

ISSN 1814-6023 (Print)

ISSN 2524-2350 (Online)

УДК 616.711-007.54-02:616.711-007.1-053.1]-07.089

<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-3-203-212>

Поступила в редакцию 01.03.2024

Received 01.03.2024

Е. В. Сошникова, И. А. Ильясевич, Д. К. Тесаков, М. А. Герасименко, К. В. Пустовойтов

*Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии,
Минск, Республика Беларусь*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ И ОБОСНОВАНИИ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ КИФОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПОЧВЕ ВРОЖДЕННОЙ АНОМАЛИИ РАЗВИТИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

Аннотация. Проведен анализ результатов комплексного клинико-лучевого и нейрофизиологического исследования у пациентов с кифотической деформацией грудного и поясничного отделов позвоночника на почве врожденной аномалии развития позвонков в динамике хирургического лечения. Установлено, что врожденная кифотическая деформация позвоночника сопровождается вертебро-медуллярным конфликтом с высоким риском возникновения и/или нарастания спинальных неврологических расстройств. Изучение полученных данных позволило оценить деформационное поражение позвоночника с позиции качественно-количественной выраженности патологических изменений проводниковой функции в системе нервных трактов спинного мозга, что явилось объективным аргументом в обосновании показаний для проведения хирургической коррекции и ее методологического осуществления, а также важным нейрофизиологическим критерием последующего динамического наблюдения за клиническим состоянием пациента.

Проведенное хирургическое лечение позволило улучшить и в последующем стабилизировать функциональное состояние спинного мозга благодаря достигнутой значимой коррекции врожденной кифотической деформации позвоночника.

Ключевые слова: кифотическая деформация грудного и поясничного отделов позвоночника, врожденная аномалия развития, спинной мозг, соматосенсорный вызванный потенциал, моторный ответ, транскраниальная магнитная стимуляция, хирургическое лечение

Для цитирования: Применение нейрофизиологических исследований в диагностике и обосновании нейрохирургического лечения кифотической деформации на почве врожденной аномалии развития позвоночника / Е. В. Сошникова [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. мед. навук. – 2024. – Т. 21, № 3. – С. 203–212. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-3-203-212>

**Elena V. Soshnikova, Inessa A. Ilyasevich, Dmitriy K. Tesakov,
Mikhail A. Gerasimenko, Kirill V. Pustovoitov**

Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus

APPLICATION OF NEUROPHYSIOLOGICAL STUDIES FOR DIAGNOSIS AND JUSTIFICATION OF NEUROSURGICAL TREATMENT OF KYPHOTIC DEFORMITY DUE TO THE CONGENITAL ANOMALY OF THE SPINE

Abstract. The results of a comprehensive clinical, radiological and neurophysiological study were analyzed in patients with kyphotic deformity of the thoracic and lumbar spine due to a congenital anomaly of vertebral development in the dynamics of surgical treatment. It has been established that congenital kyphotic spinal deformity is accompanied by vertebromedullary conflict with a high risk of the occurrence and/or worsening of spinal neurological disorders. The study of the data obtained made it possible to evaluate deformation lesions of the spine from the standpoint of qualitative and quantitative severity of pathological changes in the conduction function in the system of nervous tracts of the spinal cord, which was an objective argument in justifying the indications for surgical correction and its methodological implementation, as well as an important neurophysiological criterion for subsequent dynamic monitoring of clinical conditions of a patient.

It was found that the surgical treatment allowed us to improve and subsequently stabilize the functional state of the spinal cord as a consequence of the achieved significant correction of congenital kyphotic spinal deformity.

Keywords: kyphotic deformity, spinal cord, congenital anomaly of the spine, somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials, transcranial magnetic stimulation, surgical treatment

For citation: Soshnikova E. V., Ilyasevich I. A., Tesakov D. K., Gerasimenko M. A., Pustovoitov K. V. Application of neurophysiological studies for diagnosis and justification of neurosurgical treatment of kyphotic deformity due to the congenital anomaly of the spine. *Vestsi Natsyianal'nei akademii navuk Belarusi. Seriya medytsynskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2024, vol. 21, no. 3, pp. 203–212 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-3-203-212>

Введение. К актуальным разделам современной ортопедии детского возраста относятся врожденные аномалии развития позвоночника (ВАРП), на долю которых приходится от 2 до 11 % всех врожденных аномалий. Развивающиеся при этом деформации позвоночного столба достаточно быстро прогрессируют, достигая III–IV степени уже в раннем и дошкольном возрасте, что приводит к тяжелым изменениям всего осевого скелета и к нарушению функций внутренних органов [1]. К числу наиболее распространенных прогрессирующих деформаций относят поражения позвоночника на фоне аномального формирования тела позвонка – по типу клиновидного позвонка или полупозвонка. При этом перспектива клинического сценария патологии определяется уровнем локализации аномального позвонка, величиной дуги искривления, а также плоскостным типом деформационного поражения (сколиозогенный, кифозогенный, кифосколиозогенный) [2–7]. При всех вариантах аномального развития позвонков общим неблагоприятным фактором является кифотический компонент деформации, наличие которого указывает на ее прогрессирование в 89 % случаев [3].

Аномалии тел позвонков, приводящие к развитию тяжелой кифотической деформации позвоночника, наиболее часто локализуются в области грудного и поясничного отделов. Они характеризуются сложной биомеханикой с нарушением сагиттального профиля, формированием и прогрессированием нестабильности на уровне пораженного позвоночно-двигательного сегмента [8].

