



ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НЕЙРОМЫШЕЧНОГО СКОЛИОЗА: КЛИНИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ (НАРРАТИВНЫЙ ОБЗОР)

Е.В. Гулаев¹, А.И. Казьмин¹, А.Н. Бакланов², И.А. Шавырин³, В.В. Швец¹, В.В. Мотин¹

¹Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия;

²Клинический госпиталь на Яузе, Москва, Россия;

³Научно-практический центр специализированной медицинской помощи детям
им. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Москва, Россия

Цель исследования. Обобщить и критически оценить данные об интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге при хирургической коррекции нейромышечного сколиоза с акцентом на модальности мониторинга, причинах тревог и алгоритме действий.

Материал и методы. Работа выполнена как практико-ориентированный нарративный обзор с аналитическим обобщением опубликованных данных без проведения формального метаанализа; уровень доказательности — V. Поиск источников проводили в PubMed/Medline, Scopus, Web of Science Core Collection и РИНЦ за период с 01.01.2005 по 22.09.2025 г. с дополнительным ручным поиском.

Результаты. Ключевые модальности — транскраниальные моторные и соматосенсорные вызванные потенциалы, дополненные спонтанной и триггерной электромиографией для контроля корешковых событий и оценки положения транспедикулярных винтов; при низкой мониторируемости возможны эпидуральные ответы (включая D-wave) как резервная тактика. Изменения сигналов при нейромышечном сколиозе обусловлены тремя группами факторов: перфузионно-физиологическими, механическими (маневры коррекции) и анестезиолого-техническими. Обобщен поэтапный алгоритм реакции на тревогу: исключение технических причин, оптимизация перфузии и анестезии, оценка связи с этапом коррекции и решение о модификации маневра.

Заключение. Мультимодальный интраоперационный нейрофизиологический мониторинг повышает безопасность коррекции нейромышечного сколиоза, однако критерии тревоги и тактика должны индивидуализироваться с учетом нозологии, исходного дефицита и этапа коррекции.

Ключевые слова: нейромышечный сколиоз; интраоперационный нейрофизиологический мониторинг; моторные вызванные потенциалы; соматосенсорные вызванные потенциалы; электромиография; интраоперационные осложнения.

Для цитирования: Гулаев Е.В., Казьмин А.И., Бакланов А.Н., Шавырин И.А., Швец В.В., Мотин В.В. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг при хирургической коррекции нейромышечного сколиоза: клинико-методологические аспекты и алгоритмы интерпретации (нарративный обзор) // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 3. С. 32–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.32-42>

INTRAOPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING IN SURGICAL CORRECTION OF NEUROMUSCULAR SCOLIOSIS: CLINICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS AND INTERPRETATION ALGORITHMS (NARRATIVE REVIEW)

E.V. Gulaev¹, A.I. Kazmin¹, A.N. Baklanov², I.A. Shavyrin³, V.V. Shvets¹, V.V. Motin¹

¹National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, Moscow, Russia;

²Clinical Hospital on Yauza, Moscow, Russia;

³V.F. Voyno-Yasenetsky Scientific and Practical Center of Specialized Medical Care for Children, Moscow, Russia

Objective. To summarize and critically evaluate data on intraoperative neurophysiological monitoring in surgical correction of neuromuscular scoliosis with an emphasis on monitoring modalities, causes of alarm events and an algorithm of response actions.

Material and Methods. The study was carried out as a practice-oriented narrative review with an analytical synthesis of published data without conducting a formal meta-analysis; level of evidence — V. The search for sources was performed in PubMed/Medline, Scopus, Web of Science Core Collection, and the Russian Science Citation Index (RSCI) for the period from January 1, 2005 to September 22, 2025, with additional manual search.

Results. Key modalities included transcranial motor and somatosensory evoked potentials complemented by free-running and triggered electromyography (EMG) to monitor radicular events and to assess pedicle screw position. In cases of poor monitorability, epidural

responses (including D-wave) are possible as a backup tactic. Signal changes in neuromuscular scoliosis are determined by three groups of factors: perfusion—physiological, mechanical (correction maneuvers), and anesthesiological—technical. A stepwise alarm response algorithm is summarized: exclusion of technical causes, optimization of perfusion and anesthesia, assessment of relationship with the correction stage, and deciding on maneuver modification.

Conclusion. Multimodal intraoperative neurophysiological monitoring increases the safety of neuromuscular scoliosis correction; however, alarm criteria and treatment strategies should be individualized according to the underlying diagnosis, initial deficit, and stage of correction.

Key Words: neuromuscular scoliosis; intraoperative neurophysiological monitoring; motor evoked potentials; somatosensory evoked potentials; electromyography; intraoperative complications.

Please cite this paper as: Gulaev EV, Kazmin AI, Baklanov AN, Shavyrin IA, Shvets VV, Motin VV. Intraoperative neurophysiological monitoring in surgical correction of neuromuscular scoliosis: clinical and methodological aspects and interpretation algorithms (narrative review). Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(3):32–42. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.32-42>

Нейромышечный сколиоз (НМС) развивается на фоне заболеваний центральной или периферической нервной системы и первичных миопатий, наиболее часто – при детском церебральном параличе (ДЦП), спинальной мышечной атрофии (СМА) и прогрессирующих мышечных дистрофиях [1–3]. У таких пациентов деформация возникает раньше, прогрессирует быстрее и чаще достигает тяжелых степеней, что сопровождается высоким риском системных осложнений, включая дыхательные, сердечно-сосудистые и нутритивные нарушения, а также остеопению [4].

По сравнению с идиопатическим сколиозом деформации при НМС, как правило, более ригидные и ассоциированы с более высокой частотой осложнений [2, 3, 5]. Для снижения риска все шире применяется интраоперационный нейромониторинг (ИОНМ), позволяющий выявлять угрозу повреждения проводящих путей в реальном времени и корректировать тактику вмешательства [6, 7]; тест пробуждения рассматривается преимущественно как резервный метод [8]. Вместе с тем интерпретация сигналов при НМС осложняется исходным двигательным дефицитом и сопутствующими нарушениями: например, в одной когорте подростков изменения транскраниальных моторных вызванных потенциалов (ТкМВП) отмечены у 64 % пациентов [9].

При этом специализированные обзоры, посвященные особенностям ИОНМ именно при нейромышечном сколиозе, практически отсутствуют.

Цель исследования – обобщить и критически оценить данные об ИОНМ при хирургической коррекции нейромышечных деформаций позвоночника с акцентом на ключевые модальности, анестезиологические особенности и интерпретацию сигналов.

Дизайн и уровень доказательности

Настоящая работа выполнена в формате практико-ориентированного нарративного обзора. Такой формат предполагает аналитическое обобщение опубликованных данных без формального метаанализа; обзор направлен на интерпретацию сигналов ИОНМ и тактические решения при коррекции НМС. Выбор формата обусловлен неоднородностью нозологий, протоколов ИОНМ, критериев тревоги и конечных точек исследований, что ограничивает возможность формального метаанализа. Уровень доказательности – V.

