

© Коллектив авторов, 2018
УДК 616.711-007.2-089:616.8-089-07
DOI: 10.24884/0042-4625-2018-177-1-49-53

М. С. Сайфутдинов, С. О. Рябых, Д. М. Савин, А. Н. Третьякова

ФОРМАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТРАОПЕРАЦИОННОГО НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МОТОРНЫХ ПУТЕЙ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г. А. Илизарова МЗ РФ (директор – д-р мед. наук А. В. Губин), г. Курган

ЦЕЛЬ. Систематизация наблюдаемых в процессе интраоперационного нейромониторинга электрофизиологических феноменов, с последующей разработкой оценочной (балльной) шкалы результатов нейрофизиологического тестирования пирамидного тракта, удобной для восприятия хирурга. **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ.** 288 больным 1–27 лет под интраоперационным нейрофизиологическим контролем произведена инструментальная коррекция деформации грудного/груднопоясничного отдела позвоночника. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Произведена оценка в баллах изменений моторных вызванных потенциалов, наблюдаемых в процессе оперативного вмешательства. Показано, что частота встречаемости изменений их параметров, указывающих на опасность возникновения ятрогенных повреждений, зависит от возраста пациента и не превышает 10 % от всего массива наблюдений. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Интраоперационный нейрофизиологический контроль позволяет хирургу и анестезиологу своевременно скорректировать свои действия, что минимизирует опасность возникновения ятрогенных неврологических расстройств.

Ключевые слова: деформация позвоночника, интраоперационный нейромониторинг, пирамидная система, неврологические осложнения

M. S. Saifutdinov, S. O. Ryabykh, D. M. Savin, A. N. Tretyakova

Formalizing the results of intraoperative neurophysiological monitoring of the motor pathways into the spinal cord during the surgical correction of spinal deformities

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Kurgan, Russia

OBJECTIVE. Systematization of the electrophysiological phenomena observed during the intraoperative neuro-monitoring with subsequent development of the grading system for results of neuro-physiological testing of pyramidal tract, convenient for surgeon. **MATERIAL AND METHODS.** 288 patients, at the age of 1–27, under intraoperative neurophysiological monitoring underwent instrumental correction of deformity of the thoracic/thoracolumbar spine. **RESULTS.** We evaluated in points the changes of motor evoked potentials, observed during the surgical intervention. It was observed that the frequency of changes of their parameters, indicating the danger of iatrogenic lesions, depended on the age of the patient and did not exceed 10 % of the total amount of observations. **CONCLUSION.** Intraoperative neurophysiological monitoring allows the surgeon and anesthesiologist to correct their actions in a timely fashion; and it minimizes the danger of iatrogenic neurological disorders.

Keywords: spinal deformity, intraoperative neuro-monitoring, pyramidal system, neurological disorders

Введение. Профилактика послеоперационных двигательных нарушений ятрогенной природы при хирургической коррекции деформаций позвоночника осуществляется за счёт интраоперационного нейрофизиологического контроля с использованием моторных вызванных потенциалов (МВП) [6].

Высокая вариативность клинических и физиологических особенностей пациентов с деформациями позвоночника, их реакции на анестезию [7, 8] и хирургическую агрессию индивидуализирует реакцию МВП на воздействие комплекса интраоперационных факторов. Это затрудняет формализацию и интерпретацию конкретного протокола проведения интраоперационного нейромониторинга (ИОНМ). Поэтому основной массив публикаций по настоящему вопросу отражает преимущественно качественные характеристики наблюдаемых феноменов, в связи с этим существуют опреде-

ленные разногласия в их толковании. Данное обстоятельство затрудняет восприятие хирургом нейрофизиологической информации, что, в свою очередь, осложняет процесс принятия им решения относительно своих дальнейших действий.

Цель работы состояла в систематизации наблюдаемых в процессе интраоперационного нейромониторинга электрофизиологических феноменов с последующей разработкой оценочной (балльной) шкалы результатов нейрофизиологического тестирования пирамидного тракта, удобной для восприятия хирурга.

Материал и методы. Анализировалась выборка из 288 больных (107 мужского, 181 женского пола), в возрасте от 1 года 4 мес до 27 лет ((12,6±0,35) года) с деформациями позвоночника различной этиологии: идиопатический сколиоз был диагностирован у 76 пациентов, деформации позвоночника врождённого генеза и связанные с системными поражениями

скелета – у 173 пациентов, нейромышечный и нейрогенный сколиоз – у 15 больных, деформации позвоночника, связанные с другими причинами, отмечены у 24 пациентов. Величина деформации варьировала от 20° до 105° по сколиотическому компоненту и от 15° до 134° по кифотическому.

