

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии аневризм сосудов головного мозга

З.А. Барбакадзе¹ ✉, В.А. Лукьянчиков^{1,2}, М.В. Синкин^{1,2}, В.А. Далибалдян¹, В.В. Крылов^{1,2,3}

Отделение неотложной нейрохирургии

¹ ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

129090, Российская Федерация, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3

² ФГБНУ «Научный центр неврологии и нейронаук»

125367, Российская Федерация, Москва, Волоколамское шоссе, д. 80

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» МЗ РФ

117513, Российская Федерация, Москва, ул. Островитянова, д. 1

✉ Контактная информация: Барбакадзе Заали, врач-нейрохирург отделения для лечения больных с сосудистыми заболеваниями головного мозга ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ». Email: zaali.barbakadze@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность хирургического лечения аневризмы сосудов головного мозга (АСГМ) обусловлена совершенствованием хирургических и анестезиологических методов, которые позволяют осуществлять выключение аневризм из кровотока, важным условием безопасного выделения и клипирования аневризмы является временное выключение кровотока в артерии, в частности, временное клипирование (ВК) артерии, несущей аневризму. Для прогнозирования ишемических осложнений при лечении внутричерепной аневризмы с использованием ВК было предложено осуществлять интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ). Однако сведения о результатах применения ИОНМ при клипирования аневризм головного мозга противоречивы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить эффективность применения интраоперационного нейромониторинга при хирургическом лечении АСГМ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено обследование и хирургическое лечение 93 пациентов с АСГМ, которые были распределены на две группы: – группа 1 (без ИОНМ) – 48 пациентов, которым выполнено открытое клипирование аневризмы без использования интраоперационного нейромониторинга (контрольная группа); – группа 2 (ИОНМ) – 45 пациентов, которым в ходе проведения хирургического лечения АСГМ в бассейнах внутренней сонной артерии и средней мозговой артерии проводили ИОНМ. Результаты лечения оценивали по показателям радикальности выключения аневризмы из кровотока, функциональные исходы – по шкале исходов Глазго и по шкале Rankin. В процессе ИОНМ проводили транскраниальную электростимуляцию (ТЭС), при этом импульс подавали через кости черепа от электродов, расположенных на поверхности скальпа, и регистрировали моторные вызванные потенциалы (МВП), проводили прямую электростимуляцию коры головного мозга (ПСК-МВП) с помощью электрода-полоски, уложенного вдоль прецентральной извилины. После выделения несущего сосуда с целью препарирования аневризмы от окружающих тканей выполняли ВК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что применение ИОНМ во время выключения кровотока при хирургическом лечении АСГМ сопровождается снижением (по сравнению с группой пациентов без применения нейромониторинга) количества случаев выполнения временного клипирования на 33%, повышением суммарной продолжительности ВК на 25%, снижением количества реперфузий на 50%, суммарной продолжительности реперфузий – в 3 раза, а длительности одного сеанса ВК – на 10%, уменьшением объёмного кровотока по несущим артериями на 18,1%. При этом статистически значимых межгрупповых различий показателей системной гемодинамики не наблюдается. Также во время выполнения ИОНМ в 93,3% отсутствует снижение амплитуды МВП-ТЭС, у 77,8–91,2% пациентов не изменяется амплитуда вызванных потенциалов, тогда как ход операции изменяется у 33,3% больных. В раннем послеоперационном периоде у больных, которым в процессе выполнения ВК, применяли ИОНМ, доля пациентов с уровнем оценки по шкале комы Глазго 14–15 баллов была выше на 51%, с оценкой 9–13 баллов в 8,8 раза ниже (чем в группе без ИОНМ), речевые нарушения выявляются в 2,5 раза реже, наличие зон ишемии головного мозга отмечается в 1,8 раза реже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря обратной связи, которую обеспечивает использование интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в режиме реального времени, хирург всегда может немедленно отреагировать на развитие структурных повреждений головного мозга, что в свою очередь позволяет предотвращать неврологические нарушения при хирургическом лечении аневризм сосудов головного мозга. Применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга во время открытого клипирования аневризм позволяет увеличить количество отличных исходов лечения на 44%.

Ключевые слова:

аневризма сосудов головного мозга, временное клипирование, интраоперационный нейромониторинг, реперфузия, транскраниальная электростимуляция, шкала комы Глазго

Ссылка для цитирования	Барбакадзе З.А., Лукьянчиков В.А., Синкин М.В., Далибалдян В.А., Крылов В.В. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг в хирургии аневризм сосудов головного мозга. <i>Журнал им. Н.В.Склифосовского Неотложная медицинская помощь</i> . 2026;15(1):14–23. https://doi.org/10.23934/2223-9022-2026-15-1-14-23
Конфликт интересов	Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Благодарность, финансирование	Исследование не имеет спонсорской поддержки

АА	— артериальные аневризмы
АД	— артериальное давление
АСГМ	— аневризмы сосудов головного мозга
ВК	— временное клипирование
ВСА	— внутренняя сонная артерия
ЗИП	— значимое изменение показателей
ИАА	— интракраниальные артериальные аневризмы
ИОНМ	— интраоперационный нейрофизиологический мониторинг
КТ	— компьютерная томография
МВП	— моторные вызванные потенциалы
Me	— медиана

НД	— неврологический дефицит
ОЦИ	— отсроченная церебральная ишемия
ПСК	— прямая электростимуляция коры головного мозга
ПСК-МВП	— прямая электростимуляция коры головного мозга при моторных вызванных потенциалах
СМА	— средняя мозговая артерия
ССВП	— соматосенсорные вызванные потенциалы
ТКМВП	— транскраниальные моторные вызванные потенциалы
ТЭС	— транскраниальная электростимуляция
ШИГ	— шкала исходов Глазго
ШКГ	— шкала комы Глазго

ВВЕДЕНИЕ

По данным патолого-анатомических исследований, артериальные аневризмы (АА) головного мозга встречаются у 1–5% от всех умерших. Экстраполируя эти данные на население, можно определить примерный уровень так называемого аневризмоносительства [1–3]. Эффективность хирургического лечения аневризм сосудов головного мозга (АСГМ) обусловлена совершенствованием хирургических и анестезиологических методов, которые позволяют осуществлять выключенные аневризмы из кровотока [2, 4, 5]. Важным условием безопасного выключения и клипирования аневризмы является временное выключение кровотока в артерии. Таким подходом является временное клипирование (ВК) артерии, несущей аневризму [5–7].

Результаты большого количества исследований показали, что применение этого подхода облегчает выделение внутричерепных аневризм, однако при этом имеется риск возникновения неврологического дефицита в послеоперационном периоде, обусловленного развитием ишемических изменений в головном мозге [5, 7–11].

Для прогнозирования ишемических осложнений при микрохирургическом лечении внутричерепных аневризм с использованием метода ВК применяют интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ). Динамический мониторинг целостности кортико-спинального тракта позволяет оценить состояние головного мозга в бассейне выключенного сосуда [9, 10, 12–16].

Сведения о диагностических характеристиках, воспроизводимости и объективности результатов ИОНМ в хирургии аневризм противоречивы, не выработаны единые подходы к его проведению, не согласованы критерии оценки клинической эффективности использования данного метода. Всё это свидетельствует о высокой актуальности исследований по оценке результатов применения ИОНМ при хирургическом лечении интракраниальных аневризм.

Цель исследования — оценка эффективности применения интраоперационного нейромониторинга в хирургии аневризм головного мозга.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

На базе нейрохирургического отделения НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского с 2018 по 2024 год пролечены 450 пациентов с АСГМ. Для проведения настоящей работы отобраны 93 пациента методом последовательной неслепой рандомизации, которые были распределены на две группы:

- группу 1 (без ИОНМ) составили 48 пациентов, которым выполнено открытое клипирование АСГМ без использования интраоперационного нейромониторинга (группа сравнения);
- группу 2 (ИОНМ) составили 45 пациентов, которым в ходе проведения хирургического лечения АСГМ в бассейнах внутренней сонной артерии (ВСА) и средней мозговой артерии (СМА) проводили ИОНМ.

