

## **Балльная оценка результатов интраоперационного нейрофизиологического мониторинга хирургической коррекции деформаций позвоночника при генетически обусловленной системной патологии скелета**

**М.С. Сайфутдинов, А.А. Скрипников, С.О. Рябых, П.В. Очирова**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

### **Score evaluation of intraoperative neurophysiological monitoring results of spinal deformity surgical correction in genetically caused systemic skeletal pathology**

**M.S. Saifutdinov, A.A. Skripnikov, S.O. Ryabikh, P.V. Ochirova**

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

**Цель.** Оценка динамики функционального состояния пирамидных путей в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника у больных с генетически обусловленной патологией скелета на основе формальных критериев степени значимости электрофизиологической реакции на оперативное вмешательство, разработанных в РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова. **Материалы и методы.** Анализируемая выборка пациентов включает две группы сравнения. В первую – основную группу – вошли 28 больных с деформациями позвоночника на фоне системных наследственных заболеваний. Вторую – контрольную группу – составили 126 пациентов с деформациями позвоночника вследствие идиопатического сколиоза – 51 человек, врожденного генеза – 71 человек, другой этиологии – 4 человека. Всем пациентам была произведена инструментальная коррекция деформации с последующей фиксацией шейного, грудного, грудопоясничного отделов позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем транспедикулярной фиксации. Изменения МВП при тестированиях оценивались от 0 до 7 ранга в соответствии с выраженностью наблюдаемой реакции. **Результаты.** Все варианты изменений моторных вызванных потенциалов (МВП) наблюдались как в основной, так и в контрольной группах. Выделено пять типов устойчивых (воспроизводимых на различных больных) комбинаций рангов, которые соответствуют основным типам реакции моторной системы пациента на оперативную коррекцию деформаций позвоночника. **Заключение.** Использование технологии регистрации МВП в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника у больных с генетически обусловленной системной патологией скелета является высокоэффективным инструментом профилактики развития интраоперационных неврологических осложнений. Предложенная нами система формальной оценки результатов нейромониторинга позволила количественно сопоставить характер интраоперационных изменений функционального состояния пирамидной системы пациентов разных этиологических групп в зависимости от их возраста и длительности вмешательства. **Ключевые слова:** интраоперационный нейромониторинг, моторные вызванные потенциалы, системные поражения скелета

**Purpose** Evaluate the dynamics of the pyramidal pathway functional state in spinal deformity surgical correction in patients with genetically caused systemic skeletal pathology based on the formal criteria of a significance degree of the electrophysiological response to a surgical intervention which were developed at the RISC RTO. **Materials and Methods** The analyzed sample of patients included two groups for comparison. Group 1 (main group) were 28 patients with spinal deformities due to systemic hereditary diseases. Group 2 (control group) consisted of 126 patients with spinal deformities (51 subjects with idiopathic scoliosis, 71 subjects with deformities of congenital genesis, and 4 subjects of other etiology). All the patients underwent instrumental deformity correction with further fixation of the cervical, thoracic, thoracolumbar spine using different variants of internal transpedicular fixation systems. The changes in motor evoked potentials (MEP) were evaluated as ranks 0 to 7 according to the severity of the response observed. **Results** All the variants of changes in MEPs were observed both in the main group and in the control one. Five types of steady (reproduced in different patients) rank combinations were identified which conformed to the main types of the patient's motor system response to spinal deformity surgical correction. **Conclusion** The use of the technology of MEP recording during surgical correction of spinal deformities in patients with systemic genetically caused skeletal pathology is a highly effective tool of preventing the development of intraoperative neurological complications. The proposed system of formal evaluation of the results of neuromonitoring allowed us to conduct a quantitative comparison of the character of intraoperative changes in the functional state of the pyramidal system in patients of different etiological groups depending on their age and intervention duration. **Keywords:** intraoperative neuromonitoring, motor evoked potentials, systemic skeletal disorders

Ввиду комплексного характера развития патологии при деформациях позвоночника на фоне генетических заболеваний, они бурно прогрессируют в процессе роста детей и требуют раннего оперативного лечения. Для профилактики двигательных нарушений ятрогенной природы при оперативной коррекции деформаций позвоночника в настоящее время применяется интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ) с использованием моторных вызванных потенциалов (МВП) [1–4].

