



МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ ПОДХОД В ИНТРАОПЕРАЦИОННОМ НЕЙРОМОНИТОРИНГЕ СПИННОГО МОЗГА ВО ВРЕМЯ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

А.В. Бузунов, А.С. Васюра, Д.Н. Долотин, А.Ю. Сергунин, В.В. Новиков

*Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия*

Цель исследования. Анализ результатов мультимодального подхода в интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге при оперативной коррекции деформаций позвоночника.

Материал и методы. Описан вариант интраоперационного нейрофизиологического контроля функций спинного мозга и его корешков, который использовали при коррекции сколиотической деформации позвоночника у 138 пациентов. В возрасте от 10 до 17 лет прооперированы 83 человека, старше 17 лет — 55. Средний возраст пациентов — $20,2 \pm 8,3$ года. Пациентов мужского пола было 41, женского — 97. Основная сколиотическая дуга в 90 случаях локализовалась в грудном отделе позвоночника, в 27 — в грудно-поясничном, в 21 — в поясничном.

Результаты. В раннем послеоперационном периоде у двух пациентов развился неврологический дефицит, электрофизиологические предикторы которого были зарегистрированы в ходе интраоперационного нейрофизиологического мониторинга. В одном случае дефицит постепенно полностью регрессировал благодаря принятым операционной бригадой мерам во время операции, в другом случае стойкий неврологический дефицит в виде нижней параплегии сохранялся, несмотря на предпринятые меры во время оперативного лечения. В остальных случаях интраоперационных нейрофизиологических изменений со стороны спинного мозга и его корешков, которые в раннем послеоперационном периоде привели бы к появлению или усугублению моторного дефицита, не зарегистрировано.

Заключение. При мультимодальном подходе во время интраоперационного нейрофизиологического мониторинга оперирующему хирургу доступна объективная оценка состояния спинного мозга и его корешков на любом этапе операции, что позволяет вовремя выявить и устранить причины развития его повреждений, сократив тем самым вероятность развития или усугубления неврологического дефицита в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, мультимодальный подход, соматосенсорные вызванные потенциалы, моторные вызванные потенциалы, D-волна, спонтанная электромиографии, TOF-стимуляция, температурный контроль, сколиотическая деформация позвоночника.

Для цитирования: Бузунов А.В., Васюра А.С., Долотин Д.Н., Сергунин А.Ю., Новиков В.В. Мультимодальный подход в интраоперационном нейрофизиологическом мониторинге спинного мозга во время коррекции деформаций позвоночника // Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 1. С. 31–38.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.1.31-38>.

A MULTIMODAL APPROACH TO INTRAOPERATIVE NEUROMONITORING OF THE SPINAL CORD DURING SPINAL DEFORMITY CORRECTION

A.V. Buzunov, A.S. Vasyura, D.N. Dolotin, A.Yu. Sergunin, V.V. Novikov

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Objective. To analyze the results of a multimodal approach in intraoperative neurophysiological monitoring during surgical correction of spinal deformities.

Material and Methods. The paper describes a variant of intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord and nerve root functions which was used in the correction of scoliotic deformity of the spine in 138 patients. Surgery was performed in 83 patients aged 10 to 17 years and in 55 patients older than 17 years. The average age of patients was 20.23 ± 8.3 years. There were 41 male and 97 female patients. The primary scoliotic curve was localized in the thoracic spine in 90 cases, in the thoracolumbar spine in 27 cases, and in the lumbar spine in 21 cases.

Results. In the early postoperative period, two patients developed neurological deficit, the electrophysiological predictors of which were recorded during intraoperative neurophysiological monitoring. In one case, the deficit gradually regressed completely due to the measures taken by the operating team during surgery; in the second case, a persistent neurological deficit in the form of lower paraplegia persisted, despite the measures taken during the surgical treatment. In other cases, intraoperative neurophysiological monitoring did not reveal any

changes in the spinal cord and nerve roots, which in the early postoperative period would lead to the appearance or aggravation of motor deficit.

Conclusion. A multimodal approach to intraoperative neurophysiological monitoring provides an operating surgeon with an objective assessment of the state of the spinal cord and nerve roots at any stage of surgery, which allows timely identification and elimination of the causes of their damage, thereby reducing the likelihood of neurological deficit development or aggravation in the postoperative period.

Key Words: intraoperative neurophysiological monitoring, multimodal approach, somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials, D-wave, spontaneous electromyography, TOF stimulation, temperature control, spine scoliotic deformity.

Please cite this paper as: *Buzunov AV, Vasyura AS, Dolotin DN, Sergunin AY, Novikov VV. A multimodal approach to intraoperative neuromonitoring of the spinal cord during spinal deformity correction. Hir. Pozvonoc. 2021;18(1):31–38. In Russian.*

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.1.31-38>.