Поиск и отбор литературы

Выполнен расширенный поиск в PubMed/Medline, Scopus, Web of Science Core Collection и РИНЦ за период с 1 января 2005 г. по 22 сентября 2025 г.; дополнительно проведен ручной поиск по профильным журналам и спискам литературы. Использовали комбинации ключевых терминов по НМС/сколиозу и ИОНМ (TcMEP, SSEP, EMG, D-wave, alarm, anesthesia). Включали клинические исследования, обзоры/метаанализы и рекомендации по ИОНМ при коррекции НМС у детей и взрослых; исключали экспериментальные работы, тезисы без полного

текста и дубликаты. Выводы основаны на совокупности опубликованных данных и клиническом опыте авторов.

Ограничения. Нарративный дизайн связан с риском неполного охвата литературы, языковой/публикационной предвзятости и ограниченной сопоставимостью когорт и протоколов ИОНМ. PRISMA/метаанализ/оценка риска смещения не проводились; алгоритмические предложения следует рассматривать как экспертную интерпретацию данных в условиях неоднородности нозологий и ограниченной проспективной валидации порогов ИОНМ для отдельных подгрупп НМС.

Клинический контекст НМС и роль ИОНМ

В крупных сериях осложнения после коррекции НМС встречаются чаще, чем при идиопатических формах: по данным метаанализа ($n = 2155$), наиболее распространены раневые ($\approx 13,3\%$) и респираторные ($\approx 11,8\%$) осложнения, тогда как вновь возникший неврологический дефицит встречается реже ($\approx 2,9\%$), но имеет критическую клиническую значимость [2]. В многоцентровых сериях общая частота осложнений достигает 17–35 %, а неврологические осложнения составляют $\approx 1–3\%$ по метаанализам [2, 5, 10] и $\approx 1\%$ по данным регистра SRS при НМС (против 0,8 % при идиопатическом сколиозе) [11].

В этих условиях ИОНМ рассматривается как инструмент раннего выявления потенциально обратимых нарушений проводимости и их причин в реальном времени. По данным

литературы [9, 12], клинически значимые изменения, соответствующие сигналам тревоги, регистрируются в среднем у 10 % больных, а в отдельных когортах – значительно чаще (до 64 %), преимущественно за счет обратимых изменений. Применение мультимодальных протоколов повышает надежность мониторинга, однако диагностическая точность варьирует в зависимости от протокола и центрального эффекта [13].

Основные причины интраоперационных изменений при НМС условно делят на три группы:

- перфузионно-физиологические – гипотензия, анемия/кровопотеря, нарушения газообмена и температуры [14, 15];
- анестезиолого-технические – влияние ингаляционных анестетиков, остаточная нейромышечная блокада, гипотермия, артефакты электродов [16–18];
- механические – осевая тракция, деротация, коррекция/установка стержней, остеотомии, VCR; большинство тревог возникает на этапах активной коррекции и нередко носит обратимый характер [9, 19–21].

Для НМС также характерны гетерогенность порогов сигналов тревоги и ограниченность данных их проспективной валидации, что осложняет интерпретацию сигналов [6].

Наблюдательные исследования указывают на возможную ассоциацию применения ИОНМ с параметрами послеоперационного течения (включая сроки выписки и частоту осложнений), однако причинно-следственная связь остается недоказанной [7].

У пациентов с НМС и выраженным исходным неврологическим дефицитом ИОНМ направлен не только на предотвращение грубого двигательного ухудшения, но и на сохранение клинически значимых остаточных функций. Даже минимально сохраненные произвольные движения, чувствительность и тазовые функции могут иметь существенное значение для самообслуживания, ухода и качества жизни, а их утрата после хирургического вмешательства представляет собой клинически значимое осложнение. С этих позиций ИОНМ при НМС следует рассматривать не только как средство предотвращения «ката-

строфического» неврологического исхода, но и как инструмент сохранения остаточных функций; данная позиция отражает экспертную интерпретацию опубликованных данных и клинического опыта в условиях ограниченной доказательной базы.

Модальности ИОНМ: возможности и ограничения при НМС

В настоящее время при НМС предпочтение отдается мультимодальному ИОНМ, который считается клинически приемлемым и безопасным; при этом его надежность варьирует в зависимости от нозологии, а в отдельных клинических группах чаще описываются ложноположительные эпизоды [22]. При НМС ИОНМ применяется менее широко, чем при идиопатическом сколиозе. Это связано с неоднородностью нозологий, сложностью интерпретации сигналов и ограниченной информативностью мониторинга при выраженном исходном дефиците (табл. 1).

ТкМВП. Они отражают проводимость кортикоспинальных трактов и являются ведущей модальностью ИОНМ при НМС, в том числе в мультимодальном ИОНМ.

Таблица 1

Пороговые значения критериев тревоги при интраоперационном мониторинге у пациентов с нейромышечным сколиозом

Модальность	Критерии тревоги	Особенности при нейромышечном сколиозе
Соматосенсорные вызванные потенциалы	↓ амплитуды $\geq 50\%$ и/или ↑ латентности $\geq 10\%$	Изолированное удлиннение латентности может быть ранним маркером гипоперфузии и требует сопоставления с гемодинамикой [14, 15]
Транскраниальные моторные вызванные потенциалы	Стойкая утрата воспроизводимого ответа или ↓ амплитуды $\geq 60\%$ (часто в диапазоне 60–80 %)	Выраженная вариабельность по нозологиям; при спинальной мышечной атрофии – различие верхних конечностей/нижних конечностей; дистальные мышцы ног (<i>abductor hallucis</i> , <i>tibialis anterior</i>) информативнее; при MRC ≤ 3 необходима заранее согласованная «резервная стратегия» [23]
Триггерная электромиография	Порог стимуляции ниже ориентировочных значений (часто <6–10 мА)	Подозрение на медиальную перфорацию винта; при нейропатиях возможны атипичные пороги → обязательна механическая верификация [16]
Эпидуральная регистрация/эпидуральные ответы	↓ амплитуды $\geq 50\%$ или утрата	Сохранность при ухудшении/утрате транскраниальных моторных вызванных потенциалов может указывать на более дистальный и/или обратимый уровень нарушения; метод чаще используется как «резерв» при низкой информативности транскраниальных моторных вызванных потенциалов/соматосенсорных вызванных потенциалов [24, 25]

Пороговые значения приведены относительно индивидуального исходного уровня при стабильных условиях анестезии, температуры и перфузии. Указанные критерии отражают наиболее часто используемые подходы; при НМС допустима нозологическая и центр-специфичная вариабельность порогов тревоги. Интерпретация изменений возможна только после исключения технических причин (контакт/монтаж электродов, артефакты, воспроизводимость ответа). MRC – шкала Комитета медицинских исследований (Medical Research Council) для 5-балльной оценки мышечной силы.

