



Алгоритм эндоваскулярного лечения пациентов со спинальными артериовенозными мальформациями

©А.М. Перфильев^{1,2*}, Д.А. Рзаев^{1,2,3}

¹ Федеральный центр нейрохирургии, Новосибирск, Россия

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

* А.М. Перфильев, Федеральный центр нейрохирургии, 630087, Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 132/1, Ar.Perfilev@gmail.com

Поступила в редакцию 14 июня 2023 г. Исправлена 7 июля 2023 г. Принята к печати 24 июля 2023 г.

Резюме

Цель исследования: Сравнить результаты эндоваскулярного лечения пациентов со спинальными артериовенозными мальформациями (СпАВМ) на основании предложенного алгоритма.

Материалы и методы: Ретроспективно проанализированы результаты эндоваскулярного лечения 72 пациентов со спинальными артериовенозными мальформациями разных типов за период с 2014–2021 гг. Согласно разработанным показаниям для проведения нейрофизиологического мониторинга и провокационных тестов (НФМ и ПТ), сформированы две основные группы пациентов: группа 1 (n = 63) – лечение проводилось согласно разработанному алгоритму; группа 2 (n = 9) – лечение проводилось до внедрения алгоритма. Группа 1 разделена на подгруппу 1.1 (n = 42) – пациенты, у которых не было показаний для проведения НФМ и ПТ, и подгруппу 1.2 (n = 21) – пациенты, которым показано проведение НФМ и ПТ. Подгруппу 1.2 разделили на подгруппу 1.2А (n = 2) – пациенты, которым показан НФМ и ПТ, но будет неинформативен в виду грубого неврологического дефицита и подгруппу 1.2Б (n = 19) – пациенты, которым был показан и успешно проведен НФМ и ПТ. С целью анализа эффективности предложенного алгоритма, который включал оценку радикальности лечения, функционального статуса, наличие осложнений, выполнено сравнение пациентов между группами 1 и 2, 1.2Б и 2.

Результаты: Радикальность лечения СпАВМ в группе 1 составила 79% по сравнению с группой 2 – 44% ($p = 0,043$). Отмечено значимое улучшение двигательной функции в группе 1 по сравнению с группой 2 в каждый период наблюдения ($p \leq 0,007$). Сравнение групп 1.2Б и 2 не показало значимых различий ($p = 0,05$). В результате лечения отмечены осложнения у 5 (7% от общего количества пациентов со СпАВМ) пациентов: в группе 2 – 4 пациента, в подгруппе 1.2Б – 1 пациент. Результативность разработанных критериев косвенно подтверждена сопоставлением числа осложнений в группах 1.2Б и 2 ($p = 0,001$).

Заключение: Пациенты из группы 1 показали наилучшие результаты лечения, было отмечено значимое клиническое улучшение, высокая радикальность и низкий процент осложнений по сравнению с группой 2. Таким образом, предложенный алгоритм является эффективным инструментом для реализации основных задач эндоваскулярного лечения СпАВМ.

Ключевые слова: спинальные артериовенозные мальформации, эндоваскулярное лечение, нейрофизиологический мониторинг и провокационные тесты, алгоритм лечения спинальных артериовенозных мальформаций

Цитировать: Перфильев А.М., Рзаев Д.А. Алгоритм эндоваскулярного лечения пациентов со спинальными артериовенозными мальформациями. *Инновационная медицина Кубани*. 2023;(3):5–12. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-5-12>

Algorithm for Endovascular Treatment of Patients With Spinal Arteriovenous Malformations

©Artem M. Perfilyev^{1,2*}, Jamil A. Rzaev^{1,2,3}

¹ Federal Neurosurgical Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

* Artem M. Perfilyev, Federal Neurosurgical Center, ulitsa Nemirovicha-Danchenko 132/1, Novosibirsk, 630087, Russian Federation, Ar.Perfilev@gmail.com

Received: June 14, 2023. Received in revised form: July 7, 2023. Accepted: July 24, 2023.

Abstract

Objective: To compare the endovascular treatment results in patients with spinal arteriovenous malformations (AVM) based on the proposed algorithm.

Materials and methods: We retrospectively analyzed the endovascular treatment results in 72 patients with various types of spinal AVMs for 2014–2021. We formed 2 main groups of patients based on the developed indications for neurophysiological monitoring and provocative tests (NFM and PT): group 1 (n=63) was treated according to the algorithm, and group 2 (n=9) was treated before the algorithm was implemented. Group 1 was divided into subgroup 1.1 (n=42) including patients with no indications for NFM and PT and subgroup 1.2 (n=21) with patients indicated for NFM and PT. Subgroup 1.2 was further divided into subsubgroup 1.2A (n=2) with



patients indicated for NFM and PT yet to be informative due to severe neurological deficit and subsubgroup 1.2B (n=19) with patients that had indications for and successfully underwent NFM and PT. We compared patients between groups 1 and 2, subsubgroup 1.2B and group 2 to evaluate the effectiveness of the algorithm (radical nature of the treatment, functional status assessment, complications).

