

МОТОРНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ПРИ КОРРЕКЦИИ СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПАЦИЕНТОВ СО СПИНАЛЬНОЙ МЫШЕЧНОЙ АТРОФИЕЙ

Гулаев Е.В.¹, Линьков В.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения РФ, Иваново, e-mail: evlgul@mail.ru

Спинальная мышечная атрофия (СМА) – генетическое заболевание с высокой смертностью в детском возрасте, вызванное дефицитом белка выживания моторных нейронов. У пациентов со СМА в большинстве случаев развивается выраженный сколиоз, требующий хирургической коррекции, при этом операции сопряжены с высоким риском постоперационного неврологического дефицита. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ) представляет собой эффективный метод контроля спинного мозга. Цель исследования: провести исследование возможности и оптимизировать параметры интраоперационного нейрофизиологического мониторинга моторных (МВП) и соматосенсорных (ССВП) вызванных потенциалов у пациентов со СМА при коррекции нейромышечной деформации. Производилось сравнение общепринятых показателей вызванных потенциалов при проведении ИОНМ на протяжении операции у 12 пациентов со СМА и 10 пациентов группы контроля с идиопатическим сколиозом. Несмотря на резко выраженный двигательный дефицит и ожидаемое отсутствие надежных МВП, воспроизводимые моторные и сенсорные вызванные потенциалы были получены у всех пациентов с большинства исследуемых мышц, в том числе дистальной группы нижних конечностей. В результате исследования установлено статистически значимое симметричное снижение амплитуды и увеличение латентности МВП ответов нижних конечностей у пациентов со СМА по сравнению с контрольной группой. Амплитуды МВП верхних конечностей не различались между группами. Параметры ССВП в обеих группах не отличались. Отмечено, что при использовании стимуляции двойным трейном происходило значительное увеличение амплитуды МВП в группах СМА и идиопатического сколиоза. Исследование подтвердило возможность эффективного контроля МВП и ССВП при коррекции сколиоза у пациентов со СМА, что имеет важное значение для предотвращения возможных интраоперационных осложнений. Оптимальные параметры межтрейнового стимула двойного трейна составляют 12 и 20 мс.

Ключевые слова: спинальная мышечная атрофия, нейромышечный сколиоз, интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, моторные вызванные потенциалы, двойной трейн, сенсорные вызванные потенциалы.

MOTOR AND SENSORY EVOKED POTENTIALS DURING CORRECTION OF SCOLIOTIC DEFORMITY IN PATIENTS WITH SPINAL MUSCULAR ATROPHY

Gulaev E.V.¹, Linkov V.V.¹

¹State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Medical Academy» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ivanovo, e-mail: evlgul@mail.ru

Spinal Muscular Atrophy (SMA) is a genetic disease with high mortality in childhood, caused by a deficiency of the survival motor neuron protein. In the majority of SMA cases, pronounced scoliosis develops, requiring surgical correction. However, surgeries are associated with a high risk of postoperative neurological deficits. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is an effective method for monitoring the spinal cord. Objective: To conduct a study exploring the feasibility and optimizing parameters of intraoperative neurophysiological monitoring of motor (MEP) and somatosensory (SSEP) evoked potentials in SMA patients undergoing neuromuscular deformity correction. Commonly accepted parameters of evoked potentials during IONM were compared throughout the surgery in 12 SMA patients and 10 control group patients with idiopathic scoliosis. Despite a marked motor deficit and expected absence of reliable MEPs, reproducible motor and sensory evoked potentials were obtained in all examined muscles, including the distal group of lower extremities, in SMA patients. The study revealed a statistically significant symmetric decrease in amplitude and increase in latency of MEP responses in the lower extremities of SMA patients compared to the control group. The amplitude of MEPs in the upper extremities did not differ between the groups. SSEP parameters were similar in both groups. It was noted that using double-train stimulation resulted in a significant increase in MEP amplitude in both SMA and idiopathic scoliosis groups. The study confirmed the possibility of effective control of MEPs and SSEPs during scoliosis correction in SMA patients, which is crucial for preventing potential intraoperative complications. The optimal parameters for double-train stimulation were found to be 12 and 20 ms.