Развитие кифотической деформации сопровождается возникновением и усугублением вертебромедуллярного конфликта, когда в патологический процесс вовлекается находящийся в позвоночном канале спинной мозг (СМ), который подвергается компримирующему смещению и деформированию. Нарушение интравертебрального статуса СМ сопровождается высоким риском возникновения или усугубления спинальных неврологических расстройств с утяжелением клинического проявления врожденного заболевания и является объективным обоснованием для проведения хирургического лечения [9–11].

Современные технологии оперативного вмешательства направлены на удаление аномальных позвонков, восстановление нормальных анатомотопографических взаимоотношений СМ в позвоночном канале, после чего с помощью имплантируемых металлоконструкций осуществляется коррекция деформации и ее фиксирующая стабилизация с восстановлением или улучшением физиологических изгибов позвоночника. Хирургическое лечение кифоза на почве ВАРП относится к категории высокотравматичных вмешательств, так как сопряжено с высоким риском провокации различных периоперационных осложнений [12–14]. Поэтому применение того или иного способа планируемого вмешательства следует определять индивидуально. Для этого необходимы соответствующие диагностические подходы при подготовке пациента к хирургическому воздействию.

В настоящее время основной оценкой варианта ВАРП и параметров выраженности деформации являются методы лучевой диагностики [2, 15–17]. Динамическое наблюдение за состоянием позвоночника с помощью этих методов в процессе роста и развития ребенка как пациента требует значительного времени, в течение которого могут развиваться необратимые негативные изменения, характеризующиеся тяжелым и ригидным искривлением позвоночного столба, а также неврологическими спинальными нарушениями. Поэтому необходимо получение объективной информации о состоянии и возможных изменениях двигательной функции, спинальных нервных процессов в условиях вертеброгенной патологии. Если клиническая картина не соответствует данным нейровизуализации, которые дает магнитно-резонансная томография (МРТ) позвоночника, или проведение МРТ невозможно, применяют нейрофизиологические методы, которые обеспечивают получение количественной информации о функциональном состоянии центральных и периферических структур нервно-мышечной системы [18].

Следует отметить, что в литературе крайне мало внимания уделено вопросам функциональной диагностики и прогноза результативности хирургической коррекции кифотической деформации позвоночника по данным ранних и отсроченных реакций чувствительных и двигательных сфер. Также практически не проводился анализ динамики развития и восстановления нервно-мышечной функции в зависимости от тяжести кифотической деформации. Известны единичные публикации, в которых сообщается, что после хирургической коррекции деформации позвоночни-

ка можно получить положительный эффект, который касается преимущественно температурно-болевой чувствительности и обратно пропорционально зависит от тяжести деформации [19]. С помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии доказано, что после коррекции дуги искривления позвоночника отмечаются улучшение показателей микроциркуляции нервных структур СМ и нормализация нейровегетативной регуляции его кровотока. Незначительное число работ, посвященных вопросам нейрофизиологической диагностики при патологии позвоночника, не позволяет провести систематизацию полученных данных для разработки критериев оценки функций СМ у пациентов с кифозом на почве ВАРП. Остаются неизученными особенности функционального состояния сегментарных и проводниковых структур СМ при врожденных аномалиях и кифотических деформациях позвоночника.

Цель исследования – определить нейрофизиологические критерии функционального состояния спинного мозга в условиях врожденной кифотической деформации позвоночника и их динамику при корригирующем хирургическом лечении.

Материалы и методы исследования. Изучен клинический материал 32 пациентов (14 лиц мужского пола и 18 – женского) с кифотическими деформациями позвоночника на почве ВАРП, которым в возрасте 3–17 лет было проведено хирургическое корригирующее лечение. Электрофизиологический контроль эффективности хирургического лечения выполнен у 12 обследуемых. Контрольную группу составили 20 пациентов аналогичного возраста.

Поражение на уровне верхнегрудного отдела позвоночника имелось у 3 пациентов, среднегрудного – у 5, нижнегрудного – у 8, грудопоясничного – у 9, поясничного – у 7. Кифотические деформации позвоночника были обусловлены аномальными бабочковидными позвонками у 7 пациентов, клиновидными позвонками – у 11, полупозвонками – у 14.

Величина дуги патологического кифоза на боковых рентгенограммах позвоночника, выполненных в положении стоя, в грудном отделе составила от 38 до 82°, в поясничном отделе – от 25 до 49°. У 17 пациентов кифотические деформации имели структуральный сколиотический компонент с величиной дуги во фронтальной плоскости от 18 до 64°. У пациентов с патологическим кифозом на уровне грудопоясничного и поясничного отделов клинически отмечено изменение сагиттального профиля позвоночника – уплощение грудного отдела (формирование синдрома плоской спины).

Согласно данным анамнеза, первичное клиническое проявление патологии отмечалось близкими пациента с раннего детского возраста, непосредственно после рождения или на первом году жизни. Оно заключалось в наличии участка ригидной деформации спины в грудном и/или поясничном отделах. Болевой функциональный синдром исходно не отмечен. В ходе физиологического роста у пациентов наблюдалось развитие нарушенной осанки в сагиттальной плоскости в виде сутулости, которая принимала стойкий ригидный характер. С нарастанием выраженности (тяжести) кифотической деформации отмечалось нарушение формы и пропорциональности отделов туловища, а также формирование диспропорциональности в параметрах длины туловища и длины конечностей. У 26 пациентов в динамике ростового развития, особенно к пре- и пубертатному периодам, постепенно проявлялась неврологическая спинальная переднероговая симптоматика.

