

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью в оценке предоперационной подготовки пациентки с диастематомиелией I типа: клинический случай

С.В. Колесов, М.Б. Цыкунов, С.Б. Багиров, С.В. Семендуев, Н.С. Морозова

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Диастематомиелия — это редкая врождённая аномалия спинного мозга, характеризующаяся его расщеплением в позвоночном канале, которая может сочетаться с деформацией позвоночника. При проведении коррекции сколиотической деформации у пациентов с этой аномалией высок риск развития неврологических нарушений в связи с его фиксацией, поэтому необходима предварительная его мобилизация хирургически. В предстоящей корригирующей операции немаловажную роль также играет предоперационная галотракционная подготовка в сочетании с лечебной физической культурой.

Описание клинического случая. Представлен клинический случай применения аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью «Tergumed 3D» в оценке эффективности предоперационной галогравитационной тракции в комбинации с мобилизирующей лечебной физической культурой у пациентки со сложной деформацией позвоночника на фоне врождённой аномалии развития (диастематомиелии I типа) для подготовки к оперативной коррекции.

Заключение. Использование этого аппарата позволяет предположить, что комбинация лечебной физической культуры и галотракции может быть эффективно применена для предоперационной подготовки пациентов с ригидными сколиотическими деформациями и аномалиями позвоночника. Его применение помогает анализировать предоперационную подготовку у больных с врождёнными деформациями позвоночника.

Ключевые слова: диастематомиелия; галотракция; лечебная физическая культура; «Tergumed 3D».

Как цитировать:

Колесов С.В., Цыкунов М.Б., Багиров С.Б., Семендуев С.В., Морозова Н.С. Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью в оценке предоперационной подготовки пациентки с диастематомиелией I типа: клинический случай // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 161–172. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

The use of the apparatus of an intelligent system with biofeedback in the evaluation of preoperative preparation of a patient with type I diastematomyelia: clinical case

Sergey V. Kolesov, Mikhail B. Tsykunov, Samir B. Bagirov, Semen V. Semenduev, Nataliia S. Morozova

Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Diastematomyelia is a rare congenital anomaly of the spinal cord, characterized by its cleavage in the spinal canal, which can be combined with spinal deformity. When correcting scoliotic deformity, patients with this anomaly have a high risk of developing neurological disorders due to its fixation. Therefore, its preliminary mobilization surgically is necessary. In the upcoming corrective surgery, an important role is also played by preoperative halo-traction training in combination with therapeutic physical culture.

CLINICAL CASE DESCRIPTION: A clinical case of the use of the «Tergumed 3D» intelligent biofeedback system in assessing the effectiveness of preoperative halo-gravity traction in combination with mobilizing therapeutic physical culture in a patient with complex spinal deformity against the background of congenital malformation (type I diastematomyelia) to prepare for surgical correction is presented.

CONCLUSION: The results of this study suggest that the combination of physical therapy and halo-traction can be effectively used for preoperative preparation of patients with rigid scoliotic deformities and spinal anomalies. It help analyze preoperative preparation in patients with congenital spinal deformities.

Keywords: diastematomyelia; halo-traction; physical therapy; «Tergumed 3D».

To cite this article:

Kolesov SV, Tsykunov MB, Bagirov SB, Semenduev SV, Morozova NS. The use of the apparatus of an intelligent system with biofeedback in the evaluation of preoperative preparation of a patient with type I diastematomyelia: clinical case. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):161–172. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

ОБОСНОВАНИЕ

Диастематомелия — это редкая врождённая аномалия спинного мозга, характеризующаяся его расщеплением в позвоночном канале на протяжении одного или нескольких позвонков, при которой он разделён на 2 столба костной (тип I) или фиброзной (тип II) перегородкой (шпорой) [1, 2]. Перегородка может быть изолированной или сочетаться с врождёнными аномалиями позвоночника, такими как *spina bifida*, кифосколиоз, полупозвонок, бабочковидный позвонок. По данным источников литературы, распространённость врождённых деформаций позвоночника составляет от 0,5 до 1 случая на 1000 новорождённых [3, 4], а у 5% детей с врождённым сколиозом диагностируют диастематомелию [5]. При необходимости проведения коррекции сколиотической деформации у пациентов с этой аномалией высок риск развития неврологических нарушений в связи с травматизацией спинного мозга из-за его фиксации на уровне перегородки или в каудальных отделах [6]. Именно поэтому необходима предварительная мобилизация спинного мозга путём удаления данной шпоры. Остановимся подробнее на сочетанном пороке: диастематомелии с кифосколиозом. В предстоящей корригирующей операции тяжёлой кифосколиотической деформации позвоночника немаловажную роль также играет предоперационная галотракционная подготовка, которая, по данным некоторых авторов, является хорошо переносимой и достаточно безопасной процедурой [7, 8]. Методы лечебной физической культуры (ЛФК) применяют в предоперационной подготовке пациентов со сколиотической деформацией позвоночника для снижения рисков осложнений в раннем послеоперационном периоде, а также для увеличения реабилитационного потенциала пациента в целом [9–11].

Ниже мы представляем клинический случай хирургического лечения пациентки с тяжёлой кифосколиотической деформацией на фоне врождённой аномалии — диастематомелии I типа. В предоперационной подготовке использовали дозированную галогравитационную тракцию сидя в кресле и стоя в прогулочной раме совместно с ЛФК. Также нами была применена мобилизующая гимнастика в сочетании с упражнениями на вытяжение, висами (положение, при котором пациент висит), укреплением мышц-разгибателей спины и дыхательной гимнастикой. Занятия проходили по индивидуальной программе с участием инструктора-методиста ЛФК в зале. Для оценки подготовки нами применён аппарат интеллектуальной системы с биологической обратной связью «Tergumed 3D» (ВЕКО, Германия), измеряющий амплитуды движений позвоночника и статическую силу мышц, участвующих в них. По данным литературы, такие аппараты в основном используют для тренировок при боли в области поясницы [12–15] и для изучения мышечного дисбаланса при сколиотических деформациях [16, 17], но исследований, в которых производилась

бы комбинация методов галотракции и ЛФК с последующим измерением мобильности на аппарате с биологической обратной связью для предоперационной подготовки пациентов к коррекции сколиотической деформации, нами не обнаружено.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

В ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва) весной 2022 года обратилась пациентка С.А. в возрасте 22 лет с жалобами на кифосколиотическую деформацию позвоночника, периодическую боль в спине без иррадиации до 7 баллов по визуальной аналоговой шкале (ВАШ). Со слов пациентки, деформацию позвоночника родители заметили в возрасте 3 лет. В 10 лет было отмечено максимальное прогрессирование сколиоза. По месту жительства, в Таджикистане, проводили курсы консервативного лечения (ЛФК, физиотерапевтическое лечение, иглорефлексотерапия, массаж) и корсетирование, однако деформация неуклонно нарастала. В оперативном лечении по месту жительства было отказано. В возрасте 16 лет пациентке диагностирован врождённый порок развития позвоночника и спинного мозга, конкреция тел позвонков Th_{VII-VIII}, диастематомелия I типа на уровне позвонка Th_{VIII}, синдром фиксированного спинного мозга. Родители пациентки обратились за медицинской помощью в одну из клиник России, где после дообследования было принято решение о выполнении оперативного лечения в объёме костно-пластической ламинэктомии Th_{VII-Th_{IX}}, удалении костной перегородки позвоночного канала на уровне Th_{VIII}, ламинэктомии на уровне позвонков L_{V-S_{III}}, пересечении терминальной нити, имплантации транспедикулярных винтов на уровне позвонков Th_{VIII-Th_X}. В дальнейшем родители отказались продолжать лечение в этой клинике и обратились в другую. Пациентка была дообследована, выявлена диастематомелия I типа на уровне Th_{XI-Th_{XII}} и проведена операция: «Резекционная ламинотомия Th_{XI-Th_{XII}}, резекция костно-фиброзной перегородки позвоночного канала на этом уровне с устранением фиксации спинного мозга, демонтаж винтов». Коррекция кифосколиотической деформации не проводилась. Пациентка была отпущена для амбулаторного долечивания. По месту жительства регулярно занималась ЛФК, но стала отмечать появление болевого синдрома, увеличение угла деформации. В апреле 2022 года обратилась в наше учреждение.

На постуральных спондилограммах обнаружен левосторонний груднопоясничный кифосколиоз IV степени: угол сколиотической деформации в грудном отделе составил 70°, в поясничном — 90°, локальный кифоз в области груднопоясничного перехода — 73°, отрицательный сагиттальный дисбаланс (SVA) — 5,7 см (рис. 1).

На этапе предоперационного планирования пациентке выполнен тракционный тест, по результатам которого величина углов деформации корригировалась до 53, 73

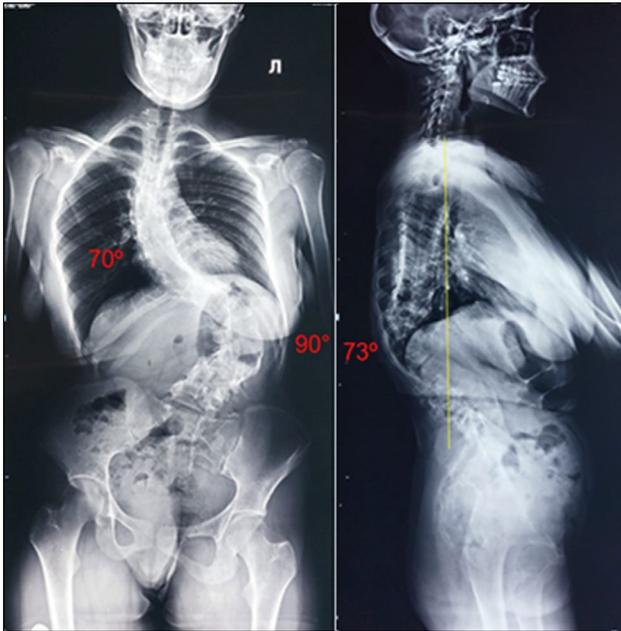


Рис. 1. Постуральные спондилограммы пациентки С.А. при поступлении.

Fig. 1. Postural spondylograms upon admission.

и 64° соответственно. Индекс мобильности (ИМ) в грудном отделе составил 0,76, в поясничном — 0,81, а локального кифоза — 0,88. Также выполнена КТ, на основе результатов которой напечатана 3D-модель позвоночника, визуализированы зоны предыдущих оперативных вмешательств (ламинэктомий), где имелись потенциально высокие риски повреждения дуральной оболочки при выполнении доступа к задним элементам (рис. 2).

В связи с наличием тяжёлой деформации, её ригидностью, ревизионным характером предстоящего оперативного вмешательства и высоким риском неврологических осложнений при одномоментной коррекции принято решение 1-м этапом осуществить предоперационную галогравиационную тракцию в кресле и прогулочной раме в сочетании с мобилизующей ЛФК, а 2-м — вмешательство в объёме корригирующе-стабилизирующей операции на позвоночнике. На следующий день после установки галокольца было налажено вытяжение в кресле сидя. Спустя 3 дня добавлена дозированная галотракция в условиях прогулочной рамы стоя. С 1-го дня после наложения кольца пациентка начала посещать зал, где проводились занятия ЛФК по индивидуальной программе с целью мобилизации позвоночника, увеличения мышечной силы мышц-разгибателей спины и улучшения функций внешнего дыхания. Общее число дней трactions составило 28, число занятий ЛФК — 12. Пациентку ежедневно осматривали на предмет возможных неврологических тракционных осложнений. По окончании предоперационной галогравиационной подготовки и ЛФК снова выполнили тракционный тест позвоночника, согласно которому величина сколиотических дуг в грудном отделе уменьшилась до 45° (ИМ=0,64), в поясничном — до 68° (ИМ=0,76), а локального кифоза — до 58° (ИМ=0,79; рис. 3).

Для оценки параметров силы мышц и мобильности позвоночника было проведено исследование на аппарате интеллектуальной системы с биологической обратной связью на следующий день после наложения галокольца и за день до 2-го этапа операции (рис. 4, 5; табл. 1, 2).