Keywords: spinal muscular atrophy, neuromuscular scoliosis, intraoperative neurophysiological monitoring, motor evoked potentials, double train, somatosensory evoked potentials

Спинальная мышечная атрофия (СМА) – генетическое аутосомно-рецессивное заболевание, характеризующееся прогрессирующей гибелью спинальных мотонейронов, что приводит к слабости и атрофии скелетных мышц. СМА является одной из наиболее частых врожденных причин смертности и инвалидности в детском возрасте [1]. Оцениваемая частота встречаемости составляет примерно 1 случай на 6–11 тысяч новорожденных [2]. Заболевание связано с дефицитом белка выживания моторных нейронов (SMN) в случае гомозиготной делеции гена SMN1, что приводит к потере альфа-мотонейронов. Существуют несколько типов СМА у детей (1–3), которые различаются в зависимости от возраста, начала заболевания и достигнутого объема двигательных функций.

Диагноз обычно устанавливается на основании анамнеза и клинического обследования, с последующим генетическим подтверждением. У лиц со СМА вследствие снижения силы осевой мускулатуры на 90–100% происходит развитие выраженного вторичного сколиоза, что приводит к дыхательной недостаточности, затруднению нахождения в положении сидя и нарушению качества жизни. Развитие подобных сложных деформаций позвоночника в большинстве случаев требует хирургической коррекции [3].

Постоянный выраженный постоперационный неврологический дефицит является одним из наиболее опасных осложнений подобных вмешательств. Таким образом, операции должны проводиться с максимально возможным сохранением имеющихся функций, даже при наличии выраженного исходного снижения. Известно, что коррекция нейромышечного сколиоза сопровождается более высоким процентом неврологических осложнений по сравнению с идиопатическим сколиозом [4]. Одним из основных методов, позволяющих в режиме реального времени контролировать функцию спинного мозга, является интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ) моторных (МВП) и соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП). ИОНМ дает возможность контролировать как переднелатеральные, так и задние отделы спинного мозга и является золотым стандартом в хирургии идиопатического сколиоза [5]. В одном из исследований было показано, что чувствительность и специфичность ИОНМ на предмет развития неврологического дефицита при коррекции идиопатического сколиоза составляют 82,6% и 94,4% соответственно [6].

В мировой литературе имеются единичные работы, свидетельствующие о возможности проведения ИОНМ и его надежности у пациентов с нейромышечным сколиозом [7, 8, 9] и, в частности, СМА [10, 11], при этом данные во многом остаются противоречивыми и требуют дальнейших исследований.

Цель исследования: провести исследование возможности и оптимизировать параметры интраоперационного нейрофизиологического мониторинга моторных и соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов со СМА при коррекции нейромышечной деформации.

Материал и методы исследования. Совместно с Центром патологии позвоночника А.Н. Бакланова (г. Москва) проведено исследование интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОНМ) моторных вызванных потенциалов (МВП) и соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) в ходе коррекции сколиотической деформации у 12 пациентов, страдающих спинальной мышечной атрофией (СМА), из которых 10 были подтверждены генетически. ИОНМ проводился для мониторинга функционального состояния спинного мозга в процессе коррекции сколиотической деформации.

Контрольная группа включала 10 пациентов, которым проводился ИОНМ при коррекции идиопатического сколиоза (ИПС), без наличия неврологического дефицита и сопутствующей патологии.