Всем пациентам было проведено комплексное лучевое обследование позвоночника – рентгенография, МРТ и спиральная рентгеновская компьютерная томография (РКТ) – согласно разработанному под конкретную патологию алгоритму [10]. У 12 пациентов на подготовительном этапе планирования хирургического вмешательства применена аддитивная технология – метод 3D-проектирования и прототипирования для изготовления в натуральную величину трехмерных моделей позвоночника или его измененных отделов, напечатанных на 3D-принтере из полимерных материалов [14]. Применение данного метода позволяет более детально визуализировать и оценивать изменения позвоночного столба и его структур, осуществлять дифференцированный подход с учетом данных клинко-лучевой и нейрофизиологической диагностики, создавать и использовать индивидуальные технические решения имплантируемых конструкций эндокорректоров-фиксаторов и шаблонов-направителей для установки опорных узлов фиксации позвонков. В качестве примера на рис. 1 представлены дооперационные сканы РКТ-реконструкции и созданная 3D-модель аномального позвоночного отдела.

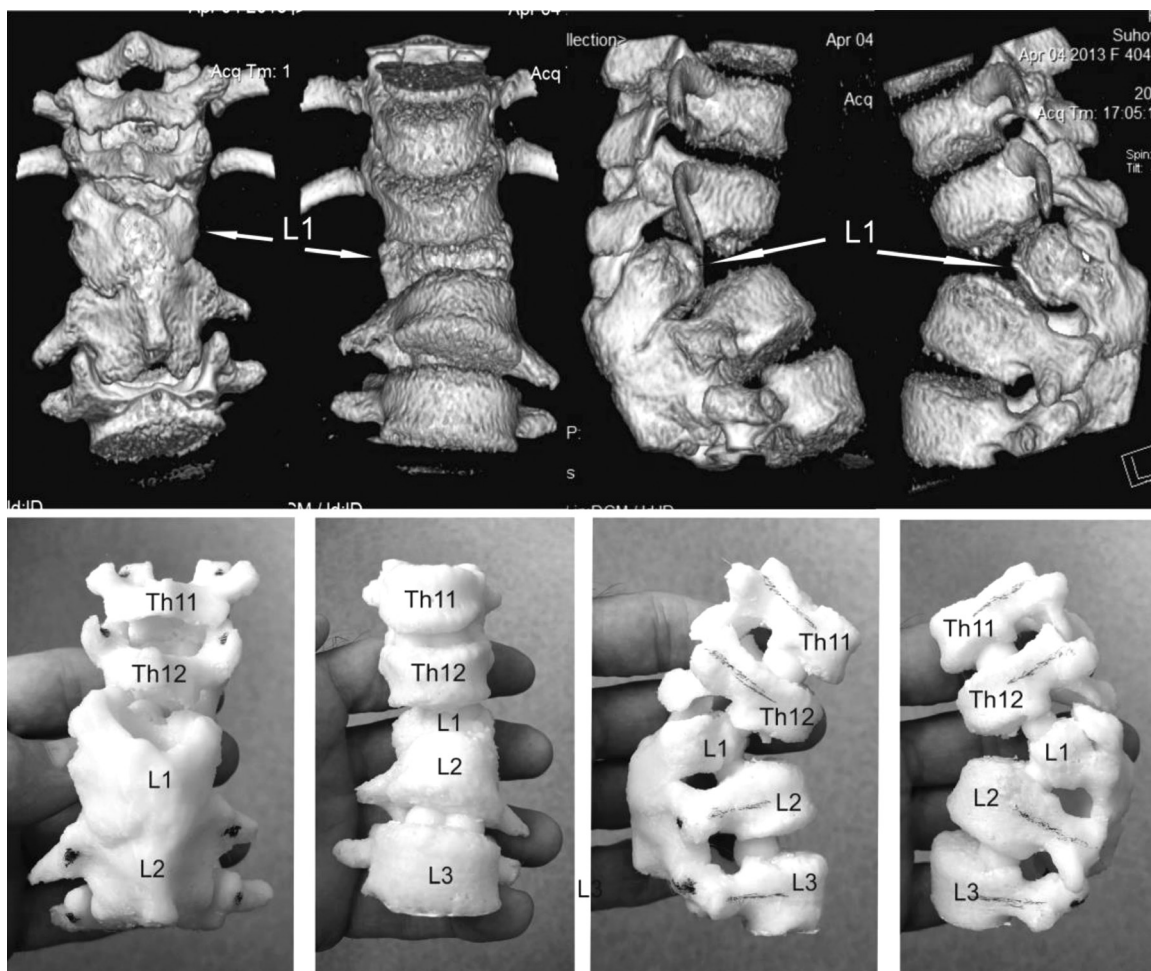


Рис. 1. Дооперационные сканы ПКТ-реконструкции и созданная 3D-модель аномального позвоночного отдела

Fig. 1. Manufactured life-size model of abnormal part of the spine

Хирургическое вмешательство заключалось в выполнении из заднего доступа моделирующей вертебротомии с удалением аномальных структур позвонков, циркулярной декомпрессии СМ с реконструкцией позвоночного канала, коррекции и стабилизации деформации с применением спинальных систем – имплантируемых металлоконструкций дорсального эндокорректора-фиксатора позвоночника, разработанного в РНПЦ травматологии и ортопедии совместно с НП ООО «Медбиотех».

Всем пациентам на этапе диагностики, а также в ходе динамического наблюдения до и после хирургического лечения для оценки функционального состояния их нервно-мышечной системы применяли комплекс методов электрофизиологического исследования. С помощью суммарной электромиограммы (ЭМГ) осуществляли электрофизиологическую регистрацию биоэлектрической активности (БА) симметричных мышц нижних конечностей в состоянии физиологического покоя и при произвольном максимальном напряжении. Анализировали показатели амплитуды и частоты интерференционной кривой, а также ее структуру.