Всем пациентам под нейрофизиологическим контролем (318 протоколов) была произведена инструментальная коррекция деформации с последующей фиксацией сегментов грудного/груднопочечного отдела позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем транспедикулярной фиксации. У всех пациентов применялись методики мобилизации задней колонны позвоночника I–II типов по классификации F. Schwab, у 189 (59 %) больных выполнены трёхколонные остеотомии позвоночника III–IV типов [3, 11].

Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.). Все пациенты и добровольцы, участвовавшие в научном и клиническом исследовании, дали на это письменное добровольное информированное согласие.

Анестезиологическое пособие сочетало тотальную внутривенную анестезию в виде комбинации препарата Пропофол (10–2 мг/(кг·ч) с наркотическим анальгетиком Фентанилом (10–1 мкг/(кг·час) при внутривенном введении микроструйно через инфузомат и искусственную вентиляцию легких через интубационную трубку. На стадии интубации применялся миорелаксант среднего действия Эсмерон.

Интраоперационный нейромониторинг осуществляли с помощью системы «ISIS IOM» (Inomed Medizintechnik GmbH, Германия). Контролировали степень представленности спонтанной активности тестируемых мышц. МВП получали посредством транскраниальной электростимуляции коры головного мозга с помощью субдермальных спиралевидных электродов, установленных на скальпе в проекции корковых представительств мышц-индикаторов. Стимулы предъявлялись пачками, состоящими из пяти разнополярных импульсов длительностью 1 мс с межстимульным интервалом 4 мс, частотой 1 Гц. При нерегулярном возникновении МВП, их отсутствии или нестабильности амплитудно-временных характеристик производилась транспозиция стимулирующих электродов до получения воспроизводимого ответа. Регистрирующие игольчатые электроды устанавливались монополярно (отведение типа «мышечное брюшко – сухожилие»). Выбор мышц-индикаторов для получения МВП был обусловлен уровнем хирургического вмешательства на позвоночнике и результатами предоперационного ЭМГ-обследования. Проанализировано 320 протоколов ИОНМ.

Первое тестирование (регистрация так называемых «базовых» МВП) проводилось через 40–60 мин после введения миорелаксанта. Оценивались регулярность появления ответов, их форма (сложность, стабильность), латентный период и амплитуда, а также вариативность этих характеристик. Последующие тестирования проводились после имплантации опорных элементов конструкции и на различных этапах корригирующих маневров. Продолжительность мониторинга варьировала от 45 мин до 9 ч 52 мин (средняя длительность – $(3,5 \pm 0,09)$ ч).

В процессе каждой посылки стимулирующих воздействий на кору головного мозга оценивался характер реакции пирамидных трактов на хирургические манипуляции. В качестве диагностически значимых изменений характеристик МВП рассматривалось снижение амплитуды более чем на 50 % от исходного уровня и увеличение латентного периода, превышающее 10 %. Зафиксированным реакциям характеристик МВП присваивался ранг в соответствии с разработанной нами

шкалой (табл. 1). Совокупность изменений ранговой оценки МВП на протяжении оперативного вмешательства являлась основанием для присвоения выявленному типу реакции моторной системы соответствующего балла (табл. 2). Рассчитывали частоту встречаемости (v_i) для выделенных типов реакции как отношение числа наблюдений i -го типа (n_i) к общему количеству наблюдений (N) и стандартную ошибку (S_v):

$$v_i = \frac{n_i \cdot 100\%}{N} \quad (1), \quad S_v = \sqrt{\frac{v(1-v)}{N}}.$$

Значимость изменения частоты наблюдаемости типов реакции оценивали с помощью z-критерия разности долей. Математическую обработку полученных данных проводили с помощью программного комплекса «Microsoft Excel 2010» и интегрированного с ним пакета анализа данных «Атtestат» [1].

