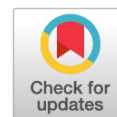


DOI: <https://doi.org/10.17816/vto635230>

Сравнительное исследование данных интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при хирургической коррекции тяжёлого сколиоза с применением предоперационной гало-тракции и без неё

С.Б. Багиров¹, С.В. Колесов¹, Е.В. Гулаев¹, В.В. Швец¹, Н.С. Морозова¹, В.С. Переверзев¹,
А.И. Казьмин¹, В.Б. Шамик²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия;

² Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОНМ) при проведении корригирующих операций на позвоночнике является золотым стандартом, а сохранение целостности нервной системы во время операции имеет первостепенное значение как для хирурга, так и для пациента. Мы используем различные виды гало-тракции в предоперационном периоде у пациентов с тяжёлыми сколиотическими деформациями позвоночника также для снижения риска развития неврологических осложнений. Поэтому проведено сравнительное исследование изменений ИОНМ при операциях по коррекции сколиоза у пациентов, которым проводилась предоперационная гало-гравитационная подготовка, и без неё.

Цель. Провести сравнительный анализ результатов ИОНМ во время операции по коррекции сколиоза при применении предоперационной гало-гравитационной тракционной подготовки и без неё.

Материалы и методы. Проведено обсервационное моноцентровое ретроспективное неконтролируемое исследование результатов ИОНМ 88 пациентов с тяжёлыми сколиотическими деформациями позвоночника, получивших хирургическое лечение по коррекции сколиоза с применением гало-тракции в период с 2019 по 2023 год. Пациенты были разделены на две группы. I группа пациентов в составе 52 человек получала в качестве предоперационной подготовки гало-гравитационную тракцию стоя или сидя. II группа (36 человек) оперирована в условиях интраоперационной гало-тракции. Выполнен сравнительный анализ сигнальных критериев с угрозой развития неврологического дефицита нижних конечностей во время операции, величины углов деформации, показателей мобильности, величины деформации после операции, а также объёма кровопотери и времени операции.

Результаты. При межгрупповом сравнении полученных параметров изменения углов деформации, а также данных ИОНМ выявлено, что в I группе отмечали более выраженную деформацию по величине угла основной дуги, противодуги, большую ригидность и меньшее количество пациентов с нормальным показателем уровня моторных вызванных потенциалов (МВП), что статистически значимо подтверждается ($p < 0,05$). У 12 пациентов зарегистрированы сигнальные критерии с угрозой развития неврологического дефицита: 7 — в I группе, 5 — во II. У двоих пациентов II группы восстановления показателей МВП нижних конечностей не произошло и перманентного неврологического дефицита избежать не удалось.

Заключение. Предоперационная гало-тракция позволяет подготовить нервные структуры к коррекции тяжёлых деформаций и снизить интраоперационное воздействие на нервную систему, уменьшая риски неврологических осложнений у пациентов с тяжёлыми деформациями позвоночника, по сравнению с одномоментной коррекцией в условиях интраоперационной тракции.

Ключевые слова: сколиоз; интраоперационный нейромониторинг; гало-тракция.

Как цитировать:

Багиров С.Б., Колесов С.В., Гулаев Е.В., Швец В.В., Морозова Н.С., Переверзев В.С., Казьмин А.И., Шамик В.Б. Сравнительное исследование данных интраоперационного нейрофизиологического мониторинга при хирургической коррекции тяжёлого сколиоза с применением предоперационной гало-тракции и без неё // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 4. С. 599–613. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto635230>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto635230>

A comparative study of the data of intraoperative neurophysiological monitoring in the surgical correction of severe scoliosis with and without preoperative halo-traction

Samir B. Bagirov¹, Sergey V. Kolesov¹, Evgeny V. Gulaev¹, Vladimir V. Shvets¹,
Nataliia S. Morozova¹, Vladimir S. Pereverzev¹, Arkadii I. Kazmin¹, Victor B. Shamik²

¹ Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

² Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) in remedial spine surgery is currently a gold standard, and protecting the nervous system during surgery is a major concern for both surgeons and patients. Moreover, we use various types of preoperative halo traction in patients with severe scoliosis to reduce the risk of neurological complications. Thus, we performed a comparative study of changes in IONM findings during scoliosis surgery in patients with and without preoperative halo-gravity traction.

AIM: To compare IONM findings during scoliosis surgery with and without preoperative halo-gravity traction.

MATERIALS AND METHODS: An observational, single-center, retrospective, single-arm study of IONM findings was performed in 88 patients with severe scoliosis who underwent scoliosis surgery with halo traction between 2019 and 2023. The study included two groups. Group 1 (52 patients) had preoperative halo-gravity traction while standing or sitting. Group 2 (36 patients) had intraoperative halo traction. A comparative analysis was performed, which included the following: risk criteria for neurological deficit in the lower extremities during surgery, deformation angles, mobility parameters, postoperative deformation, blood loss, and surgery duration.

RESULTS: The intergroup comparison of changes in deformation angles and IONM findings revealed that Group 1 had more severe deformation based on primary and compensatory curve angles, more severe stiffness, and a lower number of patients with normal motor evoked potential (MEP) levels. The differences were significant ($p < 0.05$). Risk criteria for neurological deficit were reported in 12 patients: seven in Group 1 and five in Group 2. In two patients in Group 2, MEP values of the lower extremities were not restored, resulting in permanent neurological deficit.

CONCLUSION: Preoperative halo traction prepares the nervous structures for the treatment of severe deformations and minimizes the intraoperative impact on the nervous system, reducing the risk of neurological complications in patients with severe spinal deformities compared to immediate treatment with intraoperative traction.

Keywords: scoliosis; intraoperative neuromonitoring; halo-traction.

To cite this article:

Bagirov SB, Kolesov SV, Gulaev EV, Shvets VV, Morozova NS, Pereverzev VS, Kazmin AI, Shamik VB. A comparative study of the data of intraoperative neurophysiological monitoring in the surgical correction of severe scoliosis with and without preoperative halo-traction. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2024;31(4):599–613. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto635230>

Received: 17.08.2024

Accepted: 07.10.2024

Published online: 19.11.2024

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОНМ) при проведении корригирующих операций на позвоночнике является золотым стандартом [1–5], а сохранение целостности нервной системы во время операции имеет первостепенное значение как для хирурга, так и для пациента [6].

Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг — это постоянно развивающаяся область медицины, целью которой является контроль функции невралных структур, а также сохранение их целостности [7]. Общая чувствительность метода на предмет значимых проводниковых нарушений спинного мозга превышает 95% [8–11].

Применение гало-тракции при тяжёлых деформациях позвоночника оказывает положительное влияние, улучшая респираторный, нутритивный статус пациента [12–14]. А.А. Кулешов [15] описал улучшение спинального кровообращения при галопельвик-тракции, обнаруженное при ангиографии.

Вертебрология не стоит на месте: инновации в хирургической технике и спинальных имплантатах позволили исправлять всё более тяжёлые деформации позвоночника, однако корригирующие силы, приложенные во время операции, могут вызывать неврологический дефицит [16]. По данным литературных источников, частота неврологических осложнений при оперативном лечении деформаций позвоночника колеблется от 0,37 до 10% [17–23]. По результатам исследований в больших когортах М. Diab и соавт. [24] и С.Е. Bartley и соавт. [25], риск значимых неврологических осложнений составляет 0,69 и 0,5% соответственно. Ретроспективный анализ, проведённый Обществом исследования сколиоза SRS в 1974 году, показал, что распространённость неврологических осложнений в период с 1965 по 1971 год наблюдалась с частотой 0,72%, при этом частичные или необратимые повреждения отмечались у 0,65% пациентов [26, 27]. Согласно их же данным и данным EuroSpine от 1991 года, частота повреждений невралных структур во время операций на позвоночнике составила 0,55% [28]. При анализе данных SRS в 2011 году частоту впервые возникшего неврологического дефицита при первичной операции оценили в 1%, а при ревизионных — на 40% больше [26]. Согласно отчёту Комитета по заболеваемости и смертности SRS уже от 2020 года, документально зафиксированы неврологические осложнения как редкие явления с частотой 0,14–0,79% [29–32], но, несмотря на небольшие цифры, данные неврологические осложнения носят катастрофический характер.