тимодальных протоколах. Регистрируемость зависит от нозологии и объема функционирующей мускулатуры: при СМА ответы чаще стабильнее с верхних конечностей, тогда как с нижних конечностей нередко снижены; среди мышц нижних конечностей более информативны дистальные (*abductor hallucis*, *tibialis anterior*) [26–28]. При наследственных полинейропатиях ТкМВП обычно сохраняются, но характерны удлиненная латентность и сниженная амплитуда [29]. Метод чувствителен к ингаляционным анестетикам, поэтому предпочтительна тотальная внутривенная анестезия (ТВА) [6, 17, 18], у детей стимуляцию титруют, начиная с низких значений. В стандартизированном протоколе Kobayashi et al. [30] исходные ТкМВП были получены у 100 % детей и в большинстве исследуемых мышц при 100–200 мА без серьезных осложнений стимуляции. Надежность регистрации коррелирует с силой, оцениваемой по шкале Комитета медицинских исследований (Medical Research Council, MRC) в отдельных мышцах/мышечных группах, используемых как мишени ИОНМ: от 0 баллов при отсутствии произвольного сокращения до 5 баллов при нормальной мышечной силе. По данным литературы, воспроизводимость ответов составляет 0 % при MRC 1–2, 28,6 % – при MRC 3, 72,3 % – при MRC 4, 100,0 % – при MRC 5. При MRC ≤3 целесообразно заранее предусмотреть резервную стратегию – добавление соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), D-wave и/или ЭМГ [23]. Большинство клинически значимых сдвигов ТкМВП возникает на этапах коррекции, нередко обратимы после ослабления маневра или локальной декомпрессии [9, 16].

Если сохранение тазовых функций имеет самостоятельную клиническую значимость или стандартные мышцы-мишени плохо мониторируются, панель регистрации ТкМВП может быть индивидуально расширена за счет мышц туловища, тазового дна, наружного анального и/или уретрального сфинктера. Такой подход

согласуется с данными о расширенной панели мышц-мишеней при коррекции сколиотической деформации у пациентов со СМА, мышечной дистрофией Дюшенна и NF1, включая *rectus abdominis* и/или *sphincter ani* [27, 31, 32]. Для повышения воспроизводимости сфинктерных ответов описана квадрупольная транскраниальная электростимуляция, однако ее роль при коррекции НМС требует отдельной валидации [33].

ССВП. ССВП при НМС остаются одной из наиболее устойчивых модальностей ИОНМ. При СМА и других заболеваниях с преимущественным поражением двигательной сферы воспроизводимость обычно высокая, однако описаны противоречивые данные об увеличении латентности и снижении амплитуды, что требует тщательной калибровки исходного уровня и осторожной трактовки малых изменений [26, 27]. Использование только ССВП не рекомендуется: добавление ТкМВП снижает риск ложноотрицательных исходов и повышает надежность протокола [13].

На параметры ССВП существенно влияют анестезия, температура и перфузия; ТВА, как правило, обеспечивает лучшую воспроизводимость, тогда как ингаляционные анестетики уменьшают амплитуду и увеличивают латентность [17, 34]. При НМС изолированное удлинение латентности может быть ранним признаком гипоперфузии (например, на фоне кровопотери/гипотензии) и требует первоочередной коррекции физиологических параметров с повторной регистрацией [14]. Ограничением метода является необходимость усреднения, в связи с чем ТкМВП более чувствительны к острым изменениям, тогда как ССВП используются для подтверждения выявленных изменений.

В отдельных нозологиях возможна неполная мониторируемость: при атаксии Фридрейха чаще отмечают неудовлетворительные кортикальные ССВП [35], при болезни Шарко – Мари – Тута 1В описано отсутствие коркового ответа при сохранности

ТкМВП [29], у пациентов с тяжелым ДЦП установка эпидуральных ССВП-электродов может повысить мониторируемость [24]. Интерпретацию изменений ССВП следует проводить в динамике с учетом этапов коррекции и гемодинамики, а не по одиночному измерению.

Спонтанная и триггерная электромиография (сЭМГ и тЭМГ). ЭМГ дополняет ССВП/ТкМВП за счет чувствительности к корешковым событиям. сЭМГ обеспечивает непрерывную индикацию раздражения корешка во время манипуляций (винт, ретрактор, коагуляция), при спастичности (например, при ДЦП) и высоким исходном ЭМГ-фоне требуется оптимизация регистрации и строгая привязка активности к этапу вмешательства, иначе возрастает доля ложных тревог, что диктует мультимодальную интерпретацию [6, 17].

тЭМГ применяется для функциональной верификации положения транспедикулярных винтов и рассматривается как дополнительный инструмент контроля, особенно при выраженной деформации и измененной анатомии [21]. Для НМС ориентиром служит снижение порога стимуляции ниже 6 мА (а в отдельных клинических ситуациях – ниже 10 мА), что ассоциировано с повышенной вероятностью медиальной перфорации и требует обязательной механической проверки и коррекции. При отдельных нозологиях (в частности, периферических нейропатиях) возможны атипичные пороги, поэтому интерпретация должна быть осторожной и сопровождаться обязательной механической верификацией [16]. В практическом плане информативна не только абсолютная величина порога, но и ее несоответствие соседним уровням/контралатеральной стороне: выраженное относительное снижение повышает вероятность некорректного положения винта.

При вмешательствах с потенциальным риском вовлечения пояснично-крестцовых корешков, конуса/эпиконуса или сакральных проводящих путей ЭМГ-мониторинг

может быть дополнен регистрацией активности наружного анального и/или уретрального сфинктера, бульбокавернозного рефлекса и рефлекса наружного уретрального сфинктера. Для регистрации рефлекса наружного уретрального сфинктера описано применение мочевых катетеров со встроенными биполярными электродами [36]. Данные о рутинном применении этих методов при коррекции НМС ограничены, поэтому их следует рассматривать как перспективную дополнительную опцию для отдельных высокорисковых случаев.

D-wave (эпидуральная регистрация). Эпидуральные ответы применяются как дополнительная модальность при тяжелых формах НМС с низкой информативностью кортикальных ТкМВП/ССВП (например, при ДЦП с выраженной спастичностью) [17, 24]. Метод устойчив к анестезии и отражает проводимость кортикоспинального тракта; сохранность D-wave при снижении мышечных ТкМВП указывает на дистальный и потенциально обратимый уровень поражения, однако его прогностическая специфичность остается умеренной, а ложноположительные изменения могут быть связаны со смещением эпидурального электрода [25]. В большинстве случаев D-wave используют как резервный метод в высокорисковых клинических сценариях.

Анестезиологические аспекты ИОНМ при НМС

Коморбидность (дыхательные, сердечно-сосудистые и нутритивные нарушения) требует мультидисциплинарного планирования периоперационного ведения. При мышечной дистрофии Дюшенна/Беккера оценивают кардиориск, избегают применения сукцинилхолина (риск гиперкалиемии/рабдомиолиза) и заранее планируют кровосберегающую тактику [24]. При ожидаемой низкой мониторируемости может быть целесообразна предоперационная пробная регистрация ССВП/ТкМВП с предварительным согласованием алгоритма действий при тревоге.