Медиана возраста пациентов, включённых в исследование, составила 52 (46; 63) года — от 22 до 85 лет, в группе 1 — 54 (47; 64) года, а в группе 2 — 50 (42; 62) лет (статистически значимых межгрупповых различий выявлено не было). Анализ распределения пациентов по полу показал, что всего в общей выборке было 59 женщин (63,4%) и 34 мужчины (36,6%), из них в первой группе — 17 мужчин (35,4%) и 31 женщина (64,6%), во второй — 17 мужчин (37,8%) и 29 женщин (62,2%).

Дизайн исследования: открытое, неинтервенционное, сравнительное, в параллельных группах.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст более 18 лет;
- локализация аневризмы: аневризмы ВСА и СМА;
- показатель по модифицированной шкале Рэнкина 0–3;
- подписанное информированное согласие.

Критерии невключения пациентов в исследование:

- наличие противопоказаний к выполнению диагностических и хирургических процедур с использованием контрастного вещества на основе йода;
- наличие противопоказаний к выполнению операции вследствие тяжести состояния пациента;
- тяжёлые когнитивные нарушения/деменция;
- документированное психическое заболевание;
- наличие атипичной аневризмы (микотическая, потоковая аневризма у пациентов с артериовеноз-

ной мальформацией, травматическая или ложная аневризма).

Все пациенты или их законные представители подписали добровольное информированное согласие на участие в настоящем исследовании, выразили готовность контролировать соблюдение всех правил и прохождения всех предусмотренных процедур обследования.

Технические результаты лечения оценивали по показателям радикальности выключения аневризмы из кровотока (отсутствие контрастирования тела, дна и шейки аневризмы по данным компьютерной томографической (КТ)-ангиографии). Функциональные исходы оценивали по шкале исходов Глазго (ШИГ) и по шкале Rankin.

В процессе ИОНМ проводили транскраниальную электростимуляцию (ТЭС), при осуществлении которой импульс подавали через кости черепа от электродов, расположенных на поверхности скальпа, и регистрировали моторные вызванные потенциалы (МВП), проводили прямую электростимуляцию коры головного мозга (ПСК-МВП) с помощью электрода-полоски (стрип-электрода), уложенного вдоль прецентральной извилины (стрип-ПСК) [12, 17]. Использование этого подхода обеспечивало возможность выполнения вмешательства на головном мозге со снижением риска первичной или вторичной травматизации кортико-спинального и кортико-бульбарного трактов, что повышало безопасность нейрохирургического вмешательства и снижало риски неврологических осложнений.

Данные, полученные в ходе обследования участников исследования, были подвергнуты комплексному статистическому анализу, который включал описательную статистику и сравнительный анализ показателей в группах исследования.

Аневризмы СМА выявлены у 25 пациентов (52,1%) первой группы (без ИОНМ) и у 28 (62,2%) — второй группы (с ИОНМ). Аневризмы ВСА диагностированы у 16 пациентов (33,3%) без ИОНМ и у 9 (20,0%) — в группе с ИОНМ.

Множественные аневризмы головного мозга (ААВСА+ААСМА, ААСМА+ААСМА) выявлены у 8 пациентов (17,8%), которым проводили нейромониторинг, и у 7 пациентов (14,6%) без ИОНМ. Статистически значимых межгрупповых различий по локализации аневризмы у пациентов, включённых в исследование, отмечено не было ($p > 0,05$ для всех локализаций).

Двадцать два пациента основной группы (48,9%) и 37 (77,1%) группы сравнения поступили с разрывом АА в остром периоде субарахноидального кровоизлияния.

Тяжесть состояния пациентов оценивали по шкале Hunt-Hess. Тяжесть состояния больных соответствовала 2 баллам у 14 пациентов (63,6%) с ИОНМ и у 16 пациентов (43,3%), которым нейромониторинг не проводили (рис. 1). Тяжесть состояния на уровне 3 баллов отмечена у 16 пациентов (43,3%) с ИОНМ и у 14 больных (37,8%) без ИОНМ. Статистически значимых межгрупповых различий выявлено не было ($p = 0,213$).

Оценку уровня бодрствования перед операцией проводили по шкале комы Глазго (ШКГ). Ясное сознание (15 баллов) отмечено у 41 пациента (91,1%) основной группы и у 36 (75,0%) — группы сравнения (рис. 2). В умеренном оглушении находились двое пациентов (4,5%), из числа тех, кому проводился ИОНМ, и 9

(18,7%) в группе сравнения. Глубокое оглушение было выявлено у 2 пациентов в обеих группах, сопор — у одного пациента в группе контроля. Статистически значимых межгрупповых различий по показателю ШКГ выявлено не было.

Функциональные неврологические нарушения оценивали по шкале Рэнкин. У 26 пациентов (54,2%) в группе 1 (без ИОНМ) и в 36 случаях (80,0%) во второй группе (ИОНМ) неврологических нарушений до операции не было. Получены статистически значимые различия в группах по этому показателю ($p = 0,005$). Лёгкие неврологические нарушения (1–2 балла по Рэнкин) до операции выявлены у 6 (13,3%) и 2 пациентов (4,5%) основной группы и у 10 (20,8%) и 4 (8,3%) — группы сравнения. Умеренные нарушения (3 балла) имели 6 пациентов (12,5%) группы сравнения и один пациент (2,2%) в основной. Среднетяжёлые нарушения отмечены у 2 пациентов контрольной группы. Межгрупповых статистически значимых отличий по вышеперечисленным показателям не наблюдалось.

Речевые нарушения отмечены у 2 пациентов (4,4%) основной группы и у 5 пациентов (10,4%) группы сравнения. Статистически значимых межгрупповых различий при этом отмечено не было.

После выделения несущего сосуда с целью препарирования аневризмы от окружающих тканей выполняли ВК сосуда. После выделения шейки аневризмы выполняли её клипирование. В большинстве случаев использовали комбинации клипс, так как силы сжатия одной было недостаточно для стабильного выключения.

Статистический анализ данных, полученных в ходе динамического наблюдения, проводили с примене-

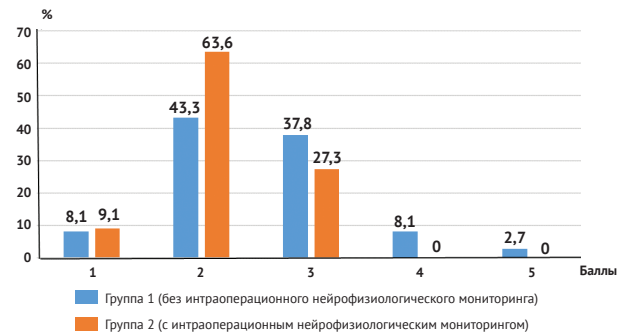


Рис. 1. Распределение пациентов в группах в зависимости от тяжести состояния пациентов с разрывом аневризмы по шкале Hunt-Hess (баллы) перед выполнением операции
Fig. 1. Distribution of patients into groups depending on the severity of the condition of patients with a ruptured aneurysm according to the Hunt-Hess scale (points) before surgery

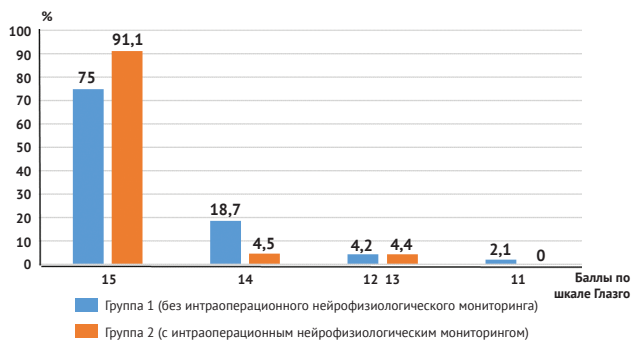


Рис. 2. Оценка уровня бодрствования пациентов по шкале комы Глазго до операции
Fig. 2. Assessment of patients' level of alertness according to the Glasgow Coma Scale before surgery

нием пакета программ Statsoft, STATISTICA 10. Анализ межгрупповых различий количественных показателей выполняли с применением непараметрического рангового критерия Манна–Уитни. Межгрупповые различия по частотным параметрам выявляли путем сравнений с применением критерия χ^2 (хи-квадрат).