Следует отметить, что для пациентов с кифотическими врождёнными деформациями или ранее имевших неврологический дефицит данный риск увеличивается до 1,3–3,6%, кроме того, использование трёхколонных вертебротомий, по данным О. Boachie-Adjei и соавт., увеличивает этот риск практически в три раза [33]. Другие источники сообщают, что применение комбинированной вентральной

и дорсальной хирургии, а также нейромышечная этиология деформации тоже увеличивают данные риски [27, 30, 34]. Имеются также сообщения о ятрогенных неврологических осложнениях, которые составляют 0,4% [21, 35], а по некоторым данным — колеблются в диапазоне 0,25–1,75% [36, 37].

В связи с широким применением нами различных видов гало-тракции, в частности у пациентов с деформациями позвоночника, и рутинным использованием ИОНМ возникла потребность в изучении влияния гало-тракции на показатели нейромониторинга при операциях по коррекции сколиоза.

Цель исследования — провести сравнительный анализ результатов ИОНМ во время операции по коррекции сколиоза с применением предоперационной гало-гравитационной тракционной подготовки и без неё.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено обсервационное моноцентровое ретроспективное неконтролируемое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- лица с тяжёлыми сколиотическими деформациями (угол основной дуги более 60°) различной этиологии, в том числе ранее оперированные пациенты с наличием костного блока;
- расположение основной дуги деформации в грудном отделе позвоночника с противодугой в поясничном/грудопоясничном отделе или без неё;
- расположение основной дуги деформации в поясничном/грудопоясничном отделе с противодугой в грудном отделе или без неё;
- завершённый костный рост либо период его завершения (тест Риссера не ниже 3) у пациентов подросткового возраста;
- отсутствие передней мобилизации (вентрального релиза) в качестве мобилизирующей подготовки к инструментации;
- применение предоперационной подготовки в объёме гало-гравитационной тракции стоя или сидя;
- применение интраоперационной гало-гравитационной тракции у всех пациентов обеих групп;
- применение интраоперационного мультимодального нейрофизиологического мониторинга.

Критерии исключения:

- пациенты с тяжёлыми сопутствующими соматическими заболеваниями в стадии декомпенсации;
- пациенты со сколиотическими деформациями на почве инфекционного поражения позвоночника;
- пациенты со сколиозами на почве онкологического поражения позвоночника;
- беременные женщины;
- пациенты с выраженным системным остеопорозом.

Условия проведения

В исследовании участвовали пациенты, проходившие лечение в 7-м травматолого-ортопедическом отделении патологии позвоночника ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» МЗ РФ, г. Москва.

Продолжительность исследования

Исследование проведено в период с 2019 по 2023 год.

Описание медицинского вмешательства

Методика хирургической коррекции деформации заключалась в установке транспедикулярных винтов из дорсального доступа с последующим выполнением корригирующего манёвра в условиях интраоперационной тракции и ИОНМ. Ни одному пациенту не выполнялась трёхколонная вертебротомия. Гало-кольцо для проведения тракции устанавливалось на мозговой отдел черепа по стандартной методике с применением 6 пинов. Установка гало-кольца пациентам I группы, получавшим предоперационную гало-гравитационную тракцию сидя в кресле или стоя в раме, проводилась как первый этап оперативного лечения, а дорсальная коррекция — вторым этапом. В дальнейшем им выполнялась дозированная гало-гравитационная тракция в течение 2–3 недель (в среднем 18 суток). Пациентам II группы (без предоперационной гало-подготовки) установка кольца и корригирующая операция проводились одномоментно в один наркоз.

Основной исход исследования

Основной показатель, принятый для оценки эффективности того или иного метода гало-тракции, — отсутствие или появление послеоперационного неврологического дефицита, зафиксированное изменением балла моторных вызванных потенциалов ИОНМ во время операции и после неё.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительно проведена оценка изменения в обеих группах следующих параметров: величина угла основной дуги деформации (угол ОД), противодуги (угол ПД),

тракционный тест (ТТ ОД/ТТ ПД) этих дуг, индекс их мобильности (ИМ ОД/ИМ ПД), величина угла после операции (угол ПО ОД/угол ПО ПД), время операции и кровопотеря.

Анализ в подгруппах

Проанализированы результаты интраоперационного нейрофизиологического мониторинга 88 пациентов. Среди всех пациентов, включённых в данное исследование, было 15 (17%) мужчин и 73 (83%) женщины. Распределение по полу и возрасту представлено в табл. 1 и на рис. 1.

Распределение пациентов было следующим: группа I — 52 человека, которые получили предоперационную гало-тракционную подготовку перед основной корригирующей операцией в условиях интраоперационной тракции (группа ПГТ), группа II — 36 пациентов, которые оперированы одномоментно, без предварительной подготовки, в условиях интраоперационной тракции (группа ИОГТ).

Средняя величина основной дуги деформации в группе I составила $106,269 \pm 20,998$ градуса, во II группе — $80 \pm 14,164$ градуса; средняя величина противодуги — $75,410 \pm 19,433$ и $55,789 \pm 9,992$ градуса соответственно. При исследовании мобильности деформации величина угла основной дуги при тракционном тесте (ТТ ОД) в I группе — $88,192 \pm 17,534$ градуса, а во II — $58,583 \pm 17,798$. Соответственно, индекс мобильности (ИМ ОД) в I группе составил $83,5 \pm 10,7\%$, а во II группе — $72,7 \pm 14,4\%$. Тракционный тест противодуги в I группе составлял в среднем $62,846 \pm 16,78$ градуса, во II — $42,315 \pm 8,813$ градуса. Индекс мобильности противодуги в I группе составил $84,1 \pm 12,1\%$, а во II — $76,6 \pm 13,7\%$. Средняя величина основной дуги деформации после операции в группе I составила $74,731 \pm 18,164$ градуса, в группе II — $46,889 \pm 18,414$ градуса; средняя величина противодуги — $54,410 \pm 18,936$ и $37,474 \pm 9,772$ градуса соответственно. Время оперативного пособия в группе I составило $258,17 \pm 42,6$ минуты, в группе II — $228,222 \pm 56,369$ минуты, а объём кровопотери — $1368,269 \pm 456,975$ и $1280,556 \pm 460,322$ мл соответственно. Более подробно данные по группам вместе с описательной статистикой и нормальностью распределения представлены в табл. 2, 3.

Таблица 1. Распределение больных по полу и возрасту

Table 1. Distribution of patients by gender and age

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Всего	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
До 18	4	4,5	23	26,1	27	30,6
18–20	4	4,5	6	6,8	10	11,3
21–30	3	3,4	15	17,1	18	20,5
31–40	2	2,3	10	11,4	12	13,7
41–50	2	2,3	16	18,2	18	20,5
51–60	—	—	3	3,4	3	3,4
Всего	15	17	73	83	88	100

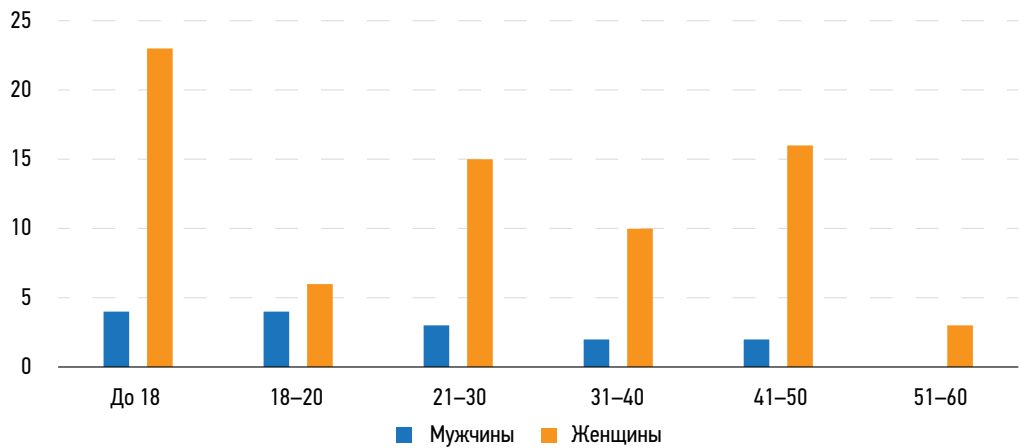


Рис. 1. Половая и возрастная характеристика пациентов (количественное соотношение).
Fig. 1. Sex and age characteristics of patients (quantitative ratio).