Результаты. При получении базовых МВП в 6 случаях (1,9 % наблюдений) их вызвать не удалось. В 32 (9,9 %) случаях зарегистрированы нестабильные по форме и характеристикам ответы с редуцированной до 2–3 фаз конфигурацией и низкой амплитудой, как правило, менее 100 мкВ. Из них в 1 случае ответы вызывались только монолатерально. В подавляющем большинстве наблюдений (88,3 %) были получены высокоамплитудные, полифазные МВП со стабильной формой (воспроизводимой при последовательном повторении тестовых стимулов) и характеристиками.

В табл. 1 приведены описания типичных вариантов реактивных изменений МВП в процессе ИОНМ и соответствующий им оценочный ранг (от «0» до «7»). В используемой для мониторинга группе мышц-индикаторов реактивные изменения могут быть одинаковыми либо различаться по степени снижения МВП и трансформации их формы, указывая на локализацию опасного ятрогенного воздействия. При этом состоянию пирамидной системы в целом присваивается значение ранга, максимальное для группы мышц-индикаторов. При последующем тестировании ранговая оценка либо сохранялась, либо менялась в соответствии с наблюдаемыми при этом реактивными изменениями МВП. В итоге, в процессе мониторинга формировался ряд из последовательных значений рангов состояния пирамидной системы.

Обобщая динамику ранговой оценки МВП на протяжении всей операции, мы выделили пять типов устойчивых (воспроизводимых на различных больных) комбинаций рангов (табл. 2), которые, по-нашему мнению, соответствуют основным типам реакции моторной системы пациента на оперативную коррекцию деформаций позвоночника.

Представленные данные позволяют заключить, что используемые в клинике нашего Центра технологии хирургической коррекции деформаций позвоночника сопровождаются минимальным риском развития неврологических осложнений, поскольку частота встречаемости V, наиболее опасного типа реакции, не превышает 10 %. Повышенная опас-

Таблица 1

**Ранговая оценка реакции параметров МВП
на текущее оперативное воздействие**

Ранг	Электрофизиологический феномен
0	Сохранение на момент тестирования формы и амплитудно-временных параметров МВП близкими к исходным
1	Повышение амплитуды МВП относительно исходного уровня, зачастую сопровождаемое появлением дополнительных фаз
2	Умеренное снижение амплитуды МВП, не сопровождаемое существенным изменением его формы
3	Нестабильность амплитудно-временных характеристик и формы (значительные колебания количества и выраженности фаз) ответа
4а	Значительное снижение амплитуды МВП (более чем на 50 % от исходного уровня), сопровождаемое колебаниями его латентности и обеднением (редукцией) формы с последующим восстановлением характеристик МВП, близких к исходным
4б	Значительное снижение амплитуды МВП (более чем на 50 % от исходного уровня), сопровождаемое колебаниями его латентности и обеднением формы с последующим сохранением угнетённых ответов и(или) дальнейшим угнетением МВП, вплоть до полного исчезновения
5	Полное исчезновение ответа (длительностью не более 15 мин) с последующим восстановлением до уровня, близкого к исходному
6	Полное исчезновение ответа с последующим частичным восстановлением
7	Полное исчезновение МВП без признаков его восстановления к моменту завершения хирургического вмешательства

ность повреждения моторных трактов у данной группы пациентов обусловлена особенностями патологии. Выявление IV и V типов реакции требовало своевременного принятия адекватных мер (введения глюкокортикоидов, транспозиции винтов, частичного сброса тракционных нагрузок на спинной мозг).

Все 20 случаев появления V типа были связаны с полным исчезновением МВП в конце оперативного вмешательства, при завершении коррекции или сразу после окончания коррекционного манёвра. В 4 наблюдениях исчезновение ответов было молатеральным. В остальных – билатеральным. При этом в 4 наблюдениях амплитуда ответов снизилась до нуля на фоне эпидурально-го введения раствора ропивакаина. При этом, как и в других 12 случаях регистрации V типа, после завершения операции у пациентов не наблюдалось моторных или сенсорных расстройств (16 наблюдений из 20). У 4 пациентов после пробуждения отмечались локальные моторные расстройства, которые удалось устранить в послеоперационном периоде.

В 22 наблюдениях отмечались ЭМГ-признаки раздражения корешков спинного мозга – кратковременные вспышки спонтанной ЭМГ в соответствующих отведениях, которые стихали в результате коррекции действий хирургов после получения ими данной информации.

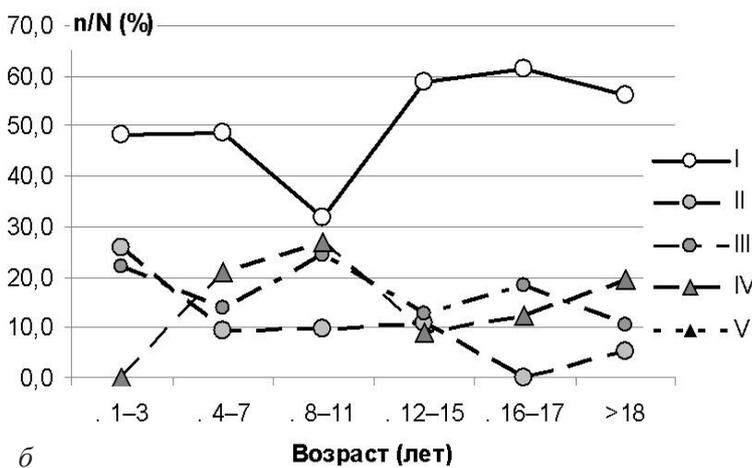
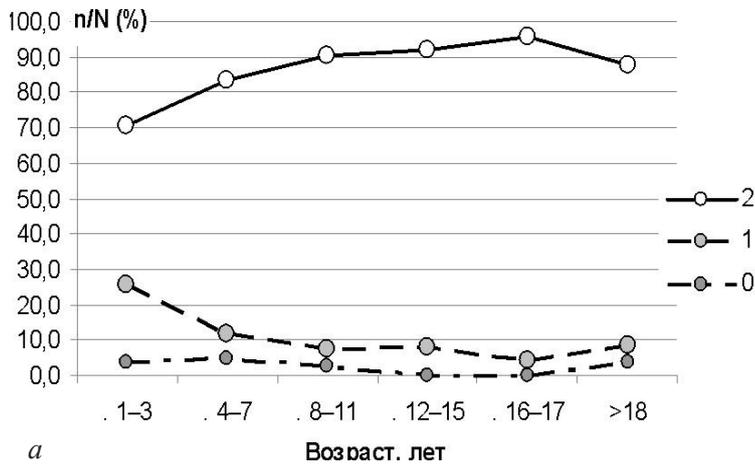
На *рисунке* показаны особенности распределения, в зависимости от возраста пациентов, исходного состояния базовых МВП (см. *рисунок, а*) и типов реакции (см. *рисунок, б*) пирамидной системы, на хирургическую коррекцию деформации позвоночника. Диаграмма (см. *рисунок, а*) показывает, что частота встречаемости наблюдений нестабильных базовых МВП (1) и случаев их исходного отсутствия (0) уменьшается с возрастом и стабилизируется после 8–10 лет, в пределах 10 % соответствующих возрастных групп. При этом количество стабильных, высокоамплитудных базовых МВП (2) увеличивается и выходит на плато на уровне 90 % в том же возрасте.

Таблица 2

**Типы реакции моторной системы больных
на оперативную коррекцию деформации позвоночника**

Тип	Комбинации рангов	Частота встречаемости		Характеристика риска
		n_i	$v \pm s_i, \%$	
I	0, 1, 2	169	53,1±2,78	Благоприятное течение
II	0–3, 4а	29	8,8±1,59	Удовлетворительное течение
III	0–3, 4а, 5	50	15,7±2,02	Низкий риск
IV	0–3, 4б, 5, 6	46	14,5±1,99	Средний риск
V	0–3, 4б, 5–7	20	6,3±1,37	Высокий риск

Примечание. Доля в процентах рассчитана без учёта шести наблюдений с исходно отсутствующими моторными потенциалами.



Изменение частоты встречаемости нестабильности базовых МВП (а) и типов реакции (б) пирамидной системы на хирургическую коррекцию деформации позвоночника в зависимости от возраста пациентов: 0 – отсутствие базовых МВП; 1 – нестабильная базовая МВП; 2 – стабильная высокоамплитудная базовая МВП; I, II, III, IV и V – типы реакции моторной системы (см. табл. 2)

I тип реакции, соответствующий спокойному течению операции без каких-либо тревожных событий, доминирует во всех возрастных группах. Его частота встречаемости колеблется вблизи 50–60%. Исключение составляет возрастная группа 8–11 лет (период развития организма ребёнка, предшествующий ростовому скачку).

II и III типы реакции (умеренное снижение и нестабильность МВП), которые, как правило, имеют благоприятное завершение операции, когда тестируемые показатели возвращаются к базовому уровню, имеют повышенную частоту встречаемости (более 20%) у детей 1–3 лет. Для III типа имеется второй максимум относительного количества наблюдений, совпадающий с минимумом v_1 первого типа, когда данный показатель снижается до 31,7%.

IV тип реакции в 1-й возрастной группе (1–3 года) отсутствовал. Затем наблюдалось постепенное увели-

чение его частоты встречаемости, максимум которой также совпал со снижением v_1 . В дальнейшем v_1 снижалась и больше не превышала 20%. V тип реакции в группе самых младших пациентов не наблюдался. В дальнейшем частота встречаемости данного типа монотонно увеличивалась с возрастом. После 12–15 лет данный параметр выходил на плато, ни в какой возрастной группе не превышая 10%.

Обсуждение. Значительная индивидуальная вариативность базовых МВП, получаемых до начала хирургического вмешательства, связана с особенностями функционального статуса пирамидной системы пациентов, в том числе обусловленного различиями в возрастных размерах тела, особенностями протекания основного и сопутствующих заболеваний. Соотношение межиндивидуальной и внутрииндивидуальной вариативности характеристик МВП наиболее демонстративно проявляется на примере пациентов разного возраста.

Так, случаи регистрации низкоамплитудных, нестабильных базовых МВП, их молатеральное появление и даже полное отсутствие наблюдаются значительно чаще у детей младших возрастных групп, что согласуется с данными других авторов [5] и объясняется незавершённостью процессов формирования их центральной нервной системы [9, 10].

В процессе оперативного вмешательства к исходной вариативности МВП добавляются эффекты действующих в это время факторов: изменение концентрации

компонентов наркоза в крови и нервной ткани, их насыщенность кислородом, колебания кровяного давления, температуры тела, нарушения микроциркуляции и т. п. [8]. Ранговая оценка наблюдаемых изменений и сведение получаемой последовательности рангов к 5-ти типам реакции позволяют абстрагироваться от случайных флуктуаций функционального состояния пирамидной системы, выявить и оценить количественно скрытые закономерности его изменений, связанные с индивидуальными особенностями пациентов и действиями хирургов. Это хорошо видно на примере распределения по возрастным группам частоты встречаемости типов реакции пирамидной системы на хирургическую агрессию (см. рисунок, б). Повышенный процент наблюдений переходных (II–III) типов в самой младшей возрастной группе, несомненно, отражает незавершённость процессов формирования ЦНС этих пациентов. Это

обратимые флуктуации уровня возбудимости моторной коры и нижележащих элементов пирамидной системы.

Второй пик частоты встречаемости III переходного и IV субкритического типов реакции наблюдается в 8–11 лет, т. е. в препубертатном или в начальном периоде второго ростового скачка. В это время основные регуляторные системы детского организма работают с напряжением, также повышена вероятность регуляторных сбоев. На этом фоне повышается частота встречаемости флуктуаций возбудимости элементов пирамидной системы – III тип реакции. В то же время патология позвоночника в своём развитии становится более тяжёлой, чем у предыдущих возрастных групп, что заставляет хирурга чаще работать в зоне повышенного риска. К этому добавляется фактор повторного оперативного вмешательства. Таких пациентов в рассматриваемой возрастной группе больше, чем среди детей младшего возраста. Сочетание этих обстоятельств увеличивает вероятность появления IV – субкритического – типа реакции.

Постепенное увеличение в младших возрастных группах частоты встречаемости V – критического – типа реакции с постепенным выходом её на плато в подростковом возрасте, на наш взгляд, также обусловлено нарастанием патологических изменений осевого скелета с возрастом и повышением случаев многократного оперативного вмешательства. То обстоятельство, что наблюдения V типа ни в одной возрастной группе не превышают 10 %, а среди них только в 4 наблюдениях из 20 были отмечены клинические признаки послеоперационной моторной дисфункции, указывает на высокую степень безопасности современных высокотехнологичных методов оперативной коррекции деформации позвоночника.

Выводы. 1. Устойчивая повторяемость изменений транскраниально получаемых МВП при сходном сочетании факторов, воздействующих на пациента (наркоз, состояние гемодинамики, действия хирургов), позволяют формализовать наблюдаемые феномены и организовать их взаиморасположение в виде ранговой шкалы, отражающей степень снижения проводниковой функции пирамидной системы.

2. Предложенная ранговая шкала позволяет сравнить степень воздействия хирургической агрессии на проводниковую функцию пирамидной системы пациентов разных возрастных групп.

3. У больных младшего возраста (до 12 лет) с деформациями позвоночника разной этиологии больше вероятность получения нестабильных низкоамплитудных базовых моторных ответов, что требует учета при проведении последующего нейрофизиологического контроля в процессе операции.

4. С увеличением возраста пациентов отмечена тенденция к стабилизации формы, характеристики и воспроизводимости транскраниально вызванных моторных потенциалов как при исходном, так и при текущем тестировании. Это связано со структурно-функциональным созреванием ЦНС.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Гайдышев И. П. Анализ и обработка данных : специальный справочник. СПб. : Питер, 2001. 752 с. [Gaidyshev I. P. Data analysis and processing: a special reference book. SPb.: Piter, 2001. 752 p.]
2. Рябых С. О. Применение двойного деротационного маневра для коррекции сколиозов тяжелой степени // Гений ортопедии. 2013. № 4. С. 71–75. [Riabykh S. O. The use of double derotation maneuver to correct severe scoliosis. Genij Ortopedii. 2013. № 4. P. 71–75].
3. Рябых С. О., Савин Д. М. Возможности оперативного лечения кифоза III типа методом «Pedicel subtraction osteotomy» // Гений ортопедии. 2013. № 1. С. 120–123. [Riabykh S. O., Savin D. M. Possibilities of Type III kyphoses surgical treatment using «Pedicel subtraction osteotomy» technique // Genij Ortopedii. 2013. № 1. P. 120–123].
4. 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 S. O., Savin D. M., Medvedeva S. N., Gubina E. B. The experience in treatment of the spine neurogenic deformities // Genij Ortopedii. 2013. № 1. P. 87–92].
5. Кузьмина В. А., Сундюков А. Р., Николаев Н. С., Михайлова И. В. и др. Опыт применения интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при оперативных вмешательствах на позвоночнике // Ортопедия, травматол. и восстанов. хир. дет. возраста. 2016. Т. 4, № 4. С. 33–40. [Kuzmina V. A., Syundyukov A. R., Nikolaev N. S., Mikhailova I. V. et al. Effectiveness of intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery // Pediatric Traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery. 2016. Vol. 4, № 4. P. 33–40].
6. Aleem A. W., Thuet E. D., Padberg A. M., Wallendorf M. et al. Spinal Cord Monitoring Data in Pediatric Spinal Deformity Patients With Spinal Cord Pathology // Spine Deformity. 2015. Vol. 3, № 1. P. 88–94.
7. Furmaga H., Park H. J., Cooperrider J., Baker K. B. et al. Effects of ketamine and propofol on motor evoked potentials elicited by intracranial microstimulation during deep brain stimulation // Frontiers in Systems Neuroscience. 2014. Vol. 8. P. 89.
8. Gibson P. R. J. Anaesthesia for Correction of Scoliosis in Children // Anaesth. Intensive Care. 2004. Vol. 32, № 4. P. 548–559.
9. Lieberman J. A., Lyon R., Feiner J., Diab M. et al. The effect of age on motor evoked potentials in children under propofol/isooflurane anesthesia // Anesth. Analg. 2006. Vol. 103, № 2. P. 316–321.
10. Sala F., Manganotti P., Grossauer S., Tramontano V. et al. Intraoperative neurophysiology of the motor system in children: a tailored approach // Childs Nerv. Syst. 2010. Vol. 26, № 4. P. 473–490.
11. Schwab F., Blondel B., Chay E., Demakakos J. et al. The Comprehensive Anatomical Spinal Osteotomy Classification // Neurosurgery. 2014. Vol. 74, № 1. P. 112–120.

Поступила в редакцию 17.07.2017 г.

Сведения об авторах:

Сайфутдинов Марат Саматович (e-mail: maratsaif@yandex.ru), д-р биол. наук; Рябых Сергей Олегович (e-mail: rso_@mail.ru), д-р мед. наук; Савин Дмитрий Михалович (e-mail: savindm81@mail.ru), зав. отделением; Третьякова Анастасия Николаевна (e-mail: Anestezianik@mail.ru), врач анестезиолог-реаниматолог; Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г. А. Илизарова, 640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6.