares M.G., da Silva F.S., Tedeschi H. Intramedullary hemangioblastomas: surgical results in 16 patients. *Neurosurg Focus FOC* 2015; 39(2): E18, <https://doi.org/10.3171/2015.5.focus15171>.
38. Liu A., Jain A., Sankey E.W., Jallo G.I., Bettegowda C. Sporadic intramedullary hemangioblastoma of the spine: a single institutional review of 21 cases. *Neurol Res* 2016; 38(3): 205–209, <https://doi.org/10.1179/1743132815y.0000000097>.
39. Das J.M., Kesavapisharady K., Sadasivam S., Nair S.N. Microsurgical treatment of sporadic and von Hippel–Lindau disease associated spinal hemangioblastomas: a single-institution experience. *Asian Spine J* 2017; 11(4): 548–555, <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.4.548>.
40. Siller S., Szelényi A., Herlitz L., Tonn J.C., Zausinger S. Spinal cord hemangioblastomas: significance of intraoperative neurophysiological monitoring for resection and long-term outcome. *J Neurosurg Spine* 2019; 26(4): 483–493, <https://doi.org/10.3171/2016.8.spine16595>.
41. Chang H., Li J., Wang P., Lu X., Li B. Microsurgical treatment of cervical spinal hemangioblastoma. *Neurochirurgie* 2020; 66(1): 56–60, <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2019.11.005>.
42. Wang H., Zhang L., Wang H., Nan Y., Ma Q. Spinal hemangioblastoma: surgical procedures, outcomes and review of the literature. *Acta Neurol Belg* 2021; 121(4): 973–981, <https://doi.org/10.1007/s13760-020-01420-4>.
43. Parker F., Aghakhani N., Ducati L.G., Yacubian-Fernandes A., Silva M.V., David P., Richard S., Tadie M. Results of microsurgical treatment of medulla oblongata and spinal cord hemangioblastomas: a comparison of two distinct clinical patient groups. *J Neurooncol* 2009; 93(1): 133–137, <https://doi.org/10.1007/s11060-009-9861-0>.
44. Takai K., Taniguchi M., Takahashi H., Usui M., Saito N. Comparative analysis of spinal hemangioblastomas in sporadic disease and von Hippel–Lindau syndrome. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2010; 50(7): 560–567, <https://doi.org/10.2176/nmc.50.560>.
45. Park C.H., Lee C.H., Hyun S.J., Jahng T.A., Kim H.J., Kim K.J. Surgical outcome of spinal cord hemangioblastomas. *J Korean Neurosurg Soc* 2012; 52(3): 221–227, <https://doi.org/10.3340/jkns.2012.52.3.221>.
46. Sadashivam S., Abraham M., Kesavapisharady K., Nair S.N. Long-term outcome and prognostic factors of intramedullary spinal hemangioblastomas. *Neurosurg Rev* 2020; 43(1): 169–175, <https://doi.org/10.1007/s10143-018-1025-2>.
47. Cristante L., Herrmann H.D. Surgical management of intramedullary hemangioblastoma of the spinal cord. *Acta Neurochir (Wien)* 1999; 141(4): 333–340, <https://doi.org/10.1007/s007010050308>.
48. Lonser R.R., Weil R.J., Wanebo J.E., DeVroom H.L., Oldfield E.H. Surgical management of spinal cord hemangioblastomas in patients with von Hippel–Lindau disease. *J Neurosurg* 2003; 98(1): 106–116, <https://doi.org/10.3171/jns.2003.98.1.0106>.
49. Lee D.K., Choe W.J., Chung C.K., Kim H.J. Spinal cord hemangioblastoma: surgical strategy and clinical outcome. *J Neurooncol* 2003; 61(1): 27–34, <https://doi.org/10.1023/a:1021297622944>.
50. Boström A., Hans F.J., Reinacher P.C., Krings T., Bürgel U., Gilsbach J.M., Reinges M.H.T. Intramedullary hemangioblastomas: timing of surgery, microsurgical technique and follow-up in 23 patients. *Eur Spine J* 2008; 17(6): 882–886, <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0658-1>.
51. Shin D.A., Kim S.H., Kim K.N., Shin H.C., Yoon D.H. Surgical management of spinal cord haemangioblastoma. *Acta Neurochir (Wien)* 2008; 150(3): 215–220, <https://doi.org/10.1007/s00701-008-1396-6>.
52. Mandigo C.E., Ogden A.T., Angevine P.D., McCormick P.C. Operative management of spinal hemangioblastoma. *Neurosurgery* 2009; 65(6): 1166–1177, <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000359306.74674.c4>.
53. Clark A.J., Lu D.C., Richardson R.M., Tihan T., Parsa A.T., Chou D., Barbaro N.M., Kunwar S., Weinstein P.R., Lawton M.T., Berger M.S., McDermott M.W. Surgical technique of temporary arterial occlusion in the operative management of spinal hemangioblastomas. *World Neurosurg* 2010; 74(1): 200–205, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2010.03.016>.