Таблица 2. Данные I группы (ПГТ): описательная статистика и нормальность распределения
Table 2. Group I data (PHT): descriptive statistics and normality of distribution

Параметр	Среднее значение±стандартное отклонение	Min; max	p
Угол ОД	106,269±20,998	67; 175	0,001
Угол ПД	75,410±19,433	39; 117	0,239
ТТ ОД	88,192±17,534	52; 126	0,430
ТТ ПД	62,846±16,780	32; 98	0,179
ИМ ОД	0,835±0,107	0,584; 0,989	0,054
ИМ ПД	0,841±0,121	0,841; 0,988	0,003
Угол ПО ОД	74,731±18,164	29; 118	0,944
Угол ПО ПД	54,410±18,936	20; 98	0,679
Время операции, мин	258,17±42,600	155; 355	0,587
Кровопотеря, мл	1368,269±456,975	600; 2700	0,001

Примечание. ПГТ — предоперационная гало-тракция, ОД — основная дуга деформации, ПД — противодуга, ТТ — тракционный тест, ИМ — индекс мобильности. Статистически значимые значения выделены жирным шрифтом.
Note. ПГТ — preoperative halo-traction, ОД — the main curve of deformation, ПД — the opposite curve, ТТ — traction test, ИМ — mobility index. Statistically significant values are shown in bold.

Таблица 3. Данные II группы (ИОГТ): описательная статистика и нормальность распределения
Table 3. Group II data (IOHT): descriptive statistics and normality of distribution

Параметр	Среднее значение±стандартное отклонение	Min; max	p
Угол ОД	80±14,164	61; 117	0,015
Угол ПД	55,789±9,992	40; 80	0,352
ТТ ОД	58,583±17,798	30; 113	0,010
ТТ ПД	42,315±8,813	28; 63	0,588
ИМ ОД	0,727±0,144	0,457; 0,974	0,444
ИМ ПД	0,766±0,137	0,483; 0,979	0,472
Угол ПО ОД	46,889±18,414	15; 96	0,042
Угол ПО ПД	37,474±9,772	17; 58	0,970
Время операции, мин	228,222±56,369	140; 410	0,039
Кровопотеря, мл	1280,556±460,322	500; 2700	0,018

Примечание. ИОГТ — интраоперационная гало-тракция, ОД — основная дуга деформации, ПД — противодуга, ТТ — тракционный тест, ИМ — индекс мобильности. Статистически значимые значения выделены жирным шрифтом.
Note. ИОГТ — intraoperative halo-traction, ОД — the main curve of deformation, ПД — the opposite curve, ТТ — traction test, ИМ — mobility index. Statistically significant values are shown in bold.



Рис. 2. Игольчатый электрод, установленный в abductor hallucis правой стопы.

Fig. 2. Needle electrode installed in the abductor hallucis of the right foot.

Методы регистрации исходов

Интраоперационный мультимодальный нейрофизиологический мониторинг проводился у всех исследуемых пациентов. Благодаря данному методу исследования интраоперационно был осуществлён контроль проводниковых и сегментарных нарушений функций спинного мозга, а также периферических нервов и сплетений. Мониторинг проводился в условиях общей комбинированной анестезии на протяжении всей операции при помощи аппарата «Нейро-ИОМ» и программного обеспечения фирмы ООО «Нейрософт» (Россия). Использовались следующие модальности нейромониторинга:

- моторные вызванные потенциалы (МВП);
- соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП);
- спонтанная и стимуляционная электромиография (ЭМГ), включая тест педикулярных винтов.

После интубации пациентов перед хирургическим вмешательством врачом-нейрофизиологом проводилась установка регистрирующих игольчатых электродов для ЭМГ и МВП с обеих сторон по стандартной схеме в следующие мышцы: abductor hallucis, tibialis anterior, quadriceps femoris, sphincter ani, rectus abdominis (на двух уровнях), abductor pollicis brevis. Пример расположения игольчатого электрода на стопе представлен на рис. 2.

Стимулирующие электроды для регистрации МВП устанавливались в проекции С3/С4 по системе «10-20». При регистрации ССВП оценивались показатели коркового ответа, установленные в проекции Cz*-Fz по системе «10-20». Производилась последовательная стимуляция периферических нервов (большеберцовых и срединных с двух сторон).

После установки транспедикулярных винтов в обязательном порядке проводилось их тестирование на адекватность положения относительно невральных структур при помощи стимуляционной ЭМГ ручной пробой. В случае регистрации неадекватного положения винт либо перепроводился, либо удалялся. Пример данных мониторинга представлен на рис. 3.

Полученные результаты величины МВП у всех пациентов, как показано в ряде работ [38, 39], в дальнейшем были переведены в качественный признак — баллы по МВП от 0 до 5 — и проанализированы. В каждой группе произведено разделение баллов на исходный уровень, баллы во время падения и на конец операции (после). Распределение данных баллов представлено в табл. 4, 5.



Рис. 3. Данные нейрофизиологического мониторинга во время оперативного лечения.

Fig. 3. Neurophysiological monitoring data during surgical treatment.

Таблица 4. Группа ПГТ: описательная статистика качественных признаков, *n* (%)**Table 4.** PHT group: descriptive statistics of qualitative characteristics, *n* (%)

Баллы по МВП	0	1	2	3	4	5
Исходный уровень	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (7,7)	1 (1,9)	47 (90,4)
Во время падения	3 (5,8)	0 (0)	0 (0)	7 (13,5)	1 (1,9)	41 (78,8)
После	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (5,8)	2 (3,8)	47 (90,4)

Примечание. ПГТ — предоперационная гало-тракция, МВП — моторные вызванные потенциалы.

Note. ПГТ — preoperative halo-traction, МВП — motor evoked potentials.

Таблица 5. Группа ИОГТ: описательная статистика качественных признаков, *n* (%)**Table 5.** IOHT group: descriptive statistics of qualitative characteristics, *n* (%)

Баллы по МВП	0	1	2	3	4	5
Исходный уровень	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (2,8)	1 (2,8)	34 (94,4)
Во время падения	4 (11,1)	0 (0)	0 (0)	2 (5,6)	1 (2,8)	29 (80,5)
После	1 (2,8)	0 (0)	0 (0)	2 (5,6)	1 (2,8)	32 (88,8)

Примечание. ИОГТ — интраоперационная гало-тракция, МВП — моторные вызванные потенциалы.

Note. ИОГТ — intraoperative halo-traction, МВП — motor evoked potentials.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, протокол заседания № 7 от 05 августа 2021 года.

Статистический анализ

Все изложенные качественные клинические показатели представлены в виде количественных распределений и простых процентных соотношений. Количественные признаки были представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения. Для оценки нормальности распределения количественного признака использовался критерий Шапиро–Уилка. При сравнении двух независимых групп с ненормальным распределением для количественных признаков использовался U-критерий Манна–Уитни, с нормальным распределением — t-критерий Стьюдента, для качественных признаков — хи-квадрат с поправкой Йейтса при менее 10 единиц наблюдения и двусторонний критерий Фишера при менее 5. В случае, когда две независимые группы количественных переменных имели разное распределение, последнее считалось отличным от нормального, и применялся метод непараметрической статистики — U-критерий Манна–Уитни. Для проведения сравнения показателей внутри одной группы до и после лечения при нормальном распределении количественного признака использовался парный критерий Стьюдента, для ненормального распределения — критерий Уилкоксона, для качественных признаков — критерий Мак-Нимара. Статистически значимыми различия считали при уровне $p < 0,05$. Для обработки данных и проведения методов статистического анализа было использовано программное обеспечение Statistica 10.0 и MedCalc v20.104.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

В обеих группах у части пациентов имелся исходный неврологический дефицит, выявленный неврологом при осмотре до операции. В I группе он отмечен у 5 пациентов, что составило 9,6%. Одна женщина — с врождённым сколиозом, вторая — с деформацией позвоночника на фоне диастематомии I типа. У обеих отмечался синдром фиксированного спинного мозга, по поводу которого они ранее были оперированы нейрохирургами для устранения данного синдрома. У них имелась клиника сенсорной или сенсомоторной радикулопатии с лёгким парезом стопы. Третья пациентка — с идиопатическим сколиозом после оперативной коррекции позвоночника с застарелой миелорадикулопатией нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника по сенсорному типу с лёгким парезом левой стопы. Четвёртая — с сирингомиелией и сверхтяжёлым грудным сколиозом с сопутствующей миелопатией. Последняя пациентка — с грудным сколиозом на фоне синдрома Марфана с неоднократными операциями на позвоночнике по установке и удалению дистрактора с сопутствующей радикулопатией.

