

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ ПРИ ОПЕРАТИВНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ НА ПОЗВОНОЧНИКЕ

© В.А. Кузьмина<sup>1</sup>, А.Р. Сундюков<sup>1</sup>, Н.С. Николаев<sup>1, 2</sup>, И.В. Михайлова<sup>2</sup>, А.В. Николаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, Чебоксары;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Чебоксары

Статья поступила в редакцию: 26.07.2016

Статья принята к печати: 10.11.2016

**Цель исследования:** провести анализ применения интраоперационного нейромоторинга (ИОНМ) при оперативных вмешательствах на позвоночнике в условиях ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России.

**Материалы и методы.** В ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Чебоксары) за период с 2009 по 2015 г. было проведено 366 операций на позвоночнике, требующих интраоперационного контроля функциональной целостности нервной системы пациента. Методом контроля за период 2009–2013 гг. служил wake-up-тест, который проводился у 116 (65,9 %) пациентов.

Со второй половины 2013 г. под контролем ИОНМ было прооперировано 250 человек, при этом проведение wake-up-теста потребовалось у 9 (3,6 %) пациентов.

**Результаты.** Применение ИОНМ позволило вовремя выявить риски и сократить послеоперационные неврологические осложнения в 3 раза (с 2,6 до 0,8 %). Внедрение в практику ИОНМ дало возможность значительно расширить структуру оперированных пациентов за счет более сложной патологии. Количество операций при врожденной патологии увеличилось в 10 раз (с 1 до 10 %), дегенеративных заболеваний — в 2,6 раза. Появилась возможность контроля интраоперационных неврологических осложнений у больных с травмами позвоночника (5 %) и нейромышечным сколиозом.

**Выводы и заключение.** Применение ИОНМ позволило минимизировать количество wake-up-тестов, а также значительно сократить неврологические осложнения, вызванные повреждением спинного мозга и спинальных корешков в ходе манипуляций на позвоночнике.

**Ключевые слова:** интраоперационный нейромоторинг, wake-up-тест, неврологические осложнения, моторные вызванные потенциалы, тест N. Root, тест Screw Integrity, N. Proxy.

## EFFECTIVENESS OF INTRAOPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING DURING SPINAL SURGERY

© V.A. Kuzmina<sup>1</sup>, A.R. Syundyukov<sup>1</sup>, N.S. Nikolaev<sup>1, 2</sup>, I.V. Mikhailova<sup>2</sup>, A.V. Nikolaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary, Russia;

<sup>2</sup> Chuvash State University n.a. I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery, 2016;4(4):33-40

Received: 26.07.2016

Accepted: 10.11.2016

**Aim.** To assess the application of intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) for spinal surgeries in accordance with the Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis (Cheboksary, Russian Federation)

**Material and methods.** A total of 366 spinal surgeries, Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis from 2009 to 2015. From 2009 to 2013, the wake-up test was used as a control method in 116 (65.9%) cases.

**Results.** Application of IONM revealed time-dependent risks and facilitated a reduction in the incidence of postoperative neurologic complications by 3-fold (from 2.6% to 0.8%). In the second half of 2013, IONM was introduced for use in clinical practice. Since then, 250 surgeries were performed with IONM. Of these, the wake-up test was required in 9 (3.6%) patients. Clinical implementation of IONM extended the benefits of surgery to patients with severe pathologies. The number of surgeries for congenital pathologies increased by 10-fold (from 1% to 10%) and by 2.6-fold

for degenerative diseases. IONM possibility allows control of intraoperative neurologic complications among patients with spinal injuries (5%) and neuro and muscular scoliosis.

**Conclusions.** The application of IONM minimized the need for the wake-up test and significantly decreased the incidence of neurological complications caused by injury to the spinal cord and spinal roots during execution of spinal manipulations.

**Keywords:** deformity correction, hexapods, software-based external fixation, six-axis frames.

## Введение

В настоящее время хирургический способ широко применяется в лечении спинальной патологии и, безусловно, является основным в коррекции деформаций позвоночника [1]. Несмотря на совершенствование хирургической техники, сохраняются риски возникновения неврологических осложнений [2].