Критическое значение уровня статистической значимости нулевой гипотезы (p) при выполнении любых сравнений было принято равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

ВК несущих артерий выполняли 30 пациентам (66,2%) основной группы и в 28 случаях (58,3%) — в группе сравнения. Из них клипирование М1 сегмента СМА было произведено 26 пациентам (57,8%) с ИОНМ и 21 пациенту (43,8%) без ИОНМ. ВК ВСА применяли у 4 пациентов (8,9%) основной группы и у 7 пациентов (14,6%) группы сравнения.

Анализ кратности применения ВК за одну операцию показал, что в основной группе ВК чаще выполняли дважды, медиана (Me) составила 2 (1;4), в группе сравнения — трижды, $Me=3$ (1; 4).

Длительность одного ВК в группах не различалась и составила 5,0 и 4,5 минуты. Общая продолжительность ВК составила 7 (4,0; 9,0) минут в основной группе и 9 (6,5; 12,0) минут — в группе сравнения (рис. 3). Таким образом, в основной группе длительность пережатия была несколько выше, чем в группе сравнения хотя при этом статистически значимых различий по этому показателю выявлено не было.

В связи с тем, что в основной группе кратность клипирования была меньше, количество реперфузий между клипированиями также соответственно было меньше — 2 (0;3) и 1 (0;3). Длительность одного сеанса реперфузии в основной группе (ИОНМ) была сопоставима с таковой в группе сравнения (без ИОНМ) — 4,5 (3; 5) и 5 (3,7; 5,5) соответственно.

Значение показателя общей продолжительности реперфузии составило 9 (3; 15) минут в группе больных без ИОНМ, тогда как в группе пациентов с ИОНМ значение данного параметра было статистически значимо ниже — 3 (1; 10) минуты ($p=0,032$). Выявленные различия обусловлены меньшим количеством пережатий в группе 2 у пациентов, которым осуществляли нейромониторинг.

Анализ системной гемодинамики во время выполнения клипирования свидетельствовал об отсутствии существенной динамики показателей артериального давления (АД) и статистически значимых межгрупповых различий уровней средней систолического, диастолического и среднего АД.

У 77,8% ($n=35$) пациентов изменений амплитуды моторных потенциалов МВП-ПСК при выполнении ВК не отмечено. У 4 пациентов (8,9%) было выявлено её снижение менее чем на 50% от исходного значения, у двоих (4,4%) — от 50 до 100%, а у четверых (8,9%) — на 100%.

При осуществлении ВК величины соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) на контралатеральной стороне оказались неизменными у 41 пациента (91,2%). У одного больного (2,2%) было выявлено снижение потенциалов менее чем на 50% от исходного значения, у одного пациента (2,2%) — на 50–100%, у 2 пациентов (8,9%) — на 100%.

Изменение хода оперативного вмешательства (переустановка постоянного клипса) с учётом данных,

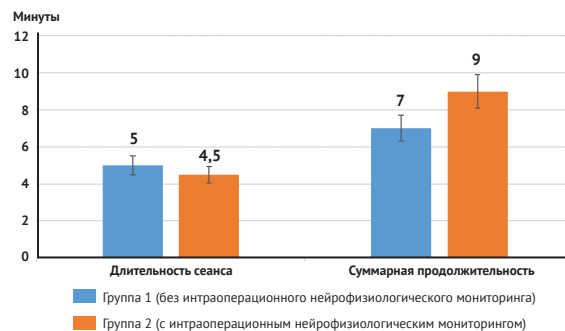


Рис. 3. Длительность сеанса и суммарная продолжительность временного клипирования

Fig. 3. Session duration and total duration of temporary clipping

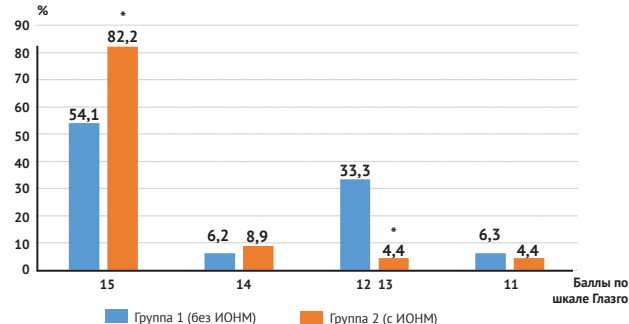


Рис. 4. Оценка уровня бодрствования пациентов в первые 24 часа после операции. Шкала комы Глазго

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p<0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерии χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг

Fig. 4. Assessment of patients' level of alertness in the first 24 hours after surgery. Glasgow Coma Scale

Notes: * — differences are statistically significant (at $p<0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

полученных при проведении ИОНМ, произошло у 15 пациентов (33,3%), а у 30 (66,7%) — ход операции не изменился.

После операции ясное сознание чаще наблюдали у пациентов основной группы — 37 пациентов (82,2%), реже у пациентов группы сравнения — 26 (54,1%). Получено статистически значимое различие в группах по данному показателю ($p=0,004$) (рис. 4).

Уровень бодрствования — умеренное оглушение, отмечено у 4 пациентов (8,9%) с ИОНМ и у 3 человек (6,2%) без ИОНМ ($p=0,929$). Уровень бодрствования — глубокое оглушение, статистически значимо чаще регистрировали у пациентов группы сравнения (без проведения ИОНМ) — в 33,3% ($n=16$) наблюдений, у пациентов основной группы (с проведением ИОНМ) этот показатель встречался статистически значимо реже — в 4,4% ($n=2$) наблюдений ($p<0,001$).

Пациенты с уровнем бодрствования — сопор встречались одинаково часто как в основной, так и в группе сравнения — 2 (4,4%) против 3 (6,3%).

Таким образом, нарушения сознания после операции были более выраженными в группе пациентов, которым интраоперационный нейромониторинг не проводили.

Анализ распределения пациентов по наличию речевых нарушений после выполнения операции показал, что эти нарушения наблюдались у трети пациентов, которым не проводили ИОНМ, — значение показателя

составило 33,3% (16 человек). Из этих 16 клинических случаев у 11 пациентов выявлена АА левых ВСА и СМА, а у 5 — правых. В то же время в группе 2, где выполняли ИОНМ, доля таких больных составила только 13,3% (6 человек), значение показателя было статистически значимо ниже ($p=0,043$) соответствующей величины в группе 1 (без ИОНМ).

Таким образом, речевые нарушения в послеоперационном периоде реже наблюдались у пациентов, которым проводили интраоперационный нейромониторинг.

Исследование распространённости ишемии головного мозга на стороне операции по данным КТ в послеоперационном периоде показало, что этот признак был выявлен почти у половины больных, которым не проводили ИОНМ, — значение показателя составило 47,9% (23 человека). При этом среди пациентов, которым выполняли ИОНМ, доля таких больных была статистически значимо почти в 2 раза ниже ($p=0,035$) и составила 26,7% (12 человек). Соответственно относительные количества пациентов, у которых ишемия отсутствовала по данным послеоперационной КТ, в группах 1 и 2 составили соответственно 52,1% (25 человек) и 73,3% (33 человека).

В послеоперационном периоде нарушения мышечного тонуса и мышечная слабость в контралатеральной верхней конечности (уровень оценки 4 балла и ниже) выявлены у 39,6% пациентов с ИОНМ и 20% в группе ИОНМ ($p=0,040$, статистически значимо) (табл. 1).

Неврологический дефицит в послеоперационном периоде в виде пареза в контралатеральной руке со снижением мышечной силы до 4 баллов и менее выявлен у 20 пациентов (41,6%) в группе без ИОНМ, тогда как в группе с ИОНМ его наблюдали статистически значимо реже — у 10 пациентов (22,1%) ($p=0,046$) (табл. 2). Таким образом, у пациентов без проведения ИОНМ нарушения мышечной силы встречались чаще и были более выраженными, чем в группе с ИОНМ.