Results: Radical nature of spinal AVM treatment in group 1 was 79% compared with 44% in group 2 ($P=.043$). There was a significant improvement in motor function in group 1 compared with group 2 in each follow-up period ($P\leq .007$). Comparison of subsubgroup 1.2B and group 2 showed no significant differences ($P=.05$). The treatment led to complications in 5 patients (7% of the total number of patients with spinal AVMs): 4 patients in group 2 and 1 patient in subsubgroup 1.2B. The effectiveness of the developed criteria was indirectly confirmed by difference in complications number between subsubgroup 1.2B and group 2 ($P=.001$).

Conclusions: Group 1 showed better treatment results, significant clinical improvement, high radical nature of treatment, and a low percentage of complications compared with group 2. The proposed algorithm proved effective for main tasks of endovascular treatment of spinal AVMs.

Keywords: spinal arteriovenous malformations, endovascular treatment, neurophysiological monitoring and provocative tests, algorithm for spinal arteriovenous malformations treatment

Cite this article as: Perfiliev AM, Rzaev JA. Algorithm for endovascular treatment of patients with spinal arteriovenous malformations. *Innovative Medicine of Kuban*. 2023;(3):5–12. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-5-12>

Введение

Спинальные артериовенозные мальформации (СпАВМ) представляют собой редкую гетерогенную группу аномалий сосудистой системы спинного мозга. По данным разных авторов, встречаемость заболевания всех анатомических вариантов составляет от 1 до 3 случаев на 1 млн населения в год, а значимое ухудшение клинической картины отмечается у 72% пациентов в четырехлетний период с момента первых симптомов заболевания [1–3].

Эндоваскулярная эмболизация в настоящее время может рассматриваться как основной метод лечения СпАВМ [4]. С учетом малоинвазивности метода и непрерывности процесса развития эндоваскулярных инструментов, проводимое лечение больных со СпАВМ становится все более радикальным и безопасным. Усугубление неврологического дефицита пациентов со сложными анатомическими вариантами СпАВМ, связанное с эндоваскулярным лечением диспластических образований сосудистого генеза, достигает 18% [5]. Безопасность проводимого лечения может быть обеспечена дополнительными методами контроля над функцией кортикоспинального тракта. Одним из таких методов является интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (НФМ) [6]. На сегодняшний день в научной литературе нет систематизированных данных, указывающих на определение показаний к проведению мониторинга у пациентов со спинальными АВМ. Различные анатомические варианты СпАВМ и особенности их ангиоархитектоники определили необходимость разработки критериев включения для проведения нейрофизиологического мониторинга. Появляются работы, указывающие на важность проведения нейрофизиологического мониторинга и провокационных тестов (ПТ) при эмболизации СпАВМ [7–12]. Однако тактика хирурга с учетом интерпретации результатов НФМ и ПТ при эмболизации СпАВМ описана в единичных публикациях [7, 11, 12]. Эффективность лечения, основанная на клинических исходах в раннем и отдаленном послеоперационном периодах, радикальность

с учетом проведения НФМ и ПТ в настоящее время не достаточно изучены. В нашей работе представляем тактику эндоваскулярного лечения СпАВМ, основанную на разработанном алгоритме.

Цель исследования

Сравнить результаты эндоваскулярного лечения пациентов со спинальными артериовенозными мальформациями на основании предложенного алгоритма.

Материалы и методы

За период с 2014 по 2021 г. ретроспективно были проанализированы результаты эндоваскулярного лечения 72 человек (46 мужчин и 26 женщин) со СпАВМ на базе отделения сосудистой нейрохирургии ФГБУ Федерального центра нейрохирургии г. Новосибирска. Возраст пациентов – от 13 до 80 лет, среднее значение – 47,6 года. Перед эндоваскулярным лечением для определения типа СпАВМ всем пациентам проведена селективная спинальная ангиография. Согласно классификации К. Такаи и соавт. (2017), все пациенты были разделены на 5 типов [13].

Радикальность лечения пациентов была оценена путем проведения контрольной селективной спинальной ангиографии сразу после операции и через 3 мес. По радикальности эндоваскулярного лечения спинальные мальформации были разделены на 3 группы: с парциальной эмболизацией, где выключение АВМ составило менее 90%; субтотальной эмболизацией – более 90% и тотальной эмболизацией, где окклюзия мальформации составила 100%.

Оценка функционального статуса (оценка двигательной и мочеиспускательной функций) был выполнена до операции, на момент выписки, через 3 и более мес. после оперативного лечения с использованием шкалы Aminoff and Logue (ALS) [14].