Внедрение в практику спинальных хирургов методик остеотомий позвоночника, систем с высоким потенциалом коррекции, позволяющих радикально устранить все составляющие деформации, малоинвазивных техник операций, манипуляций с дуральным мешком и корешками не снижает, а зачастую увеличивает риски возникновения ятрогенных неврологических осложнений [3, 4]. Так, частота неврологических осложнений, в зависимости от применяемого метода хирургического лечения, колеблется от 0,37 до 10 % [5]. Развитие подобных осложнений может быть обусловлено не только прямым механическим повреждением, растяжением или компрессией нервных структур, но и нарушением сосудистого питания спинного мозга, что связано с особенностями его кровоснабжения [6, 7]. Применение интраоперационного нейромониторирования (ИОНМ) дает возможность предотвратить подобные ситуации [8]. Кроме того, на современном этапе развития хирургической вертебрологии становятся актуальными малотравматичные методики хирургических вмешательств, в частности DLIF (XLIF), обязательным условием выполнения которых является применение ИОНМ [9, 10].

До внедрения в практику работы спинальных хирургов ИОНМ основным способом контроля неврологических осложнений был тест с пробуждением (так называемый wake-up-тест Stagnara), описанный в 1973 г. При проведении wake-up-теста анестезиолог прерывает действие анестетиков и мышечных релаксантов и пробуждает пациента до состояния, в котором тот может выполнять команды и пошевелить стопами. Если моторная функция не нарушена, анестезия и операция продолжают. В противном случае немедленно решается вопрос об изменении хирургической тактики. Поскольку тест длится 15–20 минут,

требует повторного введения анестетиков, применение более чем одного исследования в ходе вмешательства проблематично. Поэтому тест проводится после завершения основных корригирующих манипуляций, что значительно снижает его эффективность. При этом отсутствует возможность оценить функциональную целостность отдельных мышечных групп и нервных стволов. Использование wake-up-теста не позволяет в полной мере оценить неврологический статус [5]. Интраоперационное восстановление сознания может привести к развитию таких осложнений, как случайная экстабуация и воздушная эмболия. Пациенты детского возраста не в состоянии выполнять команды анестезиолога во время пробуждения из-за затрудненного вербального контакта и ментального статуса [11].

При хирургических вмешательствах, в ходе которых могут быть затронуты нервные структуры, на сегодняшний день мировым стандартом контроля неврологических осложнений становится ИОНМ [12].

Оптимальной для ИОНМ является внутривенная анестезия с помощью гипнотика пропофола и анальгетика фентанила в сочетании с вдыханием кислородно-воздушной смеси и ингаляционных анестетиков, доза которых контролируется по максимальной альвеолярной концентрации (МАК). При необходимости использования миорелаксантов применяют препараты средней продолжительности действия. При проведении хирургических вмешательств под контролем ИОНМ для получения достоверных данных и исключения ложноотрицательных результатов исследования необходимо учитывать депрессорный эффект анестетиков на параметры вызванной активности. Механизмы влияния различны — от снижения корковой возбудимости, задержки аксонального проведения по кортикоспинальному тракту до снижения синаптической передачи на уровне спинальных альфа-мотонейронов [7, 13, 14].

Эффект общей анестезии и седации головного мозга оценивается с помощью биспектрального индекса (BiS), который рассчитывается на основе параметров непрерывно регистрируемой ЭЭГ. Данный индекс позволяет стабильно поддерживать глу-

бину седации, уменьшает риск преждевременного выхода из наркоза, снижает расход анестетиков.

При оценке результатов ИОНМ у детей следует учитывать особенности созревания кортикоспинального тракта. Функциональные характеристики моторных путей начинают полностью соответствовать параметрам взрослого человека только в возрасте 12–14 лет. Причем миелинизация путей к мышцам нижних конечностей завершается раньше — в 11–12 лет, к мышцам верхних конечностей — в 12–17 лет. Окончательное созревание центрального отдела двигательного пути завершается только во втором десятилетии жизни [15, 16]. Особенностью пациентов детского возраста являются также небольшие размеры мышц, что требует точности при установке игольчатых электродов.