Пациенты, имеющие деформации позвоночника с аномалией развития тел позвонков, составляют особую группу людей, которых необходимо выявлять на ранних стадиях заболевания, постоянно динамически наблюдать у разнопрофильных специалистов и при необходимости своевременно проводить высокотехнологичное оперативное лечение, направленное на коррекцию деформации.

На сегодняшний день отсутствуют точные рекомендации выбора конкретных оперативных методик при хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника, которые бы позволяли минимизировать возможные осложнения и улучшали качество жизни пациентов, так как врожденные кифозы и сколиозы имеют разный патогенез и требуют индивидуального подхода.

Для достижения благоприятного исхода при оперативном лечении данной группы пациентов хирург должен иметь не только богатый клинический опыт, современный хирургический инструментарий, но и полный спектр методов лучевой диагностики и интраоперационного контроля функционального состояния спинного мозга. Такой подход к оперативному лечению пациентов считается обязательным, так как непосредственное травмирование спинного мозга или ишемические нарушения при коррекции деформаций позвоночника могут привести к развитию стойкого неврологического дефицита и последующей инвалидизации, что снижает качество жизни пациента [1]. Мы считаем, что риск развития неврологических осложнений зависит от типа

и тяжести деформации позвоночника. При использовании комбинированных подходов во время операции интраоперационная гипотония, обильное кровотечение, ревизия спинного мозга также влияют на развитие осложнений. По данным зарубежных авторов [2–4], риски неврологических осложнений составляют примерно 1–2 %.

В прошлом хирурги использовали единственный на тот момент высокодостоверный интраоперационный метод выявления неврологического дефицита – wake-up-тест Stagnara, суть которого в пробуждении пациента в ходе операции и оценке произвольных движений нижних конечностей, то есть функции моторного кортикоспинального тракта. Однако при проведении данного теста были выявлены определенные недостатки. Анестезиолог прерывал действие анестезии и мышечных релаксантов, что не всегда приводило к пробуждению, а некоторые пациенты детского возраста были не в состоянии выполнять команды доктора из-за трудности в вербальном контакте [5]. Неврологический статус пациента при данном тесте оценивали в режиме онлайн, то есть в конкретном временном промежутке пробуждения длительностью 15–20 мин, затем вновь требовалось введение анестетиков. Повторное исследование в ходе операции было проблематичным, в результате чего данный тест проводили в конце этапа коррекции, что, в свою очередь, снижало его эффективность.

Еще один минус теста в том, что при его проведении нельзя оценить состояние спиноталамического тракта [3].

В настоящее время во всем мире используется интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ) для оценки функции спинного мозга на всех этапах оперативного лечения сколиоза. Мы в своей клинике отказались от методов единичного исследования сенсорной или моторной системы, решив использовать мультимодальный подход в ИОНМ, который заключается в комплексном исследовании функционирования как кортикоспинального, так и спиноталамического трактов [1, 3, 4]. Параллельно общепринятым методикам во время оперативного лечения исследуем состояние вегетативной функции спинного мозга, проводя измерения кожной температуры на нижних конечностях [6].

Считаем, что данный мультимодальный подход в ИОНМ может повысить чувствительность и специфичность регистрации предикторов развития неврологического дефицита при повреждениях или ишемических нарушениях спинного мозга и его корешков при коррекции деформации позвоночника и вовремя его предотвратить.

Несмотря на широкое применение в мире ИОНМ, в литературе имеются ограниченные данные об эффективности мультимодального подхода в ИОНМ при оперативной коррекции деформаций позвоночника [7], нет данных использования оценки вегетативной функции спинного мозга, кроме публикаций авторов нашего института [6, 8].

Цель исследования – анализ результатов мультимодального подхода в ИОНМ при оперативной коррекции

деформаций позвоночника для улучшения результатов лечения пациентов.

Материал и методы

В ретроспективном исследовании рассмотрены результаты лечения 138 пациентов со сколиозом различной этиологии, оперированных в 2019 г., у которых использовали мультимодальный подход во время ИОНМ и оценивали неврологический статус до и после операции. В возрасте от 10 до 17 лет прооперированы 83 человека, в возрасте более 17 лет (после окончания активного костного роста) – 55. Средний возраст пациентов – $20,2 \pm 8,3$ года. Пациентов мужского пола – 41 человек, женского – 97. Основная сколиотическая дуга в 90 случаях локализовалась в грудном отделе, в 27 – в грудопоясничном, в 21 – в поясничном. Всем пациентам проводили инструментальную коррекцию деформации позвоночника с последующей транспедикулярной фиксацией сегментов грудопоясничного отдела. Хирургическая коррекция деформации с использованием методики VCR (Vertebral Column Resection) в одном случае привела к развитию неврологического дефицита в виде нижней парализации. У остальных пациентов в раннем послеоперационном периоде неврологического дефицита не зарегистрировано, wake-уртест не проводили.