Для анализа функции кортикоспинального тракта мы использовали общепринятый протокол проведения нейрофизиологического мониторинга [8, 15]. Согласно стандартным протоколам, перед эмболизацией проводили оценку функциональной значимости

Таблица 1
Разработанные критерии включения для проведения НФМ и ПТ у пациентов со СпАВМ
Table 1
Developed inclusion criteria for performing NFM and PT in patients with spinal AVMs

Типы СпАВМ	Критерии включения
I, V	В регионе артериовенозной фистулы: на том же уровне, на уровень выше или ниже, или с противоположной стороны верифицирована радикуломедуллярная артерия
II, III	Невозможно детально идентифицировать ангиоархитектонику СпАВМ (точки перехода артерий узла мальформации в дренирующие вены не визуализируются, отсутствует визуализация спинальных артерий дистальнее узла АВМ) или ангиоархитектоника СпАВМ идентифицирована, но интранидальная микрокатетеризация крайне затруднена в связи с деформацией афферентных артерий
IV	Артериовенозная фистула имеет высокий поток* и дистальная часть ПспА и/или ЗспА не прослеживается

Прим.: * – высокий поток характеризовался аномально расширенным афферентом (диаметр которого более чем в два раза больше артерий, кровоснабжающих сопоставимые области спинного мозга, не участвующих в кровоснабжении АВМ), напрямую связанным с варикозно деформированной дренирующей веной

Note: * – The high flow is characterized by an abnormally dilated afferent (more than twice the diameter of the arteries that supply comparable areas of the spinal cord and are not involved in the blood supply to the AVM) directly associated with a varicose deformed draining vein

афферентов СпАВМ при помощи провокационных тестов путем последовательного введения 5 мг пропофола и 20 мг лидокаина [8, 9, 16]. На основании ранее опубликованных данных в научной литературе, провокационный тест считали положительным, если после введения пропофола и/или лидокаина амплитуда моторных вызванных потенциалов снижалась на 50% и более от исходных значений [10, 12, 17]. Если ПТ был положительным, то меняли позицию микрокатетера на более дистальную или катетеризировали другой афферент мальформации (при наличии условий), и уже из этого афферента проводили провокационные тесты. Если тест был отрицательным, то выполняли эмболизацию мальформации. Данная тактика вошла в структуру разработанного алгоритма лечения СпАВМ.

По данным селективной спинальной ангиографии, выполненной на дооперационном этапе, на основании ангиоархитектурных особенностей СпАВМ разных типов, нами выделены критерии включения (показания) для проведения НФМ и ПТ (табл. 1). Критерии включения определены с целью предотвращения возможной окклюзии функционально значимых артерий спинного мозга при эмболизации СпАВМ.

Формирование групп

Для оценки эффективности предложенных критериев включения для проведения НФМ и ПТ, а также предложенной хирургической тактики с учетом интерпретации результатов мониторинга, пациенты ретроспективно были разделены на следующий группы (рис. 1):

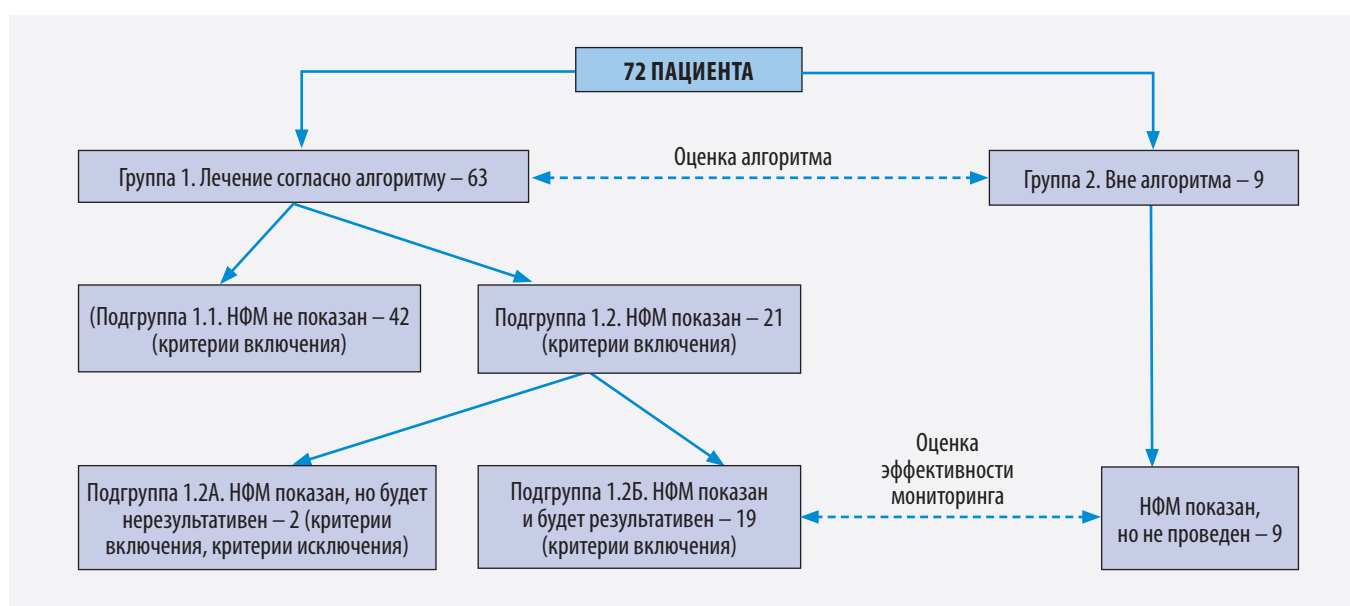


Рисунок 1. Схема сформированных групп пациентов для оценки эффективности предложенного лечения согласно алгоритму