Пациентам обеих групп выполнялась дорсальная коррекция с протяженной стабилизацией позвоночника под тотальной внутривенной анестезией, с использованием пропофола, фентанила и миорелаксантов короткого действия на этапе доступа. В контрольной группе в отдельных случаях применялась комбинированная анестезия с добавлением до 0,5 минимальной альвеолярной концентрации (МАК) севофлюрана. Всем пациентам проводили подробное клиничко-неврологическое обследование, сила мышечных групп нижних конечностей оценивалась по стандартной 5-балльной шкале MRC.

Все операции проводились с применением мультимодального ИОНМ с использованием системы «Нейро-ИОМ» от «Нейрософт» (Россия) на протяжении всей хирургической процедуры.

МВП вызывались транскраниальной трейновой электрической стимуляцией с использованием штипоробразных электродов в проекции C1-C2 «международная система 10–20». Стимуляция проводилась полушарно со сменой полярности, трейн состоял из 5–6 стимулов длительностью 200 мкс, с межстимульным интервалом 3 мс. Интенсивность стимуляции подбиралась в пределах 150–500 В, с применением фасилитации в виде двойного трейна в ряде случаев (межтрейновый интервал 12 мс).

Регистрация МВП осуществлялась при помощи игольчатых подкожных электродов, оценивались параметры максимальной амплитуды и минимальной латентности ответов. Проводилась регистрация сигналов от мышц верхних и нижних конечностей, а также туловища: mm. abductor digiti minimi, rectus abdominis на двух уровнях, sphincter ani, quadriceps femoris, tibialis anterior, abductor hallucis. В качестве сигнальных критериев оценивались локальное исчезновение ответов или снижение амплитуды более 80%.

Дополнительно проведен поиск оптимальных параметров стимуляции у 6 пациентов со СМА и 10 пациентов контроля. Регистрация МВП производилась в ответ на стимуляцию одиночными и двойными трейнами, состоящими из 6 стимулов, длительностью 0,1 мс каждый, с межстимульным интервалом 3 мс, последовательно с различной длительностью межтрейнового интервала (МТИ): 12, 20, 50, 80, 100 мс. Оценивались суммарная амплитуда мышечных ответов, а также максимальная амплитуда ответов с *m. tibialis anterior*.

ССВП нижних конечностей регистрировались на корковом уровне по стандартной методике ИОНМ. Проводилась поочередная электрическая стимуляция *n. tibialis* с двух сторон, которая выполнялась при помощи стимулов длительностью 200 мкс, частотой 3,72 Гц, интенсивностью 15–60 мА. Производилось усреднение 250 стимулов для получения одного ССВП ответа. Оценивались стандартные показатели латентности и амплитуды пиков P38 и N46, регистрирующие электроды устанавливались в проекции Cz'-Fz (система «10-20»). Снижение амплитуды более 50% и увеличение латентности более 10% использовались в качестве сигнальных критериев.

Периодически проводился контроль уровня нейромышечной блокады с использованием TOF-стимуляции по стандартной методике.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с использованием пакетов Microsoft Office Excel и IBM SPSS Statistics 22 для прикладных программ, включая описательную и параметрическую статистику. Полученные данные представлены средним значением и стандартным отклонением. Проверка нормальности распределения выполнялась с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Статистическая значимость различий между средними значениями оценивалась с использованием критерия Стьюдента для независимых выборок в случае нормального распределения и критерия Манна–Уитни в случае ненормального. Уровень значимости выбран на уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Все пациенты со СМА предъявляли жалобы на выраженную слабость мышц в верхних и в большей мере в нижних конечностях (вплоть до отсутствия движений), повышенную утомляемость, невозможность ходить и ровно сидеть в кресле-каталке, боли в спине, грубую деформацию позвоночника и суставов, одышку, резкое затруднение самообслуживания. В исследовании участвовали 12 пациентов с СМА, из них женщин – 10 (83,3%), средний возраст составил $20,6 \pm 9,4$ года; средний рост $145,6 \pm 13,6$ см. В группе контроля 10 пациентов, из них женщин – 8, средний возраст составил $21,2 \pm 8,11$ года; средний рост $164,6 \pm 9,0$ см.