Для оценки проводимости нисходящих путей СМ осуществляли регистрацию моторного ответа (МО) мышц стоп в ответ на транскраниальную и корешковую магнитную стимуляцию (ТМС и КМС соответственно). Магнитную стимуляцию осуществляли по стандартной методике в положении больного лежа. При анализе параметров МО выбирали ответ с максимальной амплитудой (от пика до пика) и минимальным латентным периодом. Рассчитывали показатель времени центрального моторного проведения (ВЦМП), который характеризует скорость моторного проведения импульса на участке от коры головного мозга до соответствующих двигательных центров на уровне поясничного утолщения СМ. Латентное время сегментарных МО расценивали как критерий корешковой моторной проводимости [20].

Для оценки проводимости восходящих путей СМ осуществляли регистрацию соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) при электрическом раздражении *n. tibialis* в области медиальной лодыжки. Использовали стандартную схему регистрации вызванных потенциалов [21] на двух уровнях: спинальном (N22) и кортикальном (P38–N45). Анализировали амплитуду ССВП (мкВ), латентный период (мс) и время центрального афферентного проведения ССТ (central conductive time), N22–P38 мс.

При анализе материала изучали корреляцию клинических и нейрофизиологических данных, оценивающих степень нарастания сенсомоторного дефицита, что имело решающее значение в выборе срока, тактики и объема хирургического лечения.

Результаты обрабатывали методом вариационной статистики с применением программы Statistica 10.0 для Windows. После проверки выборки на нормальность распределения использовали параметрические и непараметрические методы. Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$. Цифровые данные представлены в виде среднего арифметического и его стандартного отклонения ($M \pm m$).

Оборудование: цифровая электрофизиологическая установка Nicolet Viking Select (Nicolet Biomedical, США) с магнитным стимулятором Magstim-200 (Magstim Company Ltd, Великобритания), комплекс компьютерный многофункциональный «Нейро-МВП» с магнитным стимулятором «Нейро-MS» («Нейрософт», РФ).

Результаты и их обсуждение. Анализ параметров БА мышц нижних конечностей до операции показал, что у всех пациентов определялось снижение двигательной функции на 30–40 % по сравнению с контролем, причем степень снижения усиливалась в направлении мышц дистальных сегментов нижних конечностей (нижняя треть голени и стопы). Результаты ЭМГ отражали общее снижение функционального состояния мышц нижних конечностей в зоне иннервации пояснично-крестцовых сегментов СМ.

Согласно полученным результатам, параметры МО при ТМС, зарегистрированные в контрольной группе, находились в пределах стандартных значений, соответствующих данным литературы [22]. Изменение параметров МО и ССВП у пациентов с кифотической деформацией коррелировало с данными ЭМГ-исследования. Изучение выявленных изменений параметров МО показало уменьшение среднего значения амплитуды кортикальных МО более чем на 50 % по сравнению с контролем. Снижение амплитуды кортикальных МО сопровождалось одновременным увеличением латентного времени и показателя ВЦМП (в среднем на 25 %) по сравнению с контролем. Полученные данные указывали на общее снижение моторной проводимости нисходящих трактов СМ.

Характеристика сенсорной функции нервных трактов СМ по данным ССВП показала изменение формы и латентного времени спинальных и кортикальных ССВП у всех пациентов. Амплитуда ССВП была значительно снижена по сравнению с контролем (более чем на 50 %), латентное время ССВП и показатель ССТ достоверно увеличены в 85 % случаев по сравнению с контролем.

Статистический анализ временных значений кортикальных МО и ССВП свидетельствовал о специфичности указанных показателей для оценки изменений сенсомоторной функции СМ при кифотической деформации позвоночника (рис. 2).

На рис. 2 графически представлены дооперационные изменения показателей центральной сенсорной (ССТ) и центральной моторной (ВЦМП) проводимости СМ у пациентов с кифотической деформацией на почве ВАРП по сравнению с контролем. Как видно из рис. 2, средние показатели времени проведения возбуждения по моторным и чувствительным нервным трактам СМ у пациентов с кифозом на фоне ВАРП увеличены. Распределение отклонений параметров ССВП, как и параметров МО, соответствовало локализации доминирующего нарушения функции на центральных участках восходящих и нисходящих нервных трактов СМ.

После операции функциональное состояние нервно-мышечной системы в ближайшие сроки (от 2 недель до 2 мес.) по данным суммарной ЭМГ не выявило достоверных изменений параметров биоэлектрической активности мышц голени и стоп. В поздние сроки (от 6 до 24 мес. после операции) отмечено умеренное нарастание амплитуды биоэлектрической активности мышц переднелатеральной поверхности голени и стоп. Функция мышц задней поверхности голени оставалась без изменения.

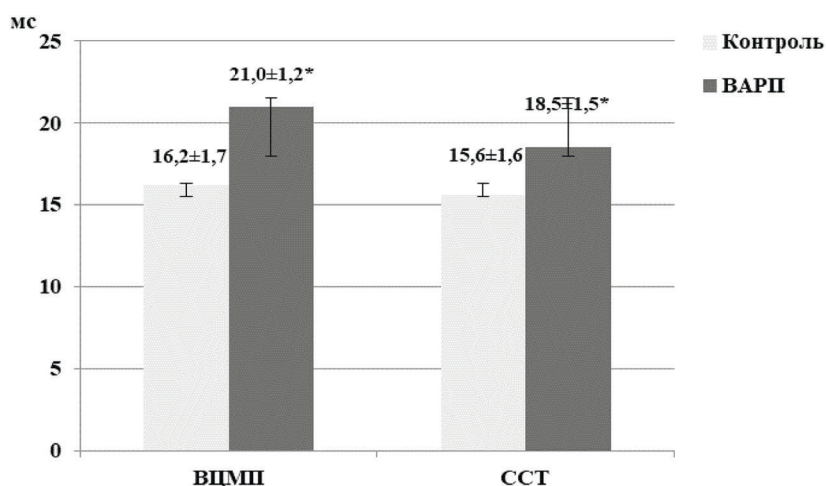


Рис. 2. Характеристика индексов ВЦМП (мс) и ССТ (мс) у пациентов с врожденной аномалией развития позвоночника и кифотическим компонентом. * – достоверность различий ($p \leq 0,05$) по t -критерию Стьюдента по сравнению с контролем

