

СОСТОЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ — МАРКЕР УРОВНЯ РИСКА НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ТЯЖЕЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

© *Е.Н. Щурова, М.С. Сайфутдинов, С.О. Рябых*

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»
имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Статья поступила в редакцию: 24.07.2017

Статья принята к печати: 01.11.2017

Актуальность. Лечение тяжелых деформаций позвоночника представляет собой серьезную хирургическую проблему. При этом ятрогенная травма спинного мозга остается опасным осложнением. Существует повышенный риск неврологических дефицитов после операции коррекции тяжелой деформации позвоночника.

Цель исследования — определение характера взаимосвязи между степенью нарушения температурно-болевого чувствительности в области дерматомов Th₁-S₂ и интенсивностью реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую коррекцию тяжелых деформаций позвоночника.

Материалы и методы. Работа основана на результатах исследования 58 больных с тяжелыми деформациями позвоночника разной этиологии (средний возраст — 15,7 ± 0,8 года). Всем пациентам была произведена коррекция деформации с последующей фиксацией сегментов грудного/груднопоясничного отдела позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем транспедикулярной фиксации. Оперативное вмешательство осуществлялось под интраоперационным нейрофизиологическим мониторингом (ИОНМ) с применением моторных транскраниально вызванных потенциалов (МВП). Температурно-болевая чувствительность оценивалась с помощью электрического эстезиометра в дерматомах Th₁-S₂ справа и слева до и после хирургического лечения.

Результаты. Степень нарушения температурно-болевого чувствительности в области дерматомов Th₁-S₂ до и после оперативной коррекции деформации позвоночника коррелирует с предложенной нами шкалой типов реакций (I–V) проводящих путей спинного мозга на хирургическую агрессию. Связь типа реакции с характеристиками температурно-болевого чувствительности в большей степени проявляется для результатов тестирования порогов боли от горячего (термоаналгезии). Частота встречаемости термоаналгезии в предоперационном периоде монотонно возрастает от группы пациентов с первым типом реакции (сохранение на момент тестирования формы и амплитудно-временных параметров МВП, близкими к исходным) к группе больных с пятым типом (высокий риск неврологических осложнений). После оперативной коррекции деформации позвоночника общая частота термоаналгезии повышается по сравнению с исходным уровнем, но в большей степени (до 8 %) термоаналгезия регистрируется в группе больных с пятым типом реакции.

Заключение. Определение в предоперационном периоде у больных с тяжелыми деформациями позвоночника значительной выраженности термоаналгезии может рассматриваться как признак, требующий повышенного внимания со стороны хирурга и нейрофизиолога, проводящего ИОНМ.

Ключевые слова: тяжелые деформации позвоночника; коррекция деформации позвоночника; интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ); моторные транскраниально вызванные потенциалы (МВП); температурно-болевая чувствительность; термоаналгезия.

LOSS OF TEMPERATURE AND PAIN SENSATION AS RISK MARKER OF NEUROLOGICAL COMPLICATIONS IN SURGICAL CORRECTION OF SEVERE SPINAL DEFORMITY

© E.N. Shchurova, M.S. Saifutdinov, S.O. Ryabykh

Iizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2017;5(4):5-15

Received: 24.07.2017

Accepted: 01.11.2017

Background. Treatment of severe spinal deformity remains a challenging surgical problem, with an iatrogenic injury to the spinal cord being a critical complication. There is a high risk of neurological deficit following surgical correction of a severe spinal deformity.

Aim. To determine the relationship between the extent of disturbed thermal and pain sensations at Th₁-S₂ dermatomas and the intensity of the spinal cord pathways' responses to surgical correction of the severe spinal deformity.

Material and methods. We reviewed 58 patients with severe spinal deformities of different etiologies (mean age, 15.7±0.8 years). All patients underwent surgical deformity correction followed by thoracic/thoracolumbar spine fixation by using a variety of internal transpedicular fixations. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) with transcranial motor-evoked potentials (MEPs) was used during operative interventions. Preoperative and postoperative thermal and pain sensations were assessed in Th₁-S₂ dermatomas to the right and left by using an electrical aesthesiometer.

Results. The extent of disturbed preoperative and postoperative thermal and pain sensations in Th₁-S₂ dermatomas before and after correction of spinal deformities correlated with the response type scale (I–V) of the spinal cord pathways to the surgical correction we offered. Correlation between the response type and characteristics of thermal and pain sensations was mostly revealed by the test results for the thermal pain threshold (thermal analgesia). The incidence of postoperative thermal analgesia increased monotonically from patients with response type I (persistent MEP form and amplitude-time parameters close to the baseline) to patients with response type V (higher risk of neurological complications). The overall rate of thermal analgesia increased after surgical correction of the spinal deformity relative to the baseline and was higher (≤8%) in patients with response type V.

Conclusions. Surgeons and neurophysiologists who perform IONM should give careful attention to patients with severe spinal deformity who exhibit marked postoperative thermal analgesia.

Keywords: severe spinal deformity; spinal deformity correction; intraoperative neurophysiological monitoring (IONM); transcranial motor-evoked potentials (MEP); temperature and pain sensation; thermal analgesia.

Введение

Лечение тяжелых деформаций позвоночника представляет собой серьезную хирургическую проблему [1–5]. При этом ятрогенная травма спинного мозга остается опасным осложнением. Частота послеоперационных неврологических осложнений, по данным разных авторов, составляет от 0,37 до 10 % [6–10]. В качестве меры профилактики используется интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ) проводящих путей спинного мозга [5].

В настоящее время применение моторных транскраниально вызванных потенциалов (МВП) является важным составным элементом «золотого стандарта» ИОНМ при коррекции деформаций позвоночника [8, 11–15], поскольку они чрезвычайно чувствительны к изменению кровотока в спинном мозге из-за гипотонии или сдавления (поражения) сосудов [8, 9]. Изменения параметров

МВП в ответ на хирургическую агрессию нередко обнаруживаются раньше, чем реакция соматосенсорных вызванных потенциалов, что способствует более быстрой идентификации надвигающегося повреждения спинного мозга [8]. Однако некоторые авторы считают, что уровень доказательности того, что ИОНМ уменьшает частоту возникновения нового или усугубление существовавшего исходно сенсомоторного дефицита, недостаточно высок [16, 17]. Используемые в качестве инструментов ИОНМ методы не позволяют надежно дифференцировать изменения контролируемых параметров, связанные с действиями хирурга, и реакции, вызванные общей трансформацией функционального состояния ЦНС [12, 18]. В связи с этим необходимы дальнейшие перспективные исследования в данном направлении.