Figure 1. Scheme of formed patient groups to evaluate the effectiveness of the algorithm-based treatment

Таблица 2
Характеристики пациентов сформированных групп
Table 2
Characteristics of patients in the formed groups

Показатель	Группа 1 (n = 63)	Подгруппа 1.1 (n = 42)	Подгруппа 1.2А (n = 2)	Подгруппа 1.2Б (n = 19)	Группа 2 (n = 9)
Возраст**	49,3/55 [39,5; 60]	51,3/55 [43; 63]	14, 57*	46,5/52 [34; 58]	35,2/36 [22; 43]
Пол, мужчины	39 (62%)	31 (74%)	–	8 (42%)	7 (79%)
Распределение по типам СпАВМ					
I тип	31 (49%)	22 (52%)	1 (50%)	8 (42%)	2 (22%)
II тип	13 (21%)	5 (12%)	1 (50%)	7 (37%)	4 (45%)
III тип	3 (4%)	1 (2%)	–	2 (11%)	–
IV тип	8 (13%)	7 (17%)	–	1 (5%)	3 (33%)
V тип	8 (13%)	7 (17%)	–	1 (5%)	–

Прим.: * – приведены точные значения из-за малого числа пациентов в подгруппе

Прим.: ** – формат представления данных: среднее/медиана [интерквартильный размах]

Note: * – exact values are given due to the small number of patients in the subsubgroup

Note: ** – data presentation format: mean/median [interquartile range]

В группе 1 диагностика и лечение пациентов осуществлялись в рамках разработанных нами критериев включения для проведения НФМ и ПТ. Это основная группа, в которой лечение проводилось согласно алгоритму. В данную группу вошли 63 пациента.

Группа 1 была разделена на две подгруппы: 1.1 – 42 пациента, которым не показан НФМ и ПТ, и 1.2 – 21 пациент, которому показано проведение НФМ и ПТ. С учетом неврологического статуса больных подгруппа 1.2 разделена еще на две подгруппы: 1.2А и 1.2Б. Подгруппу 1.2А составили 2 пациента, которым НФМ был показан, но не проведен в связи с грубым неврологическим дефицитом в виде нижней параплегии, а также отсутствием ответов с мышечно-мишенной по данным НФМ до проведения операции. Подгруппа 1.2Б сформирована из 19 пациентов, которым были показаны и успешно проведены НФМ и ПТ.

Группа 2 сформирована из 9 больных, которым было показано применение НФМ и ПТ, но мониторинг не проводился. Это те пациенты, которые были прооперированы до момента внедрения НФМ и ПТ в практику эндоваскулярного лечения СпАВМ в клинике ФЦН г. Новосибирска. Группа была сформирована ретроспективно и стала контрольной.

С целью анализа эффективности предложенного алгоритма, которая включала оценку радикальности лечения, функционального статуса, наличие осложнений, выполнено сравнение пациентов между группами 1 и 2. Для оценки эффективности НФМ и ПТ проводили сравнение результатов лечения между подгруппой 1.2Б и группой 2. Пациенты обеих групп имели схожие варианты ангиоархитектоники СпАВМ и особенности клинического течения заболевания.

Основные характеристики пациентов исследуемых групп приведены в таблице 2.

Статистический анализ

Статистическую обработку данных производили с помощью программного обеспечения R [18] и Excel (Microsoft Office 2016). При сопоставлении двух независимых выборок по количественным признакам использовали двухсторонний критерий Манна-Уитни. Сравнение групп по качественному признаку выполняли с помощью точного критерия Фишера или его асимптотической реализации (в случае размерности таблиц частот более чем 2 на 2). Оценка результатов лечения проводилась с применением двухстороннего критерия Уилкоксона. В качестве показателя достоверности было использовано значение $p < 0,05$.

Результаты

Сопоставление радикальности проведенного эндоваскулярного лечения СпАВМ между группой 1 (лечение согласно алгоритму) и группой 2 (лечение, где алгоритм не применялся) показано в таблице 3. Также приведены данные по подгруппе 1.2Б (подгруппа, где НФМ и ПТ были показаны и проведены), т. к. она наиболее сопоставима по входным данным с группой 2.