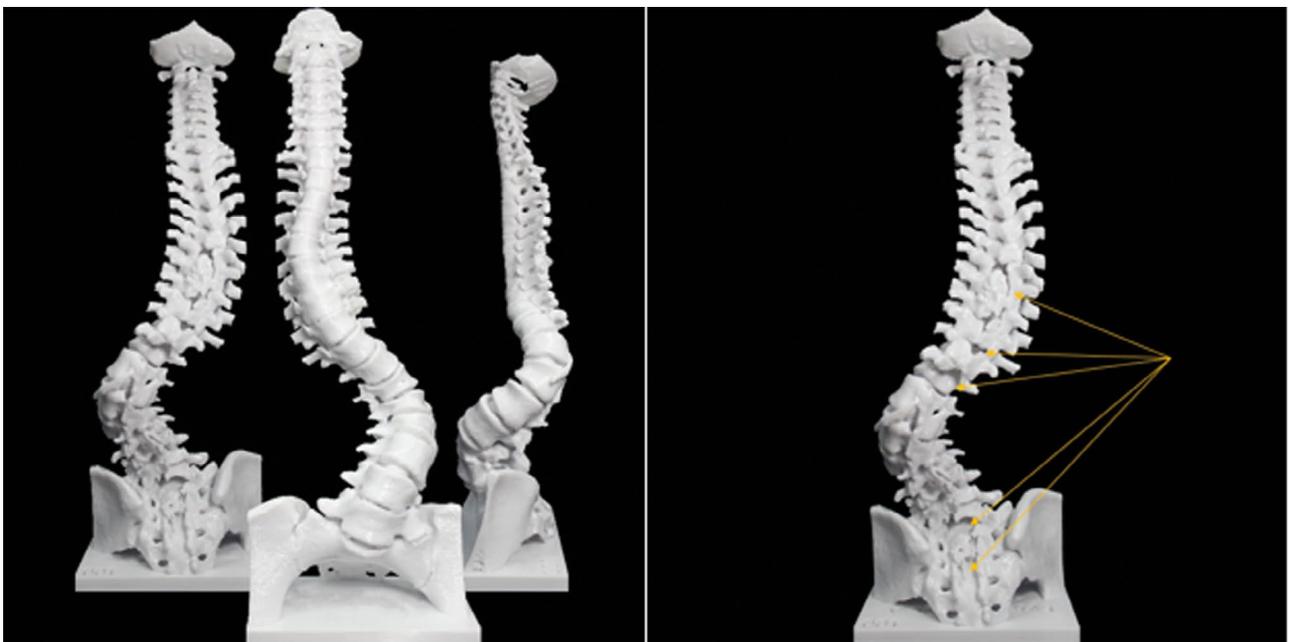


Рис. 2. 3D-модель позвоночника пациентки С.А., вид сзади. Изготовлена в качестве предоперационного планирования. Стрелками изображены дефекты задних элементов позвоночника.

Fig. 2. 3D-model of the patient's spine, rear view. Made as a preoperative planning. The arrows depict defects in the posterior elements of the spine.

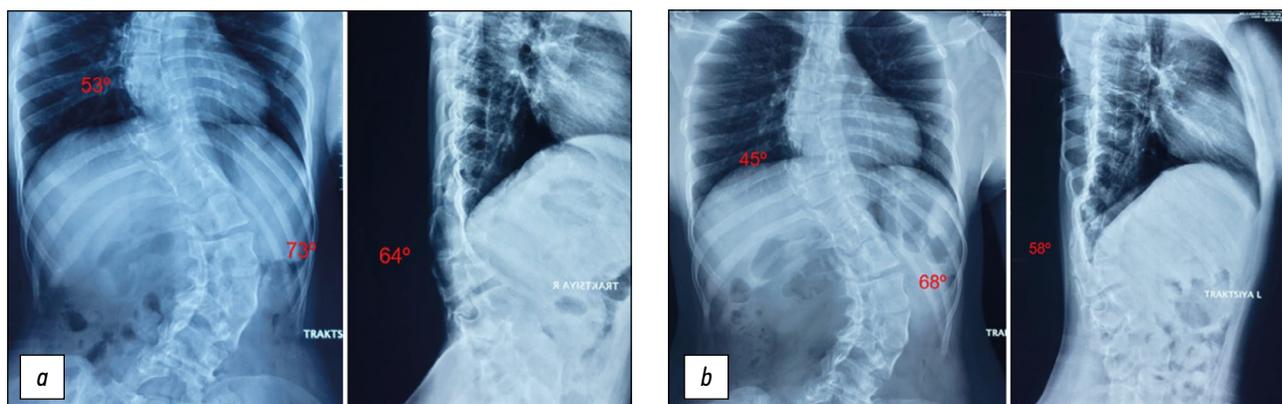


Рис. 3. Функциональные рентгенограммы тракционных тестов пациентки С.А. до начала предоперационной подготовки (а) и после её окончания через 28 дней (b).

Fig. 3. Functional radiographs of traction tests before the start of preoperative preparation (a) and after its completion in 28 days (b).

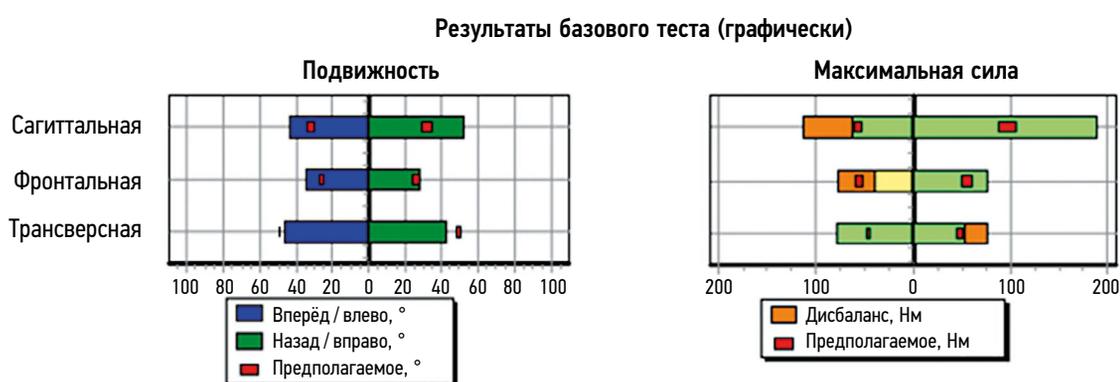


Рис. 4. Результаты исследования в начале предоперационной подготовки (скриншот из программы).

Fig. 4. Research results at the beginning of preoperative preparation (screenshot from the program).

Таблица 1. Результаты исследования в начале предоперационной подготовки (скриншот из программы)

Table 1. Research results at the beginning of preoperative preparation (screenshot from the program)

Тестовая программа											
Параметр						Значение					
Повторения (максимальная сила)						3					
Пауза между повторениями, с						10					
Время повторения, с						7					
Повторения (подв.)						3					
Режим выполнения						Двустороннее синхронное					
Результаты теста на подвижность											
Угол, °									Дисбаланс		
Плоскость	Движение	Предп.	Измер.	%	Движение	Предп.	Измер.	%	[°]	%	[°]
Сагиттальная	Сгиб.брюш.	32	43	135	Разг. спин.	32	53	166	10	19	–
Фронтальная	Бок. сг.в.	26	35	135	Бок. сг.в.	26	29	111	–	17	6
Трансверсная	Пов. тул.	49	46	94	Пов. тул.	49	43	88	–	7	3
Результаты теста на максимальную силу											
Вращающий момент, Нм									Дисбаланс		
Плоскость	Направление	Предп.	Измер.	%	Направление	Предп.	Измер.	%	Нм	%	Нм
Сагиттальная	Вперёд	58	63	109	Назад	97	190	197	51	45	–
Фронтальная	Влево	55	40	73	Вправо	55	78	141	38	49	–
Трансверсная	Повор. вл.	48	78	163	Повор. впр.	48	55	115	–	29	23