Во II группе дооперационный неврологический дефицит обнаружен у двоих человек, что составило 5,6%. Одна пациентка с идиопатическим сколиозом и сопутствующей сенсорной радикулопатией L5 слева, а также одна пациентка с врождённым сколиозом, диастематомией на поясничном уровне, ранее оперированная нейрохирургами по поводу тератомы спинного мозга на уровне T11–T12 позвонков, с остаточными явлениями нижнего парализа.

На рис. 4 видно, что в I группе соотношение пациентов с предоперационным неврологическим дефицитом больше, чем во II группе.

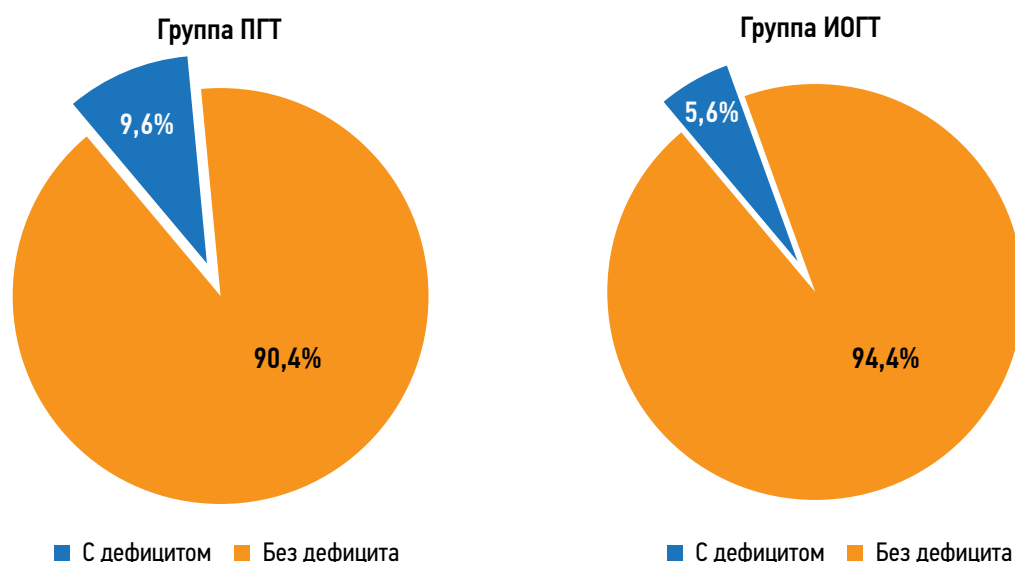


Рис. 4. Предоперационный неврологический дефицит в обеих группах.

Примечание. ПГТ — предоперационная гало-тракция, ИОГТ — интраоперационная гало-тракция.

Fig. 4. Preoperative neurological deficit in both groups.

Note. ПГТ — preoperative halo-traction, ИОГТ — intraoperative halo-traction.

Нестабильность или снижение ответов в I группе были выявлены у 4 пациентов, что составило 7,7%, в то время как во II группе они составили 2,8% (1 пациент).

Полное исчезновение потенциалов было выявлено у 3 пациентов (5,8%) группы ПГТ и 4 пациентов (11,1%) в группе ИОГТ.

Отсутствие значимых изменений величины МВП (норма) в I группе составило 78,8% (41 человек из 52), а во II группе — 80,6% (29 человек из 36). В табл. 6 представлено распределение пациентов в обеих группах в зависимости от ответов МВП.

Основные результаты исследования

При анализе данных интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в режиме реального времени у 12 пациентов зарегистрированы сигнальные критерии

Таблица 6. Описательная статистика качественных признаков в зависимости от ответов уровня МВП, n (%)

Table 6. Descriptive statistics of qualitative characteristics depending on the responses of the level of the MEP, n (%)

Параметр	ПГТ	ИОГТ
Исходный дефицит	5 (9,6)	2 (5,6)
Нестабильность ответов	4 (7,7)	1 (2,8)
Исчезновение ответов	3 (5,8)	4 (11,1)
Норма	41 (78,8)	29 (80,6)

Примечание. МВП — моторные вызванные потенциалы, ПГТ — предоперационная гало-тракция, ИОГТ — интраоперационная гало-тракция.

Note. МВП — motor evoked potentials, ПГТ — preoperative halo-traction, ИОГТ — intraoperative halo-traction.

с угрозой развития неврологического дефицита нижних конечностей во время операции: 7 в I группе, 5 — во II. Из них значимое снижение моторных вызванных потенциалов отмечено у 4 пациентов I группы и 1 пациента II группы, в то время как полное исчезновение МВП было диагностировано у 3 пациентов в I группе и 4 — во II. На рис. 5 представлены диаграммы интраоперационных тревог для лучшей визуализации результатов нейрофизиологического мониторинга.

Возникновение интраоперационных тревог снижения МВП чётко коррелирует с развитием тяжёлого неврологического дефицита и требует немедленных действий со стороны операционной и анестезиологической бригад. Во-первых, все силы направляются на борьбу с возможным неврологическим дефицитом, прекращаются дальнейшие операционные манипуляции (проведение винтов, остеотомии, деротации), снимается прикроватный гало-тракционный груз. Во-вторых, в случае возникновения данной клинической картины после проведения деротационного манёвра и коррекции деформации гайки раскручиваются, а стержни удаляются. Если данная тревога возникает на этапе постановки винтов, то производится тест педикулярных винтов: при помощи датчика нейромониторинга проверяется корректность их проведения. При обнаружении некорректного расположения винты выкручиваются. В некоторых случаях возможно проведение экстренной декомпрессии в объёме ламинэтомии, гемиламинэтомии или фораминотомии для визуализации повреждения невралных структур, дурального мешка в случае ликвореи или их компрессии костным отломком. В-третьих, параллельно с этим анестезиологическая бригада незамедлительно приступает к проведению

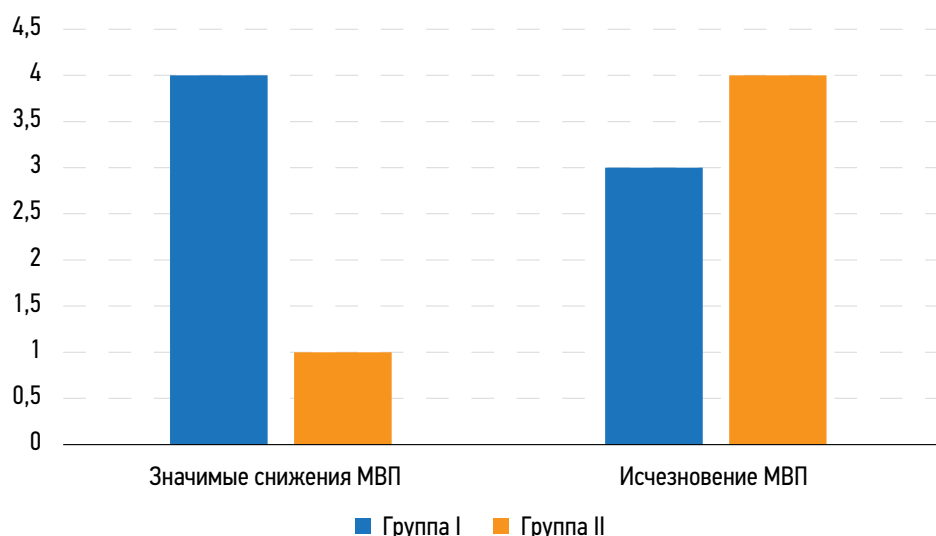


Рис. 5. Интраоперационные тревоги интраоперационного нейрофизиологического мониторинга.

Fig. 5. Intraoperative alarms of intraoperative neurophysiological monitoring.

противоотёчной и нейропротекторной терапии — инфузии растворов реополиглюкина, дексаметазона. При подозрении на непрямой механизм развития осложнения (гипотония, гипоксия) проводятся соответствующие манипуляции для подъёма артериального давления или улучшения сатурации. По мере выполнения всех этих этапов отмечается либо улучшение показателей вплоть до полного восстановления, либо отсутствие эффекта и возникновение неврологического дефицита в послеоперационном периоде. В случае развития положительной динамики показателей МВП с их полным/частичным восстановлением возможно продолжение операции.