Цель исследования: провести анализ применения ИОНМ при оперативных вмешательствах на позвоночнике в условиях ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Чебоксары).

## Материалы и методы

В ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (г. Чебоксары), далее Центре, за период с 2009 по 2013 г. проведено 176 операций на позвоночнике, 116 (65,9 %) из них сопровождались риском развития неврологических осложнений и требовали интраоперационного контроля состояния нервной системы пациента. Методом контроля служил wake-up-тест. Первичная патология представлена сколиотической деформацией позвоночника III степени (51 %), на втором месте — сколиотическая деформация IV степени (32 %), в 10 % случаев встречались дегенеративные заболевания позвоночника, в 6 % — кифотическая деформация, лишь в 1 % случаев — врожденные пороки развития.

Со второй половины 2013 г. в практику работы центра введен ИОНМ, под контролем которого прооперировано 250 пациентов (70 мужчин и 180 женщин в возрасте от 2 лет до 71 года). Дети в возрасте до 7 лет составили 6,8 % (17 человек).

В структуре первичной патологии врожденные пороки развития позвоночника диагностированы у 10 %, дегенеративные заболевания — у 26 %, спинномозговая травма — у 5 %, сколиотическая деформация позвоночника III и IV степеней соответственно — у 22 и 33 %, кифозы — у 3 % пациентов.

Все пациенты, включенные в исследование, перед госпитализацией давали добровольное информированное согласие на проведение медицинских процедур, обследований, хирургических вмешательств, участие в научных исследованиях (Приказ № 125 от 30.12.2013 «О внедрении форм

документов для правового обеспечения лечебно-диагностического процесса в ФГБУ „ФЦТОЭ“).

ИОНМ выполнялся с применением системы NIM-Eclipse System фирмы Medtronic. Методика включала шесть тестов.

1. Тест на миорелаксанты (ТОФ) использовался для измерения степени нервно-мышечной блокады (НМБ). Этот тест позволял исключить ложноположительные результаты, обусловленные эффектами паралитических средств. Мониторинг НМБ осуществлялся путем стимуляции соответствующего нерва и регистрации вызванного суммарного моторного потенциала в иннервируемой им мышце.

2. Моторные вызванные потенциалы (МВП) регистрировались в соответствующих мышцах при транскраниальной электростимуляции двигательной коры головного мозга. Для получения МВП электроды устанавливали под кожу волосистой части головы по линии, отстоящей на ширину одного пальца вперед (по направлению к носу) от точек С3 и С4 и соответствующей проекции моторной зоны коры.

3. Режим контроля приближения к нерву (N. Proxu) позволял контролировать корректное формирование канала для транспедикулярного винта. На инструмент хирурга фиксировалась петля, на которую подавался электрический стимул силой тока от 1 до 12 мА. При корректном проведении инструмента через дугу позвонка на мониторе прибора регистрировалась изолиния. По мере приближения проводника к невральным структурам появлялись ЭМГ-ответы нарастающей амплитуды на минимальную силу стимула. В таком случае хирург менял траекторию продвижения инструмента до исчезновения ЭМГ-ответа.

4. Контроль правильности установки транспедикулярного винта во время фиксации позвонка проводили с помощью пуговчатого зонда, на который подавался электрический стимул (режим Screw Integrity). О корректной установке винта строго в педикуле и отсутствии дефектов стенок транспедикулярного канала свидетельствовало отсутствие ЭМГ-ответа либо его появление на стимул высокой мощности. Наличие ЭМГ-ответа расценивали как близость к невральным структурам, обусловленную дефицитом костной ткани в педикуле. Чаще подобная ситуация отмечалась на вершине деформации по вогнутой стороне и объяснялась анатомо-морфологическими особенностями позвонков в этой зоне.