При оценке неврологического статуса пациентов после операции по шкале Рэнкин очаговые неврологические нарушения чаще выявлялись у пациентов, оперированных без ИОНМ, чем у пациентов с ИОНМ. Как видно на рис. 5, нарушения жизнедеятельности на уровне 6 баллов были выявлены у 29,9% пациентов группы без ИОНМ, тогда как в группе с ИОНМ — только у 8,9% ($p=0,008$, статистически значимо). Умеренные нарушения (от 2 до 5 баллов) встречались у 16,5% пациентов с ИОНМ и в 8,8% случаях в группе без ИОНМ, при этом выявленные различия не достигали статистической значимости ($p=0,078$). Отсутствие нарушений по шкале Рэнкин в группе с ИОНМ отмечалось статистически значимо чаще, чем в группе с ИОНМ — соответственно у 77,9% и 56,3% пациентов ($p=0,038$).

Таким образом, у пациентов, оперированных с использованием ИОНМ, неврологические расстройства встречались реже и были менее выраженными (оценка по Рэнкин), а степень социальной адаптации и жизнедеятельности была выше, чем в группе пациентов, оперированных без ИОНМ.

Послеоперационная летальность (1 балл по ШИГ) была статистически значимо меньше в группе больных, оперированных с использованием нейромониторинга — 8,9% в сравнении с 29,1% у пациентов, оперированных без ИОНМ ($p=0,004$).

Лёгкие расстройства жизнедеятельности (оценка 5 баллов по ШИГ) встречались у 77,9% с ИОНМ, ста-

Таблица 1

Оценка мышечной силы в контралатеральной руке после операции

Table 1

Muscle strength assessment in the contralateral arm after surgery

Уровень оценки, баллы	Группа 1 без ИОНМ (сравнения) (n=48)		Группа 2 ИОНМ (основная) (n=45)		p
	Абс.	%	Абс.	%	
5	29	60,4	36	80,0	0,040*
4	4	8,4	2	4,4	0,941
3	5	10,4	2	4,4	0,733
2	5	10,4	—	—	0,077
1	5	10,4	4	9,0	0,919
0	—	—	1	2,2	0,446
Итого	48	100	45	100	—

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p<0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерию χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг
Notes: * — differences are statistically significant (at $p<0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

Таблица 2

Оценка мышечной силы в контралатеральной нижней конечности после операции

Table 2

Muscle strength assessment in the contralateral lower limb after surgery

Уровень оценки, баллы	Группа 1 без ИОНМ (сравнения) (n=48)		Группа 2 ИОНМ (основная) (n=45)		p
	Абс.	%	Абс.	%	
5	28	58,4	35	77,9	0,046*
4	4	8,3	2	4,4	0,656
3	5	10,4	2	4,4	0,733
2	5	10,4	1	2,2	0,236
1	6	12,5	4	8,9	0,784
0	—	—	1	2,2	0,974
Итого	48	100	45	100	—

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p<0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерию χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг
Notes: * — differences are statistically significant (at $p<0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

статистически значимо чаще ($p=0,028$), чем в группе без ИОНМ, где значение этого показателя составило 54,1% (рис. 6). Умеренная инвалидизация (4 балла по ШИГ) встречалась в группах с ИОНМ и без ИОНМ соответственно у 6,6% и 4,2% пациентов, выраженная инвалидизация (3 балла ШИГ) — в 6,6% и 10,4% случаях. У одного пациента (2,1%) группы без ИОНМ развилось вегетативное состояние (оценка по ШИГ — 2), тогда как в основной группе (ИОНМ) таких случаев не было.

Оценка мышечной силы в контралатеральной верхней конечности по окончании стационарного лечения пациентов, включённых в исследование, показала, что у абсолютного большинства из них уровень этого параметра составил 5 баллов: у 58,3% группы без ИОНМ и 77,9% группы ИОНМ ($p=0,046$, статистически значимо). Количество больных с оценками мышечной силы на уровне 4 баллов существенно не различались. В группе ИОНМ было 3 пациента (6,3%) со значением этого показателя на уровне 3 балла, в группе без ИОНМ таких пациентов не было.

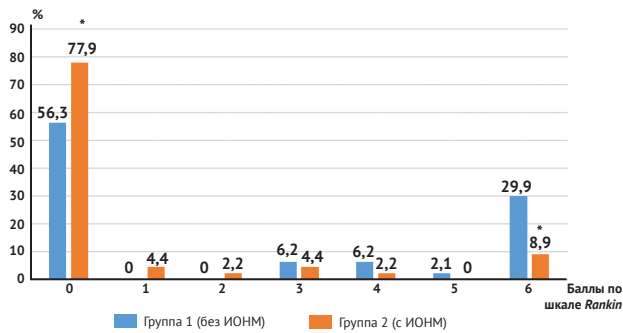


Рис. 5. Оценка статуса пациентов по шкале Rankin при выписке из стационара

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p < 0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерию χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг

Fig. 5. Patient status assessment using the Rankin scale upon hospital discharge

Notes: * — differences are statistically significant (at $p < 0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

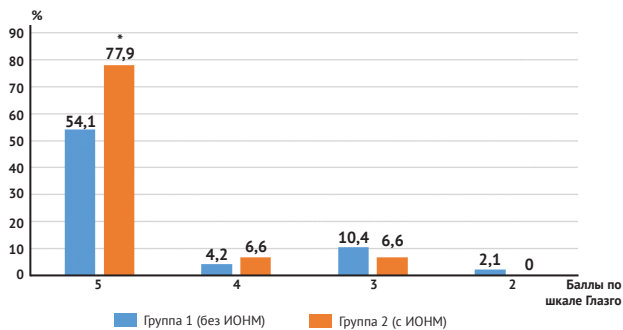


Рис. 6. Оценка статуса пациентов по шкале исходов Глазго при выписке из стационара

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p < 0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерию χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг

Fig. 6. Patient status assessment using the Glasgow Outcome Scale upon hospital discharge

Notes: * — differences are statistically significant (at $p < 0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

Уровень оценки мышечной силы в контралатеральной верхней конечности по окончании стационарного лечения составил 2 балла у 10,4% группы без ИОНМ и 2,2% в группе с ИОНМ из второй группы, выявленные различия не достигали статистической значимости ($p = 0,108$). Количество пациентов с оценкой 1 балл было сходным.

Анализ уровней оценки мышечной силы в контралатеральной нижней конечности по окончании стационарного лечения позволил установить в целом более высокие значения этого показателя у пациентов группы ИОНМ (рис. 7). Количество больных с оценками мышечной силы на уровне 1, 3 и 4 балла существенно не различалось. В целом при выписке из стационара наблюдалась тенденция к большей величине мышечной силы в контралатеральной нижней конечности у пациентов, которым проводили ИОНМ.

Сравнение величин показателя мышечной силы в ипсилатеральной руке по окончании стационарного лечения позволило выявить более высокие уровни данного параметра у пациентов, которым осуществля-

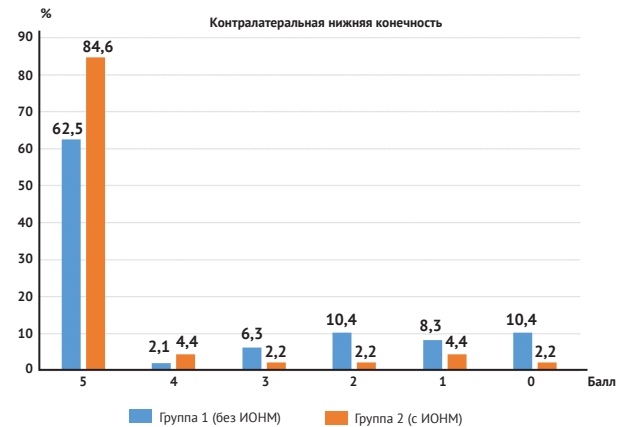
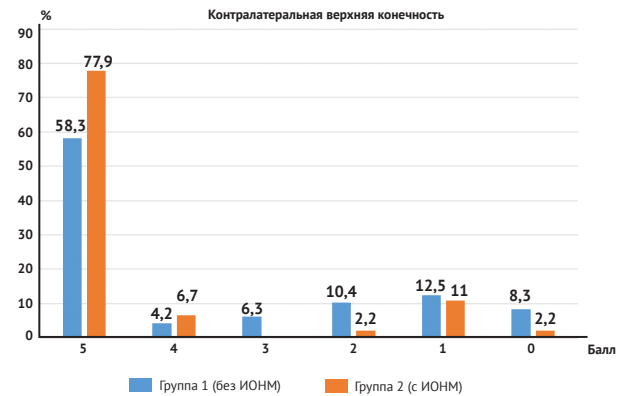


Рис. 7. Оценка мышечной силы при выписке

Примечания: * — различия статистически значимы (при $p < 0,05$) по сравнению с соответствующим показателем в группе 1 (без ИОНМ) критерию χ^2 . ИОНМ — интраоперационный нейрофизиологический мониторинг

Fig. 7. Muscle strength assessment at discharge

Notes: * — differences are statistically significant (at $p < 0,05$) compared to the corresponding indicator in Group 1 (no IONM), a chi-squared test. ИОНМ — intraoperative neurophysiological monitoring

ли нейромониторинг. Уровни оценки 5 баллов были у 85,4% без ИОНМ и у всех 100% пациентов группы ИОНМ ($p = 0,023$, статистически значимо).