Исследование температурно-болевой чувствительности в дерматомах Th₁-S₂ у больных с тя-

желыми деформациями позвоночника может позволить оценить сохранность функций сенсорной системы кожной чувствительности, ее компенсаторно-адаптивные возможности при коррекции деформации позвоночника.

Таким образом, **целью** нашей работы было определение характера взаимосвязи между степенью нарушения температурно-болевого чувствительности в области дерматомов Th₁-S₂ и интенсивностью реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую коррекцию тяжелых деформаций позвоночника.

Материалы и методы

Выборка пациентов включала 58 больных (24 мужского, 34 женского пола) в возрасте 2,9–27 лет ($15,7 \pm 0,8$ года) с тяжелыми деформациями позвоночника. Причинами деформации был идиопатический сколиоз в 26 случаях, врожденный сколиоз в 22 случаях, нейрофиброматоз I типа в 4 случаях, нейромышечный сколиоз — у 3 больных, деформации позвоночника, вызванные другими факторами (новообразования и др.), — у 3 больных. Средний угол деформации основной дуги составил $80,1 \pm 7,1^\circ$ (диапазон — от 50 до 145°), компенсаторной дуги — $51,8 \pm 9,4^\circ$ (диапазон — от 20 до 135°).

Всем пациентам под контролем ИОНМ (63 протокола) была произведена коррекция деформации с последующей фиксацией сегментов грудного / грудопоясничного отдела позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем транспедикулярной фиксации [19–22]. В процессе оперативного вмешательства было выполнено 7 остеотомий, 5 вертебротомий, 3 экстирпации полупозвонков, релиз, дискотомия.

Анестезиологическое пособие сочетало тотальную внутривенную анестезию в виде комбинации гипнотика пропофола ($10\text{--}2$ мг/кг/ч) с наркотическим анальгетиком фентанилом ($10\text{--}1$ мкг/кг/ч) при внутривенном введении микроструйно через инфузомат и искусственную вентиляцию легких через интубационную трубку. На стадии интубации применялся миорелаксант среднего действия эсмерон. Длительность операции составила в среднем $235,0 \pm 13,5$ мин (диапазон — $60\text{--}470$ мин), интраоперационная кровопотеря — $556,0 \pm 51,4$ мл (диапазон — $100\text{--}1500$ мл).

Данное исследование было одобрено комитетом по этике ФГБУ «РНЦ ВТО имени академика Г.А. Илизарова Минздрава России» (протокол № 7(32) от 24.12.2012). Оно осуществлялось в соответствии с этическими стандартами, из-

ложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в редакции 2013 г.). Пациенты, достигшие 18 лет, а также родители детей или их законные представители подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и публикацию данных без идентификации личности.

Тестирование температурно-болевого чувствительности проводили до и через две-три недели после операции (в зависимости от состояния пациента) с помощью электрического эстезиометра (термистор EPCOS Inc., Германия) с одновременной регистрацией температуры кожи (Termostar, Nihon Kohden, Япония). Методической основой изучения температурно-болевого чувствительности служила оценка температурного восприятия в ответ на локальное нагревание участка кожи выбранного дерматома. Температурные ощущения распределялись по двум градациям: 1) «тепло»; 2) «боль от горячего». Площадь контакта термоэлемента составляла 1 см², диапазон изменения температуры колебался от 10 до 50° , скорость увеличения температуры была $2^\circ/\text{мин}$. Оценка температурно-болевого чувствительности проводилась в соответствии с общепринятой схемой [23] в симметричных точках справа и слева дерматомов Th₁-S₂.

Оценивали соответствие нормальному типу статистического распределения значений порогов ощущения тепла и боли от горячего с помощью критериев Колмогорова, Смирнова. Рассчитывали их среднее арифметическое (M), стандартную ошибку средней (m), частоту встречаемости (v) наблюдений с отсутствием ощущения тепла (термоанестезия) и боли от горячего (термоаналгезия) как выраженное в процентах отношение количества наблюдений термоанестезии (n_{t1}) и термоаналгезии (n_{t2}) соответственно к объему выборки (N):

$$v_i = \frac{n_i \cdot 100\%}{N}. \quad (1)$$

Вычисляли ошибку (S_v) частоты встречаемости по формуле

$$S_v = \sqrt{\frac{v(1-v)}{N}}, \quad (2)$$

где n_i — число наблюдений i -го параметра, N — общее количество наблюдений в анализируемой выборке.

Статистическую значимость различий эстезиометрических показателей в сравниваемых группах при нормальном характере их распределения оценивали с использованием t -критерия Стьюдента ($p < 0,05$). В случае малого объема выбор-

ки использовался непараметрический критерий Манна – Уитни ($p < 0,05$). Значимость изменения частоты регистрации термоанестезии и термоаналгезии оценивали с помощью z -критерия разности долей. Математическая обработка полученных данных проводилась с помощью программного комплекса Microsoft Excel 2010 с надстройкой Attestat [24].

Интраоперационный нейромониторинг осуществлялся с помощью системы ISIS IOM (Inomed Medizintechnik GmbH, Германия). Схема его реализации подробно описана нами ранее [25]. Зафиксированным в процессе мониторинга реакциям характеристик МВП присваивался ранг в соответствии с разработанной нами шкалой [25] от нулевого (сохранение на момент тестирования формы и амплитудно-временных параметров МВП, близкими к исходным) до седьмого (полное исчезновение МВП без признаков его восстановления к моменту завершения хирургического вмешательства). При последующем тестировании ранговая оценка либо сохранялась на том же уровне (относительно предшествующей динамики МВП), либо менялась в сторону повышения или понижения в зависимости от способности пирамидной системы транслировать волну возбуждения от моторной коры к мышце-индикатору. Со-

вокупность изменений ранговых оценок МВП на протяжении оперативного вмешательства характеризовала тип реакции пирамидной системы на оперативное вмешательство. Нами выделено пять устойчивых комбинаций рангов, соответствующих пяти типам реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую агрессию [25]. Рассчитывалась частота встречаемости (v) по формуле (1) и ее ошибка по формуле (2) для выделенных нами типов реакции.

Результаты исследования

Анализ показателей температурно-болевого чувствительности у больных с тяжелыми деформациями позвоночника определил, что в предоперационном периоде средние значения порогов тепловой (рис. 1, а) и болевой (рис. 1, б) чувствительности в симметричных точках тестирования (справа и слева) имели близкие значения ($p > 0,05$) и практически одинаково возрастали с незначительными вариациями в каудальном направлении (от дерматома Th₁ к дерматому S₂).