Все пациенты группы имели периферический, преимущественно проксимальный тетрапарез. Средние показатели оценки силы мышц по шкале MRC для группы в

проксимальных и дистальных мышцах верхних конечностей составили 3,2 и 3,8 балла соответственно, нижних конечностей — 1,7 и 2,8 балла. Контроль тазовых функций сохранен у всех пациентов группы СМА.

Сухожильные рефлексы нижних конечностей (ахиллов, коленный) отсутствовали у всех пациентов, в 3 (25%) случаях были сохранены биципитальные рефлексы. Чувствительные нарушения в группе также отсутствовали.

Несмотря на резко выраженный двигательный дефицит (вплоть до минимальных движений в нижних конечностях) и ожидаемое отсутствие надежных МВП, воспроизводимые моторные и сенсорные вызванные потенциалы были получены у всех пациентов.

Ответы были получены у всех пациентов с большинства исследуемых мышц, в том числе дистальной группы нижних конечностей. В большинстве случаев (91,7%) у пациентов со СМА также отмечались стабильные ответы с наружного сфинктера ануса и мышц брюшного пресса, что соответствует и клинической сохранности мышечной силы у данных пациентов.

При проведении данных операций не было зафиксировано изменений параметров, связанных с хирургическим вмешательством, достигающих уровня сигнальных критериев и требующих вмешательства в ход операции с уведомлением операционной бригады.

В результате исследования было выявлено, что для нижних конечностей наблюдаются статистически значимое ($p < 0,05$) симметричное снижение амплитуды ответов и увеличение латентности (табл. 1) по сравнению с контрольной группой (*m. abductor hallucis*).

Таблица 1

Сравнительная характеристика МВП, полученных с *m. abductor hallucis* и ССВП на момент окончания операции

Показатель	СМА (n = 6)	ИПС (n = 8)
Амплитуда справа, мкВ	197,8 ± 198,2*	1101 ± 1089,1
Амплитуда слева, мкВ	193,9 ± 133,2*	1043,7 ± 1528,9
Латентность слева, мс	51,3 ± 9,5*	40,2 ± 3,3
Латентность справа, мс	49,5 ± 9,6*	40,0 ± 3,1

* $p < 0,05$

Средние параметры МВП-ответов для мышц верхних конечностей (*m. abductor pollicis*): 2091±1897,8 мкВ и 1073±1292,3 мкВ – статистически значимо не различались между исследуемыми группами. Однако отмечалась отчетливая тенденция к превышению амплитуды ответов с верхних конечностей в группе СМА, вероятно, за счет применения большей интенсивности транскраниальной стимуляции с целью получения вызванных ответов с нижних конечностей.

Параметры ССВП, как и ожидалось, в группе СМА и группе контроля не имели статистически значимых различий (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика коркового пика Р38 ССВП, при стимуляции n. tibialis

Показатель	СМА (n=6)	ИПС (n=8)
Амплитуда справа, мкВ	2,51±1,6	2,21±0,97
Амплитуда слева, мкВ	1,9±1,3	1,95±0,87
Латентность слева, мс	40,5±4	40,7±4,5
Латентность справа, мс	40,9±4,4	41±3,4

* p<0,05

Одним из методов, позволяющих повысить стабильность и воспроизводимость МВП, в том числе при наличии предоперационного неврологического дефицита, является использование стимуляции двойным трейном [12]. На данный момент продолжается поиск оптимальных параметров стимуляции двойным трейном, позволяющих получить оптимальные МВП-ответы с минимальным сокращением мышц пациента.

МВП-ответы были получены от большинства исследуемых мышц у всех пациентов.

В группе коррекции нейромышечного сколиоза при СМА, как и в группе ИПС, при одинаковой интенсивности стимуляции использование двойного трейна вызывало статистически значимо большую амплитуду МВП с ТА в сравнении с одиночным трейном (p<0,05).