Таблица 3
Сопоставление радикальности эмболизации СпАВМ по группам пациентов
Table 3
Comparison of the radical nature of spinal AVMs embolization by patient groups

Радикальность	Парциальная	Суб- тотальная	Тотальная
Группа 1	6 (10%)	7 (11%)	50 (79%)
Подгруппа 1.2Б	3 (16%)	4 (21%)	12 (63%)
Группа 2	1 (12%)	4 (44%)	4 (44%)

В группе 1 зарегистрирован самый высокий процент радикальности. Тотальная эмболизация достигнута в 79% случаев по сравнению с группой 2, где тотальная эмболизация выполнена в 44% ($p = 0,043$).

При сравнении радикальности между группами 2 и 1.2Б статистически значимых различий не выявлено ($p = 0,524$), но в процентном соотношении в подгруппе 1.2Б радикальность была выше, чем в группе 2 (63 и 44% соответственно).

В таблице 4 приведено сопоставление групп 1 и 1.2Б с группой 2 по динамике изменений функционального статуса ALS (двигательная и мочевогоделительная функция).

При сравнении функционального статуса пациентов наблюдалось отличие между группами 1 и 2 по ALS (двигательная функция) в каждый период наблюдения с уровнем статистической значимости $p \leq 0,007$, главным образом за счет фиксации большего процента ухудшений функционального статуса в группе 2. Сравнение групп 1.2Б (подгруппа с рекомендованным НФМ

и ПТ) и 2 (группа вне алгоритма) не показало различий с уровнем статистической значимости $p = 0,05$.

При сопоставлении ALS (мочевогоделительная функция) группа 2 отличается от групп 1 и 1.2Б также главным образом из-за наличия пациентов с ухудшением состояния. Однако малая вариабельность шкалы и небольшое число пациентов не позволили получить статистически значимых результатов. Как и в случае с ALS (двигательная функция) при сравнении группы 1 и группы 2 в процентном соотношении первая показывает более высокий процент улучшения после операции.

Все осложнения эндоваскулярного лечения СпАВМ были связаны с послеоперационной ишемией спинного мозга. Интраоперационных геморрагических осложнений и летальных исходов не зарегистрировано. В таблице 5 приведены данные пациентов с послеоперационными осложнениями.

В таблице 5 указаны характеристики всех 5 (7% от общего количества пациентов со СпАВМ) пациентов с осложнениями в результате лечения. Все

Таблица 4
Сравнение функционального статуса ALS между группами в послеоперационный период
Table 4

Comparison of the ALS functional status between the groups in the postoperative period

Период	Улучшение, %	Без динамики, %	Ухудшение, %	p
Сравнение групп 1 – 2 ALS (двигательная функция)				
Выписка	22–11	76–56	2–33	0,007
3 мес.	54–44	46–22	0–33	0,002
Кадамнез*	57–40	40–0	3–60	0,003
Сравнение групп 1.2Б – 2 ALS (двигательная функция)				
Выписка	32–11	63–56	5–33	0,154
3 мес.	67–44	33–22	0–33	0,057
Кадамнез*	45–40	45–0	10–60	0,063
Сравнение групп 1 – 2 ALS (мочевогоделительная функция)				
Выписка	16–0	84–89	0–11	0,090
3 мес.	48–44	52–33	0–22	0,015
Кадамнез*	43–40	57–60	0–0	1,000
Сравнение групп 1.2Б – 2 ALS (мочевогоделительная функция)				
Выписка	16–0	84–89	0–11	0,191
3 мес.	44–44	56–33	0–22	0,125
Кадамнез*	36–40	64–60	0–0	1,000

Прим.: * Кадамнез: 1-я группа – 17/15,9 [8,4; 18,9] (от 5,26 до 41,9 мес.); 1.2Б – 20,6/17 [15,3; 23,9] (от 6,38 до 41,9 мес.); 2 группа – 17,8/11,6 [10,6; 12,1] (от 10 до 44,4 мес.)

Note: * Catamnesis: group 1 – 17/15.9 [8.4; 18.9] (5.26–41.9 months); subsubgroup 1.2B – 20.6/17 [15.3; 23.9] (6.38–41.9 months); group 2 – 17.8/11.6 [10.6; 12.1] (10–44.4 months)

Таблица 5
Данные пациентов с осложненным течением после операции
Table 5

Characteristics of patients with postoperative complications

№	Группа	Пол	Возраст	Уровень	Тип СпАВМ	Эмболизирующее вещество	Радикальность
1	2	ж	40	ГОП	IV	Адгезивная композиция	Тотальная
2	2	м	43	ШОП	II	Неадгезивная композиция	Субтотальная
3	2	м	31	ГОП	IV	Адгезивная композиция	Субтотальная
4	2	ж	22	ШОП	II	Адгезивная композиция	Субтотальная
5	1.2Б	м	30	ШОП	II	Адгезивная композиция	Субтотальная

пациенты были молодого возраста. У больного № 5 из подгруппы 1.2Б со СпАВМ II типа после операции было незначительное ухудшение в виде снижение ALS 0 до ALS 1. Пациенту проводился интраоперационный НФМ и ПТ, где перед эмболизацией СпАВМ из афферента снижение МВП и ССВП было менее 50%. В его случае нами не обнаружено нецелевого распределения эмболизующего вещества в функционально значимые артерии спинного мозга,

и по данным МРТ нарастания миелопатии также не выявлено.