Сравнение величин порогов чувствительности у больных с деформацией позвоночника со значениями нормы (см. рис. 1) показало, что порог тепловой чувствительности с уровня дерматома

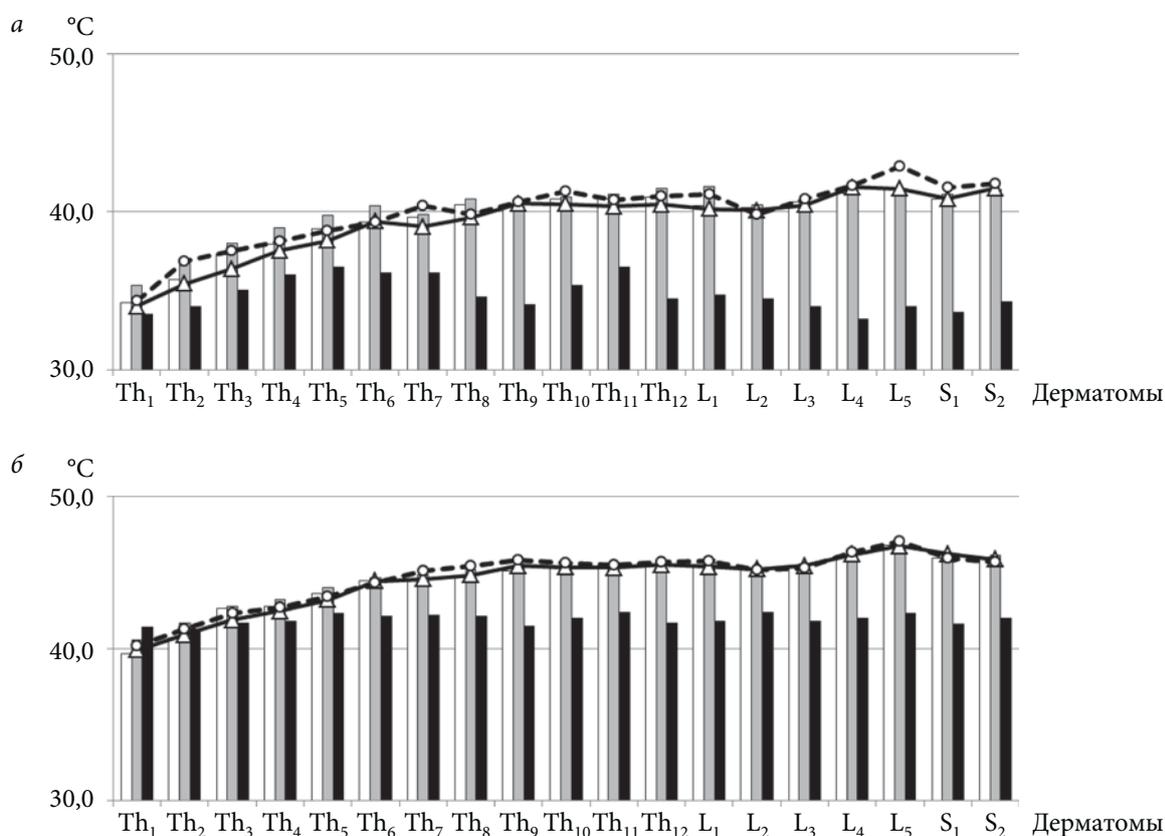


Рис. 1. Пороги тепловой (а) и болевой (б) чувствительности в дерматоме Th₁-S₂ у больных с тяжелыми деформациями позвоночника до лечения (столбики: белый — правая сторона, серый — левая сторона) и после лечения (линии: сплошная — правая сторона, пунктирная — левая сторона). Черные столбики — величины порогов в норме