При сравнительном анализе амплитуды МВП-ответов в зависимости от длительности МТИ выявлены общие закономерности. В обеих группах – как в группе с нейромышечным сколиозом, так и в группе без неврологического дефицита – максимальная амплитуда МВП с ТА отмечалась при использовании только МТИ 12 и 20 мс, при этом в группе СМА – преимущественно 12 мс (рис.).

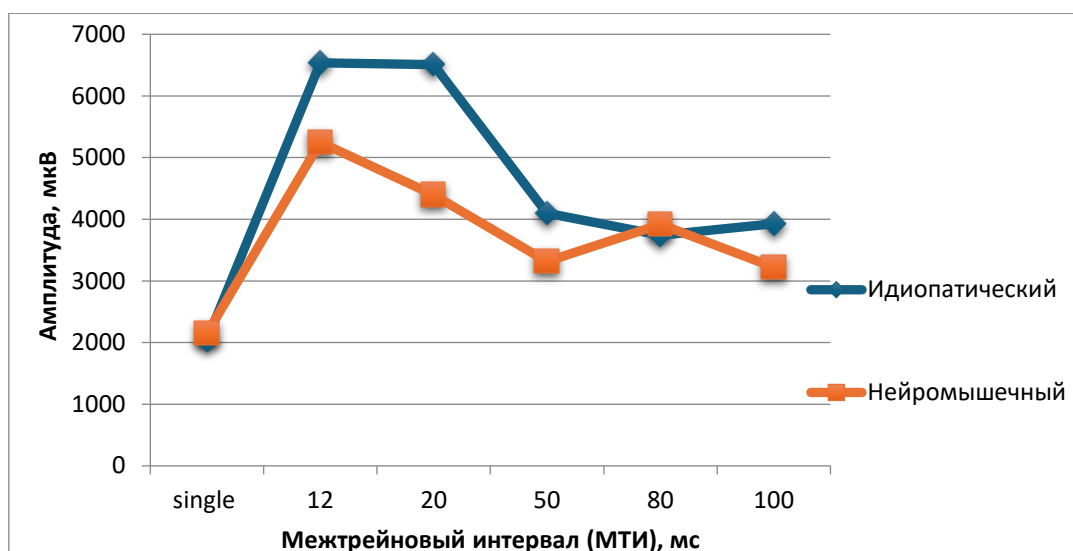


Рис. Сравнение суммарной амплитуды МВП при стимуляции одиночным и двойным трейном с различным МТИ в группах СМА и группе контроля

В случае ИПС максимальная амплитуда МВП ТА отмечалась при МТИ 20 мс в 5 из 8 случаев (62,5%), в группе СМА — при МТИ 12 мс в 4 из 6 случаев (66,7%).

В случае наличия СМА отмечалась более выраженная вариабельность параметров МВП с ТА. Например, в одном из случаев отмечалось минимальное снижение амплитуды ответа при стимуляции одиночным трейном в сравнении со стимуляцией двойным трейном с МТИ 12 и 20 мс. Во многих случаях для различных мышечных групп максимальная амплитуда МВП (оптимальные параметры) была достигнута при использовании двойного трейна с различными МТИ.

Минимальная амплитуда МВП с ТА в обеих группах наиболее часто отмечалась в случае МТИ 50 (50%), 80 (21%) и 100 (21%) мс. В 4 случаях амплитуда МВП с ТА при стимуляции двойным трейном с МТИ 50 мс была ниже, чем при стимуляции одиночным трейном, что, вероятно, связано с возникновением периода ингибирования после одиночного ответа.

Во всех случаях хирургической коррекции сколиоза при СМА возможно надежно контролировать МВП и ССВП для профилактики интраоперационных осложнений. Несмотря на резко выраженный моторный дефицит (вплоть до минимальных движений в ногах) при ожидаемом отсутствии МВП, они регистрируются при транскраниальной электрической стимуляции у всех пациентов с большинства регистрируемых мышц.