Из-за высокой вариативности клинических и физиологических особенностей пациентов с деформациями позвоночника, а также специфичности их реакции на анестезию и хирургическую агрессию, динамика характеристик МВП всякий раз индивидуальна [5], что

затрудняет формализацию описания накопленного опыта. Данным обстоятельством объясняется тот факт, что основной массив публикаций по настоящему вопросу отражает качественные характеристики наблюдаемых феноменов, в связи с этим существуют разногласия в их интерпретации [6].

Цель работы состоит в оценке динамики функционального состояния пирамидных путей в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника у больных с генетически обусловленной патологией скелета на основе формальных критериев степени значимости электрофизиологической реакции на оперативное вмешательство, разработанных в РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова.

Анализируемая выборка пациентов включает две группы сравнения. В первую – основную группу – вошли 28 больных (15 мужского, 13 женского пола) в возрасте от 2 лет 4 месяцев до 25 лет ( $12,7 \pm 1,2$  года) с деформациями позвоночника на фоне системных наследственных заболеваний (36 протоколов ИОНМ). Вторую – контрольную группу – составили 126 пациентов (41 мужского, 85 женского пола) в возрасте от 2 лет 4 месяцев до 25 лет ( $13,5 \pm 0,5$  года) с деформациями позвоночника вследствие идиопатического сколиоза – 51 человек, врождённого генеза – 71 человек, другой этиологии – 4 человека (142 протокола ИОНМ).

Всем пациентам была произведена инструментальная коррекция деформации с последующей фиксацией шейного грудного/грудопоясничного отделов позвоночника с использованием различных вариантов погружных систем транспедикулярной фиксации.

Интраоперационный нейромониторинг осуществлялся с помощью системы «ISIS IOM» (Inomed Medizintechnik GmbH, Германия). В режиме «free run» 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, что соответствовало отведениям  $C_3-C_4$  по международной системе отведения ЭЭГ (10–20). Стимулы представлялись пачками, состоящими из пяти разнополярных импульсов длительностью 1 мс с межстимульным интервалом 4 мс, частотой 1 Гц и интенсивностью порядка 150 мА. При нерегулярном возникновении МВП либо их отсутствии, нестабильных амплитудно-временных характеристиках ответов производилась транспозиция стимулирующих электродов до получения устойчивого, воспроизводимого ответа. Регистрирующие игольчатые электроды устанавливались монополярно (отведение типа «belly-tendon»). Выбор мышц-индикаторов для получения МВП был обусловлен областью хирургического вмешательства на позвоночнике.

Первое тестирование (регистрация т.н. «базовых»

МВП) проводилось через 40–60 минут после введения миорелаксанта, используемого при вводном наркозе. Оценивались латентный период ответов, амплитуда, форма и воспроизводимость. Последующие тестирования проводились после выполнения имплантации опорных элементов конструкции и на различных этапах корригирующих маневров. Продолжительность мониторинга в основной группе варьировала в пределах 1,0–9,5 часов ( $3,9 \pm 0,3$  часа), а в контроле, соответственно, 1,1–9,0 часов ( $3,4 \pm 0,1$  часа).

В процессе каждой посылки стимулирующих воздействий оценивался характер реакции моторных трактов спинного мозга в ответ 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 изменениям характеристик МВП присваивался ранг от 0 до 7 в соответствии с выраженностью реакции пирамидной системы на воздействия комплекса факторов оперативного вмешательства на момент тестирования. Совокупность изменений ранговой оценки МВП на протяжении оперативного вмешательства являлась основанием для присвоения выявленному типу реакции моторной системы соответствующего балла (табл. 1). Определялась частота встречаемости ( $v$ ) выделенных типов реакции по формуле:

$$v_i = \frac{n_i \times 100\%}{N},$$

где  $n_i$  – число наблюдений  $i$ -ого типа реакции,  $N$  – общее количество наблюдений в анализируемой выборке. Характер статистического распределения показателей в группах сравнения был оценён как близкий к нормальному в соответствии с видом гистограммы, величины асимметрии и эксцесса, из-за близких значений среднего арифметического, медианы и моды. Различия средних значений возраста и длительности ИОНМ в группах сравнения оценивали с помощью  $t$  критерия Стьюдента [7]. Вычисляли стандартную ошибку ( $m$ ) для средних арифметических. При обработке данных использовались возможности Microsoft Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В обеих группах сравнения характеристики базовых МВП, получаемых до начала хирургического вмешательства, обладали высокой вариативностью, что обусловлено особенностями функционального статуса пирамидной системы, связанными с такими факторами как возраст, размер тела пациента, особенности протекания основного и сопутствующего заболеваний, анестезия.