После выполнения анестезиологического пособия и укладки пациента проводили установку электродов в периферические мышцы для интраоперационного нейрофизиологического мониторинга. Мы использовали 16-канальный аппарат ISIS IOM (Inomed, Германия) и 24-канальный ИОМ («Нейрософт», Россия), находившийся на апробации в нашей клинике. Проводили регистрацию соматосенсорных (ССВП) и моторных (МВП) вызванных потенциалов, запись спонтанной (free run) электромиографии (ЭМГ), TOF-стимуляцию, а также запись D-волны и температурный контроль.

Анестезиологическое пособие. Операции проводили под внутривенной

анестезией гипнотиком пропофолом и анальгетиком фентанилом, ИВЛ – кислородно-воздушной смесью в сочетании с ингаляционными анестетиками, доза которых контролируется максимальной альвеолярной концентрацией. Деполяризующие миорелаксанты анестезиолог использовал только на этапе интубации. Параллельно оценивали общую анестезию и седацию головного мозга с помощью данных, полученных с аппарата BIS, измеряющего биспектральный индекс, уменьшая риск преждевременного выхода из наркоза. Данный метод ведения анестезии является оптимальным для получения достоверных данных и исключения ложноотрицательных результатов при проведении ИОНМ. Использование других анестетиков приводит к депрессорному эффекту в виде снижения корковой возбудимости, задержки аксонального проведения по кортикоспинальному тракту, снижения синаптической передачи на уровне спинальных альфа-мотонейронов [9–11].

TOF-стимуляция. С помощью данного метода достигается объективная оценка выраженности миорелаксации на любом этапе операции. Осуществляется стимуляция малоберцового или срединного нерва четырьмя стимулами частотой 2 Гц, длительностью от 200 до 500 мкс и интенсивностью от 10 до 50 мА (определяется индивидуально). Далее регистрировали четыре последовательных моторных ответа с мышцы-мишени T1, T2, T3, T4. При регистрации электромиограммы с верхней конечности мышцей-мишенью выбирали *m. abductor pollicis brevis*, при регистрации ЭМГ с нижней конечности – *m. tibialis anterior*. Аппарат производил оценку амплитуды моторного ответа T4 по отношению к T1. При TOF, равном 100 %, амплитуда всех четырех ответов одинаковая, при TOF – 25 % моторный ответ T4 не регистрируется, при TOF – 20 % моторный ответ T3 не регистрируется, при TOF – 10 % моторный ответ T2 не регистрируется, а при TOF – 0 % происходит полный

блок нервно-мышечной передачи, ни один ответ не регистрируется.

Спонтанная ЭМГ (free run). Регистрацию free run ЭМГ мы производили для оценки функционального состояния спинно-мозговых корешков и предотвращения их травмирования во время проведения винтов и основного этапа коррекции деформации позвоночника.

ССВП. Проводили регистрацию корковых ответов ССВП через штормные электроды, расположенные подкожно на скальпе в точках Cz–Fz по международной системе 10–20. Стимуляцию малоберцовых нервов осуществляли через игольчатые электроды с обеих сторон. Длительность стимула составила 200 мкс, частота стимуляции – от 3,7 до 5,1 Гц. Интенсивность надпорогового стимула выбирали индивидуально – от 15 до 25 мА в каждом конкретном случае. Границы фильтра высоких частот – 30 Гц, низких частот – 600 Гц, эпоха анализа – 100 мкс, количество усреднений – 200. Регистрацию ССВП с верхних конечностей не проводили.

Транскраниальная электрическая стимуляция. Транскраниальную электростимуляцию центральных извилин осуществляли через штормные электроды, установленные подкожно в точки C3–C4 по международной системе 10–20. Запись вели с мышц-мишеней нижних конечностей с *m. vastus lateralis*, *m. tibialis anterior*, *m. abductor ballucis* с обеих сторон. Для возможности исключения затухания моторных ответов при транскраниальной стимуляции с последующим их отсутствием из-за действия миорелаксантов мы также брали мышцы-мишени с верхних конечностей: *m. abductor pollicis brevis* с двух сторон. Стимуляцию осуществляли сериями из пяти импульсов. Силу тока в импульсе выбирали индивидуально (от 70 до 220 мА) после получения моторных ответов со всех периферических мышц-мишеней. Длительность импульса – 200 мкс. Межстимульный интервал – 4 мкс. Границы фильтра высоких частот – 30 Гц, низких частот – 2000 Гц.