Эмболизующее вещество и радикальность не явились предикторами осложнений у этих пациентов.

Выделенные нами критерии включения пациентов для проведения НФМ и ПТ, определение хирургической тактики при эмболизации СпАВМ с учетом интерпретации результатов НФМ и ПТ позволили разработать алгоритм эндоваскулярного лечения СпАВМ (рис. 2).

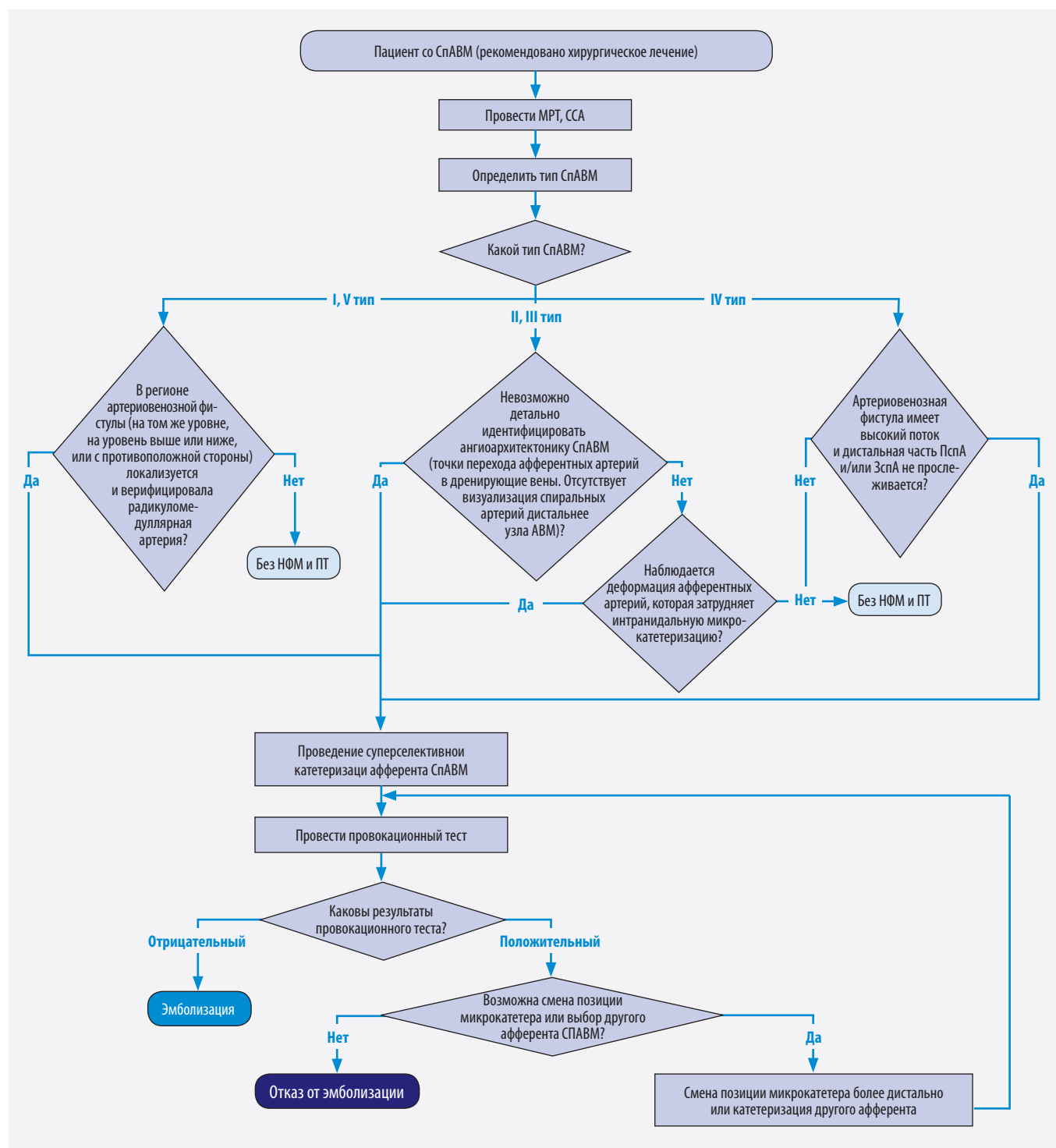


Рисунок 2. Алгоритм эндоваскулярного лечения спинальных артериовенозных мальформаций
Figure 2. Algorithm for endovascular treatment of spinal arteriovenous malformations

Обсуждение результатов

Высокая радикальность в группе пациентов, которые были оперированы согласно разработанному алгоритму (группа 1) объяснима правильной оценкой вероятности развития послеоперационных осложнений, соответственно, более управляемой эмболизацией. Сравнение между группой 1.2Б (применялся НФМ и ПТ) и группой 2 (НФМ и ПТ не применялись) показало отсутствие статистически достоверного влияния на радикальность применения НФМ и ПТ в лечении СпАВМ. Однако в процентном соотношении радикальность в группе 1.2Б оказалось выше, чем в группе 2. Такой же статистический эффект получен и при сравнении функционального статуса (двигательная функция) между группами 1.2Б и 2. Основной причиной отсутствия статистически достоверных различий в данном случае мы считаем малое количество пациентов в группах.