Исследование выявило значительное и многократное снижение амплитуды МВП в сравнении с группой контроля для нижних конечностей, что коррелирует с клинической картиной. Ответы с кисти, тем не менее, не имели статистически значимых различий. Также

отмечено статистически значимое замедление проведения МВП, что может указывать на гибель части мотонейронов с наиболее быстрой проводимостью двигательных волокон.

Полученные данные позволяют предполагать, что даже при потере большей части мотонейронов передних рогов спинного мозга эта потеря происходит мозаично и часть волокон для проведения остается сохранной. Это отличается от случаев травмы или ишемии спинного мозга, где чаще происходит полное прекращение проведения МВП.

В связи с тем, что в литературе было показано значительное превышение частоты развития серьезных интраоперационных осложнений у пациентов с НМС и СМА, в частности [5, 11, 13], несмотря на то, что в данных группах пациентов не было сигнальных критериев во время операции. Полученные данные рекомендуются к использованию при проведении ИОНМ при коррекции НМС у данных пациентов для профилактики развития параплегии и анестезии нижней половины тела, также у данных пациентов является крайне необходимым интраоперационный контроль МВП тазовых органов, функция которых в подавляющем большинстве случаев сохранна. Кроме того, во всех вышеупомянутых исследованиях нейромышечных сколиозов МВП выполнялись с использованием более распространенной методики одиночного трейна. В нашем исследовании получено статистически значимое увеличение суммарной амплитуды МВП при использовании фасилитации стимуляции двойным по сравнению с одиночным трейном, также показано, что оптимальными параметрами МТИ являются 12 и 20 мс (12 мс были предпочтительнее в группе СМА), но в связи с малой выборкой требуются дополнительные исследования. Данные оптимизированные параметры интраоперационного мониторинга транскраниальной электрической стимуляции МВП с мышц нижних конечностей.

Выводы

1. Интраоперационный мониторинг с регистрацией МВП и ССВП при спинальной мышечной атрофии позволяет оценивать состояние кортикоспинального пути, в том числе в динамике, что определяет возможность профилактировать интраоперационные осложнения при хирургическом лечении деформаций.

2. При СМА симметрично снижена амплитуда ответов и увеличена латентность с нижних конечностей в сравнении с показателями при ИПС без неврологических нарушений.

3. Получено статистически значимое увеличение суммарной амплитуды МВП при использовании фасилитации стимуляции двойным по сравнению с одиночным трейном ($p < 0,05$), также показано, что оптимальными параметрами МТИ являются 12 и 20 мс при СМА.