В целом результаты проведенного исследования показали, что у пациентов, которым в процессе оперативного вмешательства — клипирования аневризм головного мозга — проводили интраоперационный мониторинг, наблюдали лучшие, чем в группе без осуществления такого подхода, показатели ШИГ и шкалы Rankin, уровней оценки силы верхних и нижних конечностей, частоты речевых нарушений.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние десятилетия сообщения об использовании ИОНМ в сосудистой нейрохирургии были сосредоточены главным образом на прогностической ценности применения данного метода. H.S. Youn et al. (2016) подчеркивают, что основное преимущество применения ИОНМ во время выполнения ВК заключается в возможности быстрого обнаружения начинающейся церебральной ишемии, позволяющая осуществить мероприятия по профилактике необратимого повреждения ткани головного мозга [18]. В то же время по данным систематических обзоров и метаанализа до настоящего времени высокая диагностическая ценность ИОНМ в отношении наличия ишемии не подтверждена и не опровергнута.

Известно, что максимально безопасное время выполнения ВК несущего сосуда зависит от резервных возможностей пациента, состояния сосудов и используемого протокола анестезии. В этом контексте ИОНМ, по мнению отдельных авторов, является идеальным методом предупреждения хирурга о надвигающейся ишемии с высокой специфичностью [15, 16, 19–21]. В нашем исследовании оценка распространённости ишемии головного мозга на стороне операции по данным КТ показала, что данный признак был выявлен почти у половины больных, которым не проводили ИОНМ, — значение показателя составило 47,9% (23 человека). При этом среди пациентов, которым выполняли ИОНМ, доля таких больных была почти в 2 раза ниже ($p=0,035$, статистически значимо) и составила 26,7% (12 человек).

Результаты проведённого нами исследования показали, что применение ИОНМ во время выключения кровотока при хирургическом лечении АСГМ сопровождается уменьшением частоты выполнения ВК, увеличением суммарной длительности клипирования, снижением частоты и продолжительности выполнения реперфузий, уменьшением объёмного кровотока по несущим артериям по сравнению с соответствующими показателями в группе, где не производился ИОНМ. В то же время значимых межгрупповых различий показателей системной гемодинамики не наблюдается.

В раннем послеоперационном периоде среди больных, которым в процессе выполнения ВК применяли ИОНМ, отмечаются лучшие показатели ШКГ, чем в группе без нейромониторинга, реже выявляются речевые нарушения, зоны ишемии головного мозга по данным КТ.

Лучшие показатели оценок по шкалам ШИГ и *Rankin* у пациентов, которым проводили ИОНМ в ходе хирургического лечения, отмечаются также после выписки из стационара, у этих больных наблюдаются более высокие, чем в группе сравнения, показатели оценки мышечной силы в контралатеральных верхней и нижней конечностях.

Наши данные, как и результаты ряда авторов, свидетельствуют, что при плановом клипировании внутричерепных аневризм применение ИОНМ позволяет предотвратить развитие неврологического дефицита, предоставляя хирургу информацию о функционировании областей мозга, отвечающих за двигательное восприятие [8, 18–20]. В частности, в работе *Q. Yue et al.* (2014) были продемонстрированы лучшие отдалённые результаты использования ИОНМ при хирургическом лечении разорвавшихся и неразорвавшихся аневризм СМА [21]. *D. Nasi et al.* (2020) также продемонстрировали положительное влияние ИОНМ на исход лечения пациентов с АСГМ с применением ВК [22].

В работе Н.А. Бобрякова и соавт. (2020) была предпринята попытка поиска факторов, позволяющих прогнозировать развитие и (или) нарастание неврологического дефицита (НД) в послеоперационном периоде при критических изменениях параметров транскраниальных моторных вызванных потенциалов (ТКМВП) и ССВП во время клипирования интракраниальных АА (ИАА) [23]. Авторы проанализировали данные 184 пациентов, прооперированных по поводу ИАА с применением ИОНМ. Было установлено, что изменения параметров ТКМВП более значимы в отношении прогноза развития НД в случае клипирования ИАА в холодном периоде. По результатам исследования сде-

лан вывод о том, что «...данные ССВП и ТКМВП более надёжны в прогнозировании послеоперационного НД в случае клипирования ИАА в холодном периоде, поэтому ИОНМ необходимо проводить при клипировании как разорвавшихся, так и неразорвавшихся ИАА, не ограничиваясь в последнем случае только интраоперационным ультразвуковым контролем кровотока в церебральных артериях». В то же время, учитывая литературные данные, авторами было предложено при клипировании ИАА использовать обе модальности [23].

Целью другого исследования Н.А. Бобрякова и др. (2024) был анализ значимых изменений показателей (ЗИП), зарегистрированных при проведении ИОНМ во время клипирования разорвавшихся АСГМ у 16 пациентов с отсроченной церебральной ишемией (ОЦИ) в послеоперационном периоде. Авторы показали, что за время операции в 7 случаях были зарегистрированы преходящие ЗИП, из них у 3 пациентов — со стороны ТКМВП и ССВП, у 2 пациентов — только ТКМВП, у 2 больных — только ССВП [24].

По результатам исследования авторы считают, что пока нельзя однозначно утверждать, что преходящие ЗИП по данным ИОНМ могут быть одним из факторов риска развития ОЦИ после клипирования разорвавшихся АСГМ. Авторы предположили, что «...у всей когорты пациентов с преходящими ЗИП по данным ИОНМ действуют сходные патогенетические механизмы, в том числе имеется снижение в той или иной степени цереброваскулярного резерва, которое достигает клинической значимости с течением времени у пациентов с более высокими значениями пиковой систолической скорости кровотока, приближающимися к уровню тяжёлого ангиоспазма» [24]. Следует согласиться с авторами, что таким пациентам требуется более длительное наблюдение в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии.

Таким образом, благодаря обратной связи, которую обеспечивает использование ИОНМ в режиме реального времени, хирург всегда может немедленно отреагировать на развитие структурных повреждений головного мозга, что в свою очередь позволяет предотвращать развитие неврологических нарушений при хирургическом лечении внутричерепных аневризм [19, 20, 25].

Выводы

1. Применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга во время выключения кровотока при хирургическом лечении аневризмы сосудов головного мозга сопровождается снижением (по сравнению с группой пациентов без применения нейромониторинга) количества случаев выполнения временного клипирования на 33% ($p=0,347$), повышением суммарной продолжительности временного клипирования на 25% ($p=0,089$), снижением количества реперфузий на 50% ($p=0,377$), суммарной продолжительности реперфузий в 3 раза ($p=0,032$, статистически значимо), длительности одного сеанса временного клипирования на 10% ($p=0,249$).