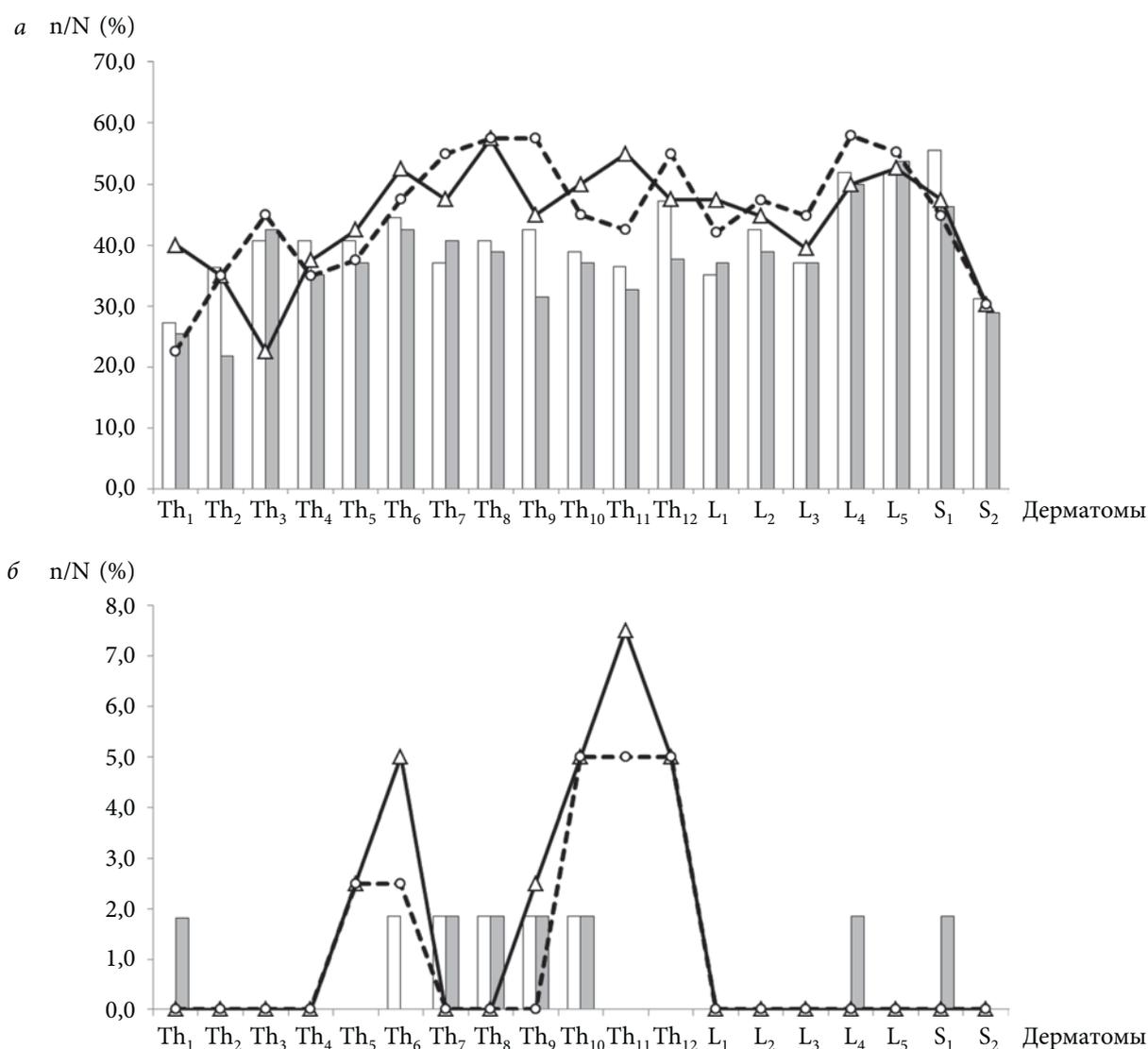


Рис. 2. Частота встречаемости термоанестезии (а) и термоаналгезии (б) у больных с тяжелыми деформациями позвоночника до лечения (столбики: белый — правая сторона, серый — левая сторона) и после лечения (линии: сплошная — правая сторона, пунктирная — левая сторона)

Th₃ повышен на 2–7 °С (в среднем — $5,3 \pm 1,2$ °С, $p < 0,05$), порог болевой чувствительности с уровня Th₅-Th₆ увеличен на 2–8 °С (в среднем — $4,3 \pm 0,7$ °С, $p < 0,05$).

Частота встречаемости феноменов термоанестезии и термоаналгезии представлена на рисунке 2. В предоперационном периоде билатеральные различия данного показателя, как правило, незначительны. Термоанестезия (рис. 2, а) выражена в большей степени (до лечения — от 27 до 56 %, после лечения — от 22 до 58 %), чем термоаналгезия (до лечения — от 0 до 2 %, после лечения — от 0 до 8 %) (рис. 2, б). Следует заметить, что термоанестезия распределена более-менее равномерно по всем тестированным дерматомам с незначительной тенденцией нарастания в каудальном направлении. Распределение частоты встречаемости термоаналгезии неравномерно и носит случайный характер (см. рис. 2, б).

Перед началом оперативного вмешательства после вводного наркоза и окончания действия миорелаксантов до активных действий хирургов получали базовые МВП, необходимые для оценки степени изменения контрольных ответов в процессе дальнейшего тестирования на фоне активных действий хирургов. В трех наблюдениях исходные ответы были нестабильными по форме и характеристикам, в двух случаях базовые МВП получить не удалось, в одном случае они наблюдались только в отведениях слева и имели низкую амплитуду.

В процессе оперативной коррекции деформации позвоночника наблюдались практически все варианты изменения МВП относительно базового уровня: от умеренного снижения, нестабильности формы и характеристик до существенного снижения, вплоть до полного исчезновения. В результате анализа протоколов ИОНМ все отмеченные

Таблица 1

Типы реакций (I–V) проводящих путей спинного мозга на оперативную коррекцию деформации позвоночника

Тип	Комбинации рангов	Количество наблюдений	Частота встречаемости, %	Характеристика риска неврологических осложнений
I	0, 1, 2	28	44,4 ± 6,26	Отсутствие риска
II	0–3, 4a	8	12,7 ± 4,19	Минимальный риск
III	0–3, 4a, 5	11	17,5 ± 4,60	Низкий риск
IV	0–3, 4б, 5, 6	10	15,9 ± 4,60	Средний риск
V	0–3, 4б, 5, 6, 7	6	9,5 ± 4,00	Высокий риск

Примечание: частота встречаемости рассчитана по формуле (1) без учета двух наблюдений с исходным отсутствием ответов ($N = 63-2$), ошибка доли — по формуле (2).

комбинации вариантов изменения МВП были распределены в соответствии с пятью устойчивыми типами, частота встречаемости которых представлена в таблице 1.

Как видно из таблицы, использование указанных технологий оперативной коррекции деформаций позвоночника сопровождается небольшим риском развития неврологических осложнений. При выявлении IV и V типов реакции, благодаря своевременно принятым мерам (транспозиция винтов, введение глюкокортикоидов, частичный сброс тракционных нагрузок на спинной мозг), в большинстве наблюдений моторные функции пациентов сохранились на уровне, соответствующем дооперационному. В одном случае (из шести наблюдений), после выявления реакции V типа, пациенту было проведено повторное оперативное вмешательство (сброс тракционных нагрузок). В трех наблюдениях (4,8 % случаев) отмечались ЭМГ-признаки ирритации корешков спинного мозга — кратковременные вспышки спонтанной ЭМГ в соответствующих отведениях, которые стихали в результате коррекции действий хирургов после получения ими данной информации.

Контрольное эстезиометрическое обследование в послеоперационном периоде показало, что по сравнению с исходным уровнем средневыборочные значения порогов температурно-болевой чувствительности (см. рис. 1) меняются не существенно ($p > 0,05$). Сохраняется характер их распределения вдоль позвоночника и степень билатеральных различий ($p > 0,05$). Частота встречаемости термоанестезии в послеоперационном периоде меняется неоднозначно (см. рис. 2, а). В верхней части грудного отдела эти изменения разнонаправлены. Для дерматомы Th₃ слева снижение данного параметра статистически значимо ($p < 0,05$). Начиная с дерматомы Th₆ можно констатировать отчетливое повышение частоты встречаемости термоанестезии в послеоперацион-

ном периоде по сравнению с исходным уровнем. В поясничном отделе изменения данного параметра можно считать несущественными. Как видно на рисунке 2, б, проявления термоаналгезии более неравномерны, чем локальные потери ощущения тепла. Но диаграмма все же достаточно убедительно демонстрирует, что после операции частота встречаемости термоаналгезии в анализируемой выборке существенно возрастает. Причем, как и в случае с термоанестезией, это происходит в нижней части грудного отдела позвоночника.

Вся анализируемая выборка была разделена нами на четыре группы (рис. 3) в зависимости от типа реакции системы проводящих путей спинного мозга на оперативное вмешательство.