При регистрации стойкого высокоамплитудного ЭМГ-ответа проводили контроль положения винта с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОП). При некорректном положении винта его убирали, если он не нес стратегическую

нагрузку, или меняли траекторию проведения, в некоторых случаях транспедикулярный винт заменяли на другой фиксирующий элемент (крюк, лента).

5. Исследование N. Root спинномозговых корешков с помощью автоматической электростимуляции. Интактные нервные корешки, обеспечивающие иннервацию мышц, формировали ЭМГ-ответ при мощности стимула менее 2 мА.

6. ЭМГ-запись электромиограммы.

Игольчатые электроды устанавливали в мышцы, соответствующие миотомам, иннервируемым определенными сегментами спинного мозга, на уровне хирургического вмешательства, перед обкладыванием пациента операционным бельем и созданием стерильного операционного поля.

В состав премедикации входили атропин, сибазон (реланиум) или дормикум, димедрол, которые вводились внутривенно за 5 минут до начала анестезии. Применялась общая и эндотрахеальная анестезия. Интубацию осуществляли оротрахеальным методом после внутривенного введения миорелаксанта суксаметония хлорида. После интубации больных переводили на ИВЛ. Для поддерживающей анестезии использовали фентанил, пропофол, севофлюран в МАК 0,3–0,5 %.

Хирургическая операция заключалась в следующем: осуществляли доступ к задним структурам позвоночника как открытым, так и малоинвазивным методом через системы специализированных ранорасширителей. Далее скелетировали задние

костные структуры позвоночника и устанавливали опорные элементы металлоконструкции (транспедикулярные винты). В зависимости от целей оперативного вмешательства следующим этапом выполняли процедуру декомпрессии, остеотомии или корригирующего маневра. В дальнейшем стабилизировали достигнутый результат установкой спинальной системы. Завершали дорсальный этап хирургического вмешательства формированием спондилодеза вдоль металлоконструкции, рану послойно ушивали наглухо.

В зависимости от этапа хирургического вмешательства пациентам проводились: тест на миорелаксанты (ТОФ), тест приближения к нерву, screw-тест, ЭМГ. Кроме того, пациентам с дегенеративными заболеваниями позвоночника проводился тест N. Root. Для мониторинга состояния пирамидного тракта во время операций применялась транскраниальная стимуляция моторной коры (МВП).

## Результаты и их обсуждение

Из 116 пациентов, прооперированных под контролем wake-up-теста, у 3 (2,6 %) при восстановлении сознания отсутствовали движения в ногах, что свидетельствовало о развитии интраоперационных неврологических осложнений. На фоне лечения у всех пациентов наблюдалось увеличение силы и чувствительности в ногах вплоть до полного восстановления.