Режим анестезии. Предпочтителен ТВА (пропофол + опиоид), поскольку ингаляционные анестетики снижают амплитуды и увеличивают латентность ССВП и могут дестабилизировать ТкМВП, особенно при исходном неврологическом дефиците [28, 34]. В педиатрии допустима индукция ингаляционным анестетиком с последующим переходом на ТВА перед критическими этапами операции [6, 18]. В отдельных клинических ситуациях допускается применение ингаляционного анестетика в низких концентрациях при условии сохранности воспроизводимых ответов ИОНМ.

Нейромышечная блокада. Нейромышечную блокаду, как правило, ограничивают интубацией, в редких клинических ситуациях ее продление возможно при обязательном контроле степени блокады с использованием TOF-мониторинга, что особенно важно при нервно-мышечных заболеваниях [34].

Адъюванты. При необходимости допустимы кетамин, инфузия лидокаина и низкие дозы дексметомидина, бензодиазепины после индукции следует минимизировать с учетом возможного влияния на воспроизводимость [34]. При эпидуральном введении местных анестетиков следует учитывать их возможное влияние на параметры ИОНМ; для 0,375 % ропивакаина описана вариабельная реакция МВП – от отсутствия изменений до выраженного угнетения моторных ответов [37].

Кровопотеря и кровосбережение. При НМС значимая часть интраоперационных изменений ИОНМ обусловлена гипоперфузией и нарушениями терморегуляции, что диктует приоритет поддержания адекватной перфузии и температуры. Для снижения кровопотери применяют кровосберегающие стратегии, включая транексамовую кислоту и аутогемотрансфузию [24]. В отдельных педиатрических сериях более 50 % кровопотери приходится на поздние этапы коррекции, поэтому целевые показатели перфузии и план трансфузии целесообразно определять заранее [38].

Технические и тактические аспекты ИОНМ при НМС: исходные значения, тракция и ключевые этапы коррекции

Исходные значения и осевая тракция. Исходные уровни ССВП/ТкМВП целесообразно фиксировать после окончательной укладки пациента при стабильном анестезиологическом режиме (включая отсутствие значимой остаточной нейромышечной блокады по TOF) и стабильных физиологических условиях (перфузия, температура), до начала осевой тракции (например, гало-тракции, тракционного позиционирования) и активных коррекционных маневров. На фоне осевой (позиционной) тракции возможна транзиторная утрата сигналов; в таких случаях уменьшают тракционную нагрузку, корректируют перфузионные и анестезиологические факторы, после стабилизации обновляют исходные уровни и далее титруют усилие под контролем ИОНМ. При гидроцефалии целесообразно расширять панель стимуляции и регистрации ТкМВП ввиду вариабельности ответов и исходно сниженной мониторируемости [12, 39].

Контрольные паузы, тЭМГ и командная синхронизация. Ключевые этапы коррекции (установка первого стержня, деротация, установка второго стержня) рекомендуются сопровождать краткими контрольными паузами с повторной оценкой мультимодальных ответов (ССВП/ТкМВП/ЭМГ по протоколу) и документированием изменений относительно исходного уровня. Перед установкой стержней целесообразно выполнять пороговое тестирование транспедикулярных винтов методом тЭМГ как элемент этапного контроля безопасности их позиционирования [9, 17, 19, 21].

Для повышения интерпретируемости данных в ряде центров применяется командная синхронизация: перед началом операции согласуются условия получения исходных уровней, критерии временной паузы, а также выполняется синхронизация ключевых этапов тракции и коррекции с изменени-

ями нейрофизиологических сигналов. Такой подход может снижать вероятность ложной интерпретации причин изменений и ускорять координированную реакцию команды при появлении сигналов тревоги [12, 21, 39].

Особые клинические ситуации при НМС

К ним относятся сочетанные вмешательства и высокорисковые сценарии. При одновременном освобождении фиксированного спинного мозга и коррекции деформации ССВП в ряде случаев могут быть информативнее ТкМВП; мультимодальная оценка (ССВП и ЭМГ) облегчает этапный контроль вмешательства [40].

У пациентов с имплантированными нейростимуляторами выполнение ТкМВП возможно при ТВА при междисциплинарном согласовании. Устройство при необходимости временно деактивируют, а параметры стимуляции выбирают минимально достаточные. Сопутствующая эпилепсия обычно не рассматривается как абсолютное противопоказание к ИОНМ при индивидуальной оценке рисков и соблюдении мер безопасности [12, 41].

При ригидных дугах, больших углах деформации и ревизионных вмешательствах возрастает роль механических факторов, а ТкМВП могут быть нестабильны. В этих сценариях целесообразны расширение мультимодальности (включая D-wave/эпидуральные записи) и дробная коррекция [25].

Нозологически обусловленные особенности ИОНМ при НМС

НМС объединяет гетерогенную группу заболеваний, нозология и исходный дефицит определяют ожидаемую информативность модальностей и принципы интерпретации ИОНМ и, как правило, не являются основанием для отказа от мониторинга [22]. Для НМС типичны сниженный функциональный резерв и исходная вариабельность ответов, поэтому сигналы тревоги часто отражают сочетанное влияние перфузионных, анестезиологических и механических факторов.

В таких ситуациях динамика, воспроизводимость и привязка к этапу коррекции информативнее изолированных процентных порогов [12, 14].

Практически это требует заранее согласованной «резервной стратегии» при низкой информативности или утрате отдельных модальностей: расширение мультимодальности, использование эпидуральных записей (в том числе D-wave) в высокорисковых сценариях и в исключительных случаях wake-up test (тест пробуждения) [8, 24, 25, 35]. Нозологически ориентированные акценты мониторинга, обобщенные в табл. 2, демонстрируют, что частичная или асимметричная мониторируемость отдельных модальностей сохраняет клиническую ценность при мультимодальной интерпретации и стандартизированной реакции команды на сигналы тревоги [26, 31, 34, 42].

Критерии тревоги и алгоритм действий при возникновении сигнала тревоги

Общие принципы интерпретации. Рабочие численные пороги приведены в табл. 1 и далее не повторяются. Изменения оценивают относительно индивидуальных исходных уровней при стабильных условиях регистрации и анестезии. Клиническая интерпретация возможна только после исключения технических причин (контакт и монтаж электродов, артефакты, воспроизводимость при повторной записи) и первичной коррекции системных факторов, прежде всего перфузии и анестезиологического режима.