2. В раннем послеоперационном периоде у больных, которым в процессе выполнения временного клипирования применяли интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, доля пациентов с уровнем оценки по шкале комы Глазго 14–15 баллов была выше на 51%, с оценкой 9–13 баллов в 8,8 раза

ниже, чем в группе без нейромониторинга (при $p < 0,05$, статистически значимо). При осуществлении интраоперационного нейрофизиологического мониторинга речевые нарушения после операции выявляются в 2,5 раза реже ($p = 0,043$, статистически значимо), наличие зон ишемии головного мозга по данным компьютерной томографии отмечается в 1,8 раза реже ($p = 0,035$, статистически значимо), показатель оценки мышечной силы статистически значимо выше у пациентов, которым проводят интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (при $p < 0,05$, статистически значимо).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Рахимов Н.О., Лукьянчиков В.А., Рахмонов Х.Д., Бердиев Р.Н., Шоев С.Н., Давлатов М.В. Современные подходы в диагностике и лечении сосудистых заболеваний головного мозга. *Вестник Авиценны*. 2022;24(4):541–552. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-4-541-552>
2. Tawk RG, Hasan TF, D'Souza CE, Peel JB, Freeman WD. Diagnosis and Treatment of Unruptured Intracranial Aneurysms and Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Mayo Clin Proc*. 2021;96(7):1970–2000. PMID: 33992453 <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.01.005>
3. Etmann N, de Sousa DA, Tiseo C, Bourcier R, Desal H, Lindgren A, et al. European Stroke Organisation (ESO) guidelines on management of unruptured intracranial aneurysms. *Eur Stroke J*. 2022;7(3):V. PMID: 36082246 <https://doi.org/10.1177/23969873221099736>
4. Сенько И.В., Крылов В.В., Дашьян В.Г., Григорьев И.В. Хирургическое лечение дистальных аневризм головного мозга. *Нейрохирургия*. 2022;24(3):12–22. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2022-24-3-12-22>
5. Шетова И.М., Штадлер В.Д., Аронов М.С., Пирадов М.А., Крылов В.В., и др. Отдаленные результаты хирургического лечения пациентов с артериальными аневризмами головного мозга. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2023;123(3–2):41–49. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312303241>
6. Elkun Y, Cooper J, Kamal H, Dakay K, Nuoaman H, Adnan YA, et al. Management of Small Unruptured Intracranial Aneurysms: To Treat or Not to Treat? *Cardiol Rev*. 2021;29(1):33–38. PMID: 33278119 <https://doi.org/10.1097/CRD.0000000000000533>
7. Greve T, Stoecklein VM, Dorn F, Laskowski S, Thon N, Tonn JC, et al. Introduction of intraoperative neuromonitoring does not necessarily improve overall long-term outcome in elective aneurysm clipping. *J Neurosurg*. 2019;132(4):1188–1196. PMID: 30925469 <https://doi.org/10.3171/2018.12.JNS182177>
8. Eun C, Lee SJ, Park JC, Ahn JS, Kwun BD, Park W. Efficacy of intraoperative neuromonitoring (IONM) and intraoperative indocyanine green videoangiography (ICG-VA) during unruptured anterior choroidal artery aneurysm clipping surgery. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg*. 2023;25(2):150–159. PMID: 36693597 <https://doi.org/10.7461/jcen.2023.E2022.10.008>
9. Pontes FGB, da Silva EM, Baptista-Silva JC, Vasconcelos V. Treatments for unruptured intracranial aneurysms. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;5(5):CD013312. PMID: 33971026 <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013312.pub2>
10. Шитов А.М., Сазонов И.А., Белоусова О.Б., Элиава Ш.Ш. Периферические аневризмы сосудов головного мозга: клиника и диагностика. *Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко*. 2023;1(11):39–47. <https://doi.org/10.53652/2782-1730-2023-4-1-39-47>
11. Sultan I, Brown JA, Serna-Gallegos D, Thirumala PD, Balzer JR, Paras S, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2023;165(6):1971–1981. PMID: 34384591 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.07.025>
12. Крылов В.В., Лукьянчиков В.А., Горожанин В.А., Барбакадзе З.А., Синкин М.В. Методика интраоперационного мониторинга целостности кортикоспинального тракта при помощи электрода с динамическим баллоном. *Нейрохирургия*. 2023;25(4):96–103. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2023-25-4-96-103>
13. Clouse JW, Karnati T, Goodrich DJ, Waldau B. How I do it: neuromonitoring-guided clipping of high-riding basilar tip aneurysm. *Acta Neurochir (Wien)*. 2023;165(10):2819–2823. PMID: 37115322 <https://doi.org/10.1007/s00701-023-05600-y>
14. Hayashi H, Bewaby JF, Koht A, Hemmer LB. Cautionary findings for motor evoked potential monitoring in intracranial aneurysm surgery after a single

REFERENCES

1. Rakhimov NO, Lukyanchikov VA, Rakhmonov KhD, Berdiev RN, Shoev SN, Davlatov MV. Modern approaches in the diagnosis and treatment of cerebrovascular diseases. *Avicenna Bulletin*. 2022;24(4):541–552. (In Russ.) <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2022-24-4-541-552>
2. Tawk RG, Hasan TF, D'Souza CE, Peel JB, Freeman WD. Diagnosis and Treatment of Unruptured Intracranial Aneurysms and Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *Mayo Clin Proc*. 2021;96(7):1970–2000. PMID: 33992453 <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2021.01.005>
3. Etmann N, de Sousa DA, Tiseo C, Bourcier R, Desal H, Lindgren A, et al. European Stroke Organisation (ESO) guidelines on management of unruptured intracranial aneurysms. *Eur Stroke J*. 2022;7(3):V. PMID: 36082246 <https://doi.org/10.1177/23969873221099736>
4. Senko IV, Krylov VV, Dashyan VG, Grigoriev IV. Surgical treatment of distal cerebral aneurysms. *Russian journal of neurosurgery*. 2022;24(3):12–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2022-24-3-12-22>
5. Shetova IM, Shtadler VD, Aronov MS, Piradov MA, Krylov VV. Long-term results of surgical treatment of patients with cerebral arterial aneurysms. *S.S.*

3. После выписки из стационара в группе пациентов, которым в процессе выполнения временного клипирования применяли интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, отличные и хорошие исходы по шкале исходов Глазго встречались на 44% чаще, чем в группе сравнения, тогда как доля пациентов с оценкой 1–4 балла в 2,1 раза ниже; оценка по шкале Rankin на уровне 0 баллов в группе интраоперационного нейрофизиологического мониторинга выше на 38,4%, на уровне от 1 до 6 баллов — ниже в 2 раза по сравнению с группой пациентов, которым нейромониторинг не проводили (при $p < 0,05$).

- administration of rocuronium to facilitate tracheal intubation. *J Clin Monit Comput*. 2021;35(4):903–911. PMID: 32617848 <https://doi.org/10.1007/s10877-020-00551-6>
5. Sasaki T. What Is the Key Point for Intraoperative Monitoring in Cerebral Aneurysm Surgery? *No Shinkei Geka*. 2021;49(1):89–92. PMID: 33494054 <https://doi.org/10.11477/mf.1456204563>
16. Szelenyi A, Fernández-Conejero I, Kodama K. Surgery and intraoperative neurophysiologic monitoring for aneurysm clipping. *Handb Clin Neurol*. 2022;186:375–393. PMID: 35772896 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819826-1.00008-9>
17. Лукьянчиков В.А., Синкин М.В., Горожанин В.А., Барбакадзе З.А., Крылов В.В. Патент № 2757371(13) С1 от 31.10.2020 Российская Федерация. *Способ и устройство для интраоперационного мониторинга функциональной целостности кортико-спинального тракта при операциях на головном мозге*. Заявка № 2020135876 от 31.10.2020, зарегистрировано: 14.10.2021. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47121847_39276864.PDF [Дата обращения 17 марта 2026 г.]
18. Byoun HS, Bang JS, Oh CW, Kwon OK, Hwang G, Han JH, et al. The incidence of and risk factors for ischemic complications after microsurgical clipping of unruptured middle cerebral artery aneurysms and the efficacy of intraoperative monitoring of somatosensory evoked potentials: a retrospective study. *Clin Neurol Neurosurg*. 2016;151:128–135. PMID: 27838495 <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2016.10.008>
19. Staarmann B, O'Neal K, Magner M, Zuccarello M. Sensitivity and specificity of intraoperative neuromonitoring for identifying safety and duration of temporary aneurysm clipping based on vascular territory, a multimodal strategy. *World Neurosurg*. 2017;100:522–530. PMID: 28089809 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.01.009>
20. Choi HH, Ha EJ, Cho WS, Kang HS, Kim JE. Effectiveness and limitations of intraoperative monitoring with combined motor and somatosensory evoked potentials during surgical clipping of unruptured intracranial aneurysms. *World Neurosurg*. 2017;108:738–747. PMID: 28951267 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.09.096>
21. Yue Q, Zhu W, Gu Y, Xu B, Lang L, Song J, et al. Motor evoked potential monitoring during surgery of middle cerebral artery aneurysms: a cohort study. *World Neurosurg*. 2014;82(6):1091–1099. PMID: 25220340 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.09.004>
22. Nasi D, Meletti S, Tramontano V, Pavesi G. Intraoperative neurophysiological monitoring in aneurysm clipping: Does it make a difference? A systematic review and meta-analysis. *Clin Neurol Neurosurg*. 2020;196:105954. PMID: 32526486 <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2020.105954>
23. Бобряков Н.А., Петров С.И., Серeda Э.В., Москалев А.Г., Пономарев А.А., Казанков И.Ю., и др. Прогнозирование исхода клипирования интракраниальных артериальных аневризм по данным интраоперационного нейрофизиологического мониторинга. *Нейрохирургия*. 2020;22(4):43–52. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-4-43-52>
24. Бобряков Н.А., Петров С.И., Серeda Э.В., Москалев А.Г., Пономарев А.А., Казанков И.Ю., и др. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг у пациентов с отсроченной церебральной ишемией после клипирования разорвавшихся артериальных аневризм. *Нейрохирургия*. 2024;26(2):26–36. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-26-36>
25. Chung J, Park W, Hong SH, Park JC, Ahn JS, Kwun BD, et al. Intraoperative use of transcranial motor/sensory evoked potential monitoring in the clipping of intracranial aneurysms: evaluation of false-positive and false-negative cases. *J Neurosurg*. 2018;130(5):936–948. PMID: 29570008 <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS17791>

Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2023;123(3–2):41–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/jnevro202312303241>

6. Elkun Y, Cooper J, Kamal H, Dakay K, Nuoaman H, Adnan YA, et al. Management of Small Unruptured Intracranial Aneurysms: To Treat or Not to Treat? *Cardiol Rev*. 2021;29(1):33–38. PMID: 33278119 <https://doi.org/10.1097/CRD.0000000000000533>
7. Greve T, Stoecklein VM, Dorn F, Laskowski S, Thon N, Tonn JC, et al. Introduction of intraoperative neuromonitoring does not necessarily improve overall long-term outcome in elective aneurysm clipping. *J Neurosurg*. 2019;132(4):1188–1196. PMID: 30925469 <https://doi.org/10.3171/2018.12.JNS182177>
8. Eun C, Lee SJ, Park JC, Ahn JS, Kwun BD, Park W. Efficacy of intraoperative neuromonitoring (IONM) and intraoperative indocyanine green videoangiography (ICG-VA) during unruptured anterior choroidal artery aneurysm clipping surgery. *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg*. 2023;25(2):150–159. PMID: 36693597 <https://doi.org/10.7461/jcen.2023.E2022.10.008>

9. Pontes FGB, da Silva EM, Baptista-Silva JC, Vasconcelos V. Treatments for unruptured intracranial aneurysms. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021;5(5): CD013312. PMID: 33971026 <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013312.pub2>
10. Shitov AM, Sazonov IA, Belousova OB, Eliava SS. Peripheral Cerebral Aneurysms: Clinical Picture and Diagnostics. *Medical Bulletin of the Main Military Clinical Hospital Named After N.N. Burdenko.* 2023;1(11):39–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.53652/2782-1730-2023-4-1-39-47>
11. Sultan I, Brown JA, Serna-Gallegos D, Thirumala PD, Balzer JR, Paras S, et al. Intraoperative neurophysiologic monitoring during aortic arch surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2023;165(6):1971–1981. PMID: 34584591 <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2021.07.025>
12. Krylov VV, Lukianchikov VA, Gorozhanin VA, Barbakadze ZA, Sinkin MV. Technique for intraoperative monitoring of corticospinal tract integrity using an electrode with a dynamic balloon. *Russian journal of neurosurgery.* 2023;25(4):96–103. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2023-25-4-96-103>
13. Clouse JW, Karnati T, Goodrich DJ, Waldau B. How I do it: neuromonitoring-guided clipping of high-riding basilar tip aneurysm. *Acta Neurochir (Wien).* 2023;165(10):2819–2823. PMID: 37115322 <https://doi.org/10.1007/s00701-023-05600-y>
14. Hayashi H, Bebawy JF, Koht A, Hemmer LB. Cautionary findings for motor evoked potential monitoring in intracranial aneurysm surgery after a single administration of rocuronium to facilitate tracheal intubation. *J Clin Monit Comput.* 2021;35(4):903–911. PMID: 32617848 <https://doi.org/10.1007/s10877-020-00551-6>
15. Sasaki T. What Is the Key Point for Intraoperative Monitoring in Cerebral Aneurysm Surgery? *No Shinkei Geka.* 2021;49(1):89–92. PMID: 33494054 <https://doi.org/10.11477/mf.1436204363>
16. Szelényi A, Fernández-Conejero I, Kodama K. Surgery and intraoperative neurophysiologic monitoring for aneurysm clipping. *Handb Clin Neurol.* 2022;186:375–393. PMID: 35772896 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819826-1.00008-9>
17. Luk'yanchikov VA, Sinkin MV, Gorozhanin VA, Barbakadze ZA, Krylov VV. Patent No 2757371(13) S1, 31.10.2020 RF. *Sposob i ustroystvo dlya intraoperatsionnogo monitorirovaniya funktsional'noy tselostnosti kortikospinal'nogo trakta pri operatsiyakh na golovnom mozge.* No 2020135876, decl.: 31.10.2020, publ.: 14.10.2021. Available at: <https://patents.google.com/patent/RU2757371C1/ru> [Accessed Mar 17, 2026]
18. Byoun HS, Bang JS, Oh CW, Kwon OK, Hwang G, Han JH, et al. The incidence of and risk factors for ischemic complications after microsurgical clipping of unruptured middle cerebral artery aneurysms and the efficacy of intraoperative monitoring of somatosensory evoked potentials: a retrospective study. *Clin Neural Neurosurg.* 2016;151:128–135. PMID: 27838495 <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2016.10.008>
19. Staarmann B, O'Neal K, Magner M, Zuccarello M. Sensitivity and specificity of intraoperative neuromonitoring for identifying safety and duration of temporary aneurysm clipping based on vascular territory, a multimodal strategy. *World Neurosurg.* 2017;100:522–530. PMID: 28089809 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.01.009>
20. Choi HH, Ha EJ, Cho WS, Kang HS, Kim JE. Effectiveness and limitations of intraoperative monitoring with combined motor and somatosensory evoked potentials during surgical clipping of unruptured intracranial aneurysms. *World Neurosurg.* 2017;108:738–747. PMID: 28951267 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.09.096>
21. Yue Q, Zhu W, Gu Y, Xu B, Lang L, Song J, et al. Motor evoked potential monitoring during surgery of middle cerebral artery aneurysms: a cohort study. *World Neurosurg.* 2014;82(6):1091–1099. PMID: 25220340 <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.09.004>
22. Nasi D, Meletti S, Tramontano V, Pavesi G. Intraoperative neurophysiological monitoring in aneurysm clipping: Does it make a difference? A systematic review and meta-analysis. *Clin Neurol Neurosurg.* 2020;196:105954. PMID: 32526486 <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2020.105954>
23. Bobryakov NA, Petrov SI, Sereda EV, Moskalev AG, Ponomarev AA, Kazankov IYu, et al. Prognosis of outcomes of intracranial arterial aneurysm clipping using intraoperative neurophysiological monitoring data. *Russian journal of neurosurgery.* 2020;22(4):43–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2020-22-4-43-52>
24. Bobryakov NA, Petrov SI, Sereda EV, Moskalev AG, Ponomarev AA, Kazankov IYu, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring in patients with delayed cerebral ischemia after clipping of ruptured arterial aneurysms. *Russian journal of neurosurgery.* 2024;26(2):26–36. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2024-26-2-26-36>
25. Chung J, Park W, Hong SH, Park JC, Ahn JS, Kwun BD, et al. Intraoperative use of transcranial motor/sensory evoked potential monitoring in the clipping of intracranial aneurysms: evaluation of false-positive and false-negative cases. *J Neurosurg.* 2018;130(3):936–948. PMID: 29570008 <https://doi.org/10.3171/2017.8.JNS17791>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Барбакадзе Заали