54. Ghobrial G.M., Lioumakos J., Starke R.M., Levi A.D. Surgical treatment of vascular intramedullary spinal cord lesions. *Cureus* 2018; 10(8): e3154, <https://doi.org/10.7759/cureus.3154>.
55. Krüger M.T., Steiert C., Gläsker S., Klingler J.H. Minimally invasive resection of spinal hemangioblastoma: feasibility and clinical results in a series of 18 patients. *J Neurosurg Spine* 2019; 31(6): 880–889, <https://doi.org/10.3171/2019.5.spine1975>.
56. Ozkan E., Gupta S. Embolization of spinal tumors: vascular anatomy, indications, and technique. *Tech Vasc Interv Radiol* 2011; 14(3): 129–140, <https://doi.org/10.1053/j.tvir.2011.02.005>.
57. Berenstein A., Lasjaunias P., Brugge K.G. Tumors of the spinal column and spinal cord. In: *Surgical neuroangiography: clinical and endovascular treatment aspects in adults*. Vol. 2. Springer, Berlin, Heidelberg; 2004; p. 874–877.
58. Griessenauer C.J., Salem M., Hendrix P., Foreman P.M., Ogilvy C.S., Thomas A.J. Preoperative embolization of spinal tumors: a systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg* 2016; 87: 362–371, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.11.064>.
59. Derdeyn C.P., Moran C.J., Cross D.T., Dietrich H.H., Dacey R.G. Jr. Polyvinyl alcohol particle size and suspension characteristics. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995; 16(6): 1335–1343.
60. Bhatia K.D., Wang L., Parkinson R.J., Wenderoth J.D. Successful treatment of six cases of indirect carotid-cavernous fistula with ethylene vinyl alcohol copolymer (Onyx) transvenous embolization. *J Neuroophthalmol* 2009; 29(1): 3–8, <https://doi.org/10.1097/wno.0b013e318199c85c>.
61. Mindea S.A., Eddleman C.S., Hage Z.A., Batjer H.H.,

- Ondra S.L., Bendok B.R. Endovascular embolization of a recurrent cervical giant cell neoplasm using N-butyl 2-cyanoacrylate. *J Clin Neurosci* 2009; 16(3): 452–454, <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2008.03.017>.
62. Hu Y.C., Newman C.B., Dashti S.R., Albuquerque F.C., McDougall C.G. Cranial dural arteriovenous fistula: transarterial Onyx embolization experience and technical nuances. *J Neurointerv Surg* 2011; 3(1): 5–13, <https://doi.org/10.1136/jnis.2010.003707>.
63. Ampie L., Choy W., Khanna R., Smith Z.A., Dahdaleh N.S., Parsa A.T., Bloch O. Role of preoperative embolization for intradural spinal hemangioblastomas. *J Clin Neurosci* 2016; 24: 83–87, <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2015.09.006>.
64. Wilson M.A., Cooke D.L., Ghodke B., Mirza S.K. Retrospective analysis of preoperative embolization of spinal tumors. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010; 31(4): 656–660, <https://doi.org/10.3174/ajnr.a1899>.
65. Saliou G., Giammattei L., Ozanne A., Messerer M. Role of preoperative embolization of intramedullary hemangioblastoma. *Neurochirurgie* 2017; 63(5): 372–375, <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2016.01.004>.
66. Yang Y.M., Wang D.M., Jiang H.Z., Sha C., Yuan Q.G., Liu J.C. Treatment of spinal cord hemangioblastoma by microoperations combined with embolization. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 2008; 88(19): 1309–1312.
67. Biondi A., Ricciardi G.K., Faillot T., Capelle L., Van Effenterre R., Chiras J. Hemangioblastomas of the lower spinal region: report of four cases with preoperative embolization and review of the literature. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005; 26(4): 936–945.
68. Cornelius J.F., Saint-Maurice J.P., Bresson D., George B., Houdart E. Hemorrhage after particle embolization of hemangioblastomas: comparison of outcomes in spinal and cerebellar lesions. *J Neurosurg* 2007; 106(6): 994–998, <https://doi.org/10.3171/jns.2007.106.6.994>.
69. Vázquez-Añón V., Botella C., Beltrán A., Solera M., Piquer J. Preoperative embolization of solid cervicomedullary junction hemangioblastomas: report of two cases. *Neuroradiology* 1997; 39(2): 86–89, <https://doi.org/10.1007/s002340050372>.
70. Standard S.C., Ahuja A., Livingston K., Guterman L.R., Hopkins L.N. Endovascular embolization and surgical excision for the treatment of cerebellar and brain stem hemangioblastomas. *Surg Neurol* 1994; 41(5): 405–410, [https://doi.org/10.1016/0090-3019\(94\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0090-3019(94)90035-3).