В первую группу (рис. 3, а) вошли пациенты, у которых не наблюдалось каких-либо изменений со стороны МВП в процессе операции (I тип реакции). Вторую группу (рис. 3, б) составили больные с обратимыми изменениями МВП в процессе хирургической коррекции деформации позвоночника (II–III типы реакции). Для третьей группы (рис. 3, в) отобраны пациенты с IV типом реакции, у которых амплитуда МВП снижалась до критического уровня и осталась таковой после окончания операции. К четвертой группе (рис. 3, г) мы отнесли больных с длительным исчезновением МВП в процессе операции. Для I–IV типов реакции изменения средних значений тепловых и болевых порогов по результатам послеоперационного обследования по сравнению с исходным уровнем статистически незначимы ($p > 0,05$). При V пятом типе (четвертая группа) малый объем выборки и высокая вариативность (значительно превышающая данный показатель при остальных типах реакции) не позволяют надежно оценить степень значимости изменений порогов ощущения тепла после оперативного вмешательства. Пороги восприятия боли от горячего при этом меняются недостоверно.

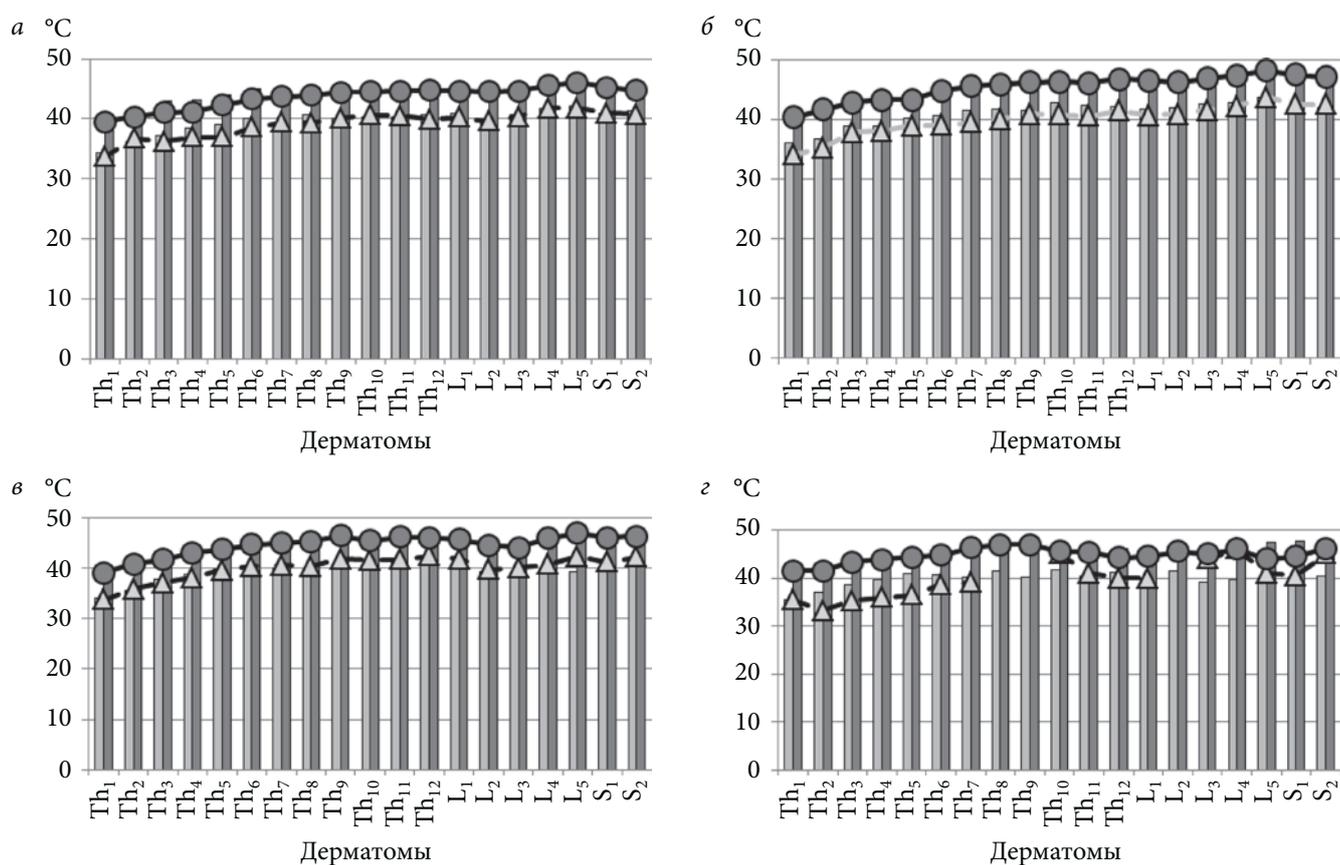


Рис. 3. Пороги температурно-болевого чувствительности до лечения (столбики: светлый — тепловой порог, темный — болевой порог) и после лечения (линии: пунктирная — тепловой порог, сплошная — болевой порог) при различных типах реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическое вмешательство у больных с тяжелыми деформациями позвоночника: *а* — первая группа (I тип реакции), *б* — вторая группа, (II–III типы реакции), *в* — третья группа (IV тип реакции), *з* — четвертая группа (V тип реакции)

Ввиду малого объема выборок больных в третьей и четвертой группах не является информативным сопоставление частоты встречаемости термоанестезии и термоаналгезии в зависимости от типа реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую агрессию для каждого дерматомы, как это было сделано для всей выборки (см. рис. 2). Частота встречаемости термоанестезии (рис. 4, *а*) в дооперационном периоде существенно колеблется в сравниваемых группах. При этом межгрупповые различия, вероятнее всего, носят случайный характер, однако просматривается слабовыраженная тенденция к повышению данного параметра от группы больных с I типом реакции к группе пациентов с V типом реакции. В послеоперационном периоде общая частота встречаемости термоанестезии выше на 14,3 % ($p < 0,05$), чем до оперативного вмешательства. При этом в трех группах из четырех данный параметр повышается по сравнению с исходным уровнем (с I типом реакции — на 44,5 %, с IV — на 23,6 % и с V — на 30,3 %, $p < 0,05$). Это увеличение наиболее выражено для пациентов с V типом реакции, частота термоанестезии после операции достигала 68 % и была самой высокой.

Частота встречаемости термоаналгезии (рис. 4, *б*) в дооперационном периоде существенно колеблется в сравниваемых группах. При этом межгрупповые различия, вероятнее всего, носят случайный характер, однако просматривается слабовыраженная тенденция к повышению данного параметра от группы больных с I типом реакции, где термоаналгезия отсутствовала (0 %, 28 больных, 532 дерматомы, 1064 измерения), к группе пациентов с V типом реакции (4,3 %, 6 больных, 114 дерматомов, 228 измерений).