Fig. 2. Characterizing the indices of CMCT (central motor conduction time) and CCT in patients having a congenital anomaly of the spine with a kyphotic component. * – reliability of changes ($p \leq 0.05$) according to Student's t -test compared to control

Анализ динамики параметров МО и ССВП после хирургического лечения показал иную электрофизиологическую картину – изменение состояния нервных трактов СМ после его декомпрессии. Электрофизиологический контроль функций СМ уже в ранние сроки после операции (менее 3 мес.) свидетельствовал о тенденции к нормализации электрофизиологических параметров (см. таблицу).

Динамика параметров МО и ССВП после операции у пациентов с кифотической деформацией позвоночника на почве ВАРП

Dynamics of MR and SSEP parameters after surgery in patients with kyphotic spinal deformity due to congenital anomalies of the spine

Параметр	Контроль	До лечения	После операции	
			менее 3 мес.	более 3 мес.
Амплитуда МО, мВ:				
при ТМС	2,6 ± 0,5	1,5 ± 1,2	2,1 ± 2,3	2,1 ± 2,4
при КМС	2,1 ± 0,2	1,3 ± 1,5	1,8 ± 1,5	2,3 ± 2,1
Латентное время МО, мс:				
при ТМС	38,0 ± 2,0	41,3 ± 4,4	39,9 ± 4,3	38,6 ± 3,0*
при КМС	21,9 ± 2,4	23,1 ± 2,3	22,2 ± 2,7	21,1 ± 2,3
ВЦМП, мс	16,2 ± 1,7	21,0 ± 1,2	17,8 ± 3,0	16,8 ± 2,6*
Латентное время ССВП, мс:				
N22	21,8 ± 1,8	21,9 ± 1,7	22,8 ± 2,5	22,0 ± 1,3
P38	38,5 ± 2,4	40,4 ± 2,6	42,4 ± 2,4	38,7 ± 2,1*
ССТ (N22–P38), мс	15,6 ± 1,6	18,5 ± 1,5	23,4 ± 2,3	16,6 ± 2,4*

П р и м е ч а н и е. * – достоверность различий по t -критерию Стьюдента по сравнению с данными до лечения. МО – моторный ответ, ТМС – транскраниальная магнитная стимуляция, КМС – корешковая (сегментарная) магнитная стимуляция, ВЦМП – время центрального моторного проведения импульса, ССВП – соматосенсорный вызванный потенциал, ССТ (central conduction time) – время центрального афферентного проведения импульса (N22–P38).

В сроки более 3 мес. после операции отмечалось достоверное положительное изменение параметров МО и ССВП, оценивающих время проведения импульса, что свидетельствовало о развитии в нервных структурах СМ процессов восстановления сенсорной и моторной проводимости. По данным кортикальных МО, оценивающих моторную проводимость кортико-люмбальных трактов СМ, определяли нормализацию латентного времени МО при ТМС и индекса центральной мо-

торной проводимости (ВЦМП). Анализ критериев сенсорной функции СМ выявил восстановление латентного времени кортикального ССВП и индекса центральной афферентной проводимости (ССТ).

Результаты хирургического лечения пациентов с кифотическими деформациями позвоночника на почве ВАРП с применением аддитивных технологий в варианте 3D-проектирования и прототипирования на этапе предоперационной диагностики и планирования показали, что такой подход оказывает существенную практическую помощь нейрохирургу в оказании специализированной помощи. Он предоставляет возможность детально и объективно оценивать деформационную патологию, в которую вовлечен как позвонок, так и находящийся в нем СМ, визуализировать вид деформационного поражения, а также оценивать анатомические особенности и параметры позвонков, уточнять необходимые параметры фиксирующих опорных узлов спинальной системы с определением безопасной траектории или зоны их имплантирования. Это позволяет снизить операционные риски и оптимизировать хирургическое лечение пациентов с деформацией позвоночника на почве ВАРП, что проиллюстрировано в качестве примера копиями динамики электрофизиологических паттернов МО и ССВП, зарегистрированных до и после хирургического лечения у пациента с врожденным кифозом (рис. 3).

На рис. 3 проиллюстрированы процессы нормализации сенсорной и моторной проводимости нервных трактов СМ, установленной по данным ТМС и ССВП: после операции наблюдается положительная динамика количественных критериев сенсорной (индекс ССТ) и моторной (латентное время кортикального МО) проводимости СМ.