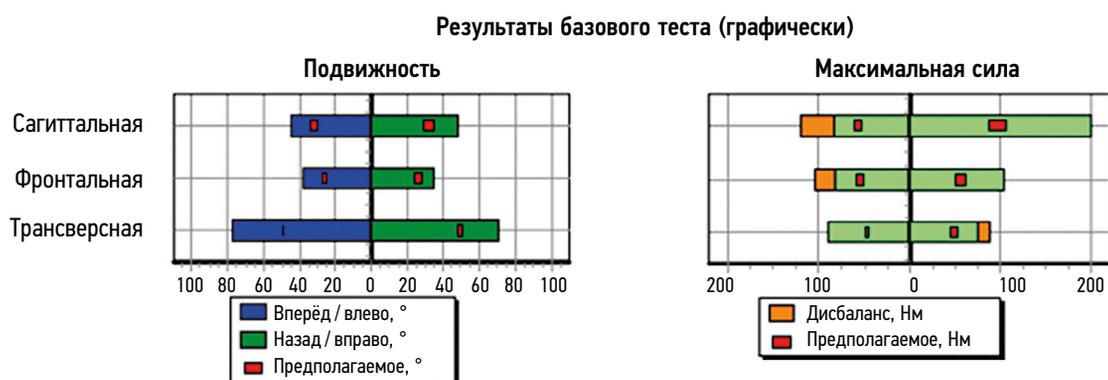


Рис. 5. Результаты исследования после курса лечебной физической культуры и галотракции (скриншот из программы).

Fig. 5. Research results after a course of physical therapy and halo-traction (screenshot from the program).

Таблица 2. Результаты исследования после курса лечебной физической культуры и галотракции (скриншот из программы)

Table 2. Research results after a course of physical therapy and halo-traction (screenshot from the program)

Тестовая программа											
Параметр						Значение					
Повторения (максимальная сила)						3					
Пауза между повторениями, с						10					
Время повторения, с						7					
Повторения (подв.)						3					
Режим выполнения						Двустороннее синхронное					
Результаты теста на подвижность											
Угол, °									Дисбаланс		
Плоскость	Движение	Предп.	Измер.	%	Движение	Предп.	Измер.	%	[°]	%	[°]
Сагиттальная	Сгиб.брюш.	32	45	140	Разг. спин.	32	50	155	5	10	–
Фронтальная	Бок. сг.в.	26	37	144	Бок. сг.в.	26	36	138	–	3	1
Трансверсная	Пов. тул.	49	77	158	Пов. тул.	49	71	145	–	8	6
Результаты теста на максимальную силу											
Вращающий момент, Нм									Дисбаланс		
Плоскость	Направление	Предп.	Измер.	%	Направление	Предп.	Измер.	%	Нм	%	Нм
Сагиттальная	Вперёд	58	83	143	Назад	97	200	207	37	31	–
Фронтальная	Влево	55	82	149	Вправо	55	105	190	23	22	–
Трансверсная	Повор. вл.	48	89	185	Повор. впр.	48	76	158	–	15	13

Амплитуду движений позвоночника, статическую силу при них измеряли в сагиттальной, фронтальной и аксиальной плоскости. В результате предоперационной подготовки установлены следующие изменения: в сагиттальной плоскости отмечено увеличение амплитуды сгибания позвоночника на 2° (на 5% больше исходного показателя) при уменьшении разгибания на 3° (на 11% меньше исходного). Увеличены амплитуды наклонов: вправо — на 7° (увеличение мобильности на 27%), влево — на 2° (увеличение на 9%). Ротации в аксиальной плоскости значительно увеличились: вправо — на 28° (на 57%), влево — на 31° (на 64%). Полученные результаты свидетельствуют об увеличении амплитуды движения позвоночника во всех направлениях, кроме разгибания, причём в аксиальной плоскости эти различия составили более 50%. Статическая сила мышц,

участвующих в сгибании позвоночника, увеличилась на 20 Нм (Ньютон на метр; 32%), в разгибании — увеличена на 10 Нм (10%). При наклонах вправо сила мышц увеличилась на 27 Нм (49%), влево — на 42 Нм (76%). Сила мышц при ротации вправо увеличилась на 21 Нм (43%), влево — на 11 Нм (22%). Полученные данные говорят об увеличении силы мышц во всех направлениях движения позвоночника, даже при разгибании, где отмечено снижение объёма. Это свидетельствует об эффективности применения методов ЛФК в укреплении мышц-разгибателей спины и мышц-ротаторов позвоночника (латеральные и медиальные межпоперечные мышцы поясницы, многораздельная мышца поясницы, длинные и короткие мышцы-вращатели поясницы, многораздельные мышцы поясницы, остистая мышца груди, квадратные мышцы поясницы), а также мышц брюшного

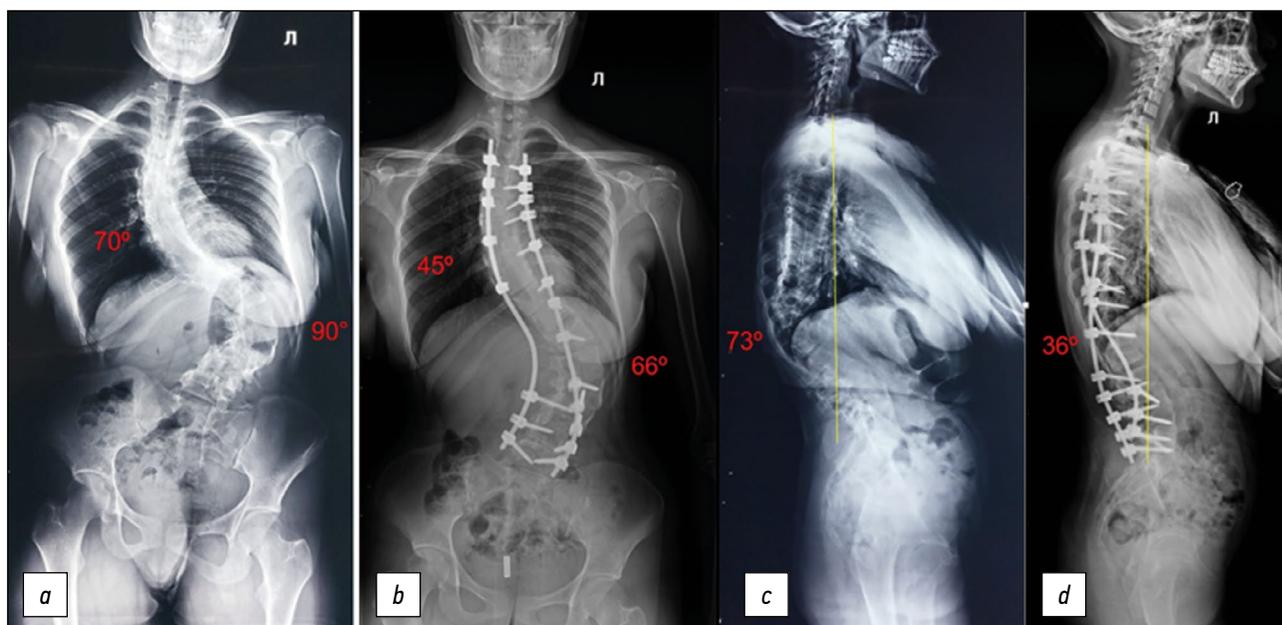


Рис. 6. Постуральные спондилограммы пациентки С.А. в 2 проекциях: до операции (а, б) и после неё (с, д).