Ключевое значение имеют динамика и топография изменений. Внезапное снижение или утрата ТкМВП и/или ССВП в течение секунд или нескольких минут чаще соответствует острому механическому или перфузионному воздействию и требует немедленной реакции; постепенные нарастающие сдвиги амплитуды/латентности чаще связаны с анестезиологическими и системными факторами и требуют первичной коррекции условий мониторин-

га. Локализованные/односторонние изменения при сохранности стабильных контрольных ответов (чаще с верхних конечностей) повышают вероятность локального механического фактора. Наиболее значимым критерием тревоги остается утрата воспроизводимого ответа, не восстанавливаемая при коррекции условий и увеличении интенсивности стимуляции; изолированное снижение амплитуды требует трактовки в контексте динамики, распределения изменений и физиологических параметров.

Особенности интерпретации при НМС. Для НМС характерен сниженный функциональный резерв. Именно поэтому сигналы тревоги нередко возникают при сочетании нескольких факторов: умеренных колебаний перфузии, анестезиологического подавления и корригирующих маневров. В таких условиях ориентация только на один процентный порог может приводить к гипердиагностике. Вероятность ложных тревог возрастает при слабых исходных уровнях ($MRC \leq 3$), колебаниях остаточной нейромышечной блокады, гипотермии и выраженной спастичности; в этих условиях более информативны воспроизводимость ответа и его связь с хирургическим этапом, чем изолированная оценка процентного снижения амплитуды. У пациентов с НМС изменения чаще ассоциированы с системными факторами перфузии и анестезии: в частности, увеличение латентности ССВП может предшествовать амплитудным изменениям ТкМВП [14]. В ряде случаев исходно отсутствует одна из модальностей, возможность продолжения операции определяется заранее согласованной альтернативной тактикой (расширение мультимодальности, эпидуральные записи, wake-up test) и оценкой совокупности рисков [8, 12, 16].

Алгоритм действий при возникновении сигнала тревоги по данным ИОНМ

В большинстве центров используется поэтапный подход.

Таблица 2

Нозологически обусловленные особенности интраоперационного нейромониторинга при нейромышечном сколиозе

Нозология	Риск-профиль (значимый для ИОНМ/анестезии)	Мониторируемость и ожидаемые исходные ответы	Тактика и практические акценты
ДЦП (GMFCS IV–V)	Высокая уязвимость; критичность перфузии [22]	ТкМВП: мониторируемость 77,5 %, отсутствие исходных ответов 20,8 %; провокации судорог не отмечено. Показана безопасность ИОНМ при эпилепсии [43]	Спастичность/ПЭП и высокий ЭМГ-фон → риск ложных «тревог»; как правило, предпочтительна ТВА и консервативная трактовка малых сдвигов. Мультимодальность (ССВП + корешковая ЭМГ), первичный акцент на перфузию/МАР, щадящая вентиляция, раннее наблюдение в ОРИТ у группы риска [34]
СМА II–III	Дыхательная уязвимость; при тяжелых деформациях — чувствительность к кровопотере и гипоперфузии [44]	Ответы ВК стабильнее НК; приоритет АН/ТА; ССВП чаще сохранены, латентность ↑ [26]. В сравнении с ИС: ТкМВП из АН — 96,3 %, из ТА — 85,2 % [26]. Воспроизводимость при стандартизированном протоколе описана [42]	Предпочтительна ТВА без поддерживающей НМБ, протективная вентиляция, кровосбережение. При слабых ответах НК — расширение панели мышц, фасилитация стимуляции; заранее согласованная «резервная стратегия» (опора на ССВП/ЭМГ и предусмотренные протоколом варианты контроля) [26, 28]
DMD/BMD	Кардиореспираторный риск; риск рабдомиолиза/гиперкалиемии: сукцинилхолин противопоказан; контроль уровня калия в крови и температуры, ингаляционные анестетики минимизировать [22, 34]	ТкМВП — 100 %, ССВП — 93,3 %; ответы из ТА/GAS снижены, АН сопоставим с ИС [31]	Вариабельность моторных ответов → предпочтительна мультимодальность [34]. АН — приоритет; при бедных ответах — резервные мышцы-мишени (брюшная стенка/сфинктеры). Критически важно исключать физиологические и технические причины перед эскалацией «тревоги» [31]
FRDA	Высокий кардиогемодинамический риск [35]	Неудовлетворительные исходные ответы ~24 %; в отдельных сериях wake-up до 24 % [35]	Заранее согласовать «резервную стратегию» (в том числе возможность теста пробуждения) и планировать ведение в ОРИТ; по показаниям — расширенный гемодинамический мониторинг [35]
Миеломенингоцеле	Анатомические изменения и имплантируемые устройства; кортикальные модальности часто ограничены; высокая чувствительность к позиционным и системным факторам [12]	Часто отсутствуют или ограничены исходные ответы по НК; кортикальные регистрации могут быть неинформативны	Корешковая ЭМГ + навигация; поэтапная коррекция; заранее согласованная «резервная стратегия»; ограничения модальностей целесообразно фиксировать в протоколе операции [12]
NF1 и дисплазии	Компрессионно-диспластические изменения и асимметрия; риск ишемических и механических влияний на этапах коррекции [32]	Межсторонняя асимметрия ТкМВП; сравнение сторон информативно	При асимметрии — первичные акцент на коррекции МАР/перфузии и проверка механического фактора. тЭМГ + навигация для верификации при сомнительных сигналах [32, 39]
Периферические нейропатии (например, СМТ1В)	Вариабельность проводимости и порогов → частично неинформативные модальности и риск «ложных тревог» [29]	Возможна утрата коркового ответа Р40 ССВП при сохранности ТкМВП (латентность ↑, амплитуда ↓) [29]	Диагностическая ценность ССВП может быть снижена; увеличение длительности анализа и расширение панели мышц; интерпретация строго по этапу операции; при сомнительных исходных ответах — дообследование [29]

ИОНМ — интраоперационный нейромониторинг; ДЦП — детский церебральный паралич; ТкМВП — транскраниальные моторные вызванные потенциалы; ПЭП — противоэпилептические препараты; ССВП — соматосенсорные вызванные потенциалы; ЭМГ — электромиография; тЭМГ — триггерная (вызванная) электромиография; ТВА — тотальная внутривенная анестезия; НМБ — нейромышечная блокада; МАР — среднее артериальное давление; ВК — верхние конечности; НК — нижние конечности; АН — *abductor hallucis*; ТА — *tibialis anterior*; GAS — *gastrocnemius*. СМА — спинальная мышечная атрофия; GMFCS — Gross Motor Function Classification System; DMD/BMD — мышечная дистрофия Дюшенна/Беккера; FRDA — атаксия Фридрейха; СМТ1В — болезнь Шарко — Мари — Тута 1В; NF1 — нейрофиброматоз 1-го типа. «Резервная стратегия» — заранее согласованный вариант действий при низкой информативности/утрате модальностей (в том числе wake-up test по показаниям).