В основной группе в трёх наблюдениях (8,3 %) базовые МВП получить не удалось. Во всех случаях это были пациенты, перенёсшие неоднократные оперативные вмешательства на позвоночнике и имевшие значительные нарушения моторной функции. В одном из этих случаев к концу оперативного вмешательства моторные ответы получить удалось. В контрольной группе МВП, пригодные для дальнейшего электрофизиологического контроля, были получены у всех пациентов.

Все изменения МВП при последующих тестированиях оценивались от 0 до 7 ранга в соответствии с выраженностью наблюдаемой реакции.

1. Сохранение на момент тестирования формы и амплитудно-временных параметров МВП, близкими к исходным (0 ранг).

2. Повышение амплитуды МВП относительно исходного уровня, зачастую сопровождаемое появлением дополнительных фаз (1 ранг).

3. Умеренное снижение амплитуды МВП, не сопровождаемое существенным изменением его формы (2 ранг).

4. Нестабильность амплитудно-временных характеристик и формы (значительные колебания количества и выраженности фаз) ответа (3 ранг).

5. Значительное снижение амплитуды МВП (более чем на 50 % от исходного уровня), сопровождаемое ко-

лебаниями его латентности и обеднением (редукцией) формы с последующим восстановлением характеристик МВП, близких к исходным (4а ранг).

6. 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 дальнейшем угнетением МВП вплоть до полного исчезновения (4б ранг).

7. Полное исчезновение ответа (длительностью не более 15 минут) с последующим восстановлением до уровня, близкого к исходному (5 ранг).

8. Полное исчезновение ответа с последующим частичным восстановлением (6 ранг).

9. Полное исчезновение МВП без признаков его восстановления к моменту завершения хирургического вмешательства (7 ранг).

Каждая из выделенных нами градаций изменений МВП отражает функциональное состояние пирамидной системы на момент текущего тестирования в условиях воздействия сложившейся на данный момент комбинации факторов оперативного вмешательства (наркоз, действия хирурга, эндогенные события и т.п.). 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.

Все перечисленные варианты изменений МВП наблюдались как в основной, так и в контрольной группах. Обобщая их динамику на протяжении всей операции, мы выделили пять типов устойчивых (воспроизводимых на различных больных) комбинаций рангов, которые, по-нашему мнению, соответствуют основным типам реакции моторной системы пациента на оперативную коррекцию деформаций позвоночника. Они представлены в таблице 1.

Таблица 1

Типы реакции моторной системы больных основной и контрольной групп на оперативную коррекцию деформации позвоночника

Тип	Комбинации рангов	Частота встречаемости			
		основная группа		контрольная группа	
I	0, 1, 2	n = 17	50,0 %	n = 77	56,4 %
II	0, 1, 2, 3, 4а	n = 5	14,7 %	n = 12	8,5 %
III	0, 1, 2, 3, 4а, 5	n = 4	11,8 %	n = 22	15,6 %
IV	0, 1, 2, 3, 4б, 5, 6	n = 6	16,7 %	n = 18	12,8 %
V	0, 1, 2, 3, 4б, 5, 6, 7	n = 2	5,9 %	n = 12	8,5 %

Примечание. Процент рассчитан без учёта двух наблюдений с исходно отсутствующими моторными потенциалами.

В обеих группах сравнения, несмотря на значительное различие их объёмов, относительные количества наблюдений, в которых на протяжении всей операции МВП сохранялись на уровне, близком к исходному (тип I), имели близкие значения. Несмотря на незначительные различия частот встречаемости переходных (II и III) типов, суммарный относительный объём таких наблюдений в основной и контрольной группах (26,5 % и 24,1 % соответственно) практически одинаков. В целом общая частота встречаемости

спокойных исходов нейромониторинга, в которых даже несмотря на кратковременные ощутимые падения амплитуды МВП (I–III типы) их уровень соответствовал исходному, также практически совпадала для основной и контрольной выборок (76,5 % и 78,7 % соответственно).