Fig. 6. Postural spondylograms in 2 projections before surgery (a, b) and after (c, d).

пресса (прямая мышца живота, наружные и внутренние косые мышцы живота).

Операция проведена в условиях интраоперационной галотракции грузом 6 кг и интраоперационного нейромониторинга. Доступ осуществлён задним срединным разрезом. Проведена коррекция и стабилизация позвоночника металлоконструкцией на уровне $T_{III}-L_V$, выполнен задний спондилодез аутокостью. Общая кровопотеря составила 1100 мл. Послеоперационная рана зажила

первичным натяжением. На контрольных постуральных спондилограммах достигнута удовлетворительная коррекция сколиотической деформации грудного отдела (45°), поясничного отдела позвоночника (66°) и локального кифоза на уровне грудопоясничного перехода (36°), значительно улучшен показатель сагиттального баланса позвоночника, дисбаланс нивелирован, $SVA=0$ см (рис. 6). Улучшение профиля спины зафиксировано и визуально (рис. 7).

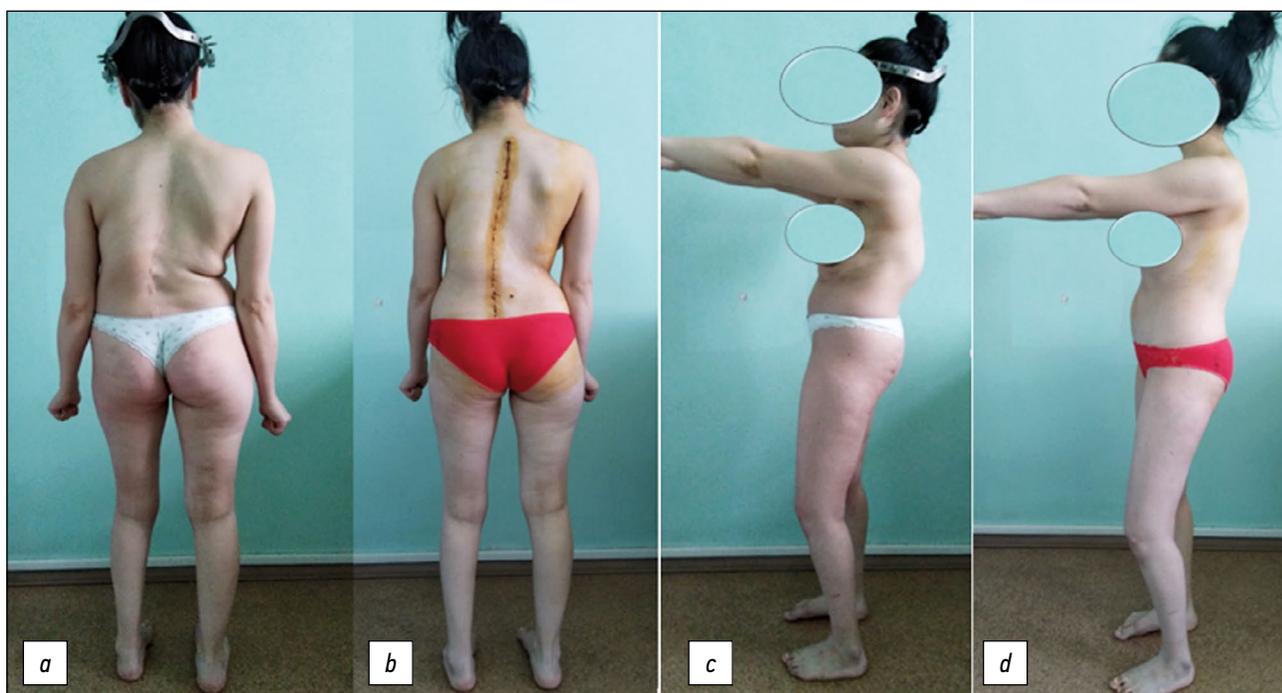


Рис. 7. Внешний вид пациентки С.А. до операции (а, б) и после неё (с, д).

Fig. 7. The appearance of the patient before the operation (a, b) and after (c, d).

ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство авторов сходятся во мнении, что лечение тяжёлой кифосколиотической деформации позвоночника всегда является сложной задачей, которая сопряжена с определёнными рисками неврологических осложнений. Bo Shi и соавт. [18] отмечают, что трёхколонная остеотомия используется в качестве стандартной хирургической техники в течение нескольких десятилетий. Однако она может быть связана с серьёзными осложнениями, включая травму спинного мозга и развитие неврологического дефицита вплоть до плегии. Rinella и соавт. [7] сообщают, что быстрая коррекция тяжёлого сколиоза может увеличить риск неврологических осложнений, особенно если имеется значительный кифотический компонент. Кроме того, анамнез интраспинальной патологии или предшествующая операция на позвоночнике, как у нашей пациентки, также способствуют увеличению риска неврологического дефицита после стабилизации позвоночника.

Qiao и соавт. [19] утверждают, что трёхколонная остеотомия позвоночника достигла благоприятных результатов при лечении тяжёлого кифосколиоза, но при этом имеется высокая частота периоперационных осложнений, которые, как сообщается, составляют около 30,3%.

Напротив, Kandwal и соавт. [20], рассматривая роль остеотомии позвоночника и тактики оперативной коррекции, в своём сообщении остаются при мнении, что ключом в коррекции тяжёлых кифосколиозов всё равно является трёхколонная вертебротомия, обеспечивающая мобилизацию на 360° позвоночного столба. Однако они согласны, что это увеличивает длительность операции и обусловлено значительной потерей крови, потенцирует более высокие риски неврологического дефицита, а также осложнений. По их мнению, вопрос по-прежнему остаётся дискуссионным, несмотря на то, что за последнее десятилетие роль переднего релиза отошла на задний план.