1. *Исключение технических причин и первичная коррекция физиологии/анестезии.* Повторная регистрация; контроль монтажа и контакта электродов, исключение артефактов; оценка остаточной нейромышечной блокады (ТОФ), коррекция вентиляции и метаболических параметров и нормализация температуры. При подозрении на гипоперфузию – повышение перфузионного давления (ориентируясь на среднее артериальное давление (МАР), часто не ниже 80–85 мм рт. ст., с учетом возраста и исходных характеристик пациента) и оптимизация анестезии (минимизация ингаляционных анестетиков, усиление ТВА) [13, 15, 16].

2. *Привязка к этапу операции.* Сопоставление времени возникновения изменений с конкретным маневром (инструментальная тракция/деротация, установка или фиксация стержней, остеотомии и др.). При подозрении на корешковое событие и/или проблему положения винта – пороговое тестирование методом тЭМГ и механическая верификация при необходимости [9, 21].

3. *Коррекция хирургического фактора.* Временное ослабление маневра/снижение коррекции; при сохранении изменений и обоснованном подозрении на локальный механический фактор – целенаправленная хирургическая оценка (включая обсуждение локальной декомпрессии или репозиционирования винта) [19, 39].

4. *Переоценка и решение.* Повторная регистрация и документирование динамики; при восстановлении – обновление исходных уровней и решение о про-

должении вмешательства. При стойкой утрате сигналов, если восстановление не достигается на фоне выполненных мер, может рассматриваться временная пауза и в исключительных случаях wake-up test.

По данным литературы, изолированное повышение перфузионного давления может приводить к восстановлению примерно 20 % эпизодов, а в составе комбинированных мер – еще около 60 %; среднее время восстановления составляет порядка 16 мин [6, 17].

При восстановлении сигналов после коррекции выявленных факторов и обновления исходных уровней возможно продолжение операции при коллегиальном решении нейрофизиолога, анестезиолога и хирурга. Как правило, усиливают контроль перфузии и ограничивают агрессивность последующих корригирующих маневров с готовностью к немедленной коррекции тактики при рецидиве тревоги.

Документация и послеоперационное наблюдение. После клинически значимых интраоперационных изменений целесообразны наблюдение в условиях палаты интенсивной терапии и регулярные неврологические осмотры; при ухудшении – срочная нейровизуализация и консилиум. Все эпизоды сигналов тревоги подлежат документированию с временными метками, указанием этапа операции, параметров анестезии, перфузии (включая МАР) и предпринятых коррекционных мер [12, 16].

Заключение

ИОНМ при коррекции НМС рассматривается как важный инструмент повы-

шения безопасности вмешательства, однако его информативность и критерии тревоги при НМС существенно переменны и зависят от нозологии, исходного дефицита и этапа коррекции. В этих условиях наибольшую клиническую ценность имеет мультимодальный протокол с сочетанием ТкМВП и ССВП, дополненный ЭМГ-методами, а при низкой мониторируемости – резервными эпидуральными записями и/или тестом пробуждения по показаниям.

Интерпретация сигналов при НМС должна опираться не на изолированные процентные пороги, а на динамику и воспроизводимость ответов, их топографию и связь с хирургическим маневром при обязательном исключении технических причин и первичной коррекции перфузионных и анестезиологических факторов. Поэтапный алгоритм реакции на тревоги (техническая проверка → оптимизация МАР/перфузии и анестезии → оценка механического фактора → повторная регистрация и решение) позволяет уменьшить риск гипердиагностики и поддерживает междисциплинарное принятие решений.

Представленные в обзоре практические акценты и нозологически ориентированная оценка мониторируемости могут использоваться для стандартизации протоколов ИОНМ при НМС. Они также могут служить основой для дальнейших проспективных исследований по валидации критериев тревоги и оптимизации тактики на этапах коррекции.

Литература/References

- Vialle R, Thévenin-Lemoine C, Mary P. Neuromuscular scoliosis. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013;99(1 Suppl):S124–S139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.11.002>
- Elmehnebi MA, Hassanin MA, Elnady B, Sleem A, Le GT, Patel MS, Quraishi NA. Surgical complications in neuromuscular scoliosis surgery: systematic review and meta-analysis of the last ten years. *Eur Spine J.* 2024;33:2666–2676. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-024-08338-y>
- Клинические рекомендации «Нервно-мышечный сколиоз». Одобрены Научно-практическим советом Минздрава России, 2025. URL: <https://pravo.ppt.ru/klinicheskie-rekomendatsii/320797> [Clinical practice guidelines “Neuromuscular scoliosis”]. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2025. Available at: <https://pravo.ppt.ru/klinicheskie-rekomendatsii/320797>
- Шавырин И.А., Кудряков С.А., Колесов С.В., Брижань Л.К., Давыдов Д.В. Особенности хирургической коррекции нейромышечных сколиозов. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2020;15(2):144–147. [Shavyrin IA, Kudryakov SA, Kolesov SV, Brizhan LK, Davydov DV. Features of surgical correction of neuromuscular scoliosis. *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center.* 2020;15(2):144–147]. DOI: <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2020.50.61.025> EDN: <https://elibrary.ru/REQLKG>