В послеоперационном периоде общая частота встречаемости термоаналгезии выше на 160 % ($p \leq 0,05$), чем до оперативного вмешательства. При этом в трех группах из четырех данный параметр повышается по сравнению с исходным уровнем (1-я группа — термоаналгезия появилась в 0,5 % дерматомов, 2-я группа — показатель увеличился в 4,5 раза, в 4-й группе — на 86 %, $p \leq 0,05$). Это увеличение наиболее выражено для пациентов с V типом реакции, у которых частота встречаемости термоаналгезии после лечения достигала 8 % и была самой высокой.

Частота встречаемости термоаналгезии в предоперационном периоде монотонно возрастает от

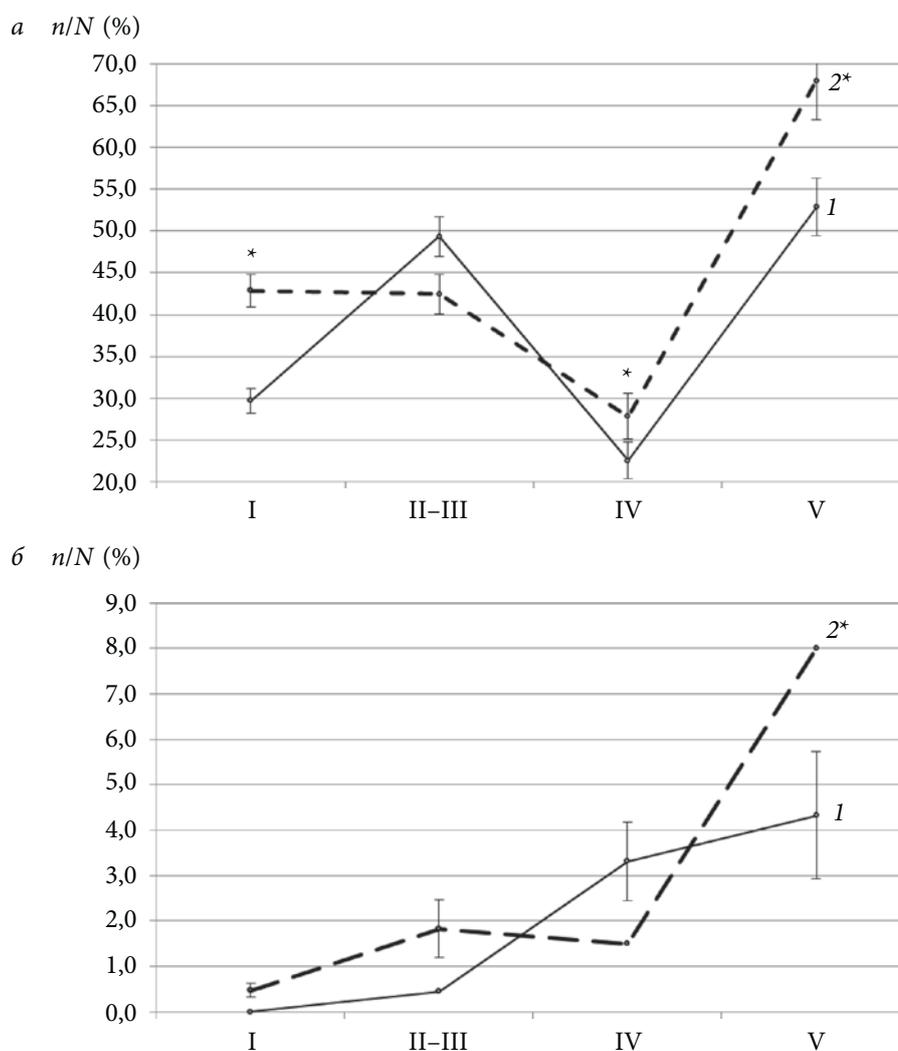


Рис. 4. Распределение частоты встречаемости термоанестезии (а) и термоаналгезии (б) до (1) и после (2) оперативного вмешательства в зависимости от типа реакции проводящих путей спинного мозга у больных с тяжелыми деформациями позвоночника. * достоверность отличия показателей от дооперационного уровня, $p < 0,05$

Таблица 2

Характеристика групп больных с различными типами реакций (I–V) проводящих путей спинного мозга на оперативную коррекцию деформации позвоночника

Показатели	Типы реакций проводящих путей спинного мозга		
	I, II и III типы ($n = 47$)	IV тип ($n = 10$)	V тип ($n = 6$)
Возраст, годы	$15,3 \pm 0,9$	$19,1 \pm 2,1$	$14,2 \pm 1,7$
Величина основной дуги деформации, °	$78,4 \pm 4,1$	$86,7 \pm 5,4$	$80,0 \pm 14,9$
Величина коррекции основной дуги, %	$62,0 \pm 3,5$	$57,6 \pm 10,1$	$63,8 \pm 4,5$
Количество больных с врожденным сколиозом, n (%)	19 (41 %)	2 (20 %)	1 (16 %)
Количество больных с кифотическими деформациями, n (%)	9 (19 %)	2 (20 %)	нет
Дооперационные неврологические нарушения, n (%)	7 (15 %)	3 (33 %)	3 (50 %)
Интраоперационная кровопотеря, мл	$502,1 \pm 52,2$	$671,3 \pm 164,1$	$730,0 \pm 228,2$
Количество декомпрессий, ревизий, n (%)	1 (2,1 %)	1 (10 %)	1 (16 %)
Количество остеотомий, n (%)	6 (13 %)	1 (10 %)	нет

группы пациентов с I типом реакции к группе больных с V типом. После оперативной коррекции деформации позвоночника общая частота $\nu(T_2)$ повышается по сравнению с исходным уровнем. При этом межгрупповые различия между I–IV типами выражены меньше по сравнению с V типом реакции. Следует отметить, что группы больных с IV и V типами реакции (табл. 2) в среднем достоверно не отличались по возрасту, величине деформации основной дуги, степени коррекции деформации, объему интраоперационной кровопотери от больных I, II и III типов реакции.

Доля больных с врожденным сколиозом, кифотической деформацией, выполненной остеотомией была больше в группе больных с I, II и III типами реакции. В группе больных с реакцией V типа не было пациентов с кифотической деформацией и не выполнялись остеотомии. Из всей анализируемой выборки больных только в одном случае у больной в группе IV типа было интраоперационное осложнение, связанное с нестабильной гемодинамикой и кровопотерей. Процент больных с неврологическими нарушениями до операции был больше в группе больных с IV и V типами реакции, чем у больных с I, II и III типами реакции.