D-волна. По мнению исследователей [12, 13], D-волна является надежным критерием при оценке функционального состояния кортикоспинального тракта.

D-волну регистрировали при транскраниальной стимуляции прецентральных извилин одиночным прямоугольным стимулом длительностью 0,3–0,5 мкс. Записывали с эпидурального пространства трехканальным электродом, который обычно устанавливается дистально, но не ниже конуса и эпиконуса, так как там уже отсутствуют моторные кортикоспинальные тракты.

Преимущество использования D-волны состоит в том, что она не зависит от миорелаксантов и более устойчива к общей анестезии по сравнению с транскраниальной электрической стимуляцией. Однако нужно учитывать, что сколиотическая дуга деформирует и спинной мозг, это затрудняет плотное соприкосновение электродов с ним и точное расположение их по средней линии [4, 14]. В свою очередь, это приводит к ложному отсутствию ответа. D-волна при регистрации выглядит в виде двухфазного позитивно-негативного комплекса.

Исчезновению МВП с мышц-мишеней обычно предшествует изменение амплитуды D-волны, но D-волна может оставаться стабильной или амплитуда незначительно уменьшится, несмотря на полное исчезновение МВП с мышц-мишеней. Точкой невозврата считается полное отсутствие МВП при уменьшении амплитуды D-волны более чем на 50 %. Если это произошло, хирургические манипуляции должны быть приостановлены и предприняты корректирующие меры для восстановления МВП. Если восстановления МВП не происходит, операция должна завершиться, так как очень высок риск того, что у пациента разовьется тяжелый двигательный дефицит. Исчезновение D-волны является предиктором развития стойкого моторного дефицита после пробуждения пациента [4, 14]. Также наблюдали снижение амплитуды моторного ответа с некоторых ключевых мышц-мишеней

нижних конечностей с последующим полным отсутствием ответа с них, но без снижения амплитуды D-волны, либо снижение было, но не больше 50 %, что в раннем послеоперационном периоде проявлялось преходящим моторным дефицитом.

Кожная термометрия. Каждые 5 мин с начала операции и до конца оперативного лечения мы применяли постоянный и непрерывный контроль поверхностной кожной температуры датчиками цифрового термометра (от дыхательного аппарата Dräger), которые были установлены на коже задней поверхности голени [6, 8, 15]. Механизм контроля заключался в том, что при осуществлении корригирующих операций на позвоночнике и случайном (ятрогенном) травмировании грудного отдела спинного мозга развивается спинальная посттравматическая десимпатизация, которая не только может быть связана с повреждением симпатического ствола на протяжении Th₁–L₂, но и быть обусловлена ишемией боковых столбов – колонок Кларка. В результате травмы спинного мозга, когда повреждаются или сдавливаются передние структуры, в том числе передняя спинальная артерия, происходит нарушение микроциркуляции спинного мозга. Больше всего страдает пограничная зона васкуляризации между бассейном передней и задних спинальных артерий, то есть зона среднецентральных отделов задних рогов и колонок Кларка. Отсутствие в этой зоне функционально значимых сосудистых анастомозов приводит к ишемии указанной зоны, что проявляется сопутствующей неврологической симптоматикой, в том числе и спинальной десимпатизацией. Это, в свою очередь, приводит к снижению тонуса вазоконстрикторов в сосудах кожи нижних конечностей с повышением кожного кровотока и температуры кожи в нижних конечностях [6, 8].

Критерием значимости отклонений от нормы амплитудно-временных параметров при записи ССВП мы принимали снижение амплитуды пиков на 50 % относительно базовой линии,

моторных – на 80 % и более, вплоть до исчезновения последних, увеличение латентности в обоих случаях – более чем на 10–15 %, падение амплитуды D-волны – более чем на 50 % от первоначальных показателей. Критерием тревоги при оценке термометрии считали увеличение температуры более чем на 1 °C [6].

Результаты и их обсуждение

Хирургическая коррекция сколиотических деформаций позвоночника – риск-ассоциированный метод лечения, так как высока вероятность ятрогенного травмирования спинного мозга. С учетом характера оперативного лечения во время хирургической коррекции позвоночника определить повреждение спинного мозга в операционной ране не представляется возможным, оно может остаться для хирурга незамеченным в течение всей операции.

На риск развития моторного и сенсорного дефицита влияют следующие факторы: проведение транспедикулярных винтов на вершине сколиоза, особенно с его вогнутой стороны, степень выраженности сколиоза, характер оперативной коррекции, снижение перфузионного давления спинного мозга в результате гипотонии и обильной кровопотери [1, 2, 7, 13].