В случаях, когда результаты нейромониторинга указывают на существенный риск появления послеоперационных моторных осложнений при длительном существенном снижении амплитуды МВП (IV тип) или полном их угнетении (V тип) оперирующий хирург и анестезиолог оперативно реагируют на текущую ситуацию и принимают адекватные меры (введение глюкокортикостероидов, контроль положения винтов и его коррекция при необходимости, снижение уровня дистракционных усилий пролонгированной тракции). В большинстве наблюдений моторные функции пациента сохранились на уровне, соответствующем дооперационному. Суммарно типы IV и V наблюдались в основной и контрольной группах соответственно в 23,5 % и 21,4 % случаев, т.е. значения достаточно близки. При этом следует учесть, что в двух наблюдениях в основной группе прогрессивное снижение МВП началось после эпидуральной блокады наротином, т.е. было обусловлено не хирургической или ишемической угрозой, а повышенной чувствительностью пациента к эпидуральному анестетику.

В одном наблюдении (5,3 %) в основной и 10 случаях (7,1 %) в контрольной группах 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.

На рисунке 1 представлено соотношение интенсивности реакции пирамидной системы пациентов в группах сравнения с возрастом и длительностью воздействия. В качестве последнего показателя использовалась длительность операции (что косвенно характеризует её сложность) и времени пребывания больного под анестезией.

Рисунок 1 интересен тем, что показывает две противоположные, статистически не значимые ( $p > 0,05$ ) тенденции во взаимосвязи возраста и интенсивности реакции моторной системы на оперативное воздействие. В основной группе более выраженные интраоперационные изменения МВП чаще отмечаются у более старших, а в контрольной у более младших пациентов.

Повышение интенсивности реакции с увеличением длительности ИОМН имеет место в обеих группах, но в основной группе она выражена в большей степени и совпадает с проявлением возрастных различий. Средняя длительность мониторинга с критическими и субкритическими изменениями МВП статистически значимо выше, чем при спокойно прошедших операциях на 75 % в основной группе ( $p = 0,032$ ) и на 39 % ( $p = 0,001$ ) – в контрольной. Т.е. при системной патологии скелета, чем старше пациент и длиннее операция, тем больше риск интраоперационных сбоев. В контроле же риск длинных операций более заметен в раннем возрасте.

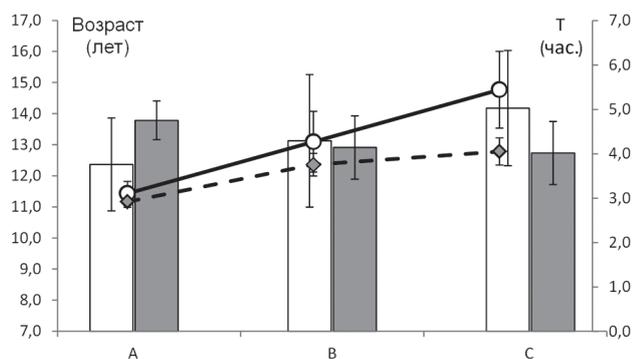


Рис. 1 Степень угнетения МВП (ось абсцисс) в зависимости от возраста (столбики – ось ординат слева – количество лет) и длительности оперативного вмешательства (линии – ось ординат справа – количество часов) в основной (белая заливка) и контрольной (тёмная заливка) группах. А – отсутствие негативных изменений (I тип); В – субкритические изменения (II-III типы); С – критические изменения (VI-V типы)

Причины данных различий становятся понятными при рассмотрении особенностей распределения индивидуальных проявлений реакции пирамидной системы пациентов в группах сравнения в зависимости от их возраста и длительности операции (рис. 2).

В контрольной группе массив наблюдений равномерно распределён по всему диапазону анализиру-

емых показателей. В возрасте до 10 лет у этих пациентов все варианты реакции встречаются равномерно, вне зависимости от длительности вмешательства. В более старшем возрасте критические проявления чаще наблюдаются при длительных операциях.

В основной группе более выражена тенденция к группировке нейтрального типа реакции (белые кружки) в нижней части графика, а критических вариантов (чёрные треугольники) – в верхней его половине, больше справа в области старшего возраста. Такое положение вполне очевидно – чем длиннее операция, тем больше нагрузка на регуляторные системы организма и вероятнее возникновение проблем. В отличие от контрольной группы, у больных с системной патологией скелета доля длительных операций с критическими изменениями МВП больше в подростковом возрасте. Этим объясняются групповые особенности, выявленные на рисунке 1.

Таким образом, использование современных технологий оперативной коррекции деформаций позвоночника сопровождается минимальной частотой появления электрофизиологических признаков развития неврологических осложнений, за исключением небольшого числа случаев (в пределах 10 %), при которых повышенная опасность повреждения моторных трактов обусловлена особенностями патологии.