В большинстве случаев в обеих группах своевременные корректирующие мероприятия привели к восстановлению нейрофизиологических показателей МВП, операции были продолжены, развития постоперационного дефицита

не отмечалось. В нашей практике, несмотря на все действия операционной и анестезиологической бригад, у двоих пациентов II группы восстановления показателей МВП нижних конечностей не произошло и перманентного неврологического дефицита избежать не удалось: у одной пациентки отмечалось развитие нижней параплегии с нарушением функций тазовых органов, ещё у одной развился парез стоп с обеих сторон. В группе пациентов, которые получали предоперационную гало-тракцию, ни одна из тревог не вылилась в послеоперационный неврологический дефицит.

Диаграмма на рис. 6 демонстрирует, что в группе пациентов, не получавших предоперационную гало-тракционную подготовку, отмечен неврологический дефицит в послеоперационном периоде. При расчёте на количество больных этой группы ($n=36$) процентное соотношение

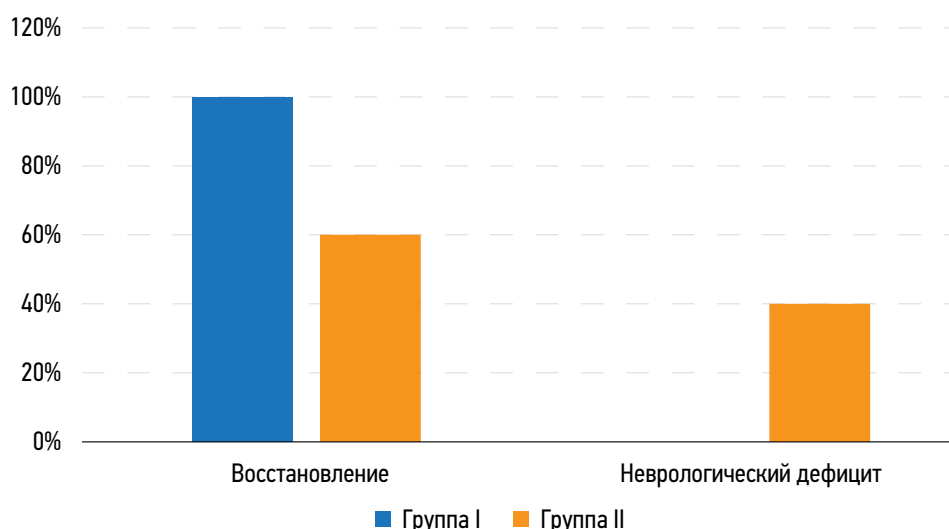


Рис. 6. Постоперационный дефицит в зависимости от количества тревог.

Fig. 6. Postoperative deficit depending on the number of alarms.

Таблица 7. Сравнительная межгрупповая статистика ПГТ–ИОГТ**Table 7.** Comparative intergroup statistics of PHT–IOHT

Параметр сравнения	ПГТ–ИОГТ
Угол ОД	<0,001
Угол ПД	0,022
ТТ ОД	0,003
ТТ ПД	0,001
ИМ ОД	<0,001
ИМ ПД	0,025
Угол ПО ОД	<0,001
Угол ПО ПД	0,001
Время операции, мин	0,002
Кровопотеря, мл	0,235
Исходный дефицит	0,823
Нестабильность ответов	0,444
Исчезновение ответов	0,632
Норма	0,003
Исходный уровень баллов по МВП	0,918
Баллы по МВП во время падения	0,567
Баллы после	0,109

Примечание. ПГТ — предоперационная гало-тракция, ИОГТ — интраоперационная гало-тракция, ОД — основная дуга деформации, ПД — противодуга, ТТ — тракционный тест, ИМ — индекс мобильности, МВП — моторные вызванные потенциалы. Статистически значимые значения выделены жирным шрифтом.

Note. PHT — preoperative halo-traction, IOHT — intraoperative halo-traction, OD — the main curve of deformation, PD — the opposite curve, TT — traction test, IM — mobility index, MVEP — motor evoked potentials. Statistically significant values are shown in bold.

осложнений составило 5,56 (2,78% — нижняя параплегия и нарушение функции тазовых органов, 2,78% — нижний парапарез). При расчёте на всю выборку пациентов ($n=88$) процент осложнений составил 2,27.

При межгрупповом сравнении полученных параметров изменения углов деформации, а также данных ИОНМ выявлено, что в I группе отмечали более выраженную деформацию по величине угла основной дуги, противодуги, большую их ригидность и меньшее количество пациентов с нормальным показателем уровня МВП, что статистически значимо подтверждается ($p < 0,05$). Однако ни один пациент данной группы не получил стойкого неврологического дефицита в результате корригирующей операции. Данные статистического анализа межгруппового сравнения всех параметров представлены в табл. 7.

ОБСУЖДЕНИЕ

Научных работ, посвящённых исследованию влияния гало-тракции на показатели ИОНМ, найдено мало, и затрагивают они гало-феморальное интраоперационное вытяжение. R. Da Cunha и соавт. [40] отметили, что только у 1 пациента из 45 во время коррекции сколиоза

в условиях тракции было отмечено временное снижение МВП, которое произошло после коррекции и установки стержня и потребовало его снятия и уменьшения коррекции. Однако такая же ситуация наблюдалась и у 1 больного в контрольной группе без вытяжения, которая аналогичным образом возникла после корригирующего манёвра.

A. Peiro-Garcia и соавт. [41] доложили о когортном исследовании с большей выборкой пациентов. Из 85 пациентов, получавших хирургическое лечение в условиях ИОГТ, как у предыдущих авторов, был отмечен лишь 1 пациент со снижением потенциалов после коррекции деформации.

M. Erdem и соавт. [42] тоже сообщили об одном случае снижения двигательных потенциалов из 24 наблюдений во время моделирования стержня *in situ*, которое прошло после снятия тракции и ремоделирования стержня с уменьшением коррекции. В нашем исследовании мы также отметили улучшение в потенциалах после снятия натяжения и проведения необходимых мероприятий в 83% случаев (2 пациента из 12 остались со стойким неврологическим дефицитом), то есть, возможно, тракция может повышать риск снижения потенциалов.

Вышеуказанные сообщения имеют лишь описательный характер. Следующие две работы являются попыткой анализа влияния тракции на показатели нейромониторинга. P. Rushton и соавт. [43] провели многоцентровое проспективное исследование хирургического лечения 208 пациентов с идиопатическим сколиозом. Больные были разделены на две группы: 104 получали гормональную терапию во время оперативного пособия, а 104 — нет. При сравнении авторы анализировали результаты коррекции, время операции, а также показатели ИОНМ. Ими было выявлено, что в группе с интраоперационным вытяжением количество тревог составило 23% по сравнению с 5% в группе без такового.

S. Lewis и соавт. [44] в своём исследовании указывают, что из 36 пациентов, получавших интраоперационное вытяжение, у 17 (48%) было отмечено снижение МВП во время операции в количестве 18 случаев, причём у 2 пациентов (11%) — от момента наложения вытяжения и до начала хирургического доступа, у 12 пациентов (67%) — до установки стержня, у 2 (11%) — после его установки, а у 2 (11%) — как до, так и после корригирующего манёвра. Таким образом, тревоги снижения МВП при интраоперационном нейрофизиологическом мониторингировании отмечены в результате гало-феморального вытяжения у 16 больных, что в 4 раза чаще тревог, связанных с корригирующими манёврами при операции. Стоит отметить, что эти проблемы возникли у пациентов с величиной угла основной дуги более 70 градусов.

Полученные в ходе нашего исследования данные свидетельствуют, что, невзирая на достоверно значимо более выраженные углы деформации основной дуги и противодуги, а также большую ригидность в группе предоперационной подготовки (ПГТ), описанный в литературе более

высокий процент неврологических осложнений, значимого увеличения числа осложнений в данной группе по сравнению с группой только интраоперационной гало-тракции не наблюдалось. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий между количеством случаев постоперационного дефицита в группах, имеется тенденция к его снижению в группе ПГТ вопреки большему количеству абсолютного числа интраоперационных тревог. Примечательно, что оба случая развития параплегии и парапареза возникли в группе только интраоперационной гало-тракции.

Сообщений об исследовании влияния предоперационной гало-тракции на показатели нейрофизиологического мониторинга нами не найдено.