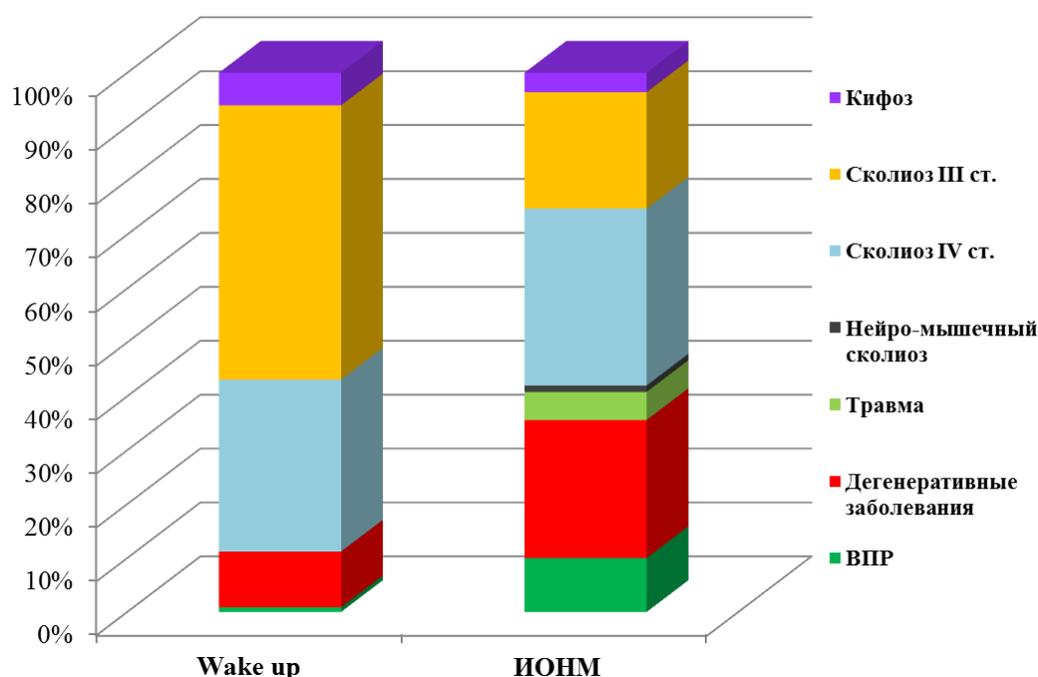


Рис. 1. Структура первичной патологии пациентов, прооперированных под контролем интраоперационного нейромониторирования и wake-up-теста по нозологиям (в %)

Следует отметить, что с внедрением в практику работы Центра ИОНМ изменилась структура оперированных пациентов за счет более сложной патологии (рис. 1).

Так, со второй половины 2013 г. количество операций при врожденной патологии увеличилось в 10 раз (с 1 до 10 %), дегенеративных заболеваний — в 2,6 раза. Появилась возможность контроля интраоперационных неврологических осложнений у больных с травмами позвоночника (5 %) и нейромышечным сколиозом. Количество больных, прооперированных по поводу кифоза позвоночника, сократилось с 6 до 3 %, при этом wake-up-тест проводился только у пациентов с болезнью Шейермана, а при ИОНМ преобладали кифозы с более сложной патологией (остеодисплазия, болезнь Бехтерева), требующие применения остеотомий 3–4-й групп по классификации Shwab, сопровождающихся высоким риском неврологических осложнений.

ИОНМ у всех 250 пациентов начинали с исследования МВП, в дальнейшем производилась

динамическая оценка этого теста на протяжении всего оперативного вмешательства (табл. 1).

У большинства пациентов исходно и в ходе операции регистрировались нормальные значения МВП, что свидетельствовало о целостности двигательных путей и не требовало изменения хода операции. Отсутствие МВП исходно было зарегистрировано у 15 пациентов с синдромом оперированного позвоночника, последствиями спинномозговой травмы, кифосколиотической деформацией грудного отдела позвоночника IV степени и врожденной аномалией развития позвоночника с неврологическими нарушениями в виде парализованных и пlegии. В послеоперационном периоде неврологическая симптоматика сохранялась, что свидетельствовало о глубоком поражении двигательных путей. Усугубление неврологической симптоматики зафиксировано у 2 (0,8 %) пациентов, что было расценено как послеоперационное осложнение. В ходе последующего лечения наблюдалась положительная динамика (табл. 2).

Таблица 1

Результаты теста моторных вызванных потенциалов

Моторные вызванные потенциалы	Количество пациентов (в абс. числах)	Доля, %
Норма	204	81,6
Отсутствие	15	6
Исходно нормальное значение моторных вызванных потенциалов со снижением амплитуды более чем на 70 % в ходе операции	14	5,6
Моторные вызванные потенциалы у детей до 7 лет	17	6,8
Итого	250	100

Таблица 2

Сравнительная характеристика неврологических осложнений пациентов при проведении wake-up-теста и интраоперационного нейромониторирования

Пол	Возраст	Первичная патология	Величина деформации, угол по Cobb, °	Неврологическое осложнение	Тест контроля
м	16	Юношеский идиопатический сколиоз 4-й степени 3a-тип Lenke	160	Сосудистая миелопатия с нижним вялым парализованным нарушением болевой чувствительности по проводниковому типу с уровня D <sub>5</sub>	Wake-up-тест
м	18	Юношеский идиопатический сколиоз 4-й степени 3b-тип Lenke	130	Нижний вялый парализованный и нарушение болевой чувствительности по проводниковому типу с уровня D <sub>5</sub>	Wake-up-тест
м	15	Левосторонний нижнегрудной сколиоз 4-й степени на фоне остеохондродисплазии с верхнегрудной противодугой	96	Умеренно выраженный правосторонний вялый монопарез	Wake-up-тест