Mehrpour и соавт. [21] также сообщают, что объединённая передняя и задняя техника являются классическим методом лечения тяжёлого ригидного сколиоза, однако оно сопряжено со значительным риском заболеваемости и смертности. Кроме того, они отмечают, что задний доступ оказывает лучшее влияние на функцию лёгких по сравнению с открытыми или эндоскопическими передними релизами, особенно у пациентов с ослабленной функцией дыхательной системы. Дополнительная передняя техника увеличивает операционное время, хирургическую травму и пребывание в стационаре. Чтобы уменьшить эти риски, хирурги используют различные методы, в частности — обращаются за помощью к галогравитационной тракции. Литература включает ряд отчётов о хорошей коррекции тяжёлых деформаций позвоночника с применением галобедренной, гало-пельвик и галогравитационной тракции.

McIntosh и соавт. [22] являются сторонниками галогравитационной тракции и сообщают, что она может

избавить от необходимости множественной сегментарной остеотомии или резекции позвоночного столба, что снижает неврологический риск для таких пациентов.

Yang и соавт. [23] провели метаанализ исследований галогравитационной тракции при лечении тяжёлой деформации позвоночника. Коллектив авторов пришел к выводу, что галогравитационную тракцию можно использовать в качестве дополнительного метода при хирургическом лечении тяжёлой деформации позвоночника, подкрепив это тем, что в проанализированном материале у пациентов с наличием галогравитационной тракции средний объём интраоперационной кровопотери составил 1521,6 мл, а распространённость неврологического дефицита — 1%, что меньше, чем у пациентов с трёхколонной остеотомией (2012 мл и 5% — при PSO, 2737 мл и 4% — при VCR). Также они отмечают, что несмотря на значительные технические усовершенствования и современное оборудование, хирургическое лечение тяжёлой деформации позвоночника остаётся сложной задачей. Однако использование галогравитационной тяги всё ещё оспаривается специалистами, поскольку из-за несоответствий, обнаруженных в литературе, остаётся неизвестным, насколько коррекция может быть достигнута с помощью галогравитационного вытяжения. Хотя при этом отмечается тот факт, что галогравитационная тяга может улучшить предоперационный нутритивный статус пациента, лёгочную функцию, а постепенное вытяжение также поможет снизить риск неврологических осложнений в интраоперационном периоде.

Положительное влияние галотракционной подготовки на респираторную функцию и нутритивный статус пациентов данной когорты также описывается в 2 метаанализах. Yang и соавт. [24] проанализировали 7 исследований с участием 189 пациентов, получавших галогравитационную тракционную терапию до операции, и пришли к выводу, что у пациентов с тяжёлым сколиозом она показывает значительное улучшение степени деформации и функции лёгких. Кроме того, галогравитационное вытяжение является эффективным методом повышения толерантности больных к оперативному вмешательству в периоперационном периоде. Эти данные также подтвердили Wang и соавт. [25], которые провели метаанализ 12 исследований с участием 372 пациентов и пришли к выводу, что галотракция приводит к улучшению лёгочной функции и повышению нутритивного статуса, снижению риска неврологического повреждения, вызванного чрезмерной коррекцией, и может помочь достичь частичной коррекции деформации позвоночника.

Согласно результатам систематического обзора и метаанализа Gámiz-Bermúdez и соавт. [26], корригирующая ЛФК тоже может использоваться для уменьшения деформации позвоночника и улучшения качества жизни. Авторы пришли к такому выводу, проанализировав 7 рандомизированных контролируемых исследований, включавших 236 пациентов.

По нашему мнению, использование галотракции совместно с ЛФК помогает улучшить функциональное состояние пациента перед корригирующей операцией на позвоночнике. Опыт нашего отделения показывает, что пациенты, получавшие предоперационную галотракцию и ЛФК, быстро адаптируются в послеоперационном периоде. Однако как оценить результаты такой подготовки? В повседневной практике для оценки мобильности деформации приходится опираться на различные функциональные пробы, проводящиеся при помощи лучевых методов исследования: бендинг-тесты, тракционный тест позвоночника. Эти методы исследования лишь констатируют величину угла деформации, её мобильность во фронтальной плоскости, однако ничего не говорят о функциональной кондиции мышц позвоночника, объёме движений в 3 плоскостях, силе мышц.

В литературе редко встречаются сообщения о применении аппаратов интеллектуальной системы с биологической обратной связью. Нами найдено всего 3 статьи в базе данных PubMed, причём ни одна не посвящена оценке объёма движений и силы мышц пациентов с деформациями позвоночника. В одной из статей реабилитационный аппарат интеллектуальной системы использовали для измерения изометрической силы и дисбаланса мышц при лечении женщин с болью в пояснице [27]. Wilczyński и соавт. получили следующие результаты: терапия на системе «Tergumed 700» приводит к увеличению силы мышц пояснично-тазового комплекса, компенсируя его дисбаланс, оказывает благотворное влияние при лечении остеохондроза. В двух других статьях [28, 29] реабилитационный аппарат «Tergumed» применяли для прямой оценки изометрической силы мышц позвоночника.

В продемонстрированном нами клиническом случае применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью позволило оценить исходную кондицию мышц и объём движения у пациентки с тяжёлой деформацией позвоночника, а также результаты предоперационной подготовки к предстоящей хирургической коррекции. В силу наличия малого количества методов оценки функционального состояния мышц, участвующих в движениях позвоночника, применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью у пациентов с тяжёлыми деформациями должно стать предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Has R., Yuksel A., Buyukkurt S., et al. Prenatal diagnosis of diastematomyelia: Presentation of eight cases and review of the literature // *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007. Vol. 30, N 6. P. 845–849. doi: 10.1002/uog.4066
2. Suma C.C., Marini A., Panagopoulos P., Catapano P. Diastematomyelia [Internet]. *Fetus.net* [дата обращения: 11.11.2022]. Доступ по ссылке: <http://www.thefetus.net/page.php?id=108>.
3. Mackel C.E., Jada A., Samdani A.F., et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis // *Childs Nerv Syst.* 2018. Vol. 34, N 11. P. 2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6
4. Wynne-Davies R. Congenital vertebral anomalies: aetiology and relationship to spina bifida cystica // *J Med Genet.* 1975. Vol. 12, N 3. P. 280–288. doi: 10.1136/jmg.12.3.280

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты использования аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью позволяют предположить, что комбинация методов ЛФК и галотракции может быть эффективно применена для предоперационной подготовки пациентов с ригидными сколиотическими деформациями и аномалиями позвоночника с целью улучшения результатов оперативного вмешательства, снижения рисков послеоперационных осложнений и увеличения реабилитационного потенциала пациентов. Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью помогает анализировать предоперационную подготовку у больных с врождёнными деформациями позвоночника. По нашему мнению, необходимо дальнейшее изучение и расширение показаний к использованию аппарата на большей выборке пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

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

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию его медицинских данных и фотографий (дата подписания — май 2022 года).