Резюмируя вышеизложенное, хочется отметить, что в настоящее время невозможно себе представить проведение корригирующих операций на позвоночнике с имплантацией металлоконструкций без применения ИОНМ. Какой бы метод мониторинга ни использовался, он остаётся предпочтительнее его отсутствия, включая тест Stagnara, который можно рассматривать как метод прерывистого мониторинга двигательных функций. Внедрение ИОНМ в практику позволило расширить структуру оперированных пациентов за счёт более сложных патологий. Использование данной методики позволяет хирургу объективно оценивать состояние спинномозговых структур и повышает его уверенность в своих действиях, что снижает риск возникновения ятрогенных повреждений.

Ограничения исследования

Ограничением исследования является отсутствие ещё одной группы пациентов, получивших хирургическое лечение без применения гало-тракции, но в условиях ИОНМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения данной работы было изучено влияние гало-тракции на показатели интраоперационного нейромониторинга.

Результаты нашего исследования показывают, что предоперационная подготовка, используемая у пациентов с более выраженными деформациями и ригидностью, не приводит к значимому увеличению неврологических осложнений по сравнению с интраоперационной

гало-тракцией. Так, были получены значимые различия при сравнении групп по случаям мониторинга без возникновения сигнальных критериев. Более того, наблюдается тенденция к снижению постоперационного дефицита в группе ПГТ.

Полученные данные позволяют предположить, что предоперационная гало-тракция даёт возможность подготовить нервные структуры к коррекции тяжёлых деформаций и снизить интраоперационное воздействие на нервную систему, уменьшая риски неврологических осложнений у пациентов с тяжёлыми деформациями позвоночника, по сравнению с одномоментной коррекцией в условиях интраоперационной тракции.

Требуется дальнейшее изучение данных аспектов гало-тракции при хирургическом лечении тяжёлых деформаций позвоночника. Надеемся, что данная пилотная работа будет использована в дальнейшем изучении и положит начало новым научным поискам.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The authors state that there is no external funding when conducting the research and preparing the publication.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fabregas N., Gomar C. Monitoring in neuroanaesthesia: update of clinical usefulness // *Eur J Anaesthesiol*. 2001. Vol. 18, № 7. P. 423–439. doi: 10.1046/j.1365-2346.2001.00856.x
2. Padberg A.M., Russo M.H., Lenke L.G., Bridwell K.H., Komanetsky R.M. Validity and reliability of spinal cord monitoring in neuromuscular spinal deformity surgery // *J Spinal Disord*. 1996. Vol. 9, № 2. P. 150–158.
3. Padberg A.M., Wilson-Holden T.J., Lenke L.G., Bridwell K.H. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without

- a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998. Vol. 23, № 12. P. 1392–1400. doi: 10.1097/00007632-199806150-00018
4. Pereon Y., Nguyen The Tich, Delecroin J., Passuti N. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery: an accepted standard of care // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999. Vol. 24, № 11. P. 1169–1170. doi: 10.1097/00007632-199906010-00021

5. Sala F., Krzan M.J., Deletis V. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? // *Childs Nerv Syst.* 2002. Vol. 18, № 6–7. P. 264–287. doi: 10.1007/s00381-002-0582-3
6. Kinney G.A., Slimp J.C. Intraoperative neurophysiological monitoring technology: recent advances and evolving uses // *Expert Rev Med Devices.* 2007. Vol. 4, № 1. P. 33–41. doi: 10.1586/17434440.4.1.33
7. Gonzalez A.A., Jeyanandarajan D., Hansen C., Zada G., Hsieh P.C. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review // *Neurosurg Focus.* 2009. Vol. 27, № 4. P. E6. doi: 10.3171/2009.8.FOCUS09150
8. Biscevic M., Sehic A., Krupic F. Intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: modalities, advantages, limitations, medicolegal issues — surgeons' views // *EFORT Open Rev.* 2020. Vol. 5, № 1. P. 9–16. doi: 10.1302/2058-5241.5.180032
9. Chen B., Chen Y., Yang J., et al. Comparison of the Wake-up Test and Combined TES-MEP and CSEP Monitoring in Spinal Surgery // *J Spinal Disord Tech.* 2015. Vol. 28, № 9. P. 335–40. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182aa736d
10. Lall R.R., Lall R.R., Hauptman J.S., et al. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: indications, efficacy, and role of the preoperative checklist // *Neurosurg Focus.* 2012. Vol. 33, № 5. P. E10. doi: 10.3171/2012.9.FOCUS12235
11. Strahm C., Min K., Boos N., Ruetsch Y., Curt A. Reliability of perioperative SSEP recordings in spine surgery // *Spinal Cord.* 2003. Vol. 41, № 9. P. 483–9. doi: 10.1038/sj.sc.3101493
12. McIntosh A.L., Ramo B.S., Johnston C.E. Halo Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: A Clinical Concepts Review // *Spine Deform.* 2019. Vol. 7, № 3. P. 395–403. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.068
13. Shi B., Liu D., Shi B., et al. A Retrospective Study to Compare the Efficacy of Preoperative Halo-Gravity Traction and Postoperative Halo-Femoral Traction After Posterior Spinal Release in Corrective Surgery for Severe Kyphoscoliosis // *Med Sci Monit.* 2020. Vol. 26. P. e919281. doi: 10.12659/MSM.919281
14. Yang C., Wang H., Zheng Z., et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis // *Eur Spine J.* 2017. Vol. 26, № 7. P. 1810–1816. doi: 10.1007/s00586-016-4848-y
15. Кулешов А.А. Тяжёлые формы сколиоза. Оперативное лечение и функциональные особенности некоторых органов и систем: дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2007. 252–255 с. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/tyazhelye-formy-skolioza-operativnoe-lechenie-i-funktsionalnye-osobennosti-nekotorykh-organoysclid=lp5ogu1eyk942975917>
16. Halsey M.F., Myung K.S., Ghag A., et al. Neurophysiological monitoring of spinal cord function during spinal deformity surgery: 2020 SRS neuromonitoring information statement // *Spine Deform.* 2020. Vol. 8, № 4. P. 591–596. doi: 10.1007/s43390-020-00140-2
17. Кузьмина В.А., Сюндюков А.Р., Николаев Н.С., Михайлова И.В., Николаева А.В. Опыт применения интраоперационного нейрофизиологического мониторингирования при оперативных вмешательствах на позвоночнике // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2016. Т. 4, №4. С. 33–40. doi: 10.17816/PTORS4433-40
18. Михайловский М.В., Садовой М.А. Оперативное лечение сколиотической болезни. Результаты, исходы. Новосибирск: Издательство НГУ, 1993. 192 с. EDN: ZQYGAD
19. 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. doi: 10.14531/ss2011.3.66-76
20. Bardosi L., Illes T. Neurological complication due to epidural hematoma after CD operations. Case report. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress.* Arcachon, France, 1994. P. 60–62.
21. Bridwell K.H., Lenke L.G., Baldus C., et al. Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution // *Spine (Phila Pa 1976).* 1998. Vol. 23, № 3. P. 324–331. doi: 10.1097/00007632-199802010-00008
22. 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. Vol. 21, № 3. P. 514–29. doi: 10.1007/s00586-011-2046-5
23. Mechin J.F. Neurological complications with CDI. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress.* Arcachon, France, 1994. P. 9–11.
24. Diab M., Smith A.R., Kuklo T.R. Neural complications in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976).* 2007. Vol. 32, № 24. P. 2759–2763. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5970
25. Bartley C.E., Yaszay B., Bastrom T.P., et al. Perioperative and delayed major complications following surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis // *J Bone Jt Surg Am.* 2017. Vol. 99, № 14. P. 1206–1212. doi: 10.2106/JBJS.16.01331
26. Glover C.D., Carling N.P. Neuromonitoring for scoliosis surgery // *Anesthesiol Clin.* 2014. Vol. 32, № 1. P. 101–14. doi: 10.1016/j.anclin.2013.10.001
27. Qiu Y., Wang S., Wang B., et al. Incidence and risk factors of neurological deficits of surgical correction for scoliosis: analysis of 1373 cases at one Chinese institution // *Spine (Phila Pa 1976).* 2008. Vol. 33, № 5. P. 519–26. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181657d93
28. Dawson E.G., Sherman J.E., Kanim L.E., Nuwer M.R. Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey // *Spine (Phila Pa 1976).* 1991. Vol. 16, № 8 (Suppl). P. S361–4.
29. Burton D.C., Carlson B.B., Place H.M., et al. Results of the scoliosis research society morbidity and mortality database 2009–2012: a report from the morbidity and mortality committee // *Spine Deform.* 2016. Vol. 4, № 5. P. 338–343. doi: 10.1016/j.jspd.2016.05.003
30. MacEwen G.D., Bunnell W.P., Sriram K. Acute neurological complications in the treatment of scoliosis: a report of the Scoliosis Research Society // *J Bone Jt Surg Am.* 1975. Vol. 57. P. 404–408.
31. Schmitt E.W. Neurological complications in the treatment of scoliosis. A sequential report of the Scoliosis Research Society 1971–1979. In: *Reported at the 17th annual meeting of the Scoliosis Research Society.* Denver, 1981.
32. Wilber R.G., Thompson G.H., Shafer J.W., et al. Post-operative neurological deficits in segmental spinal instrumentation // *J Bone Jt Surg Am.* 1984. Vol. 66. P. 1178–1187.
33. Boachie-Adjei O., Yagi M., Nemani V.M., et al. Incidence and risk factors for major surgical complications in patients with complex spinal deformity: a report from an SRS GOP Site // *Spine Deform.* 2015. Vol. 3, № 1. P. 57–64. doi: 10.1016/j.jspd.2014.06.008