5. Toll BJ, Samdani AF, Janjua MB, Gandhi S, Pahys JM, Hwang SW. Perioperative complications and risk factors in neuromuscular scoliosis surgery. *J Neurosurg Pediatr*. 2018;22:207–213. DOI: <https://doi.org/10.3171/2018.2.PEDS17724>
6. Charalampidis A, Jiang F, Wilson JRF, Badhiwala JH, Brodke DS, Fehlings MG. The use of intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery. *Global Spine J*. 2020;10(1 Suppl):104S–114S. DOI: <https://doi.org/10.1177/2192568219859314>
7. George J, Das S, Egger AC, Chambers RC, Kuivila TE, Goodwin RC. Influence of intraoperative neuromonitoring on the outcomes of surgeries for pediatric scoliosis in the United States. *Spine Deform*. 2019;7(1):27–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.05.013>
8. Pauniar S, Paul A, Wanjari D, Alaspurkar NR. Neuromuscular monitoring and wake-up test during scoliosis surgery. *Cureus*. 2023;15:e44046. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.44046>
9. Ando K, Kobayashi K, Ito K, Tsushima M, Morozumi M, Tanaka S, Machino M, Ota K, Nishida Y, Ishiguro N, Imagama S. Wave change of intraoperative transcranial motor-evoked potentials during corrective fusion for syndromic and neuromuscular scoliosis. *Oper Neurosurg*. 2019;16:53–58. DOI: <https://doi.org/10.1093/ons/opy045>
10. Sharma S, Wu C, Andersen T, Wang Y, Hansen ES, Bünger CE. Prevalence of complications in neuromuscular scoliosis surgery: a literature meta-analysis from the past 15 years. *Eur Spine J*. 2013;22:1230–1249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2542-2>
11. Reames DL, Smith JS, Fu K-MG, Polly DW Jr, Ames CP, Berven SH, Perra JH, Glassman SD, McCarthy RE, Knapp DR Jr, Heary RF, Shaffrey CI. Complications in the surgical treatment of 19,360 cases of pediatric scoliosis: a review of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36:1484–1491. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181f3a326>
12. Floccari LV, Murphy JS, Glotzbecker MP, Spitzer AB, Gomez JA, Fletcher ND; POSNA QSVI Committee. Absent baseline intraoperative neuromonitoring signals. Part 2: Neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop Soc North Am*. 2022;4:1–6. DOI: <https://doi.org/10.55275/JPOSNA-2022-0005>
13. Tsirikos AI, Duckworth AD, Henderson LE, Michaelson C. Multimodal intraoperative spinal cord monitoring during spinal deformity surgery: efficacy, diagnostic characteristics, and algorithm development. *Med Princ Pract*. 2020;29:6–17. DOI: <https://doi.org/10.1159/000501256>
14. Chung SY, Lim CH, Park YG, Kim HS, Kim D, Park J. Hemodynamic consideration in intraoperative neurophysiological monitoring in neuromuscular scoliosis surgery. *Ann Rehabil Med*. 2022;46:292–302. DOI: <https://doi.org/10.5535/arm.22100>
15. Yang J, Skaggs DL, Chan P, Shah SA, Vitale MG, Neiss G, Feinberg N, Andras LM. Raising mean arterial pressure alone restores 20% of intraoperative neuromonitoring losses. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43:890–894. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002461>
16. Spitzer AB, Patel RS, Hasan SS, Blas D, Floccari LV, Glotzbecker MP, Murphy JS, Fletcher ND, Gomez JA; POSNA QSVI Committee. Absent baseline intraoperative neuromonitoring signals. Part 1: Adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop Soc North Am*. 2024;6:e24. DOI: <https://doi.org/10.55275/JPOSNA-2022-0018>
17. Biscevic M, Sehic A, Krupic F. Intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: modalities, advantages, limitations, medicolegal issues – surgeons' views. *EFORT Open Rev*. 2020;5:9–16. DOI: <https://doi.org/10.1302/2058-5241.5.180032>
18. Nagarajan L, Ghosh S, Dillon D, Palumbo L, Woodland P, Thalasingam P, Lethbridge M. Intraoperative neurophysiology monitoring in scoliosis surgery in children. *Clin Neurophysiol Pract*. 2019;4:11–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2018.12.002>
19. Wang S, Zhuang Q, Zhang J, Tian Y, Zhao H, Wang Y, Zhao Y, Li S, Weng X, Qiu G, Shen J. Intra-operative MEP monitoring can work well in the patients with neural axis abnormality. *Eur Spine J*. 2016;25:3194–3200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-015-4205-6>
20. Nunes BL, Zanotto DS, Lima CC, Senna G, Prates e Silva LT, Nascimento JE, Reis C, Fontes BPC. Analysis of patients submitted to surgical treatment for neuromuscular scoliosis with and without intraoperative traction. *Columna/Columna*. 2022;21:e262614. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1808-18512022103262614>
21. Hernandez Mateo JM, Flores Gallardo J, Riquelme García O, García Martín A, Igualada Blázquez C, Quevedo Narciso T, Solans López MDC, Muñoz Núñez L, Esparragoza Cabrera LA. Deformity correction from the convexity of the curve in neuromuscular scoliosis. *J Spine Surg*. 2024;10:224–231. DOI: <https://doi.org/10.21037/jss-23-128>
22. Kim HS, Kwon JW, Park KB. Clinical issues in indication, correction, and outcomes of the surgery for neuromuscular scoliosis: narrative review in pedicle screw era. *Neurosurg Focus*. 2022;19:177–187. DOI: <https://doi.org/10.14245/ns.2143246.623>
23. Lee JM, Kim DH, Kim HS, Choi BK, Han IH. The applicability of intraoperative neuromonitoring in patients with preoperative motor weakness during spine surgery. *Korean J Spine*. 2016;13:9–12. DOI: <https://doi.org/10.14245/kjs.2016.13.1.9>
24. Sedra F, Shafafy R, Sadek AR, Aftab S, Montgomery A, Nadarajah R. Perioperative optimization of patients with neuromuscular disorders undergoing scoliosis corrective surgery: a multidisciplinary team approach. *Global Spine J*. 2021;11:240–248. DOI: <https://doi.org/10.1177/2192568220901692>
25. Fehlings MG, Kelleher MO. Intraoperative monitoring during spinal surgery for neuromuscular scoliosis. *Nat Clin Pract Neurol*. 2007;3:318–319. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0502>
26. Bin L, Yaolong D, Wenyan S, Jiaxin L, Fuyun L, Weiming H, Junlin Y. Intraoperative neurophysiological monitoring during scoliosis surgery in patients with spinal muscular atrophy. *World Neurosurg*. 2025;197:123906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.123906>
27. Гулаев Е.В., Линьков В.В. Моторные и сенсорные вызванные потенциалы при коррекции сколиотической деформации у пациентов со спинальной мышечной атрофией. *Современные проблемы науки и образования*. 2024;(1):7. [Gulaev EV, Linkov VV. Motor and sensory evoked potentials during correction of scoliotic deformity in patients with spinal muscular atrophy. *Modern Problems of Science and Education*. 2024;(1):7. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.33235> EDN: <https://elibrary.ru/WOCZTE>
28. Chen Z, Chen X, Liang X, Niu Q, Chan Y, Xu X. Anesthetic management of a patient with spinal muscular atrophy type II for scoliosis surgery: a case report. *BMC Anesthesiol*. 2025;25:173. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12871-025-02909-2>
29. Numahata K, Sugawara M, Watanabe K, Takizawa Y, Katayanagi J, Ogawa T, Onoue H, Akaiwa Y, Hashiguchi A, Takashima H, Miyamoto T. A case of idiopathic scoliosis with intraoperative neurophysiological monitoring abnormalities leading to the diagnosis of Charcot-Marie-Tooth disease 1B. *Dokkyo Med J*. 2023;2:245–250. DOI: <https://doi.org/10.51040/dkmj.2023-005>
30. Kobayashi K, Ando K, Machino M, Ota K, Morozumi M, Tanaka S, Kanbara S, Ito S, Ishiguro N, Imagama S. Optimal stimulation intensity for Br(E)-MsEP waveform derivation at baseline in pediatric spinal surgery. *Clin Neurol Neurosurg*. 2019;180:74–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.03.005>
31. Dulfer SE, Lange F, Wapstra FH, Potgieser ARE, Valk JP, Absalom AR, Groen RJM, Faber C, Drost G. Intraoperative neurophysiological monitoring during scoliosis surgery in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Eur Spine J*. 2020;29:2029–2035. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06458-9>
32. Qiu J, Li Y, Liu W, Zhu Z, Shi B, Liu Z, Sun X, Qiu Y. Intra-operative neurophysiological monitoring in patients with dystrophic neurofibromatosis type 1 scoliosis. *Somatosens Mot Res*. 2021;38:95–100. DOI: <https://doi.org/10.1080/08990220.2020.1850438>
33. Малышок Д.Э., Бисага Г.Н., Орлов А.Ю., Александров М.В. Эффективность квадрупольной транскраниальной электростимуляции в мониторинге функций тазовых органов при операциях на каудальном отделе спинного мозга. *Современные проблемы науки и образования*. 2024;(3):30. [Malyshek DE, Bisaga GN,