Таким образом, изменения состояния температурно-болевого чувствительности пациентов до и после оперативной коррекции деформации позвоночника соответствуют предложенной нами шкале типов реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическое вмешательство. Совпадение типа реакции в большей степени проявляется для результатов послеоперационного тестирования порогов боли от горячего (термоаналгезии). Можно предположить, что в данной выборке пациентов преобладающим возможным фактором риска при оперативной коррекции деформации являются дооперационные нарушения функции проводящих путей спинного мозга. Исследование состояния температурно-болевого чувствительности в дооперационный период позволит оценить возможные риски неврологических осложнений.

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют, что в предоперационном периоде состояние температурно-болевого чувствительности ортопедических больных с деформациями позвоночника разной этиологии указывает на нарушение иннервационного статуса соответствующих рецептивных полей. Они максимально выражены для дерматомов, связанных с вершиной деформации позвоночника, но не локализованы в ее пределах, что соответствует ранее проведенным исследованиям [26].

Оперативная коррекция деформации позвоночника мало отражается на средних величинах абсолютных значений порогов ощущения тепла и боли от горячего, но приводит к значимому увеличению частоты встречаемости наблюдений термоанестезии и термоаналгезии. Максимальная выраженность проявлений этих феноменов в нижней части грудного отдела позвоночника обусловлена тем, что у большинства пациентов анализируемой выборки в этой области локализованы вершины деформации и соответственно фокус хирургической агрессии.

Выявленное нами совпадение выраженности нарушений в сфере восприятия тепла и боли от горячего с типом реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую агрессию (рис. 4) соответствует сделанному ранее заключению о связи типа реакции пирамидной системы с уровнем риска развития и обратимости послеоперационных неврологических осложнений и выраженностью итогового моторного дефицита [25, 27].

Ряд авторов выделяют следующие возможные причины неврологических осложнений при коррекции деформаций позвоночника: 1) врожденный сколиоз; 2) сколиоз с гиперкифозом; 3) угол деформации $>90^\circ$; 4) комбинированные методы хирургии; 5) ревизионная хирургия; 6) уменьшение перфузии спинного мозга вследствие гипотензии или значительной кровопотери, сдавления сосудов; 7) дооперационный неврологический дефицит [8, 9, 14]. Процедуры, связанные с более высоким риском, включают остеотомию и коррекцию кифоза [7, 9, 28].

Анализ возможности связи вышеперечисленных факторов риска неврологических осложнений с выделенными нами типами реакции пирамидной системы на оперативную коррекцию деформации позвоночника показал, что в данной выборке пациентов фактором, ответственным за повышенный риск возникновения ятрогенных нарушений, являются дооперационные нарушения функции проводящих путей спинного мозга, что согласуется с данными других авторов [29]. В связи с этим выявление в предоперационном периоде значительной выраженности термоаналгезии может рассматриваться как признак, требующий повышенного внимания от хирурга и нейрофизиолога, проводящего ИОНМ.

Заключение

Таким образом, изменения состояния температурно-болевого чувствительности пациентов до и после оперативной коррекции деформации по-

звоночника коррелируют с предложенной нами шкалой типов реакции проводящих путей спинного мозга на хирургическую агрессию. Связь типа реакции с характеристиками температурно-болевого чувствительности в большей степени проявляется для результатов послеоперационного тестирования порогов боли от горячего. Определение в предоперационном периоде значительной выраженности термоаналгезии может потребовать особого внимания от хирурга и нейрофизиолога, проводящего ИОНМ.

Информация о вкладе каждого автора

Е.Н. Щурова — сбор и обработка материала по эстеziометрии, анализ полученных данных и литературы, написание текста.

М.С. Сайфутдинов — концепция, дизайн исследования, сбор и обработка материала по интраоперационному мониторингу МВП, анализ полученных данных, написание текста статьи.

С.О. Рябых — сбор и обработка материала по лечению и оценке клинического статуса больных, анализ полученных данных, написание текста статьи.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи. Исследование выполнено при поддержке РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова.

Список литературы

1. Koller H, Zenner J, Gajic V, et al. The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: a clinical study and narrative review of the literature. *Eur Spine J*. 2012;21:514-529.
2. Koptan W, El Miligui Y. Three-staged correction of severe rigid idiopathic scoliosis using limited halo-gravity traction. *Eur Spine J*. 2012;21(6):1091-1098.
3. Helenius I, Mattila M, Jalanko T. Morbidity and radiographic outcomes of severe scoliosis of 90° or more: a comparison of hybrid with total pedicle screw instrumentation. *J Child Orthop*. 2014;8:345-352. doi: 10.1007/s11832-014-0604-1.
4. 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.).] doi: http://dx.doi.org/10.17650/2222-8721-2014-0-2-36-41.
5. Teixeira da Silva LE, de Barros AG, de Azevedo GB. Management of severe and rigid idiopathic scoliosis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015;25(1):7-12. doi: 10.1007/s00590-015-1650-1.
6. Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C, Blanke R. Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. *Spine*. 1998;23:324-331.
7. Diab M, Smith AR, Kuklo TR. The Spinal Deformity Study Group. Neural complications in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*. 2007;32:2759-2763.
8. Schwartz DM, Auerbach JD, Dormans JP, et al. Neurophysiological detection of impending spinal cord injury during scoliosis surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(11):2440-2449.
9. Pastorelli F, Di Silvestre M, Plasmati R, et al. The prevention of neural complications in the surgical treatment of scoliosis: the role of the neurophysiological intraoperative monitoring. *Eur Spine J*. 2011;20(1):S105-14. doi: 10.1007/s00586-011-1756-z.
10. 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. 66–76. [Novikov VV, Novikova MV, Tsvetovskiy SB, et al. Prevention of Neurological Complications in Correction Surgery for Severe Spinal Deformities. *Khirurgiia pozvonochnika*. 2011;(3):66-76. (In Russ.)]
11. Langeloo DD, Journée HL, deKleuver M, Grotenhuis JA. Criteria for transcranial electrical motor evoked potential monitoring during spinal deformity surgery A review and discussion of the literature. *Neurophysiol Clin*. 2007;37(6):431-439.
12. Modi HN, Suh SW, Yang JH, Yoon JY. False-negative transcranial motor-evoked potentials during scoliosis surgery causing paralysis: a case report with literature review. *Spine*. 2009;34(24):E896-900. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181b40d4f.
13. Acharya S, Palukuri N, Gupta P, Kohli M. Transcranial Motor Evoked Potentials during Spinal Deformity Corrections – Safety, Efficacy, Limitations, and the Role of a Checklist. *Front Surg*. 2017;4:8. doi: 10.3389/fsurg.2017.00008.
14. Kobayashi K, Imagama S, Ito Z, et al. Transcranial motor evoked potential waveform changes in corrective fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *J Neurosurg Pediatr*. 2017;19(1):108-115. doi: 10.3171/2016.6.PEDS16141.
15. Kothbauer KF. The Interpretation of Muscle Motor Evoked Potentials for Spinal Cord Monitoring. *J Clin Neurophysiol*. 2017;34(1):32-37. doi: 10.1097/WNP.0000000000000314.
16. Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR. The evidence for intraoperative neurophysiological