При анализе осложнений в разрезе четырех выделенных подгрупп пациентов (рис. 1) с учетом проведения нейрофизиологического мониторинга и провокационных тестов отмечено развитие 4-х осложнений в группе 2 и одного осложнения в подгруппе 1.2Б. Высокий процент осложнений в группе 2 – 4 пациента из 9 (44%) стал поводом для разработки показаний и внедрения НФМ и ПТ для эндоваскулярного лечения СпАВМ. Результативность разработанных критериев включения (показаний) косвенно подтверждена сопоставлением числа осложнений в группах 1.2Б и 2 ($p = 0,001$). Отсутствие осложнений в подгруппе 1.1 связано с анатомически понятной ангиоархитектоникой СпАВМ. Понимание сосудистой анатомии СпАВМ позволяет обеспечить лучший контроль над безопасным распространением эмболизирующих веществ по сосудам мальформации в соответствии с целью эмболизации. В подгруппе 1.2А также не отмечено осложнений, что связано с наличием грубого неврологического дефицита у пациентов на момент поступления в стационар. Грубый неврологический дефицит был представлен нижней параплегией, отсутствием чувствительности, а также наличием миелопатии на МРТ-исследовании. Все вышеперечисленные факторы, несмотря на показания, не позволяют выполнить пациентам эндоваскулярную эмболизацию СпАВМ с применением НФМ и ПТ ввиду отсутствия регистрации вызванных потенциалов с конечностей. Поэтому усугубление неврологического дефицита после операции у данной группы пациентов просто невозможно, если эмболизация выполнена в пределах границы СпАВМ.

В подгруппе 1.2Б развилось одно осложнение (2% от общего количества пациентов в группе 1 или 5% от количества пациентов в подгруппе 1.2Б), где неврологический дефицит был легкой степени и носил транзиторный характер. Вероятнее всего, усугубление

неврологического дефицита было связано с тем, что гемодинамика в узле мальформации после эмболизации изменилась, соответственно могла измениться и перфузия спинного мозга в сторону снижения, которая с течением времени компенсировалась, и через 3 мес. наступил полный регресс неврологической симптоматики.

Заключение

Таким образом, исходя из полученных результатов нашего исследования, предложен алгоритм эндоваскулярного лечения спинальных АВМ, который представлен на рисунке 2. Пациенты из группы 1 (алгоритма) показали наилучшие результаты лечения, продемонстрировав значимое клиническое улучшение, высокую радикальность и существенно низкий процент осложнений по сравнению с группой 2 (вне алгоритма). Предложенный алгоритм является эффективным инструментом для реализации основных задач эндоваскулярного лечения СпАВМ.

Литература/References

1. Thron A. Spinal dural arteriovenous fistulas. *Radiologe*. 2001;41(11):955–960. (In German). PMID: 11765536. <https://doi.org/10.1007/s001170170031>
2. Lad SP, Santarelli JG, Patil CG, Steinberg GK, Boakye M. National trends in spinal arteriovenous malformations. *Neurosurg Focus*. 2009;26(1):1–5. PMID: 19228104. <https://doi.org/10.3171/FOC.2009.26.1.E10>
3. Yu JX, Hong T, Krings T, et al. Natural history of spinal cord arteriovenous shunts: an observational study. *Brain*. 2019;142(8):2265–2275. Published correction appears in *Brain*. 2019;142(11):e62. PMID: 31211368. <https://doi.org/10.1093/brain/awz153>
4. Тиссен Т.П. Эндоваскулярное лечение артериовенозных мальформаций спинного мозга. *Нейрохирургия*. 2007;(3):35–42.
Tissen TP. Endovascular treatment of arterial-venous malformations of the spinal cord. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2007;(3):35–42. (In Russ.).
5. Gross BA, Du R. Spinal juvenile (type III) extradural-intradural arteriovenous malformations. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(4):452–458. PMID: 24527826. <https://doi.org/10.3171/2014.1.SPINE13498>
6. Гринь А.А., Синкин М.В., Алейникова И.Б., Кордонский А.Ю. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг при удалении опухоли позвоночника с паравертебральным распространением (случай из практики). *Нейрохирургия*. 2018;20(4):75–89. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2018-20-4-75-79>
7. Grin' AA, Sinkin MV, Aleynikova IB, Kordonskiy AY. Intraoperative neurophysiological monitoring during thoracoscopic removal of the paravertebral spinal tumor (from practice). *Russian Journal of Neurosurgery*. 2018;20(4):75–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2018-20-4-75-79>
8. Niimi Y, Sala F, Deletis V, Setton A, de Camargo AB, Berenstein A. Neurophysiologic monitoring and pharmacologic provocative testing for embolization of spinal cord arteriovenous malformations. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25(7):1131–1138. PMID: 15313696. PMID: PMC7976537.
9. Sala F, Beltramello A, Gerosa M. Neuroprotective role of neurophysiological monitoring during endovascular procedures in the brain and spinal cord. *Neurophysiol Clin*. 2007;37(6):415–421. PMID: 18083497. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2007.10.004>