Продолжение табл. 2

Пол	Возраст	Первичная патология	Величина деформации, угол по Cobb, °	Неврологическое осложнение	Тест контроля
м	19	Идиопатический инфантильный правосторонний грудной кифосколиоз 4-й степени, осложненный нижним спастическим парапарезом 2–3-й степеней, с сегментарными чувствительными нарушениями на фоне деформации позвоночника, миелопатии	136	Нижняя спастическая параплегия с тотальным нарушением поверхностной и глубокой чувствительности с уровня ТН <sub>9</sub> -ТН <sub>10</sub> и тазовыми нарушениями по типу задержки мочи и стула	ИОНМ
м	3	Врожденная аномалия развития позвоночника на фоне нарушения формирования, слияния позвонка Тн <sub>12</sub> . Кифоз на уровне грудопоясничного перехода с дислокацией L <sub>1</sub> , стенозом позвоночного канала. Нейтральный порок развития шейного отдела. Нижний спастический парапарез средней степени с акцентом справа. Резидуальная энцефалопатия, задержка психоречевого развития	69	Нижняя вялая параплегия	ИОНМ

У части пациентов (14 человек) при исходно нормальных значениях МВП в динамике наблюдалось снижение амплитуды моторных ответов более чем на 70 %, обусловленное переходящим нарушением проведения по двигательным путям, в связи с чем первоначальный план операции был изменен. Своевременное применение глюкокортикоидов, диуретиков, а также ослабление корригирующих воздействий у 5 пациентов привело к нормализации МВП и позволило продолжить оперативное вмешательство. Проведение wake-up-теста потребовалось у 9 (3,6 %) пациентов, во всех случаях он был положительным. Все пациенты данной группы имели выраженную деформацию позвоночника, требующую сложной хирургической коррекции. В послеоперационном периоде неврологические осложнения не зарегистрированы. Следует отметить, что до внедрения ИОНМ wake-up-тест проводился у 65,9 % больных.

Отдельную группу составили дети до 7 лет, оперированные по поводу пороков развития позвоночника и спинного мозга. При этом исходно регистрировались нормальные амплитуды МВП с прямой и косой мышц живота и сниженные, в некоторых случаях вплоть до изолинии, с мышц бедра и голени. Снижение амплитуды МВП связано с особенностью созревания кортикоспинального тракта и депрессорным влиянием на моторную кору ингаляционного анестетика севофлурана. Отмена севофлурана приводила к восстановлению МВП. Оптимальный интервал BiS для

корректной оценки параметров ИОНМ составлял 33–50.

Учитывая способ проведения транспедикулярных опорных элементов хирургом по анатомическим ориентирам (hands-free-техника), важным тестом, применяемым при всех операциях, был тест N. Proxu — близости к невральным структурам. По результатам теста более чем у половины пациентов потребовалась коррекция действий хирурга.

Пациентам с дегенеративными заболеваниями позвоночника (34 человека), наряду с регистрацией МВП, применяли тест N. Root. Исходно и в конце операции у данных пациентов нормальные показатели МВП свидетельствовали о сохранности кортикоспинального пути. Тест N. Root позволил диагностировать глубину поражения спинномозговых корешков. Результаты теста коррелировали с клинической картиной: интактные корешки формировали ответ на стимул до 2 мА у 22 (64 %) пациентов, при парезе сила стимула увеличивалась до 6–10 мА у 8 (23,5 %) пациентов, при плегии ответ не регистрировался даже при максимальной силе стимула 15 мА у 4 (12,5 %) пациентов.