71. Awad A.W., Almefty K.K., Ducruet A.F., Turner J.D., Theodore N., McDougall C.G., Albuquerque F.C. The efficacy and risks of preoperative embolization of spinal tumors. *J Neurointerv Surg* 2016; 8(8): 859–864, <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2015-011833>.
72. Hong C.G., Cho J.H., Suh D.C., Hwang C.J., Lee D.H., Lee C.S. Preoperative embolization in patients with metastatic spinal cord compression: mandatory or optional? *World J Surg Oncol* 2017; 15(1): 45, <https://doi.org/10.1186/s12957-017-1118-3>.
73. Chen L., Li D.H., Lu Y.H., Hao B., Cao Y.Q. Preoperative embolization versus direct surgery of meningiomas: a meta-analysis. *World Neurosurg* 2019; 128: 62–68, <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.02.223>.
74. Tang B., Ji T., Tang X., Jin L., Dong S., Guo W. Risk factors for major complications in surgery for hypervascular spinal tumors: an analysis of 120 cases with adjuvant preoperative embolization. *Eur Spine J* 2015; 24(10): 2201–2218, <https://doi.org/10.1007/s00586-015-4122-8>.
75. Tobin M.K., Geraghty J.R., Engelhard H.H., Linninger A.A., Mehta A.I. Intramedullary spinal cord tumors: a review of current and future treatment strategies. *Neurosurg Focus* 2015; 39(2): E14, <https://doi.org/10.3171/2015.5.focus15158>.
76. Molina C.A., Pennington Z., Ahmed A.K., Westbroek E., Goodwin M.L., Tamargo R., Sciubba D.M. Use of intraoperative indocyanine green angiography for feeder vessel ligation and en bloc resection of intramedullary hemangioblastoma. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2019; 17(6): 573–579, <https://doi.org/10.1093/ons/onz053>.
77. Ferroli P., Acerbi F., Albanese E., Tringali G., Broggi M., Franzini A., Broggi G. Application of intraoperative indocyanine green angiography for CNS tumors: results on the first 100 cases. *Acta Neurochir Suppl* 2011; 109: 251–217, [https://doi.org/10.1007/978-3-211-99651-5\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-211-99651-5_40).
78. Acerbi F., Vetrano I.G., Sattin T., de Laurentis C., Bosio L., Rossini Z., Broggi M., Schiariti M., Ferroli P. The role of indocyanine green videoangiography with FLOW 800 analysis for the surgical management of central nervous system tumors: an update. *Neurosurg Focus* 2018; 44(6): E6, <https://doi.org/10.3171/2018.3.focus1862>.
79. Zelken J.A., Tufaro A.P. Current trends and emerging future of indocyanine green usage in surgery and oncology: an update. *Ann Surg Oncol* 2015; 22 Suppl 3: S1271–S1283, <https://doi.org/10.1245/s10434-015-4743-5>.
80. Hwang S.W., Malek A.M., Schapiro R., Wu J.K. Intraoperative use of indocyanine green fluorescence videography for resection of a spinal cord hemangioblastoma. *Neurosurgery* 2010; 67(3 Suppl Operative): ons300–ons303, <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000383876.72704.7b>.
81. Schubert G.A., Schmieder K., Seiz-Rosenhagen M., Thomé C. ICG videography facilitates interpretation of vascular supply and anatomical landmarks in intramedullary spinal lesions: two case reports. *Spine (Phila Pa 1976)* 2011; 36(12): E811–E813, <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3181fd6557>.
82. Ueba T., Abe H., Matsumoto J., Higashi T., Inoue T. Efficacy of indocyanine green videography and real-time evaluation by FLOW 800 in the resection of a spinal cord hemangioblastoma in a child: case report. *J Neurosurg Pediatr* 2012; 9(4): 428–431, <https://doi.org/10.3171/2011.12.peds11286>.
83. Hao S., Li D., Ma G., Yang J., Wang G. Application of intraoperative indocyanine green videoangiography for resection of spinal cord hemangioblastoma: advantages and limitations. *J Clin Neurosci* 2013; 20(9): 1269–1275, <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2012.12.008>.
84. Takami T., Yamagata T., Naito K., Arima H., Ohata K. Intraoperative assessment of spinal vascular flow in the surgery of spinal intramedullary tumors using indocyanine green videoangiography. *Surg Neurol Int* 2013; 4: 135, <https://doi.org/10.4103/2152-7806.119352>.
85. Takami T., Naito K., Yamagata T., Shimokawa N., Ohata K. Benefits and limitations of indocyanine green fluorescent image-guided surgery for spinal intramedullary tumors. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2017; 13(6): 746–754, <https://doi.org/10.1093/ons/onz057>.