Consent for publication. Written consent (signed in May, 2022) was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

5. Winter R.B., Haven J.J., Moe J.H., Lagaard S.M. Diastematomyelia and congenital spine deformities // *J Bone Joint Surg Am*. 1974. Vol. 56, N 1. P. 27–39.
6. Виссарионов С.В., Крутелев Н.А., Сницук В.П. Диагностика и лечение детей с диастематомиелией // *Хирургия позвоночника*. 2010. № 4. С. 041–047. doi: 10.14531/ss2010.4.41–47
7. Rinella A., Lenke L., Whitaker C., et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis // *Spine*. 2005. Vol. 30, N 4. P. 475–482. doi: 10.1097/01.brs.0000153707.80497.a2. Erratum in: Edwards, Charles [corrected to Edwards, Charles 2nd]. *Spine*. 2005. Vol. 30, N 8. P. 994.
8. Limpaphayom N., Skaggs D.L., McComb G., et al. Complications of halo use in children // *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 2009. Vol. 34, N 8. P. 779–784. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819e2d90
9. Zielke A.M. Präoperative Mobilisationsgymnastik, Extensionsmethoden und unmittelbare postoperative Krankengymnastik bei stabilisierenden Wirbelsäulenoperationen // *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1976. Vol. 114, N 4. P. 467–469.
10. dos Santos Alves V.L., Alves da Silva R.J., Avanzi O. Effect of a preoperative protocol of aerobic physical therapy on the quality of life of patients with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized clinical study // *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2014. Vol. 43, N 6. P. E112–E116.
11. Schirmeyer R. Über die präoperative Behandlung progredienter Skoliosen // *Beitr Orthop Traumatol*. 1966. Vol. 13, N 12. P. 765–767.
12. Агасаров Л.Г., Чигарев А.А., Шилов А.М., Зекий О.Е. Классические и традиционные методы лечебного воздействия при дорсопатиях // *Вестник новых медицинских технологий*. 2014. Т. 21, № 1. С. 1–6. doi: 10.12737/5033
13. Stevens V.K., Parlevliet T.G., Coorevits P.L., et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices // *J Electromyogr Kinesiol*. 2008. Vol. 18, N 3. P. 434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009
14. Хакимов С.А., Лядов К.В. Инновационные подходы к применению кинезотерапии у больных пояснично-крестцовой дорсопатией // *Вестник новых медицинских технологий*. 2011. Т. 18, № 4. С. 232–235.
15. Агасаров Л.Г., Хадарцев А.А., Купеев Р.В. Инновационные способы кинезотерапии (обзор литературы) // *Журнал новых медицинских технологий*. 2020. № 3. P. 124–136. doi: 10.24411/2075-4094-2020-16655
16. Лупандина-Болотова Г.С., Корнеева И.Т., Поляков С.Д. Лечебно-диагностическая система «ТЕРГУМЕД 3D» в комплексной реабилитации подростков с функциональными вертебральными нарушениями // *Современная медицина: актуальные вопросы*. 2013. Т. 11, № 25. С. 115–122.
17. Лупандина-Болотова Г.С., Тайбулатов Н.И., Игнатов Д.А., и др. Функциональные нарушения при деформациях позвоночника и методы их коррекции // *Вопросы современной педиатрии*. 2015. Vol. 14, N 2. P. 201–206. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287
18. 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. N 26. P. e919281. doi: 10.12659/MSM.919281
19. Qiao J., Xiao L., Sun X., et al. Three column osteotomy for adult spine deformity: comparison of outcomes and complications between kyphosis and kyphoscoliosis // *Br J Neurosurg*. 2018. Vol. 32, N 1. P. 32–36. doi: 10.1080/02688697.2018.1427214
20. Kandwal P., Vijayaraghavan G.P., Nagaraja U.B., Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies // *Asian Spine J*. 2017. Vol. 11, N 3. P. 494–503. doi: 10.4184/asj.2017.11.3.494
21. Mehrpour S., Sorbi R., Rezaei R., Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis // *Arch Orthop Trauma Surg*. 2017. Vol. 137, N 4. P. 457–463. doi: 10.1007/s00402-017-2642-x
22. 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, N 3. P. 395–403. doi: 10.1016/j.jspsd.2018.09.068
23. 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, N 7. P. 1810–1816. doi: 10.1007/s00586-016-4848-y
24. Yang Z., Liu Y., Qi L., et al. Does Preoperative Halo-Gravity Traction Reduce the Degree of Deformity and Improve Pulmonary Function in Severe Scoliosis Patients With Pulmonary Insufficiency? A Systematic Review and Meta-Analysis // *Front Med (Lausanne)*. 2021. N 8. P. 767238. doi: 10.3389/fmed.2021.767238
25. Wang J., Han B., Hai Y., et al. How helpful is the halo-gravity traction in severe spinal deformity patients? A systematic review and meta-analysis // *Eur Spine J*. 2021. Vol. 30, N 11. P. 3162–3171. doi: 10.1007/s00586-021-06902-4
26. Gámiz-Bermúdez F., Obrero-Gaitán E., Zagalaz-Anula N., Lomas-Vega R. Corrective exercise-based therapy for adolescent idiopathic scoliosis: Systematic review and meta-analysis // *Clin Rehabil*. 2022. Vol. 36, N 5. P. 597–608. doi: 10.1177/02692155211070452
27. Wilczyński J., Kasprzak A. Dynamics of Changes in Isometric Strength and Muscle Imbalance in the Treatment of Women with Low back Pain // *Biomed Res Int*. 2020. N 2020. P. 6139535. doi: 10.1155/2020/6139535
28. De Ridder E., Danneels L., Vleeming A., et al. Trunk extension exercises: How is trunk extensor muscle recruitment related to the exercise dosage? // *J Electromyogr Kinesiol*. 2015. Vol. 25, N 4. P. 681–688. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.01.001
29. Stevens V.K., Parlevliet T.G., Coorevits P.L., et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices // *J Electromyogr Kinesiol*. 2008. Vol. 18, N 3. P. 434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009

REFERENCES

1. Has R, Yuksel A, Buyukkurt S, et al. Prenatal diagnosis of diastematomyelia: Presentation of eight cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet. Gynecol*. 2007;30(6):845–849. doi: 10.1002/uog.4066
2. Suma CC, Marini A, Panagopoulos P, Catapano P. Diastematomyelia [Internet]. *Fetus.net* [cited 2022 Nov 11]. Available from: <http://www.thefetus.net/page.php?id=108>.