После установки транспедикулярных винтов проводили тест Screw Integrity. В нашей практике было 3 случая (1,2 %) получения ЭМГ-ответа при силе стимула 6 мА, что свидетельствовало об опасной близости винта к невральным структурам и потребовало проведения ЭОП. Подобная ситуация отмечалась на вершине деформации

по вогнутой стороне и объяснялась анатомо-морфологическими особенностями позвонков в этой зоне. В одном случае при некорректном положении винта его убрали, так как он не нес стратегическую нагрузку, во втором — изменили траекторию проведения, в третьем случая транспедикулярный винт заменили на другой фиксирующий элемент (ленту).

## Заключение и выводы

Успех оперативного вмешательства во многом зависит от согласованной работы всех участников операционной бригады: хирурга, анестезиолога, нейрофизиолога. Внедрение в практику ИОНМ позволило значительно расширить структуру оперированных пациентов за счет более сложной патологии. Так, увеличение процента использования ИОНМ у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника (в 2,6 раза) связано с возможностью контроля степени поражения нервных корешков. ИОНМ с использованием NIM-EclipseSystem позволяет в ходе операции многократно оценивать функциональную целостность двигательных проводящих путей и спинномозговых корешков от момента формирования канала для транспедикулярного винта до окончания оперативного вмешательства. При этом минимизируется количество wake-up-тестов, проведение которых более одного раза в ходе операции невозможно и небезопасно для пациента. Более того, выполнение сложных хирургических манипуляций (при врожденных пороках развития, тяжелых деформациях позвоночника, остеотомий III–IV типов) без ИОНМ невозможно.

Следует отметить, что проведение ИОНМ в детской практике требует индивидуального подхода. Необходимо учитывать небольшие размеры мышц и депрессорное влияние ингаляционных анестетиков.

Применение ИОНМ позволило вовремя выявить риски и сократить послеоперационные неврологические осложнения в 3 раза (с 2,6 до 0,8 %), расширить спектр выполняемых оперативных вмешательств, повысить качество лечения пациентов с патологией позвоночника.

## Информация о вкладе каждого автора

В.А. Кузьмина — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; А.Р. Сяндюков — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написа-

ние текста, концепция и дизайн исследования; Н.С. Николаев — руководство, консультирование и дизайн исследования; И.В. Михайлова — консультирование, написание текста; А.В. Николаева — анализ полученных данных, написание текста; концепция и дизайн исследования.

## Информация о финансировании и конфликте интересов

Работа проведена при поддержке ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Список литературы

1. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. — Новосибирск, 2002. — 428 с. [Mikhailovskiy MV, Fomichev NG. Spinal Deformities Surgery. Novosibirsk; 2002. 428 p. (In Russ.)].
2. Удалова И.Г., Михайловский М.В. Неврологические осложнения в хирургии сколиоза // Хирургия позвоночника. — 2013. — № 3. — С. 38–41. [Udalova IG, Mikhailovskiy MV. Neurological Complications in Scoliosis Surgery. *Spine surgery*. 2013;(3):38-41. (In Russ.)].
3. Wright N. XLIF - the United States Experience 2003-4. International Meeting on Advanced Spinal Techniques Banff Alberta. Canada; 2005.
4. Anenbach JD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Major complications & comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine*. 2015;14:198-210.
5. Новиков В.В., Новикова М.В., Цветовский С.Б., и др. Профилактика неврологических осложнений при хирургической коррекции грубых деформаций позвоночника // Хирургия позвоночника. — 2011. — № 3. — С. 66–74. [Novikov VV, Novikova MV, Tsvetkovskiy SB, et al. Prevention of Neurological Complications in Severe Spinal Deformities Surgery. *Spine surgery*. 2011;(3):66-74. (In Russ.)].
6. Фоменко М.В., Голубев Г.Ш., Лака А.А., Купленский А.Э. Результаты хирургического лечения детей с прогрессирующим идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. — 2010. — № 2. — С. 35–40. [Fomenko MV, Golubev GSh, Laka AA, Kuplenskiy AE. Results of Surgical Treatment of Progressive Idiopathic Scoliosis in Children. *Spine Surgery*. 2010;(2):35-40. (In Russ.)].
7. Хабиров Ф.А. Руководство по клинической неврологии позвоночника. — Казань: Медицина, 2006. — 518 с. [Khabirov FA. Guidelines for Clinical Neurology of Spine. Kazan: Medicine; 2006. 518 p. (In Russ.)].