На сегодняшний день используется комплекс интраоперационных нейрофизиологических методик тестирования анатомо-функционального состояния центральной и периферической нервных систем с целью снижения вероятности интраоперационных и ранних послеоперационных неврологических осложнений.

Для повышения информативности ИОНМ мы пошли по экстенсивному пути: увеличили количество используемых модулей для более детальной оценки состояния нервной ткани во время операции, тем самым повысив достоверность данных при критических ситуациях, что также позволило реже использовать wake-up-тест [15].

После однократного введения миорелаксанта короткого действия (Листенона) во время интубации пациента и введения водного наркоза примерно через 10 мин проводили TOF-стимуляцию (train-of-four) для мониторинга уровня миорелаксации, чтобы исключить остаточные эффекты его воздействия. Данный тест использовали для исключения ложноотрицательных результатов, связанных с миорелаксирующим действием препаратов.

Следующим этапом у пациента регистрировали исходные показатели вызванных потенциалов и выбор базовой линии из полученных данных после кожного разреза и до введения миорелаксантов [9, 10]. Затем оценивали латентный период вызванных ответов, их амплитуду, форму базовой линии и ее воспроизводимость.

При доступе к задним структурам позвоночника и до конечного гемостаза и ушивания раны проводили запись спонтанной ЭМГ (free run). С ее помощью шел контроль действий хирурга в операционной ране для оценки механического раздражения, свидетельствующего о работе вблизи нервных структур, и, как следствие, возможных механических и ишемических повреждений, наносимых ятрогенно.

При механическом раздражении спинно-мозгового корешка регистрируется биоэлектрическая активность в мышцах-мишенях. При незначительном механическом воздействии на область вблизи спинно-мозгового корешка или при его смещении, но без риска травмирования, регистрируются короткие (около 30 с), низкоамплитудные и низкочастотные всплески биоэлектрической активности в мышцах-мишенях. Компрессия корешка либо его перерастяжение и, как следствие, развитие в нем ишемии на спонтанной ЭМГ регистрировали длительным биоэлектрическим разрядом в мышцах-мишенях, длящемся обычно более 5 с (типа *train*). Хирурга оповещают об этом, после чего производится коррекция хирургического воздействия. Более информативной зарекомендо-

вала себя триггерная ЭМГ, на которой визуально лучше и без артефактов стимула регистрировалось ирритативное воздействие на уровне спинно-мозговых корешков во время оперативных манипуляций, о чем незамедлительно ставился в известность хирург.

Осуществляли стимуляцию периферических нервов нижних конечностей, получая корковые ССВП Р39 с целью оценки проведения нервного импульса по спиноталамическому тракту от периферии по всей длине спинного мозга и до коры постцентральной извилины. ССВП оценивали от начала и до конца оперативного лечения сколиозов [16]. Изолированное интраоперационное повреждение задних отделов спинного мозга может быть обнаружено только через потерю ССВП, но регистрация только ССВП для предотвращения развития неврологического дефицита недостаточно эффективна [4, 9, 10].

В большинстве случаев действие миорелаксантов заканчивалось во время начала установки винтов, что подтверждалось при TOF-стимуляции.

Наряду с ССВП проводили транскраниальную электростимуляцию прецентральную извилину головного мозга. В результате этого нервный импульс проходил по нисходящему кортикоспинальному тракту до периферических мышц-мишеней, где и регистрировали моторный ответ. Данный метод исследования позволяет оценить функцию моторных кортикоспинальных трактов, альфа-мотонейронов передних рогов спинного мозга и сегментарных интернейронов.

На этапе установки обоих стержней и их коррекции стимуляция МВП обычно продолжалась регулярно с частотой примерно 1 раз в минуту.

Снижение перфузионного давления спинного мозга во время оперативной коррекции деформаций позвоночника приводит к нарушениям кровоснабжения передних отделов спинного мозга и проявляется двусторонней потерей МВП с сохраненными ССВП. В некоторых случаях во время оперативной сессии наблюдали временные ложноположительные собы-

тия, проявляющиеся изолированной потерей МВП с нормальными или сниженными ССВП, что составило примерно 10 % от всех операций. По нашим наблюдениям, данные изменения более вероятно связаны с низким средним артериальным давлением (менее 60 мм рт. ст.), при его повышении с хирургической паузой примерно в 10–15 мин отмечали появление МВП и их дальнейшее увеличение до базовой линии, что позволяло продолжить операцию и исправить деформацию позвоночника, как первоначально планировалось.