- cal monitoring in spine surgery: does it make a difference? *Spine*. 2010;35(9Suppl):S37-46. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181d8338e.
17. Matsumoto M, Ishida K. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord. *Masui*. 2012;61(1):16-24.
 18. Tomé-Bermejo F, Garrido E, Glasby M, Thinn S. Rare true-positive isolated SSEP loss with preservation of MEPs response during scoliosis correction. *Spine*. 2014;39(1):E60-63. doi: 10.1097/BRS.0000000000000076.
 19. Рябых С.О. Применение двойного деротационного маневра для коррекции сколиозов тяжелой степени // Гений ортопедии. – 2013. – № 4. – С. 71–75. [Riabykh SO. The use of double derotation maneuver to correct severe scoliosis. *Genij Ortopedii*. 2013;(4):71-75. (In Russ.)]
 20. Рябых С.О. Выбор хирургической тактики при врожденных деформациях позвоночника на фоне множественных пороков позвонков // Хирургия позвоночника. – № 2. – 2014. – С. 21–28. [Riabykh SO. The choice of surgical approach for congenital spinal deformity caused by multiple vertebral malformations. *Khirurgiia pozvonochnika*. 2014;(2):21-28. (In Russ.)]
 21. Рябых С.О., Савин Д.М., Медведева С.Н., Губина Е.Б. Опыт лечения нейрогенных деформаций позвоночника // Гений ортопедии. – 2013. – № 1. – С. 87–92. [Riabykh SO, Savin DM, Medvedeva SN, Gubina EB. The experience in treatment of the spine neurogenic deformities. *Genij Ortopedii*. 2013;(1):87-92. (In Russ.)]
 22. Рябых С.О., Савин Д.М., Третьякова А.Н. Хирургия тяжелых комбинированных кифозов на фоне миелоцеле: первый отечественный опыт // Хирургия позвоночника. – № 1. – 2014. – С. 65–70. [Riabykh SO, Savin DM. Surgical treatment of severe combined kyphosis secondary to myelocele: first homeland experience. *Khirurgiia pozvonochnika*. 2014;(1):65-70. (In Russ.)]
 23. Hansen R, Schliack H. Segmentale Innervation. Stuttgart: Thieme; 1962.
 24. Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. [Gaidyshev IP. Data analysis and processing: a special reference book. Saint Petersburg: Piter; 2001. (In Russ.)]
 25. Скрипников А.А., Сайфутдинов М.С., Рябых С.О., и др. Балльная оценка результатов интраоперационного нейромониторинга при оперативной коррекции деформаций // Травматология и ортопедия России. – 2015. – № 4. – С. 37–45. [Skripnikov AA, Saiphutdinov MS, Ryabykh SO, et al. Rating of intraoperative neuro-monitoring results in operative correction of the spinal deformities. *Travmatologiya i ortopediya rossii*. 2015;(4):37-45. (In Russ.)]
 26. Щурова Е.Н., Рябых С.О., Кобызев А.Е., Очирова П.В. Особенности состояния температурно-болевой чувствительности у подростков с идиопатическим сколиозом III–IV степени // Физиология человека. – 2016. – Т. 42. – № 1. – С. 100–105. [Shchurova EN, Riabykh SO, Kobyzev AE, Ochirova PV. The Details of Thermoesthesia and Algesthesia State in Patients with Idiopathic Scoliosis of III–IV Degree. *Human Physiology*. 2016;42(1):84-89. (In Russ.)]. doi: 0.1134/S0362119715060080.
 27. Шейн А.П., Сайфутдинов М.С., Скрипников А.А., и др. Интраоперационный и послеоперационный нейромониторинг моторного дефицита у пациентов с деформациями позвоночника // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2017. – № 4. – С. 19–23. [Shein AP, Sayphutdinov MS, Skripnikov AA, et al. Correlation of the intra-operative neuromonitoring data and emg-characteristics of post-operative motor deficit in patients with spinal deformities. *Khirurgiya. Zhurnal imeni N.I. Pirogova*. 2017;(4):19-23. (In Russ.)]. doi: 10.17116/hirurgia2017419-23.
 28. Feng B, Qiu G, Shen J, et al. Impact of multimodal intraoperative monitoring during surgery for spine deformity and potential risk factors for neurological monitoring changes. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(4):E108-114. doi: 10.1097/BSD.0b013e31824d2a2f.
 29. Aleem AW, Thuet ED, Padberg AM, et al. Spinal Cord Monitoring Data in Pediatric Spinal Deformity Patients With Spinal Cord Pathology. *Spine Deformity*. 2015;3:88-94. doi: 10.1016/j.jspd.2014.06.011.

Сведения об авторах

Елена Николаевна Щурова — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коррекции деформации и удлинения конечностей РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова, Курган. E-mail: elena.shurova@mail.ru.

Марат Саматович Сайфутдинов — д-р биол. наук, нейрофизиолог, ведущий научный сотрудник научной клинко-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Сергей Олегович Рябых — д-р мед. наук, детский хирург, ортопед-травматолог, вертебролог, руководитель научной клинко-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова, Курган.

Elena N. Shchurova — PhD of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopedics, Laboratory of Deformity Correction and Limb Lengthening, a leading researcher, Kurgan, Russia. E-mail: elena.shurova@mail.ru.

Marat S. Saifutdinov — PhD of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopedics, Scientific Clinical and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Group of clinical neurophysiology, a leading researcher, Kurgan, Russia.

Sergei O. Ryabykh — MD, PhD, Russian Ilizarov Scientific Centre for Restorative Traumatology and Orthopedics, Head of the Scientific Clinical and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Kurgan, Russia.