9. Jahangiri FR, Sheryar M, Al Okaili R. Neurophysiological monitoring of the spinal sensory and motor pathways during embolization of spinal arteriovenous malformations--propofol: a safe alternative. *Neurodiagn J*. 2014;54(2):125–137. PMID: 25080772.

10. Li X, Zhang HQ, Ling F, He C, Ren J. Differences in the electrophysiological monitoring results of spinal cord arteriovenous and intramedullary spinal cord malformations. *World Neurosurg*. 2019;122:e315–e324. PMID: 30339909. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.10.032>

11. Перфильев А.М., Киселев В.С., Чищина Н.В., Рзаев Д.А. Эндоваскулярная эмболизация спинальной интрамедуллярной артериовенозной мальформации на шейном уровне. Клинический случай и обзор литературы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2020;84(3):82–87. <https://doi.org/10.17116/neiro20208403182>

Perfilyev AM, Kiselev VS, Chishchina NV, Rzaev DA. Endovascular embolization of spinal intramedullary arteriovenous malformation at the cervical level: case report and literature review. *Voprosy neurokhirurgii imeni NN Burdenko*. 2020;84(3):82–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/neiro20208403182>

12. Перфильев А.М., Чищина Н.В., Киселев В.С., Рзаев Д.А. Возможности эндоваскулярной эмболизации артериовенозных мальформаций спинного мозга с применением нейрофизиологического мониторинга и провокационных фармакологических тестов. *Нейрохирургия*. 2020;22(2):14–24. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-2-14-24>

Perfilyev AM, Chishchina NV, Kiselev VS, Rzaev JA. Possibilities of endovascular embolization of spinal cord arteriovenous malformations using neurophysiological monitoring and provocative pharmacological tests. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2020;22(2):14–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-2-14-24>

13. Takai K. Spinal arteriovenous shunts: angioarchitecture and historical changes in classification. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2017;57(7):356–365. PMID: 28515372. PMCID: PMC5566708. <https://doi.org/10.2176/nmc.ra.2016-0316>

14. Aminoff MJ, Logue V. The prognosis of patients with spinal vascular malformations. *Brain*. 1974;97(1):211–218. PMID: 4434169. <https://doi.org/10.1093/brain/97.1.211>

15. Deletis V. Intraoperative neurophysiology and methodologies used to monitor the functional integrity of the motor system. In: Deletis V, Shils J. *Neurophysiology in Neurosurgery: A Modern Intraoperative Approach*. Academic Press; 2002:25–51.

16. Feliciano CE, de León-Berra R, Hernández-Gaitán MS, Torres HM, Creagh O, Rodríguez-Mercado R. Provocative test with propofol: experience in patients with cerebral arteriovenous malformations who underwent neuroendovascular procedures. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2010;31(3):470–475. PMID: 19892816. PMCID: PMC7963975. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1855>

17. Li X, Zhang HQ, Ling F, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during the surgery of spinal arteriovenous malformation: sensitivity, specificity, and warning criteria. *Clin Neurol Neurosurg*. 2018;165:29–37. PMID: 29289918. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2017.12.016>

18. The R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing; 2022.

Сведения об авторах

Перфильев Артем Михайлович, врач-нейрохирург, отделение сосудистой нейрохирургии, Федеральный центр нейрохирургии; ассистент кафедры нейронаук, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-4065-5736>

Рзаев Джамиль Афет оглы, д. м. н., главный врач, Федеральный центр нейрохирургии; доцент, заведующий кафедрой нейрохирургии, Новосибирский государственный медицинский университет; профессор кафедры нейронаук, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (Новосибирск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-1209-8960>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Artem M. Perfilyev, Neurosurgeon, Vascular Neurosurgery Division, Federal Neurosurgical Center; Assistant Professor at the Department of Neurosciences, Novosibirsk National Research State University (Novosibirsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-4065-5736>

Jamil A. Rzaev, Dr. Sci. (Med.), Chief Physician, Federal Neurosurgical Center; Head of the Neurosurgery Department, Associate Professor, Novosibirsk State Medical University; Professor at the Department of Neurosciences, Novosibirsk National Research State University (Novosibirsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-1209-8960>

Conflict of interest: none declared.