Во время проведения винтов или при использовании хирургического инструментария можно повредить задние структуры спинного мозга, что приводит к значимому снижению или потере ССВП без снижения МВП, при повреждении боковых отделов спинного мозга кусачками Керрисона развивается синдром Броун-Секара, что проявляется обычно односторонней потерей МВП и/или ССВП [2]. В процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника с выполнением укорачивающих вертебротомий высока вероятность повреждения спинного мозга и проявляющегося на ИОНМ двустороннего снижения ССВП и МВП с последующим их отсутствием [2], что и встретили в одном случае.

В спорных случаях, а также при грубых сколиотических деформациях использовали транскраниальную стимуляцию одиночными электрическими стимулами моторной коры головного мозга с регистрацией D-волны эпидурально расположенным электродом на уровне тел Th₁₀–Th₁₁ позвонков. При отсутствии отрицательной динамики в амплитуде D-волны при снижении ССВП с отсутствием МВП с двух сторон дифференцировали так называемые ложноположительные события, что добавляло уверенности в отсутствии развития неврологического дефицита с дальнейшим регрессом изменений регистрируемой картины и нарастанием как МВП, так и ССВП при увеличении показателей среднего артериального

давления. В одном случае оперативной коррекции сколиоза при выполнении вертебротомии и, более вероятно, в результате спазма артерии Адамкевича регистрировали снижение амплитуд D-волны, ССВП, МВП с дальнейшим их отсутствием и развитием при пробуждении пациента нижней параплегии.

На постоянной основе используем разработанный в клинике метод оценки термометрии нижних конечностей [6]. При оперативном лечении деформаций позвоночника с помощью кожного термомониторинга фиксировали изменения температуры кожи нижних конечностей, вплоть до 0,1 °С, но критерием тревоги служило увеличение температуры на 1 °С и более.

Обычно при регистрации развития моторных и сенсорных нарушений проводимости спинного мозга прибегали к хирургической паузе на 10–15 мин с параллельным применением глюкокортикоидов, диуретиков, повышением среднего артериального давления, а также с ослаблением корригирующего воздействия транспедикулярной системы. В одном случае оперативного лечения грубой сколиотической деформации при ее коррекции наблюдали снижение амплитуды D-волны относительно базовой линии, но не более 50 %, при отсутствии ССВП и статистически значимом снижением МВП практически на 80 %, с повышением температуры на одной нижней конечности на 0,5 °С, а на другой – на 0,4 °С от исходной температуры до операции. В данном случае были рассмотрены все возможные причины развития этих изменений и предприняты адекватные методы их устранения. Коррекция сколиотической дуги была выполнена, однако не в запланированном

объеме. При пробуждении пациента наблюдали нижний парапарез с дальнейшим полным регрессом в раннем послеоперационном периоде.

Мы уверены, что контролируя ход оперативного лечения, понимая смысл каждой хирургической манипуляции, проводимой в конкретный момент времени, можно вовремя остановить воздействие на спинной мозг, что в большинстве случаев тут же приведет к регрессу развивающихся негативных изменений в спинном мозге и восстановлению вызванных потенциалов, а это, в свою очередь, предупредит развитие стойкого неврологического дефицита.

С учетом отмеченного большого процента положительных исходов после коррекции тяжелых (с большим углом сколиотической дуги и наличием полупозвонков) сколиозов и без развития или усугубления неврологического дефицита в результате применения ИОНМ можно констатировать, что достигнутые результаты вполне могут свидетельствовать о правильности выбора используемых модулей при проведении ИОНМ. Однако картина может быть в корне иной, если не использовать ИОНМ, так как невозможно будет предсказать, как изменится неврологический статус при коррекции сколиоза. Считаем, что отсутствие развития или усугубления имеющегося неврологического дефицита является основным доказательством правильности выбора нейрофизиологических методов интраоперационного контроля функций спинного мозга и его корешков.

Заключение

Наш набор модулей при ИОНМ во время операций, направленных на кор-

рекцию деформации позвоночника, позволяет быстро и надежно оценить физиологическое состояние спинного мозга и в режиме реального времени получить данные, свидетельствующие о надвигающейся ятрогенной нейротравме, что дает возможность предпринять определенные профилактические меры в потенциально обратимой точке.

Считаем, что во время проведения ИОНМ при выявлении снижения МВП с последующим их затуханием, а также снижения амплитуды с последующим исчезновением D-волны и нарастанием кожной температуры на одной или обеих нижних конечностях на 1 °С и более без положительной динамики, несмотря на все предпринятые меры, но с дальнейшим регрессом этих изменений при сбрасывании коррекции, необходимо отказаться от продолжения операции и выполнить ее позднее (позатпно, в другую оперативную сессию).