34. Coe J.D., Arlet V., Donaldson W., et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006. Vol. 31, № 3. P. 345–9. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182aa736d

35. Ghobrial G.M., Williams K.A. Jr, Arnold P., Fehlings M., Harrop J.S. Iatrogenic neurologic deficit after lumbar spine surgery: A review // *Clin Neurol Neurosurg*. 2015. Vol. 139. P. 76–80. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.08.022

36. Araus-Galdos E., Delgado P., Villalain C., et al. Prevention of brachial plexus injury due to positioning of patient in spinal surgery. Value of multimodal intraoperative neuromonitoring (IONM) // *Clinical Neurophysiology*. 2011. Vol. 122. P. S113.

37. Thirumala P.D., Huang J., Thiagarajan K., et al. Diagnostic Accuracy of Combined Multimodality Somatosensory Evoked Potential and Transcranial Motor Evoked Potential Intraoperative Monitoring in Patients With Idiopathic Scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016. Vol. 41, № 19. P. E1177–E1184. doi: 10.1097/BRS.0000000000001678

38. Baklaushv V.P., Durov O.V., Kim S.V., et al. Development of a motor and somatosensory evoked potentials-guided spinal cord Injury model in non-human primates // *J Neurosci Methods*. 2019. Vol. 311. P. 200–214. doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.10.030

39. Rao J.S., Zhao C., Zhang A., et al. NT3-chitosan enables de novo regeneration and functional recovery in monkeys after spinal cord

injury // *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2018. Vol. 115, № 24. P. E5595–E5604. doi: 10.1073/pnas.1804735115

40. Da Cunha R.J., Al Sayegh S., LaMothe J.M., et al. Intraoperative skull-femoral traction in posterior spinal arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis: the impact on perioperative outcomes and health resource utilization // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015. Vol. 40, № 3. P. E154–60. doi: 10.1097/BRS.0000000000000711

41. Peiro-Garcia A., Brown G.E., Earp M.A., Parsons D., Ferri-de-Barros F. Sagittal Balance in Adolescent Idiopathic Scoliosis Managed With Intraoperative Skull Femoral Traction // *Clin Spine Surg*. 2019. Vol. 32, № 10. P. E474–E478. doi: 10.1097/BSD.0000000000000854

42. Erdem M.N., Oltulu I., Karaca S., Sari S., Aydogan M. Intraoperative Halo-Femoral Traction in Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis Curves between 70° and 90°: Is It Effective? // *Asian Spine J*. 2018. Vol. 12, № 4. P. 678–685. doi: 10.31616/asj.2018.12.4.678

43. Rushton P.R.P., Aldebeyan S., Ghag R., et al. What is the effect of intraoperative traction on correction of adolescent idiopathic scoliosis (AIS)? // *Spine Deform*. 2021. Vol. 9, № 6. P. 1549–1557. doi: 10.1007/s43390-021-00369-5

44. Lewis S.J., Gray R., Holmes L.M., et al. Neurophysiological changes in deformity correction of adolescent idiopathic scoliosis with intraoperative skull-femoral traction // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011. Vol. 36, № 20. P. 1627–38. doi: 10.1097/BRS.0b013e318216124e

REFERENCES

1. Fabregas N, Gomar C. Monitoring in neuroanaesthesia: update of clinical usefulness. *Eur J Anaesthesiol*. 2001;18(7):423–439. doi: 10.1046/j.1365-2346.2001.00856.x
2. Padberg AM, Russo MH, Lenke LG, Bridwell KH, Komanetsky RM. Validity and reliability of spinal cord monitoring in neuromuscular spinal deformity surgery. *J Spinal Disord*. 1996;9(2):150–158.
3. Padberg AM, Wilson-Holden TJ, Lenke LG, Bridwell KH. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(12):1392–1400. doi: 10.1097/00007632-199806150-00018
4. Pereon Y, Nguyen The Tich, Delecun J, Passuti N. Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery: an accepted standard of care. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(11):1169–1170. doi: 10.1097/00007632-199906010-00021
5. Sala F, Krzan MJ, Deletis V. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? *Childs Nerv Syst*. 2002;18(6–7):264–287. doi: 10.1007/s00381-002-0582-3
6. Kinney GA, Slimp JC. Intraoperative neurophysiological monitoring technology: recent advances and evolving uses. *Expert Rev Med Devices*. 2007;4(1):33–41. doi: 10.1586/17434440.4.1.33
7. Gonzalez AA, Jeyanandarajan D, Hansen C, Zada G, Hsieh PC. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review. *Neurosurg Focus*. 2009;27(4):E6. doi: 10.3171/2009.8.FOCUS09150
8. Biscevic M, Sehic A, Krupic F. Intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: modalities, advantages, limitations, medicolegal issues — surgeons' views. *EFORT Open Rev*. 2020;5(1):9–16. doi: 10.1302/2058-5241.5.180032
9. Chen B, Chen Y, Yang J, et al. Comparison of the Wake-up Test and Combined TES-MEP and CSEP Monitoring in Spinal Surgery. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28(9):335–40. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182aa736d
10. Lall RR, Lall RR, Hauptman JS, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: indications, efficacy, and role of the preoperative checklist. *Neurosurg Focus*. 2012;33(5):E10. doi: 10.3171/2012.9.FOCUS12235
11. Strahm C, Min K, Boos N, Ruetsch Y, Curt A. Reliability of perioperative SSEP recordings in spine surgery. *Spinal Cord*. 2003;41(9):483–9. doi: 10.1038/sj.sc.3101493
12. McIntosh AL, Ramo BS, Johnston CE. Halo Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: A Clinical Concepts Review. *Spine Deform*. 2019;7(3):395–403. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.068
13. Shi B, Liu D, Shi B, et al. A Retrospective Study to Compare the Efficacy of Preoperative Halo-Gravity Traction and Postoperative Halo-Femoral Traction After Posterior Spinal Release in Corrective Surgery for Severe Kyphoscoliosis. *Med Sci Monit*. 2020;26:e919281. doi: 10.12659/MSM.919281
14. Yang C, Wang H, Zheng Z, et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2017;26(7):1810–1816. doi: 10.1007/s00586-016-4848-y
15. Kuleshov AA. *Severe forms of scoliosis. Surgical treatment and functional features of some organs and systems* [dissertation]. Moscow; 2007. 252–255 p. Available from: <https://www.dissercat.com/content/tyazhelye-formy-skolioza-operativnoe-lechenie-i-funktsionalnye-osobennosti-nekotorykh-organoysclid=lp5ogu1eyk942975917> (In Russ.).