8. Шекутьев Г.А. Нейрофизиологические исследования в клинике НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. — М.: Антидор, 2001. — 233 с. [Schekutev GA. Neurophysiological Researches in Clinic Research Institute of Neurosurgery named after N.N. Burdenko. Moscow: Antidor; 2001. 233 p. (In Russ.)]
9. Tohmeh AG, Rodgers WB, Peterson MD. Dynamically evoked, discrete-threshold electromyography in the extreme lateral interbody fusion approach. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(1):31-37. doi: 10.3171/2010.9.spine09871.
10. Wright N. XLIF-the United States Experience 2003-4. International Meeting on Advanced Spinal Techniques Banff Alberta. Canada, 2005.
11. Хить 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. [Hit MA, Kolesov SV, Kolbovsky DA, Morozova NS. The role of intraoperative neurophysiological monitoring in prevention of postoperative neurological complications in scoliotic spinal deformation surgery. *Neuromuscular diseases*. 2014;(2):36-41. (In Russ.)]
12. Огурцова А.А. Интраоперационный нейромониторинг в нейрохирургии: сборник трудов. — М., 2013. — 74 с. [Ogurtsova AA. Intraoperative neuromonitoring in Neurosurgery: Collection of Studies. Moscow; 2013. 74 p. (In Russ.)]
13. Aatif M, Husain A. Practical Approach to Neurophysiologic Intraoperative Monitoring. New York; 2008. P. 882-898.
14. The LAFS (Los Angeles Anesthesia Friendliness Scale). 2001.
15. Никитин С.С., Куренков А.Л. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. — М.: САШКО, 2003. — 378 с. [Nikitin SS, Kurenkov AL. Magnetic stimulation in the diagnosis and treatment of diseases of the nervous system. Guidelines for doctors. Moscow: Sashko; 2003. 378 p. (In Russ.)]
16. Muller K, Kass-Iliyya F, Reitz M. Ontogeny of ipsilateral corticospinal projections: a developmental study with transcranial magnetic stimulation. *Ann Neurol*. 1997;42(5):705-711. doi:10.1002/ana.410420506.

### Сведения об авторах

**Валентина Александровна Кузьмина** — врач функциональной диагностики ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, Чебоксары. E-mail: doctorkuzmina@rambler.ru.

**Айрат Рашитович Сюндюков** — врач травматолог-ортопед детского травматолого-ортопедического отделения ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, Чебоксары. E-mail: sndk-ar@yandex.ru.

**Николай Станиславович Николаев** — д-р мед. наук, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и экстремальной медицины ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», главный врач ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, Чебоксары. E-mail: fc1@orthoscheb.com.

**Ирина Владимировна Михайлова** — канд. мед. наук, доцент кафедры функциональной и лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова» Чебоксары.

**Алена Владиславовна Николаева** — канд. мед. наук, врач-методист ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, Чебоксары. E-mail: aorlova@orthoscheb.com, orlova.alena@mail.ru.

**Valentina A. Kuzmina** — MD, doctor of functional diagnostics. Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary. E-mail: doctorkuzmina@rambler.ru.

**Airat R. Suynduykov** — MD, orthopedic and trauma surgeon children's trauma and orthopedic department. Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary. E-mail: sndk-ar@yandex.ru.

**Nikolay S. Nikolaev** — MD, PhD, professor, Head of the chair of traumatology, orthopedics and emergency medicine of the Chuvash State University n.a. I.N. Ulyanov. Head doctor of the Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary. E-mail: fc1@orthoscheb.com.

**Irina V. Mikhailova** — MD, PhD, assistant professor of the chair of functional and laboratory diagnostics. Chuvash State University n.a. I.N. Ulyanov.

**Alena V. Nikolaeva** — MD, PhD, doctor of methodical department. Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary. E-mail: aorlova@orthoscheb.com, orlova.alena@mail.ru.