Проведение ИОНМ по нашей методике является безопасным, воспроизводимым и, как мы считаем, более надежным и информативным при оценке моторной и сенсорной проводимости спинного мозга, что помогает предотвращать развитие стойкого неврологического дефицита или его усугубления, инвалидизацию пациента и, как следствие, не снижает качество жизни пациента.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

- Vitale MG, Skaggs DL, Pace GI, Wright ML, Matsumoto H, Anderson RC, Brockmeyer DL, Dormans JP, Emans JB, Erickson MA, Flynn JM, Glotzbecker MP, Ibrahim KN, Lewis SJ, Luhmann SJ, Mendiratta A, Richard BS 3rd, Sanders JO, Shah SA, Smith JT, Song KM, Sponseller PD, Sucato DJ, Roye DP, Lenke LG. Best practices in intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: development of an intraoperative checklist to optimize response. *Spine Deform.* 2014;2:333–339. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.05.003.
- Lewis SJ, Wong IHY, Strantzas S, Holmes LM, Vreugdenhil I, Bensky H, Nielsen CJ, Zeller R, Lebel DE, de Kleuver M, Gernscheid N, Alanay A, Berwen S, Cheung KMC, Ito M, Polly DW, Shaffrey CI, Qiu Y, Lenke LG. Responding to intraoperative neuromonitoring changes during pediatric coronal spinal deformity surgery. *Global Spine J.* 2019;9(1 Suppl):15S–21S. DOI: 10.1177/2192568219836993.
- Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, Michelucci R, Greggi T, Morigi A, Bacchin MR, Bonarelli S, Cioni A, Vommaro F, Fini N, Lolli F, Parisini P. The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring. *Eur Spine J.* 2011;20(Suppl 1):S105–S114. DOI: 10.1007/s00586-011-1756-z.
- Stecker MM. A review of intraoperative monitoring for spinal surgery. *Surg Neurol Int.* 2012;3(Suppl 3):S174–S187. DOI: 10.4103/2152-7806.98579.
- Хитъ М.А., Колесов С.В., Колбовский Д.А., Морозова Н.С. Роль интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в предотвращении развития послеоперационных неврологических осложнений в хирургии сколиотической деформации позвоночника // *Нервно-мышечные болезни.* 2014. № 2. С. 36–41. [Khit MA, Kolesov SV, Kolbovskiy DA, Morozova NS. The role of the neurophysiological intraoperative monitoring to prevention of postoperative neurological complication in the surgical treatment of scoliosis. *Nervno-mysechnye bolezni.* 2014;(2):36–41. In Russian]. DOI: 10.17650/2222-8721-2014-0-2-36-41.
- Патент на изобретение № 2423935 С2. Способ интраоперационной диагностики неврологических осложнений при операциях на позвоночнике // Новиков В.В., Васюра А.С., Лебедева М.Н., Михайловский М.В. МПК А61В 17/00; заяв. 19.08.2009; опубл. 20.07.2011. [Novikov VV, Vasjura AS, Lebedeva MN, Mikhaylovskiy MV. Method of intraoperative diagnostics of neurological complications in operations on spine. Patent RU 2423935. Appl. 19.08.2009; publ. 20.07.2011, Bull. 20. In Russian].
- Thuet ED, Winscher JC, Padberg AM, Bridwell KH, Lenke LG, Dobbs MB, Schootman M, Luhmann S J. Validity and reliability of intraoperative monitoring in pediatric spinal deformity surgery: a 23-year experience of 3436 surgical cases. *Spine.* 2010;35:1880–1886. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181e53434.
- Васюра А.С., Михайловский М.В., Новиков В.В., Чешева Е.В. Интраоперационная диагностика неврологических осложнений в хирургии тяжелых форм сколиоза: случаи из практики // *Хирургия позвоночника.* 2018. Т. 15. № 2. С. 7–11. [Vasyura AS, Mikhaylovskiy MV, Novikov VV, Chesheva EV. Intraoperative diagnosis of neurological complications in surgery of severe scoliosis: report of clinical cases. *Hir. Pozvonoc.* 2018;15(2):7–11. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2018.2.7-11.
- Bjerke BT, Zuchelli DM, Nemani VM, Emerson RG, Kim HJ, Boachie-Adjei O. Prognosis of significant intraoperative neurophysiologic monitoring events in severe spinal deformity surgery. *Spine Deform.* 2017;5:117–123. DOI: 10.1016/j.jspd.2016.11.002.
- Gupta M, Taylor SE, O'Brien RA, Taylor WR, Hein L. Intraoperative Neurophysiology Monitoring. In: Phillips F, Lieberman I, Polly Jr. D, Wang M. (eds). *Minimally Invasive Spine Surgery.* Springer, Cham, 2019:69–81. DOI: 10.1007/978-3-030-19007-1_7.
- Koruk S, Mizrak A, Kaya Ugur B, Ilhan O, Baspinar O, Oner U. Propofol/dexmedetomidine and propofol/ketamine combinations for anesthesia in pediatric patients undergoing transcatheter atrial septal defect closure: a prospective randomized study. *Clin Ther.* 2010;32:701–709. DOI: 10.1016/j.clinthera.2010.04.010.
- Kothbauer KF, Deletis V. Intraoperative neurophysiology of the conus medullaris and cauda equina. *Childs Nerv Syst.* 2010;26:247–253. DOI: 10.1007/s00381-009-1020-6.
- Yoshida G, Ando M, Imagama S. Alert timing and corresponding intervention with intraoperative spinal cord monitoring for high-risk spinal surgery. *Spine.* 2019;44:E470–E479. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002900.
- Ulkatan S, Neuwirth M, Bitan F, Minardi C, Kokoszka A, Deletis V. Monitoring of scoliosis surgery with epidurally recorded motor evoked potentials (D wave) revealed false results. *Clin Neurophysiol.* 2006;117:2093–2101. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.05.021.
- Новиков В.В., Новикова М.В., Цветовский С.Б., Лебедева М.Н., Михайловский М.В., Васюра А.С., Долотин Д.Н., Удалова И.Г. Профилактика неврологических осложнений при хирургической коррекции грубых деформаций позвоночника // *Хирургия позвоночника.* 2011. № 3. С. 66–76. [Novikov VV, Novikova MV, Tsvetovskiy SB, Lebedeva MN, Mikhaylovskiy MV, Vasyura AS, Dolotin DN, Udalova IG. Prevention of neurological complications in correction surgery for severe spinal deformities. *Hir. Pozvonoc.* 2011;(3):66–76. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2011.3.66-76.
- Sacko O, Lauwers-Cances V, Brauge D, Sesay M, Brenner A, Roux FE. Awake craniotomy vs surgery under general anesthesia for resection of supratentorial lesions. *Neurosurgery.* 2011;68:1192–1199. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31820c02a3.