Улучшение интравертебрального статуса СМ и восстановление электрофизиологических показателей его проводимости после хирургической коррекции кифотической деформации позвоночника отмечено у всех пациентов с ВАРП. По данным нейрофизиологического контроля,

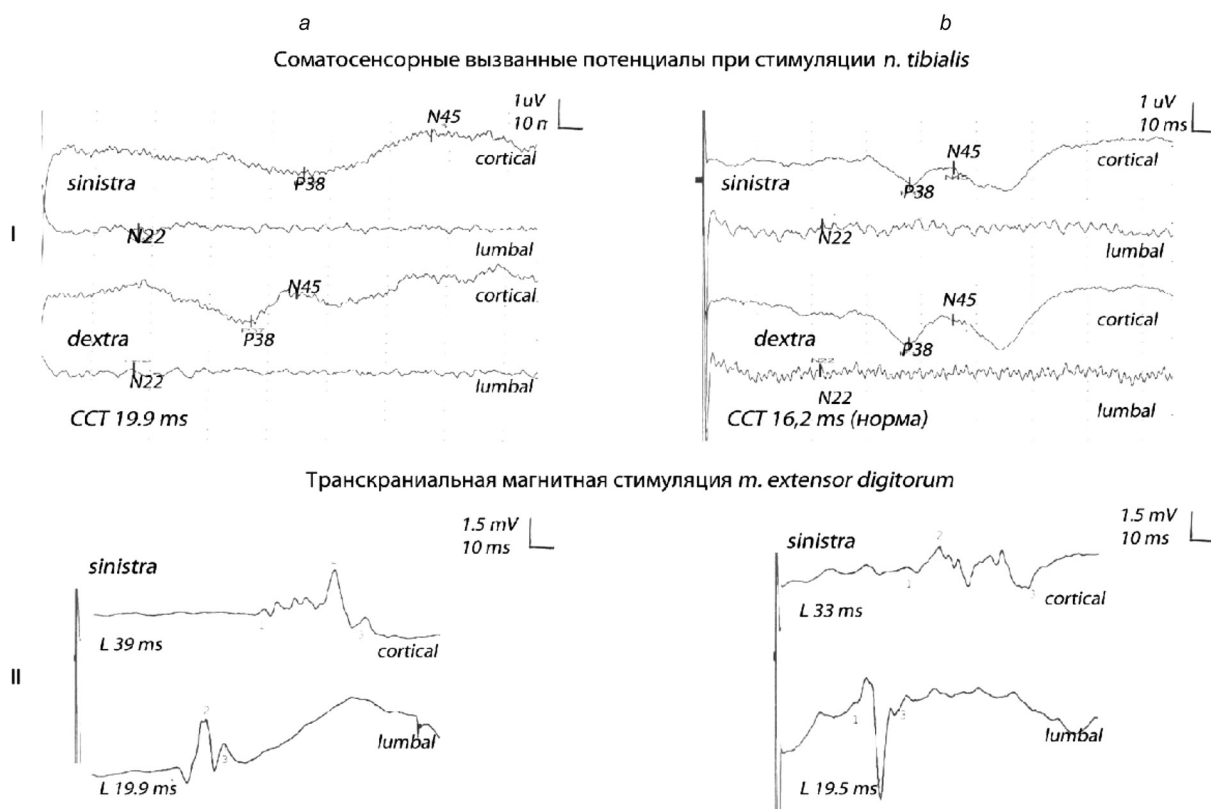


Рис. 3. Результаты исследования пациента С. с диагнозом кифотическая деформация грудного отдела позвоночника (угол дуги 70°) на почве ВАРП: *a* – до операции; *b* – через 2 недели после операции. I – соматосенсорные вызванные потенциалы; II – транскраниальная и люмбальная магнитная стимуляция; L – латентное время; CCT – central conductive time, N22–P38 мс

Fig. 3. Results of the study of patient S., diagnosed with kyphotic deformity of the thoracic spine (arch angle 70°) due to congenital anomalies of the spine: *a* – before surgery; *b* – 2 weeks after surgery. I – somatosensory evoked potentials; II – transcranial and lumbar magnetic stimulation; L – latent time; CCT – central conductive time, N22–P38 ms

хирургическая декомпрессия нервных структур, находящихся внутри позвоночного канала на вершине дуги искривления, сопровождалась достоверным восстановлением параметров сенсорной и моторной функций проводников СМ. Позитивные изменения электрофизиологических параметров предполагали наличие достаточно высоких физиологических резервов микроциркуляторного русла СМ и пластических свойств ЦНС у пациентов с тяжелой деформацией позвоночника. Результаты проведенных исследований соответствовали клиническим данным, свидетельствующим об улучшении функционального состояния пациентов.

Заключение. Анализ материала, полученного в результате клинико-рентгенологического наблюдения и нейрофизиологического исследования у пациентов с кифотической деформацией грудного и поясничного отделов позвоночника на почве ВАРП, позволил получить объективную информацию о степени изменения проводниковой функции нервных трактов СМ.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости комплексного предоперационного обследования с целью повышения качества клинической и функциональной диагностики нарушений нервных трактов СМ у пациентов с кифозом, уточнения показаний и выбора оптимальной тактики хирургической коррекции в каждом конкретном клиническом случае.

Восстановление электрофизиологических критериев СМ после хирургической коррекции кифотической деформации предполагает сохранность достаточно высоких физиологических резервов СМ у пациентов с патологическим кифозом. Положительная динамика нейрофизиологических параметров, зарегистрированных после оперативного лечения у пациентов с ВАРП, отражала улучшение функционального состояния СМ вследствие уменьшения патологической дуги деформации.