- Orlov Ayu, Alexandrov MV. The effectiveness of quadripolar transcranial electrical stimulation in monitoring pelvic organ functions during operations on the caudal section of the spinal cord. *Modern Problems of Science and Education*. 2024;(3):30. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.33465> EDN: <https://elibrary.ru/UMBIFJ>
34. Hudec M, Prokopová T, Kosinová M, Gál R. Anesthesia and perioperative management for surgical correction of neuromuscular scoliosis in children: a narrative review. *J Clin Med*. 2023;12:3651. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm12113651>
 35. O'Brien EM, Neiswenter N, Lin KY, Lynch D, Baldwin K, Profeta V, Flynn JM, Muhly WT. Perioperative management and outcomes for posterior spinal fusion in patients with Friedreich ataxia: a single-center, retrospective study. *Pediatr Anesth*. 2024;34:654–661. DOI: <https://doi.org/10.1111/pan.14896>
 36. Silverstein JW, Block J, Olmsted ZT, Green R, Pieters T, Babarevech K, Ballas-Williamson A, Skinner SA, Sciubba DM, Larry Lo SF. Intraoperative monitoring of the external urethral sphincter reflex: a novel adjunct to bulbocavernosus reflex neuromonitoring for protecting the sacral neural pathways responsible for urination, defecation and sexual function. *J Clin Neurophysiol*. 2024;41:558–564. DOI: <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000001019>
 37. Сайфутдинов М.С., Скрипников А.А., Рябых С.О., Третьякова А.Н. Интраоперационный нейрофизиологический контроль влияния эпидуральной составляющей мультимодальной анестезии при хирургической коррекции деформаций позвоночника. *Анестезиология и реаниматология*. 2018;(5):75–83. [Saifutdinov MS, Skripnikov AA, Ryabykh SO, Tretiakova AN. Intra-operative neurophysiological monitoring of influence of epidural component of multi-modal anesthesia in surgical correction of spinal deformity. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2018;(5):75–83]. DOI: <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology201805175> EDN: <https://www.elibrary.ru/VSCSJQ>
 38. Wahlquist S, Wongworawat M, Nelson S. When does intraoperative blood loss occur during pediatric scoliosis correction? *Spine Deform*. 2017;5:387–391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2017.04.004>
 39. Besse M, Gaume M, Eisermann M, Kaminska A, Glorion C, Miladi L, Gitiaux C, Ferrero E. Intraoperative neuromonitoring in non-idiopathic pediatric scoliosis operated with minimally fusionless procedure: a series of 290 patients. *Arch Pediatr*. 2022;29:588–593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2022.08.014>
 40. Ranade D, Rege I, More B, Patel A. Importance of intraoperative neuromonitoring in simultaneous release of tethered cord and corrective surgery for severe kyphoscoliosis deformity: a case report. *Egyptian Spine Journal*. 2021;38:68–76. DOI: <https://doi.org/10.21608/ESJ.2022.105366.1202>
 41. Srisooksai G, Mohamed BA, Martin PA, Blakemore LC, Seubert CN. Transcranial motor evoked potential monitoring in a patient with a deep brain stimulator: a case report. *J Clin Neurophysiol*. 2021;38:e1–e4. DOI: <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000705>
 42. Norton JA, Roy FD, Mahood JK. Preservation of motor evoked potentials under anesthesia in children with spinal muscular atrophy type II undergoing spinal deformity surgery. *J Clin Neurophysiol*. 2013;30:382–385. DOI: <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e31829dde84>
 43. Shrader MW, DiCindio S, Kenny KG, Franco AJ, Zhang R, Theroux MC, Rogers KJ, Shah SA. Transcranial electric motor evoked potential monitoring during scoliosis surgery in children with cerebral palsy and active seizure disorder: is it feasible and safe? *Spine Deform*. 2023;11:1461–1466. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43390-023-00730-w>
 44. Wang L, Du Y, Huang N, Yin N, Du J, Yang J, Jiang L, Mao Y. Clinical characteristics and anaesthetic management of severe scoliosis patients with spinal muscular atrophy: case series. *Ann Med Surg (Lond)*. 2024;86:643–649. DOI: <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001562>

Статья поступила в редакцию 24.02.2026

Рецензирование пройдено 06.05.2026

Подписано в печать 05.06.2026

Received 24.02.2026

Review completed 06.05.2026

Passed for printing 05.06.2026

Дополнительная информация

Вклад авторов. Е.В. Гулаев – разработка концепции и дизайна обзора, формулировка цели, поиск и анализ литературных данных, написание первоначального варианта рукописи, научное редактирование и формулировка выводов; А.И. Казьмин – участие в разработке структуры обзора, критический пересмотр рукописи; А.Н. Бакланов – экспертная оценка нейрохирургических и нейрофизиологических аспектов, критический пересмотр рукописи, участие в обсуждении клинических интерпретаций; В.В. Шве́ц – критический пересмотр рукописи, утверждение окончательной версии статьи; В.В. Мотин – поиск и первичный анализ литературных данных, участие в подготовке материалов рукописи и библиографического списка. Все авторы одобрили рукопись, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

✉ Евгений Владимирович Гулаев, канд. мед. наук; Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=1042-1306;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3464-8927>; evgul@mail.ru

Аркадий Иванович Казьмин, канд. мед. наук; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=4944-4173; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2330-0172>; kazmin.cito@mail.ru

Андрей Николаевич Бакланов, д-р мед. наук; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3451-9816; bakl10@mail.ru

Илья Александрович Шавырин, канд. мед. наук; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3532-2690; shailya@ya.ru

Владимир Викторович Шве́ц, д-р мед. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8884-2410>; vshvetcv@yandex.ru

Владимир Владимирович Мотин; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1100-0204>; kavau666@gmail.com

Authors' Info

✉ Evgeny Vladimirovich Gulaev, MD, Cand. Sci. (Medicine); 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=1042-1306;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3464-8927>; evlgul@mail.ru
Arkadii Ivanovich Kazmin, MD, Cand. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=4944-4173; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2330-0172>;
kazmin.cito@mail.ru
Andrey Nikolaevich Baklanov, MD, Dr. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3451-9816; bakl10@mail.ru
Ilya Aleksandrovich Shavyrin, MD, Cand. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3532-2690; shailya@ya.ru;
Vladimir Viktorovich Shvets, MD, Dr. Sci. (Medicine); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8884-2410>; vshvetcv@yandex.ru
Vladimir Vladimirovich Motin; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1100-0204>; kavau666@gmail.com