3. Mackel CE, Jada A, Samdani AF, et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis. *Childs Nerv Syst.* 2018;34(11):2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6
4. Wynne-Davies R. Congenital vertebral anomalies: aetiology and relationship to spina bifida cystica. *J Med Genet.* 1975;12(3):280–288. doi: 10.1136/jmg.12.3.280
5. Winter RB, Haven JJ, Moe JH, Lagaard SM. Diastematomyelia and congenital spine deformities. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(1):27–39.
6. Vissarionov SV, Krutelev NA, Snischuk VP. Diagnosis and treatment of diastematomyelia in children. *Hirurgia pozvonocnika (Spine Surgery).* 2010;(4):041–047. (In Russ). doi: 10.14531/ss2010.4.41-47
7. Rinella A, Lenke L, Whitaker C, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine.* 2005;30(4):475–482. doi: 10.1097/01.brs.0000153707.80497.a2. Erratum in: Edwards, Charles [corrected to Edwards, Charles 2nd]. *Spine.* 2005;30(8):994.
8. Limpaphayom N, Skaggs DL, McComb G, et al. Complications of halo use in children. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2009;34(8):779–784. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819e2d90
9. Zielke AM. Preoperative mobilization gymnastics, extension methods and direct postoperative physical therapy in stabilizing spinal surgery. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1976;114(4):467–469. (In German).
10. dos Santos Alves VL, Alves da Silva RJ, Avanzi O. Effect of a preoperative protocol of aerobic physical therapy on the quality of life of patients with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized clinical study. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2014;43(6):E112–E116.
11. Schirmeyer R. On preoperative treatment of progressive scoliosis. *Beitr Orthop Traumatol.* 1966;13(12):765–767. (In German).
12. Agasarov LG, Tchigarev AA, Shilov AM, Zekiy OE. Traditional and classic methods of therapeutic effects at the dorsopathies. *Journal of New Medical Technologies.* 2014;21(1):1–6. (In Russ). doi: 10.12737/5033
13. Stevens VK, Parlevliet TG, Coorevits PL, et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009
14. Khakimov SA, Lyadov KV. Innovative approaches to the use of kinesiotherapy in patients with lumbosacral dorsopathy. *Bulletin of New Medical Technologies.* 2011;18(4):232–235. (In Russ).
15. Agasarov LG, Khadartsev AA, Kupeev RV. Innovative kinesiotherapy methods (literature review). *Journal of New Medical Technologies.* 2020;3:124–136. (In Russ). doi: 10.24411/2075-4094-2020-16655
16. Lupandina-Bolotova GS, Korneeva IT, Polyakov SD. Medical diagnostic system «TERGUMED 3D» in complex rehabilitation in adolescent children with functional vertebral disorders. *Sovremennaya meditsina: aktual'nye voprosy.* 2013;11(25):115–122. (In Russ).
17. Lupandina-Bolotova GS, Taibulatov NI, Ignatov DA, et al. Functional Disorders in the Spine Deformations and Methods for their Correction. *Current Pediatrics.* 2015;14(2):201–206. (In Russ). doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287
18. 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
19. Gao J, Xiao L, Sun X, et al. Three column osteotomy for adult spine deformity: comparison of outcomes and complications between kyphosis and kyphoscoliosis. *Br J Neurosurg.* 2018;32(1):32–36. doi: 10.1080/02688697.2018.1427214
20. Kandwal P, Vijayaraghavan GP, Nagaraja UB, Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies. *Asian Spine J.* 2017;11(3):494–503. doi: 10.4184/asj.2017.11.3.494
21. Mehrpour S, Sorbi R, Rezaei R, Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(4):457–463. doi: 10.1007/s00402-017-2642-x
22. 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
23. 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
24. Yang Z, Liu Y, Qi L, et al. Does Preoperative Halo-Gravity Traction Reduce the Degree of Deformity and Improve Pulmonary Function in Severe Scoliosis Patients With Pulmonary Insufficiency? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:767238. doi: 10.3389/fmed.2021.767238
25. Wang J, Han B, Hai Y, et al. How helpful is the halo-gravity traction in severe spinal deformity patients? A systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2021;30(11):3162–3171. doi: 10.1007/s00586-021-06902-4
26. Gámiz-Bermúdez F, Obrero-Gaitán E, Zagalaz-Anula N, Lomas-Vega R. Corrective exercise-based therapy for adolescent idiopathic scoliosis: Systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2022;36(5):597–608. doi: 10.1177/02692155211070452
27. Wilczyński J, Kasprzak A. Dynamics of Changes in Isometric Strength and Muscle Imbalance in the Treatment of Women with Low back Pain. *Biomed Res Int.* 2020;2020:6139535. doi: 10.1155/2020/6139535
28. De Ridder E, Danneels L, Vleeming A, et al. Trunk extension exercises: How is trunk extensor muscle recruitment related to the exercise dosage? *J Electromyogr Kinesiol.* 2015;25(4):681–688. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.01.001
29. Stevens VK, Parlevliet TG, Coorevits PL, et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009

ОБ АВТОРАХ

Колесов Сергей Васильевич, д.м.н.,

врач травматолог-ортопед;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>;

eLibrary SPIN: 1989-6994; e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

AUTHORS INFO

Sergey V. Kolesov, MD, Dr. Sci. (Med.),

traumatologist-orthopedist;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>;

eLibrary SPIN: 1989-6994; e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

Цыкунов Михаил Борисович, д.м.н., профессор,
врач по лечебной физкультуре;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-8602>;
eLibrary SPIN: 8298-8338; e-mail: rehcito@mail.ru

* **Багиров Самир Беокиши оглы**,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1038-1815>;
eLibrary SPIN: 9620-7038; e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Семендуев Семён Вадимович,
врач по лечебной физкультуре;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7530-1612>;
eLibrary SPIN: 3118-5820; e-mail: semenduev.rehab@mail.ru

Морозова Наталия Сергеевна, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4504-6902>;
eLibrary SPIN: 4593-3231; e-mail: morozcito@gmail.com

Mikhail B. Tsykunov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
physiotherapist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-8602>;
eLibrary SPIN: 8298-8338; e-mail: rehcito@mail.ru

* **Samir B. Bagirov**,
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1038-1815>;
eLibrary SPIN: 9620-7038; e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Semen V. Semenduev,
physiotherapist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7530-1612>;
eLibrary SPIN: 3118-5820; e-mail: semenduev.rehab@mail.ru

Nataliia S. Morozova, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4504-6902>;
eLibrary SPIN: 4593-3231; e-mail: morozcito@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author