16. Halsey MF, Myung KS, Ghag A, et al. Neurophysiological monitoring of spinal cord function during spinal deformity surgery: 2020 SRS neuromonitoring information statement. *Spine Deform.* 2020;8(4):591–596. doi: 10.1007/s43390-020-00140-2
17. Kuzmina VA, Syundyukov AR, Nikolaev NS, Mikhailova IV, Nikolaeva AV. Experience in the use of intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery *Orthopedics, traumatology and reconstructive surgery for children.* 2016;4(4):33–40. (In Russ.). doi: 10.17816/PTORS4433-40
18. Mikhailovsky MV, Sadovoy MA. *Surgical treatment of scoliotic disease. Results, outcomes.* Novosibirsk: NSU Publishing House; 1993. 192 p. (In Russ.). EDN: ZQYGAD
19. Novikov VV, Novikova MV, Tsvetovsky SB, et al. Prevention of neurological complications during surgical correction of gross spinal deformities. *Spinal surgery.* 2011;(3):066–076. (In Russ.). doi: 10.14531/ss2011.3.66-76
20. Bardosi L, Illes T. Neurological complication due to epidural hematoma after CD operations. Case report. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress.* Arcachon, France; 1994. P. 60–62.
21. Bridwell KH, Lenke LG, Baldus C, et al. Major intraoperative neurologic deficits in pediatric and adult spinal deformity patients. Incidence and etiology at one institution. *Spine (Phila Pa 1976).* 1998;23(3):324–331. doi: 10.1097/00007632-199802010-00008
22. 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(3):514–29. doi: 10.1007/s00586-011-2046-5
23. Mechin JF. Neurological complications with CDI. In: *Neurological Complications of Spinal Surgery. Proceedings of the 11th International GICD Congress.* Arcachon, France; 1994. P. 9–11.
24. Diab M, Smith AR, Kuklo TR. Neural complications in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32(24):2759–2763. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5970
25. Bartley CE, Yaszay B, Bastrom TP, et al. Perioperative and delayed major complications following surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Jt Surg Am.* 2017;99(14):1206–1212. doi: 10.2106/JBJS.16.01331
26. Glover CD, Carling NP. Neuromonitoring for scoliosis surgery. *Anesthesiol Clin.* 2014;32(1):101–14. doi: 10.1016/j.anclin.2013.10.001
27. Qiu Y, Wang S, Wang B, et al. Incidence and risk factors of neurological deficits of surgical correction for scoliosis: analysis of 1373 cases at one Chinese institution. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(5):519–26. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181657d93
28. Dawson EG, Sherman JE, Kanim LE, Nuwer MR. Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Society survey. *Spine (Phila Pa 1976).* 1991;16(8 Suppl):S361–4.
29. Burton DC, Carlson BB, Place HM, et al. Results of the scoliosis research society morbidity and mortality database 2009–2012: a report from the morbidity and mortality committee. *Spine Deform.* 2016;4(5):338–343. doi: 10.1016/j.jspd.2016.05.003
30. MacEwen GD, Bunnell WP, Sriram K. Acute neurological complications in the treatment of scoliosis: a report of the Scoliosis Research Society. *J Bone Jt Surg Am.* 1975;57:404–408.
31. Schmitt EW. Neurological complications in the treatment of scoliosis. A sequential report of the Scoliosis Research Society 1971–1979. In: *Reported at the 17th annual meeting of the Scoliosis Research Society.* Denver; 1981.
32. Wilber RG, Thompson GH, Shafer JW, et al. Post-operative neurological deficits in segmental spinal instrumentation. *J Bone Jt Surg Am.* 1984;66:1178–1187.
33. Boachie-Adjei O, Yagi M, Nemani VM, et al. Incidence and risk factors for major surgical complications in patients with complex spinal deformity: a report from an SRS GOP Site. *Spine Deform.* 2015;3(1):57–64. doi: 10.1016/j.jspd.2014.06.008
34. Coe JD, Arlet V, Donaldson W, et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31(3):345–9. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182aa736d
35. Ghobrial GM, Williams KA Jr, Arnold P, Fehlings M, Harrop JS. Iatrogenic neurologic deficit after lumbar spine surgery: A review. *Clin Neurol Neurosurg.* 2015;139:76–80. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.08.022
36. Araus-Galdos E, Delgado P, Villalain C, et al. Prevention of brachial plexus injury due to positioning of patient in spinal surgery. Value of multimodal intraoperative neuromonitoring (IONM). *Clinical Neurophysiology.* 2011;122:S113.
37. Thirumala PD, Huang J, Thiagarajan K, et al. Diagnostic Accuracy of Combined Multimodality Somatosensory Evoked Potential and Transcranial Motor Evoked Potential Intraoperative Monitoring in Patients With Idiopathic Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(19):E1177–E1184. doi: 10.1097/BRS.0000000000001678
38. Baklaushev VP, Durov OV, Kim SV, et al. Development of a motor and somatosensory evoked potentials-guided spinal cord Injury model in non-human primates. *J Neurosci Methods.* 2019;311:200–214. doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.10.030
39. Rao JS, Zhao C, Zhang A, et al. NT3-chitosan enables de novo regeneration and functional recovery in monkeys after spinal cord injury. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018;115(24):E5595–E5604. doi: 10.1073/pnas.1804735115
40. Da Cunha RJ, Al Sayegh S, LaMothe JM, et al. Intraoperative skull-femoral traction in posterior spinal arthrodesis for adolescent idiopathic scoliosis: the impact on perioperative outcomes and health resource utilization. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(3):E154–60. doi: 10.1097/BRS.0000000000000711
41. Peiro-Garcia A, Brown GE, Earp MA, Parsons D, Ferri-de-Barros F. Sagittal Balance in Adolescent Idiopathic Scoliosis Managed With Intraoperative Skull Femoral Traction. *Clin Spine Surg.* 2019;32(10):E474–E478. doi: 10.1097/BSD.0000000000000854
42. Erdem MN, Oltulu I, Karaca S, Sari S, Aydogan M. Intraoperative Halo-Femoral Traction in Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis Curves between 70° and 90°: Is It Effective? *Asian Spine J.* 2018;12(4):678–685. doi: 10.31616/asj.2018.12.4.678
43. Rushton PRP, Aldebeyan S, Ghag R, et al. What is the effect of intraoperative traction on correction of adolescent idiopathic scoliosis (AIS)? *Spine Deform.* 2021;9(6):1549–1557. doi: 10.1007/s43390-021-00369-5
44. Lewis SJ, Gray R, Holmes LM, et al. Neurophysiological changes in deformity correction of adolescent idiopathic scoliosis with intraoperative skull-femoral traction. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36(20):1627–38. doi: 10.1097/BRS.0b013e318216124e

ОБ АВТОРАХ

*** Багиров Самир Беюкиши оглы;**

адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: 0000-0003-1038-1815;
eLibrary SPIN: 9620-7038;
e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Колесов Сергей Васильевич, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0001-9657-8584;
eLibrary SPIN: 1989-6994;
e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

Гулаев Евгений Владимирович;

ORCID: 0000-0002-3464-8927;
e-mail: evlgul@mail.ru

Швец Владимир Викторович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0001-8884-2410;
e-mail: vshvetcv@yandex.ru

Морозова Наталия Сергеевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-4504-6902;
eLibrary SPIN: 4593-3231;
e-mail: morozcito@gmail.com

Переверзев Владимир Сергеевич, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-6895-8288;
eLibrary SPIN: 8164-1389;
e-mail: vcpereverz@gmail.com

Казьмин Аркадий Иванович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-2330-0172;
eLibrary SPIN: 4944-4173;
e-mail: kazmin.cito@mail.ru

Шамик Виктор Борисович, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0002-0461-8700;
eLibrary SPIN: 2977-6446;
e-mail: prof.shamik@gmail.com

AUTHORS' INFO

*** Samir B. Bagirov, MD;**

address: 10 Priorova str., 127299 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0003-1038-1815;
eLibrary SPIN: 9620-7038;
e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Sergey V. Kolesov, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-9657-8584;
eLibrary SPIN: 1989-6994;
e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

Evgeny V. Gulayev, MD;

ORCID: 0000-0002-3464-8927;
e-mail: evlgul@mail.ru

Vladimir V. Shvec, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0001-8884-2410;
e-mail: vshvetcv@yandex.ru

Natalia S. Morozova, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-4504-6902;
eLibrary SPIN: 4593-3231;
e-mail: morozcito@gmail.com

Vladimir S. Pereverzev, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-6895-8288;
eLibrary SPIN: 8164-1389;
e-mail: vcpereverz@gmail.com

Arkady I. Kazmin, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-2330-0172;
eLibrary SPIN: 4944-4173;
e-mail: kazmin.cito@mail.ru

Victor B. Shamik, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-0461-8700;
eLibrary SPIN: 2977-6446;
e-mail: prof.shamik@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author