Применение метода хирургической коррекции, устраняющей деформацию заинтересованных позвоночных сегментов в сочетании со стабилизирующей фиксацией осевого скелета, убедительно показало эффективность проведенного лечения у пациентов с кифотической деформацией позвоночника на почве ВАРП.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Распространенность врожденных пороков развития позвоночника у детей в регионах Российской Федерации / А. В. Залетина [и др.] // *Международ. журн. приклад. и фундам. исследований.* – 2018. – № 4. – С. 63–66.
2. Классификация врожденных аномалий развития позвоночника / Н. О. Михасевич [и др.] // *Воен. медицина.* – 2007. – № 3. – С. 18–21.
3. Ульрих, Э. В. Врожденные деформации позвоночника у детей: прогноз, эпидемиология и тактика ведения / Э. В. Ульрих, А. Ю. Мушкин, А. В. Губин // *Хирургия позвоночника.* – 2009. – № 2. – С. 55–61.
4. Михайловский, М. В. Хирургия деформаций позвоночника / М. В. Михайловский, Н. Г. Фомичев. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Redactio, 2011. – 588 с.
5. Казарян, И. В. Прогнозирование течения врожденных деформаций позвоночника у детей / И. В. Казарян, С. В. Виссарионов // *Хирургия позвоночника.* – 2014. – № 3. – С. 38–44.
6. McMaster, M. J. Prognosis for congenital scoliosis due to unilateral failure of vertebral segmentation / M. L. McMaster, E. M. McMaster // *J. Bone Joint Surg.* – 2013. – Vol. 95, N 11. – P. 972–979. <https://doi.org/10.2106/jbjs.l.01096>
7. Хусаинов, Н. О. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне множественных аномалий развития позвонков: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15 / Н. О. Хусаинов; Науч.-исслед. дет. ортопед. ин-т им. Г. И. Турнера. – СПб., 2018. – 24 с.
8. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков / С. В. Виссарионов [и др.] // *Хирургия позвоночника.* – 2013. – № 2. – С. 32–37.
9. Ларькин, И. И. Острая и хроническая вертебро-медуллярная недостаточность при повреждениях, опухлях и деформациях позвоночника у детей: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.35 / И. И. Ларькин; Омск. гос. мед. акад. Федеральн. агентства по здравоохран. и соц. развитию. – Омск, 2009. – 38 с.
10. Метод лучевой диагностики врожденных деформаций позвоночника: инструкция М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, № 051-0518, 01 июня 2018 г. / А. В. Белецкий [и др.]. – Минск: б. и., 2018. – 13 л.
11. Челпаченко, О. Б. Определение показаний к декомпрессии позвоночного канала у пациентов с кифотическими деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника / О. Б. Челпаченко, К. В. Жердев, А. А. Овечкина // *Педиатр. фармакология.* – 2014. – Т. 11, № 4. – С. 75–80.
12. Рябых, С. О. Выбор хирургической тактики при врожденных деформациях позвоночника на фоне множественных пороков позвонков / С. О. Рябых // *Хирургия позвоночника.* – 2014. – № 2. – С. 21–28.
13. Хирургическая коррекция тяжелых форм идиопатического кифосколиоза у детей / С. В. Виссарионов [и др.] // *Ортопедия, травматология и восстанов. хирургия дет. возраста.* – 2019. – Т. 7, вып. 3. – С. 5–14.

14. 3D-проектирование и прототипирование в хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника у детей: наш первый опыт / М. А. Герасименко [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18, № 1. – С. 24–30.
15. Гуничева, Н. В. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике клиновидных деформаций позвонков / Н. В. Гуничева, В. Н. Шубкин, Т. А. Ахадов // Хирургия позвоночника. – 2008. – № 3. – С. 68–72.
16. Особенности лучевой картины у детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне нарушения сегментации боковых поверхностей тел позвонков / С. В. Виссарионов [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 41–48.
17. Кабак, С. Л. Рентгенологический фенотип врожденных пороков развития позвонков / С. Л. Кабак, В. В. Заточная, Н. О. Жижко-Михасевич // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. мед. навук. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 414–421.
18. Электромиографические методы в дифференциальной диагностике и обосновании нейрохирургического лечения радикулопатий, вызванных заболеваниями позвоночника. Информативность и методология / Е. Г. Селиверстова [и др.] // Вопр. нейрохирургии им. Н. Н. Бурденко. – 2022. – № 2. – С. 109–118.
19. Исследование реакций сенсомоторной системы подростков в процессе и после хирургической коррекции деформации позвоночника / Е. Н. Щурова [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 129–142.
20. Николаев, С. Г. Электромиография: клинический практикум / С. Г. Николаев. – 2-е изд., испр. и доп. – Иваново: ПресСто, 2019. – 392 с.
21. Гнездицкий, В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике / В. В. Гнездицкий. – М.: МЕДпресс-ин, 2003. – 246 с.
22. Куренков, А. Л. Транскраниальная магнитная стимуляция в детской неврологии / А. Л. Куренков, А. Р. Артеменко // Невролог. журн. им. Л. О. Бадаляна. – 2020. – Т. 1, № 1. – С. 47–63.