Адрес для переписки:

Бузунов Алексей Владимирович
 630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
 Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии
 им. Я.Л. Цивьяна,
 alekseibuzunov@mail.ru

Address correspondence to:

Buzunov Aleksey Vladimirovich
 Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics
 n.a. Ya.L. Tsivyan,
 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,
 alekseibuzunov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.09.2021

Рецензирование пройдено 24.02.2021

Подписано в печать 26.02.2021

Received 16.09.2021

Review completed 24.02.2021

Passed for printing 26.02.2021

Алексей Владимирович Бузунов, канд. мед. наук, нейрохирург, нейрофизиолог, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0003-4438-8863, alekseibuzunov@mail.ru;
Александр Сергеевич Васюра, канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед отделения детской ортопедии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-2473-3140, niito@niito.ru;
Денис Николаевич Долотин, врач травматолог-ортопед отделения детской ортопедии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0003-0430-6595, d.dolotin@mail.ru;
Александр Юрьевич Сергунин, врач травматолог-ортопед отделения детской ортопедии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0001-6555-2007, Saport2010@ngs.ru;
Вячеслав Викторович Новиков, д-р мед. наук, начальник научно-исследовательского отделения детской и подростковой вертебралогии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, ORCID: 0000-0002-9130-1081, niito@niito.ru.

Aleksey Vladimirovich Buzunov, MD, PhD, neurosurgeon, neurophysiologist, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0003-4438-8863, alekseibuzunov@mail.ru;
Aleksandr Sergeevich Vasyura, MD, PhD, trauma orthopaedist, Department of Pediatric Orthopedics, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-2473-3140, niito@niito.ru;
Denis Nikolayevich Dolotin, trauma orthopaedist, Department of Pediatric Orthopedics, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0003-0430-6595, d.dolotin@mail.ru;
Aleksandr Yuryevich Sergunin, trauma orthopaedist, Department of Pediatric Orthopedics, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0001-6555-2007, Saport2010@ngs.ru;
Vyacheslav Viktorovich Novikov, DMSc, Head of the Research Department of Pediatric and Adolescent Vertebralogy, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, ORCID: 0000-0002-9130-1081, niito@niito.ru.



КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

М.В. Михайловский

Хирургия по Цивьяну

Новосибирск, 2020
340 с.

Книга выпущена к 100-летию выдающегося хирурга-травматолога Якова Леонтьевича Цивьяна и посвящена его вкладу в отечественную медицинскую науку и практику.

Она включает в себя статьи из старых журналов и сборников, которые могут быть полезны молодым хирургам-травматологам, а также зарисовки из операционных журналов самого выдающегося хирурга-травматолога, чье имя носит научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии, расположенный в Новосибирске.