врач-нейрохирург отделения для лечения больных с сосудистыми заболеваниями головного мозга ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
<https://orcid.org/0000-0003-3835-4317>, zaali.barbakadze@gmail.com;

50%: ассистирование, выполнение инструментальных диагностических исследований, курирование пациентов, обработка полученных данных, написание текста статьи

Лукьянчиков Виктор Александрович

доктор медицинских наук, врач-нейрохирург отделения для лечения больных с сосудистыми заболеваниями головного мозга ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; заместитель директора института функциональной нейрохирургии ФГБНУ РЦНН;
<https://orcid.org/0000-0003-4518-9874>, vik-luk@yandex.ru;

15%: проведение операций, выполнение инструментальных диагностических исследований, получение данных для анализа, обработка полученных данных, написание текста статьи, научное редактирование, научное консультирование

Синкин Михаил Владимирович

доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник неотложной нейрохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; доцент, заведующий кафедрой медицинских нейротехнологий ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ;
<https://orcid.org/0000-0001-5026-0060>, mvsinkin@gmail.com;

15%: выполнение инструментальных диагностических исследований, обработка полученных данных, написание текста статьи

Далибалдян Ваган Ашикович

кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии; врач-нейрохирург отделения для лечения больных с сосудистыми заболеваниями головного мозга ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»;
<https://orcid.org/0000-0002-5993-3310>, dalvahan@mail.ru;

10%: проведение операций, ассистирование, выполнение инструментальных диагностических исследований, получение данных для анализа, обработка полученных данных

Крылов Владимир Викторович

академик РАН, профессор, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; директор института функциональной нейрохирургии ФГБНУ РЦНН, заведующий кафедрой фундаментальной нейрохирургии ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ (Пироговский Университет);
<https://orcid.org/0000-0001-5256-0905>, manuscript@inbox.ru;

10%: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, обработка полученных данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи, научное редактирование, научное консультирование

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Cerebral Aneurysms Surgery

Z.A. Barbakadze¹ ✉, V.A. Lukyanchikov^{1,2}, M.V. Sinkin^{1,2}, V.A. Dalibaldyan¹, V.V. Krylov^{1,2,3}

Department of Emergency Neurosurgery

¹ N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Care
Bolshaya Sukharevskaya Sq. 3, Moscow, Russian Federation 129090

² Research Center of Neurology and Neurosciences
Volokolamskoe Highway 80, Moscow, Russian Federation 125367

³ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University
Ostrovityanova Str. 1, Moscow, Russian Federation 117997

✉ **Contacts:** Zaali A. Barbakadze, Neurosurgeon, Department for the Treatment of Patients with Cerebrovascular Diseases, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine.
Email: zaali.barakadze@gmail.com

INTRODUCTION The effectiveness of surgical treatment for cerebral aneurysms is due to the improvement of surgical and anesthetic methods that allow for the exclusion of aneurysms from the blood flow. An important condition for the safe isolation and clipping of an aneurysm is the temporary shutdown of blood flow in the artery, in particular, temporary clipping (TC) of the artery carrying the aneurysm. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) was proposed to predict ischemic complications in the treatment for intracranial aneurysms using TC. However, data on the results of using IONM in clipping cerebral aneurysms are contradictory.

THE AIM OF THE STUDY was to evaluate the effectiveness of intraoperative neuromonitoring in the surgical treatment for cerebral aneurysms.

MATERIAL AND METHODS The examination and surgical treatment of 93 patients with cerebral aneurysms was performed; patients were divided into 2 groups: Group 1 (no IONM) – 48 patients who underwent open clipping of the aneurysm without the use of intraoperative neuromonitoring (control group); Group 2 (IONM) – 45 patients who underwent IONM during surgical treatment for cerebral aneurysms in the internal carotid artery and middle cerebral artery.

The treatment outcomes were assessed by the indicators of the radicality of exclusion of the aneurysm from the blood flow, functional outcomes - by the Glasgow Outcome Scale and the Rankin scale. During IONM, transcranial electrical stimulation (TES) was performed, with the impulse being delivered through the bones of the skull from electrodes located on the scalp surface, and motor evoked potentials (MEP) were recorded, direct electrical stimulation of the cerebral cortex (DES-MEP) was performed using a strip electrode laid along the precentral gyrus. After isolating the parent vessel, TC was performed in order to dissect the aneurysm from the surrounding tissues.

RESULTS It was found that the use of IONM during blood flow interruption in surgical treatment for cerebral aneurysms was accompanied by a decrease (compared to the group of patients without neuromonitoring) in the number of cases of temporary clipping by 33%, an increase in the total duration of TC by 25%, a decrease in the number of reperfusions by 50%, a decrease in the total duration of reperfusions by 3 times, a decrease in the duration of one TC session by 10%, and a decrease in the volumetric blood flow through the carrier arteries by 18.1%.

At the same time, no significant intergroup differences in systemic hemodynamic parameters were observed. Also, during IONM, there was no decrease in the amplitude of the MEP-TES in 93.3% of patients, the amplitude of evoked potentials did not change in 77.8–91.2% of patients, while the course of the operation changed in 33.3% of patients. In the early postoperative period, in patients who underwent IONM during TC performance, the proportion of patients with a Glasgow Coma Scale score of 14–15 points was 51% higher, and with a score of 9–13 points 8.8 times lower (than in the group without IONM), speech disorders were detected 2.5 times less often, the presence of cerebral ischemia zones was noted 1.8 times less often.

CONCLUSION Thanks to the feedback provided by the use of IONM in real time, the surgeon can always immediately respond to the development of structural damage to the brain, which in turn helps prevent neurological disorders during surgical treatment of cerebral aneurysms. The use of IONM during open clipping of aneurysms allows increasing the number of excellent treatment outcomes by 44%.

Keywords: cerebral aneurysm, temporary clipping, intraoperative neuromonitoring, reperfusion, transcranial electrical stimulation, Glasgow Coma Scale

For citation Barbakadze ZA, Lukyanchikov VA, Sinkin MV, Dalibaldyan VA, Krylov VV. Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Cerebral Aneurysms Surgery. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2026;15(1):14–23. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2026-15-1-14-23> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study has no sponsorship

Affiliations

Zaali A. Barbakadze	Neurosurgeon, Department for the Treatment of Patients with Cerebrovascular Diseases, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0003-3835-4317 ; zaali.barakadze@gmail.com; 50%, assisting, instrumental diagnostic examination, patient management, data processing, text writing
Viktor A. Lukyanchikov	Doctor of Medical Sciences, Neurosurgeon, Department for the Treatment of Patients with Cerebrovascular Diseases, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Deputy Director, Institute of Functional Neurosurgery, Research Center of Neurology and Neurosciences; https://orcid.org/0000-0003-4518-9874 , vik-luk@yandex.ru; 15%, conducting surgeries, performing instrumental diagnostic studies, obtaining data for analysis, processing the obtained data, text writing, scientific editing and consulting
Mikhail V. Sinkin	Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Department of Emergency Neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Associate Professor, Head, Department of Medical Neurotechnology, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; https://orcid.org/0000-0001-5026-0060 , mvsinkin@gmail.com; 15%, instrumental diagnostic examination, processing the obtained data, text writing
Vagan A. Dalibaldyan	Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, Department of Emergency Neurosurgery, Neurosurgeon, Department for the Treatment of Patients with Cerebrovascular Diseases, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-5993-3310 , dalvahan@mail.ru; 10%, conducting surgeries, assisting, instrumental diagnostic examination, obtaining data for analysis, processing the obtained data
Vladimir V. Krylov	Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher, Department of Emergency Neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; Director, Institute of Functional Neurosurgery, Research Center of Neurology and Neurosciences; Head, Department of Fundamental Neurosurgery, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; https://orcid.org/0000-0001-5256-0905 , manuscript@inbox.ru; 10%, development of research design, obtaining data for analysis, processing of the obtained data, review of relevant publications, text writing, scientific editing and consulting

Received on 06.06.2025

Review completed on 26.08.2025

Accepted on 23.12.2025

Поступила в редакцию 06.06.2025

Рецензирование завершено 26.08.2025

Принята к печати 23.12.2025