References

1. Zaletina A. V., Vissarionov S. V., Baidurashvili A. G., Sadovoi M. A., Solov'eva K. S., Ovechkina A. V., Kokushin D. N. Prevalence of congenital malformations of the spine in children in the regions of the Russian Federation. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International journal of applied and basic research], 2018, no. 4, pp. 63–66 (in Russian).
2. Mikhasevich N. O., Tesakov D. K., Tikhomirova T. F., Pashkevich L. A., Il'yasevich I. A., Mukhlya A. M. Classification of congenital anomalies of the spine. *Voennaya meditsina* [Military medicine], 2007, no. 3, pp. 18–21 (in Russian).
3. Ul'rikh E. V., Mushkin A. Yu., Gubin A. V. Congenital spinal deformities in children: prognosis, epidemiology and management tactics. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2009, no. 2, pp. 55–61 (in Russian).
4. Mikhailovskii M. V., Fomichev N. G. *Spinal deformity surgery*. Novosibirsk, Redactio, 2011. 588 p. (in Russian).
5. Kazaryan I. V., Vissarionov S. V. Prediction of the course of congenital spinal deformities in children. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2014, no. 3, pp. 38–44 (in Russian).
6. McMaster M. L., McMaster E. M. Prognosis for congenital scoliosis due to unilateral failure of vertebral segmentation. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 2013, vol. 95, no. 11, pp. 972–979. <https://doi.org/10.2106/jbjs.1.01096>
7. Khusainov N. O. *Surgical treatment of children with congenital deformity of the thoracic spine due to multiple anomalies of vertebral development*: Abstract of Ph. D. diss. St. Petersburg, 2018. 24 p. (in Russian).
8. Vissarionov S. V., Kokushin D. N., Belyanchikov S. M., Efremov A. M. Surgical treatment of children with congenital deformity of the thoracic spine due to impaired vertebral formation. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2013, no. 2, pp. 32–37 (in Russian).
9. Lar'kin I. I. *Acute and chronic vertebro-medullary insufficiency in injuries, tumors and spinal deformities in children*: Abstract of Ph. D. diss. Omsk, 2009. 38 p. (in Russian).
10. Beletskii A. V., Zhizhko-Mikhasevich N. O., Mazurenko A. N., Krivorot K. A., Tesakov D. K., Marchuk V. P., Tesakova D. D. *Method of radiological diagnosis of congenital spinal deformities: instructions of the Ministry of Health of the Republic of Belarus, N 051-0518, June 01, 2018*. Minsk, 2018. 13 p. (in Russian).
11. Chelpachenko O. B., Zherdev K. V., Ovechkina A. A. Determination of indications for spinal canal decompression in patients with kyphotic deformities of the thoracic and lumbar spine. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric pharmacology], 2014, vol. 11, no. 4, pp. 75–80 (in Russian).
12. Ryabykh S. O. Choice of surgical tactics for congenital spinal deformities against the background of multiple vertebral defects. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2014, no. 2, pp. 21–28 (in Russian).
13. Vissarionov S. V., Filippova A. N., Kokushin D. N., Murashko V. V., Belyanchikov S. M., Khusainov N. O. Surgical correction of severe forms of idiopathic kyphoscoliosis in children. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Orthopedics, traumatology and reconstructive surgery of children], 2019, vol. 7, no. 3, pp. 5–14 (in Russian).
14. Gerasimenko M. A., Tesakov D. K., Makarevich S. V., Tesakova D. D., Bobrik P. A., Krivorot K. A., Satskevich D. G., Pustovoitov K. V. 3D design and prototyping in the surgical treatment of congenital spinal deformities in children: our first experience. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2021, vol. 18, no. 1, pp. 24–30 (in Russian).
15. Gunicheva N. V., Shubkin V. N., Akhadov T. A. Magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of wedge-shaped vertebral deformities. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine surgery], 2008, no. 3, pp. 68–72 (in Russian).
16. Vissarionov S. V., Baidurashvili A. G., Khusainov N. O., Kokushin D. N., Bart V. A., Beletskii A. V. Features of the radiation picture in children with congenital deformity of the thoracic spine against the background of impaired

segmentation of the lateral surfaces of the vertebral bodies. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics in Russia], 2018, vol. 24, no. 2, pp. 41–48 (in Russian).

17. Kabak C. L., Zatochnaya V. V., Zhizhko-Mikhasevich N. O. X-ray phenotype of congenital vertebral malformations. *Vestsi Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2018, vol. 15, no. 4, pp. 414–421 (in Russian).

18. Seliverstova E. G., Sinkin M. V., Kordonsky A. Yu., Aleinikova I. B., Tikhomirov I. V., Grin A. A. Electrodiagnostic evaluation in differential diagnosis and neurosurgical treatment of radiculopathies caused by spine disorders. Diagnostic value and methodology. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*, 2022, vol. 86, no. 2, pp. 109–118. <https://doi.org/10.17116/neiro202286021109>

19. Shchurova E. N., Saifutdinov M. S., Akhmedova M. A., Savin D. M., Bogatyrev M. A. Study of the reactions of the sensomotor system of adolescents during and after surgical correction of spinal deformity. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta* [Orthopedics, traumatology and reconstructive surgery of children], 2022, vol. 10, no. 2, pp. 129–142 (in Russian).

20. Nikolaev S. G. *Electromyography: clinical workshop. 2nd ed.* Ivanovo, PresSto Publ., 2019. 392 p. (in Russian).

21. Gnezditskii V. V. *Evoked brain potentials in clinical practice.* Moscow, MEDpress-in Publ., 2003. 246 p. (in Russian).

22. Kurenkov A. L., Artemenko A. R. Transcranial magnetic stimulation in pediatric neurology. *Nevrologicheskii zhurnal imeni L. O. Badalyana* [Neurological journal named after L. O. Badalyan], 2020, vol. 1, no. 1, pp. 47–63 (in Russian).

Информация об авторах

Сошникова Елена Валерьевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Ильясевич Инесса Александровна – д-р биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru

Тесаков Дмитрий Кимович – канд. мед. наук, вед. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dk-tesakov@yandex.ru

Герасименко Михаил Александрович – член-корреспондент, д-р мед. наук, профессор, директор. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kanc@ortoped.by

Пустовойтов Кирил Васильевич – ст. науч. сотрудник. Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии (ул. Кижеватова, 60/4, 220024, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kiryl.pustavoitau@gmail.com

Information about the authors

Elena V. Soshnikova – Ph. D. (Biol.), Leading Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elena-soshnikova@mail.ru

Inessa A. Ilyasevich – D. Sc. (Biol.), Associate Professor, Head of the Laboratory. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: inessa.ilyasevich@mail.ru

Dmitriy K. Tesakov – D. Sc. (Med.), Leading Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dk-tesakov@yandex.ru

Mikhail A. Gerasimenko – Corresponding Member, D. Sc. (Med.), Professor, Director. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kanc@ortoped.by

Kirill V. Pustovoitov – Senior Researcher. Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics (60/4, Kizhevato Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kiryl.pustavoitau@gmail.com