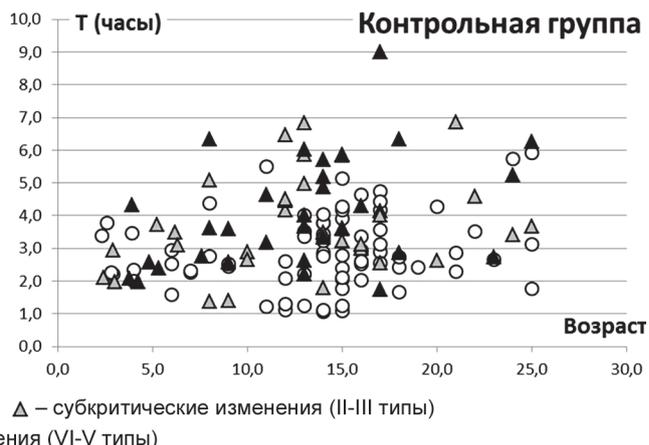
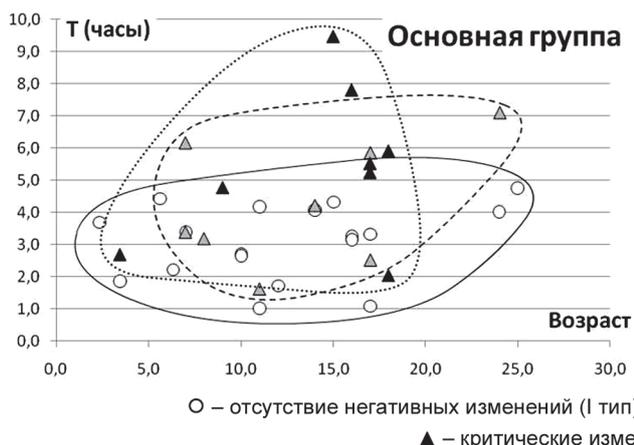


Рис. 2. Распределение индивидуальных проявлений реакции МВП на оперативное вмешательство в зависимости от возраста (ось абсцисс) и длительности оперативного вмешательства (ось ординат) пациентов в группах сравнения. Для основной группы области локализации наблюдений первого, переходных и критических типов обведены соответственно сплошной, пунктирной и точечной линиями

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отсутствие существенных отклонений в частоте встречаемости выделенных нами типов электрофизиологической реакции пирамидной системы на хирургическую коррекцию деформаций позвоночника в основной и контрольной выборках свидетельствует о том, что у больных с генетически обусловленной системной патологией скелета динамика функционального состояния проводящих путей спинного мозга сходна с характером изменений у больных из других этиологических групп. Значительная доля наблюдений, в которых неблагоприятные изменения МВП полностью отсутствуют или носят обратимый характер (при завершении операции состояние пирамидной системы соответствует дооперационному уровню), свидетельствует о высокой степени безопасности современных технологий вмешательства на позвоночнике при разнообразных видах патологии. Отсутствие выраженных клинических проявлений нарушения моторной функ-

ции (или их усугубления, в случае исходного наличия) даже после появления в ходе оперативного вмешательства критических нейрофизиологических паттернов (типы IV и V реакции) указывают на своевременность и адекватность принятых хирургом и анестезиологом мер в ответ на появление сигналов об опасности.

Трансформация МВП при II-IV типах реакции обусловлена не столько непосредственным воздействием на нервную ткань, сколько недостаточностью регуляторных систем организма, их ограниченной способностью к адаптации в условиях сложного и длительного оперативного вмешательства. Это в большей степени проявляется у больных с генетически обусловленной системной патологией скелета, чем в других этиологических группах.

Таким образом, использование технологии регистрации МВП в процессе хирургической коррекции деформаций позвоночника у больных с генетически

обусловленной системной патологией скелета является высокоэффективным инструментом профилактики развития интраоперационных неврологических осложнений. Предложенная нами система формальной оценки результатов нейромониторинга позволила