Список литературы

1. Mercuri E., Finkel R.S., Muntoni F., Wirth B., Montes J., Main M., Mazzone E.S., Vitale M., Snyder B., Quijano-Roy S., Enrico Bertini E., Davis R. H., Meyer O.H., Anita K. Simonds A., Szlagatys-Sidorkiewicz A. Diagnosis and management of spinal muscular atrophy: Part 1: Recommendations for diagnosis, rehabilitation, orthopedic and nutritional care // *Neuromuscular disorders*. 2018. Vol. 28. Is. 2. P. 103-115. DOI: 10.1016/j.nmd.2017.11.005.
2. Kay D.M., Stevens C.F., Parker A., Saavedra-Matiz C.A., Sack V., Chung W.K., Chiriboga C.A., Engelstad K., Laureta E., Farooq O., Ciafaloni E., Lee B.H., Malek S., Treidler S., Anziska Y., Delfiner L., Sakonju A., Caggana M. Implementation of population-based newborn screening reveals low incidence of spinal muscular atrophy // *Genetics in Medicine*. 2020. Vol. 22. Is. 8. P. 1296-1302. DOI: 10.1038/s41436-020-0824-3.
3. Wijngaarde C.A., Brink R.C., Kort F.A., Stam M., Otto L.A., Asselman F.L., Bartels B., Eijk R.P.A., Sombroek J., Cuppen I., Verhoef M., Berg L.H., Wadman R.I., Castelein R.M., Pol W.L. Natural course of scoliosis and lifetime risk of scoliosis surgery in spinal muscular atrophy // *Neurology*. 2019. Vol. 93. Is. 2. P. 149-158. DOI: 10.1212/WNL.0000000000007742.
4. Halsey M.F., Myung K.S., Ghag A., Vitale M.G., Newton P.O., Kleuver M. Neurophysiological monitoring of spinal cord function during spinal deformity surgery: 2020 SRS neuromonitoring information statement // *Spine Deformity*. 2020. Vol. 8. P. 591-596. DOI: 10.1007/s43390-020-00140-2.
5. Dikmen P.Y., Halsey M.F., Yucekul A., Kleuver M., Hey L., Newton P.O., Havlucu I., Zulemyan T., Yilgor C., Alanay A. Intraoperative neuromonitoring practice patterns in spinal deformity surgery: a global survey of the Scoliosis Research Society // *Spine deformity*. 2021. Vol. 9. P. 315-325. DOI: 10.1007/s43390-020-00246-7.
6. Thirumala P.D., Huang J., Thiagarajan K., Cheng H., Balzer J., Crammond D.J. Diagnostic accuracy of combined multimodality somatosensory evoked potential and transcranial motor evoked potential intraoperative monitoring in patients with idiopathic scoliosis // *Spine*. 2016. Vol. 41. Is. 19. P. 1177-1184. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001678.
7. Brooks J.T., Sponseller P.D. What's new in the management of neuromuscular scoliosis // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2016. Vol. 36. Is. 6. P. 627-633. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000497.
8. Pastorelli F., Di Silvestre M., Vommaro F., Maredi E., Morigi A., Bacchin M.R., Bonarelli S., Plasmati R., Michelucci R., Greggi T. Intraoperative monitoring of somatosensory (SSEPs) and transcranial electric motor-evoked potentials (tce-MEPs) during surgical correction of neuromuscular scoliosis in patients with central or peripheral nervous system diseases // *European Spine Journal*.

2015. Vol. 24. P. 931-936. DOI: 10.1007/s00586-015-4282-6.

9. Chung S.Y., Lim C.H., Park Y.G., Kim H.S., Kim D., Park J. Hemodynamic Consideration in Intraoperative Neurophysiological Monitoring in Neuromuscular Scoliosis Surgery // *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2022. Vol. 46. Is. 6. P. 292-302. DOI: 10.5535/arm.22100.

10. Norton J.A., Roy F.D., Mahood J.K. Preservation of motor evoked potentials under anesthesia in children with spinal muscular atrophy type II undergoing spinal deformity surgery // *Journal of Clinical Neurophysiology*. 2013. Vol. 30. Is. 4. P. 382-385. DOI: 10.1097/WNP.0b013e31829dde84.

11. Besse M., Gaume M., Eisermann M., Kaminska A., Glorion C., Miladi L., Gitiaux C., Ferrero E. Intraoperative neuromonitoring in non-idiopathic pediatric scoliosis operated with minimally fusionless procedure: A series of 290 patients // *Archives de Pédiatrie*. 2022. Vol. 29. Is. 8. P. 588-593. DOI: 10.1016/j.arcped.2022.08.014.

12. Dulfer S.E., Gadella M.C., Sahinovic M.M., Lange F., Absalom A.R., Groen R.J.M., Drost G. Stimulation parameters for motor evoked potentials during intraoperative spinal cord monitoring. A systematic review // *Clinical neurophysiology*. 2023. DOI: 10.1016/j.clinph.2023.02.170.

13. Удалова И.Г., Михайловский М.В. Неврологические осложнения в хирургии сколиоза // *Хирургия позвоночника*. 2013. № 3. С. 038-043.