количественно сопоставить характер интраоперационных изменений функционального состояния пирамидной системы пациентов разных этиологических групп в зависимости от их возраста и длительности вмешательства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Роль интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в предотвращении развития послеоперационных неврологических осложнений в хирургии сколиотической деформации позвоночника / М.А. Хитъ, С.В. Колесов, Д.А. Колбовский, Н.С. Морозова // Нервно-мышечные болезни. 2014. № 2. С. 36-41.
2. Gibson P.R. Anaesthesia for correction of scoliosis in children // *Anaesth. Intensive Care*. 2004. Vol. 32, No 4. P. 548-559.
3. Transcranial motor-evoked potentials combined with response recording through compound muscle action potential as the sole modality of spinal cord monitoring in spinal deformity surgery / B. Hsu, A.K. Cree, J. Lagopoulos, J.L. Cummine // *Spine*. 2008. Vol. 33, No 10. P. 1100-1106.
4. Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery / L. Pelosi, J. Lamb, M. Grevitt, S.M. Mehdian, J.K. Webb, L.D. Blumhardt // *Clin. Neurophysiol.* 2002. Vol. 113, No 7. P. 1082-1091.
5. Wassermann E.M. Variation in the response to transcranial magnetic brain stimulation in the general population // *Clin. Neurophysiol.* 2002. Vol. 113, No 7. P. 1165-1171.
6. Jameson L.C. Transcranial Motor Evoked Potentials. Chapter 2. In: *Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals* / eds. A. Koht, T.B. Sloan, J.R. Toleikis. New York: Springer-Verlag, 2012. XXXVI. P.27-45.
7. Сергиенко В.И., Бондарева И.Б. Математическая статистика в клинических исследованиях. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 304 с.

#### REFERENCES

1. Khit' M.A., Kolesov S.V., Kolbovskii D.A., Morozova N.S. Rol' intraoperatsionnogo neurofiziolicheskogo monitoringa v predotvrashchenii razvitiia posleoperatsionnykh neurologicheskikh oslozhnenii v khirurgii skolioticheskoi deformatsii pozvonochnika [The role of intraoperative neurophysiological monitoring in preventing the development of postoperative neurological complications in the surgery of the spine scoliotic deformity]. *Nervno-myshechnye bolezni*, 2014, no. 2, pp. 36-41. (In Russ.)
2. Gibson P.R. Anaesthesia for correction of scoliosis in children. *Anaesth. Intensive Care*, 2004, vol. 32, no. 4, pp. 548-559.
3. Hsu B., Cree A.K., Lagopoulos J., Cummine J.L. Transcranial motor-evoked potentials combined with response recording through compound muscle action potential as the sole modality of spinal cord monitoring in spinal deformity surgery. *Spine*, 2008, vol. 33, no. 10, pp. 1100-1106. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816f5f09.
4. Pelosi L., Lamb J., Grevitt M., Mehdian S.M., Webb J.K., Blumhardt L.D. Combined monitoring of motor and somatosensory evoked potentials in orthopaedic spinal surgery. *Clin. Neurophysiol.*, 2002, vol. 113, no. 7, pp. 1082-1091.
5. Wassermann E.M. Variation in the response to transcranial magnetic brain stimulation in the general population. *Clin. Neurophysiol.*, 2002, vol. 113, no. 7, pp. 1165-1171.
6. Jameson L.C. Transcranial Motor Evoked Potentials. Chapter 2. In: Koht A., Sloan T.B., Toleikis J.R., eds. *Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals*. New York, Springer-Verlag, 2012, vol. XXXVI, pp.27-45.
7. Sergienko V.I., Bondareva I.B. *Matematicheskaja statistika v klinicheskikh issledovaniyakh* [Mathematical statistics in clinical studies]. M., GEOTAR-Media, 2006, 304 p. (In Russ.)

Рукопись поступила 20.10.2015

#### Сведения об авторах:

1. Сайфутдинов Марат Саматович – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, научная клинико-экспериментальная лаборатория патологии осевого скелета и нейрохирургии, ведущий научный сотрудник группы клинической нейрофизиологии, д. б. н.
2. Скрипников Александр Анатольевич – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, научная клинико-экспериментальная лаборатория патологии осевого скелета и нейрохирургии, научный сотрудник группы клинической нейрофизиологии, к. м. н.
3. Рябых Сергей Олегович – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, руководитель научной клинико-экспериментальной лаборатория патологии осевого скелета и нейрохирургии, д. м. н.
4. Очирова Полина Вячеславовна – ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, аспирант.

#### Information about the authors:

1. Marat S. Saifutdinov, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Scientific Clinical and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Group of clinical neurophysiology
2. Alexander A. Skripnikov, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Scientific Clinical and Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Group of clinical neurophysiology
3. Sergei O. Riabykh, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, Head of the Scientific Clinical-and-Experimental Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery; **Corresponding author:** rso\_@mail.ru
4. Polina V. Ochirova, M.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia