

УДК 616.711-007.55-053.2-07

DOI: 10.17816/pmj38376-87

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ДЕТЕЙ С ТЯЖЕЛЫМИ ФОРМАМИ ИДИОПАТИЧЕСКОГО СКОЛИОЗА

*И.Е. Никитюк**, *С.В. Виссарионов*

*Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии
и ортопедии имени Г.И. Турнера, г. Санкт-Петербург, Россия*

FEATURES OF POSTURAL CONTROL IN CHILDREN WITH SEVERE FORMS OF IDIOPATHIC SCOLIOSIS

*I.E. Nikityuk**, *S.V. Vissarionov*

*H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics
and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation*

Цель. Оценить состояние баланса тела и постуральную стабильность у детей с тяжелыми степенями идиопатического сколиоза после хирургической коррекции деформации позвоночника.

Материалы и методы. Проведено обследование 18 пациентов в возрасте 14–17 лет с идиопатическим сколиозом III–IV степени с локализацией основной дуги по Lenke I, III, V и VI. Вертикальный баланс тела оценивали на стабилометрической платформе МБН «Биомеханика» (ООО «МБН», г. Москва) до и через 9–10 суток после хирургической коррекции деформации позвоночника с применением транспедикулярных спинальных систем. Результаты сравнивали со стабилометрическим обследованием 18 здоровых детей.

Результаты. У пациентов с идиопатическим сколиозом до операции выявлено снижение стабильности вертикального баланса тела, проявляющееся выраженными отклонениями от номинальных значений стабилометрических параметров. Корреляционный анализ показал патологически сильную связь между длиной L , площадью S и амплитудой колебаний центра давления A статокнезиограмм больных по сравнению с соответствующими данными группы здоровых детей. В ближайшем послеоперационном периоде у пациентов усугубляются нарушения системы постурального контроля.

Выводы. У детей с идиопатическим сколиозом тяжелых степеней выявлены нарушения системы постурального контроля, которые привели к формированию неоптимального двигательного стереотипа вследствие дисфункции сенсомоторной интеграции.

Ключевые слова. Идиопатический сколиоз, дети, стабилометрия, постуральный баланс.

© Никитюк И.Е., Виссарионов С.В., 2021

тел. +7 951 641 24 54

e-mail: femtotech@mail.ru

[Никитюк И.Е. (*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований; Виссарионов С.В. – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор].

© Nikityuk I.E., Vissarionov S.V., 2021

tel. +7 951 641 24 54

e-mail: femtotech@mail.ru

[Nikityuk I.E. (*contact person) – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Physiological and Biomechanical Studies; Vissarionov S.V. – MD, PhD, Professor, Corresponding Member of RAS, Director].

Objective. The study of postural stability in children with severe degrees of idiopathic scoliosis and assessment of body balance disorders after surgical correction of spinal deformity.

Material and methods. The study of 18 patients aged 14–17 years with idiopathic scoliosis of the III–IV degree with localization of the main arc according to Lenke I, III, V and VI was conducted. The vertical balance of the body was evaluated using a stabilometric platform MBN "Biomechanica" (LLC "MBN", Moscow) before and 9–10 days after the surgical correction of spinal deformity using transpedicular spinal systems. The results were compared with a stabilometric survey of 18 healthy children.

Results. In patients with idiopathic scoliosis before surgery, a decrease in the stability of the vertical balance of the body, manifested by pronounced deviations from the nominal values of the stabilometric parameters, was revealed. The correlation analysis showed a pathologically strong relationship between the length L , the area S and the amplitude of fluctuations of the pressure center A in patients' statokinesiograms compared to the group of healthy children.

In the immediate postoperative period, the postural control system disorders are aggravated in patients.

Conclusions. In children with severe idiopathic scoliosis, violations of the postural control system were revealed, which led to the formation of a suboptimal motor stereotype due to dysfunction of sensorimotor integration.

Keywords. Idiopathic scoliosis, children, stabilometry, postural balance.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее часто встречающимся вариантом деформации позвоночника у детей в подростковом возрасте является идиопатический сколиоз, при котором формируется асимметрия туловища. Несмотря на значительные усилия по выявлению и пониманию этиопатогенеза идиопатического сколиоза, последовательность событий, приводящих к возникновению искривления позвоночного столба, остается невыясненной. Считается, что идиопатический сколиоз – это полиэтиологическое заболевание, причинами которого рассматриваются генетические факторы, неврологические дисфункции, гормональные и метаболические нарушения, а также биохимические факторы. В последнее время высказываются предположения о нарушениях сенсомоторной интеграции в обеспечении функции опорно-двигательной системы как о возможной причине развития идиопатического сколиоза [1]. Для оценки сенсорных нарушений у больных данной патологией

изучают постуральный баланс туловища [2]. Однако имеющиеся в настоящее время исследования, направленные на оценку равновесия у пациентов с идиопатическим сколиозом, достаточно противоречивы. В то время как одни авторы указывают на значительные нарушения баланса тела у больных со сколиозом [3, 4], другие исследователи не выявили снижения постуральной стабильности у пациентов с данной формой искривления позвоночного столба [5, 6]. До сих пор недостаточно ясно влияние заднего спондилодеза на постуральное равновесие пациентов после проведения хирургического вмешательства [7]. С учетом вышеизложенного оценка постуральной дисфункции у больных идиопатическим сколиозом после хирургической коррекции деформации позвоночника является актуальной и до конца не решенной задачей.

Цель работы – оценить состояние баланса тела и постуральную стабильность у детей с тяжелыми степенями идиопатического сколиоза после хирургической коррекции деформации позвоночника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В группу исследования вошли 18 пациентов (2 мальчика и 16 девочек) в возрасте 14–17 лет с идиопатическим сколиозом III–IV степени (по В.Д. Чаклину). Родители всех пациентов добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании. При неврологическом осмотре у детей не были выявлены двигательные и чувствительные расстройства, а также сегментарные нарушения со стороны спинного мозга – ни до, ни после операции. Для определения типа деформации и мобильности сколиотической дуги искривления проводили рентгенологическое исследование позвоночника в двух проекциях и функциональные снимки. Для исключения интраканальной патологии, определения состояния спинного мозга и его элементов использовали метод магнитно-резонансной томографии.

У 13 (72,2 %) детей основная дуга сколиотической деформации была правосторонняя, у 5 (27,8 %) – левосторонняя. Средняя величина угла основной дуги искривления до операции составляла $73,2 \pm 5,68^\circ$ по Cobb. В соответствии с классификацией Lenke локализация сколиоза была следующей: тип Lenke I – 10 пациентов, тип Lenke III – 4, тип Lenke V – 3. У одного ребенка был S-образный сколиоз, тип Lenke VI. Хирургическую коррекцию деформации позвоночника осуществляли по отработанной методике с применением транспедикулярных спинальных систем и стабилизацией достигнутого результата в сочетании с формированием заднего спондилодеза аутокостью вдоль металлоконструкции [8]. В результате проведенной операции на основании контрольного рентгенологического исследования были восстановлены физиологически правильные фронтальный и сагиттальный профили по-

звоночника. После вмешательства на позвоночнике средняя величина угла остаточной деформации основной дуги составила $11,6 \pm 2,51^\circ$, рост больных в среднем увеличился на $9,6 \pm 0,35$ см (среднее относительное увеличение роста – 5,8 %).

Стабилометрическое исследование проводили перед оперативным лечением и через 9–10 суток после вмешательства, когда пациенты могли свободно самостоятельно стоять и ходить. Обследование осуществляли на программно-аппаратном комплексе МБН «Биомеханика» (ООО НМФ «МБН», Россия) по стандартной методике с открытыми (ОГ) и закрытыми глазами (ЗГ) обследуемого, графическим отражением колебаний которого являлась статокинезиограмма. Определяли параметры: координаты X (мм) и Y (мм) смещения центра давления (ЦД) тела, площадь статокинезиограммы S (мм²), длину траектории, пройденную ЦД (L , мм), отношение длины статокинезиограммы к ее площади LFS (мм⁻¹), амплитуду колебаний центра давления A (мм). Рассчитывали величину угла преимущественного направления колебаний относительно сагиттальной плоскости AI (град) и его изменение ΔAI (град) после операции (рис. 1).

Для контроля определяли значения параметров стабилотрии в норме у 18 здоровых детей того же возраста без патологии опорно-двигательной системы и соматических нарушений.

Статистическую обработку данных производили с использованием программы SPSS Statistics 22 и Statgraphics Centurion 16.2. Использовали критерии Манна – Уитни, Вилкоксона, применяли корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена r_s . Пороговый уровень статистической значимости принимали при значении критерия $p < 0,05$.

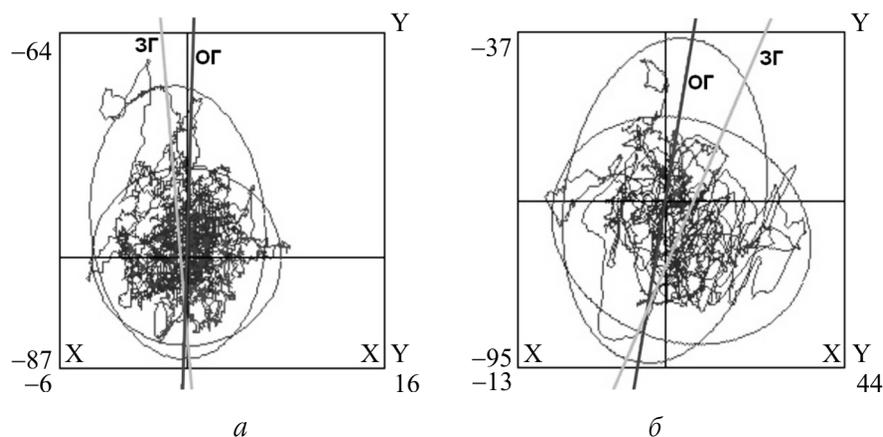


Рис. 1. Величины угла преимущественного направления колебаний центра давления на статокинезиограммах: а – незначительные – у здорового ребенка; б – выраженные – у пациента с идиопатическим сколиозом. Величина A_l определяется углом между длинной осью эллипса и сагиттальной плоскостью. ОГ – тест с открытыми глазами, ЗГ – тест с закрытыми глазами

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед оперативным лечением у больных с идиопатическим сколиозом выявлены нарушения пострурального баланса, о чем свидетельствовали данные табл. 1.

Это проявлялось значимым и стойким латеральным отклонением ЦД (ось X), независимо от участия в тестах зрительного анализатора. В сагиттальной плоскости (ось Y) выявлено значимое смещение ЦД вперед только при открытых глазах, в то время как при закрытых глазах медианные значения параметра Y не имели значимых отличий от нормы. Кроме того, только при открытых глазах выявлены значимые отклонения от нормы в показателях амплитуды колебаний центра давления A. Одновременно с этим необходимо отметить, что у пациентов не было выявлено значимых отличий средних значений длины L и площади S от нормальных величин.

После выполнения оперативного вмешательства, несмотря на выраженную коррекцию деформации позвоночника во фронтальной и сагиттальной плоскостях, у пациентов наметилась тенденция к нарастанию бокового отклонения ЦД по оси X. При этом в сагиттальной плоскости произошло значимое смещение ЦД назад по оси Y при закрытых глазах. Показатели средних значений длины L и площади S статокинезиограмм резко увеличились, что свидетельствует о понижении стабильности вертикального баланса. Показатели амплитуды колебаний центра давления A увеличились и значимо превысили показатели здоровых детей.

Проведенный корреляционный анализ позволил изучить зависимость параметра LFS статокинезиограмм здоровых детей и больных с идиопатическим сколиозом от амплитуды колебаний A центра давления (табл. 2).

Таблица 1

Показатели статокнезиограмм здоровых детей и пациентов с идиопатическим сколиозом

Параметр		Группа обследованных				Критерий Манна – Уитни
		здоровые (1) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$	со сколиозом			
			до операции (2) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$	p	после операции (3) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$	
X, мм	ОГ	0,6 [0,3–1,1]	5,6 [3,5–7,3]	0,122	8,0 [5,0–12,1]	$p^{1-2} < 0,001$; $p^{1-3} < 0,001$
	ЗГ	1,1 [0,7–1,5]	4,9 [3,4–6,9]	0,537	5,9 [3,7–13,1]	$p^{1-2} < 0,001$; $p^{1-3} < 0,001$
Y, мм	ОГ	3,3 [2,0–5,6]	8,7 [0,8–15,6]	0,078	-1,6 [-5,9–9,7]	$p^{1-2} = 0,051$; $p^{1-3} = 0,311$
	ЗГ	6,2 [3,1–8,5]	7,2 [3,3–15,5]	0,043	3,2 [-9,0–14,4]	$p^{1-2} = 0,429$; $p^{1-3} = 0,467$
L, мм	ОГ	629 [532–700]	644 [581–760]	0,003	832 [720–1013]	$p^{1-2} = 0,117$; $p^{1-3} < 0,001$
	ЗГ	723 [649–911]	808 [651–1007]	0,002	1148 [1016–1309]	$p^{1-2} = 0,268$; $p^{1-3} < 0,001$
S, мм ²	ОГ	372 [251–447]	548 [334–808]	0,658	535 [438–1088]	$p^{1-2} = 0,076$; $p^{1-3} = 0,004$
	ЗГ	523 [344–803]	618 [379–785]	0,002	821 [617–1192]	$p^{1-2} = 0,527$; $p^{1-3} = 0,012$
A, мм	ОГ	2,6 [2,1–2,8]	2,4 [1,3–3,2]	0,486	3,7 [2,4–4,7]	$p^{1-2} = 0,051$; $p^{1-3} = 0,013$
	ЗГ	3,0 [2,0–3,7]	3,2 [2,5–4,1]	0,051	4,4 [3,0–6,0]	$p^{1-2} = 0,169$; $p^{1-3} = 0,003$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе пациентов до и после оперативного вмешательства (критерий Уилкоксона); $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами детей (критерий Манна – Уитни); ОГ – тест с открытыми глазами, ЗГ – тест с закрытыми глазами.

Таблица 2

Мультипликативная корреляционная связь между параметрами статокнезиограмм LFS и A у здоровых детей и пациентов с идиопатическим сколиозом

Тест	Группа обследованных (коэффициент корреляции r_s зависимости $LFS \sim A$)		
	здоровые, $n = 18$	с идиопатическим сколиозом	
		до операции, $n = 18$	после операции, $n = 18$
ОГ	-0,35 ($p = 0,154$)	-0,83 ($p = 0,000$)	-0,88 ($p = 0,000$)
ЗГ	-0,63 ($p = 0,028$)	-0,83 ($p = 0,000$)	-0,91 ($p = 0,000$)

Примечание: ОГ – тест с открытыми глазами, ЗГ – тест с закрытыми глазами.

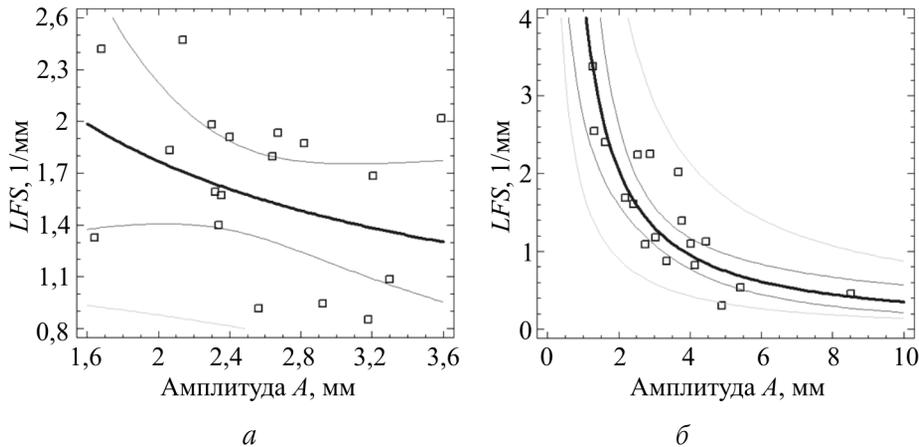


Рис. 2. Линия регрессии (жирная) и ее доверительный интервал (тонкие линии) для зависимости параметра LFS статокинезиограмм от амплитуды колебаний A в тесте с открытыми глазами: а – у здоровых детей; б – у пациентов с идиопатическим сколиозом

Корреляционный анализ выявил, что в обеих группах детей между параметрами LFS и A существует мультипликативная отрицательная связь, которая у здоровых при открытых глазах была незначимая слабая, а при закрытых – значимая средняя. У больных с идиопатическим сколиозом перед операцией связь между указанными параметрами была сильная, независимо от участия в тестах зрительного анализатора (рис. 2).

После операции у пациентов отрицательная корреляция между параметрами LFS и A еще больше усилилась, приняв наиболее выраженные значения при закрытых глазах.

Величина угла направления колебаний центра давления AI до операции была значимо увеличена по модулю у больных идиопатическим сколиозом по сравнению с данными группы здоровых детей (табл. 3).

Кроме того, в отличие от здоровых детей, у пациентов с идиопатическим сколиозом происходило выраженное значимое увеличение угла AI при переходе от тестов с открытыми глазами к тестам – с закрытыми. Несмотря на то что после операции у пациентов со ско-

лиозом медианные величины угла направления колебаний AI значимо не изменились, однако произошло резкое увеличение различий в показателях угловых величин ΔAI при открытых и закрытых глазах (рис. 3).

В настоящем исследовании методом описательной статистики показано снижение поструральной стабильности у больных идиопатическим сколиозом по ограниченному набору параметров, что проявлялось выраженными отклонениями от показателей нормы следующих значений: увеличенным смещением центра давления X и Y во фронтальной и сагиттальной плоскостях, повышенными значениями амплитуды колебаний A и угла направления колебаний AI . Предполагается, что у пациентов с идиопатическим сколиозом поструральная система вырабатывает механизмы компенсации или адаптации к измененной морфологии тела [9]. После хирургической коррекции деформации позвоночника у пациентов произошло нарастание дисбаланса вертикальной стойки, о чем свидетельствует увеличение отклонений в параметрах X , Y , A и AI , а также выраженное патологическое нарастание показа-

телей длины L и площади S статокинезиограмм. Такое ухудшение пострального баланса характерно для больных идиопатическим сколиозом и может сохраняться до трех месяцев после операции [10]. Это может быть обусловлено компенсаторными изменениями и

дисбалансом в кинематических цепях опорно-двигательной системы сразу после оперативного вмешательства с последующей трансформацией механизмов поддержания баланса позвоночного столба на фоне снижения его мобильности в результате спондилондеза.

Таблица 3

Показатели величины угла преимущественного направления колебаний ЦД статокинезиограмм здоровых детей и пациентов с идиопатическим сколиозом

Параметры		Группа обследованных			Критерий Манна – Уитни	
		здоровые (1) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$	со сколиозом			
			до операции (2) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$	p		после операции (3) $Me [Q_1-Q_2]$, $n = 18$
A , град	ОГ	1,4 [0,6–2,0]	3,0 [1,7–4,1]	0,658	3,6 [1,4–5,3]	$p^{1-2} = 0,001$; $p^{1-3} = 0,002$
	ЗЗГ	0,994	0,009		0,010	$p^{ог-зг}$
ΔA , град	ОГ	1,2 [0,7–2,0]	5,3 [3,3–11,4]	0,669	7,2 [4,5–11,5]	$p^{1-2} < 0,0001$; $p^{1-3} < 0,0001$
	ЗЗГ	0,8 [0,4–1,3]	2,8 [2,0–6,2]	0,007	6,8 [3,7–11,3]	$p^{1-2} < 0,0001$; $p^{1-3} < 0,0001$

Примечание: p – уровень значимости различий в связанных выборках (критерий Уилкоксона); $p^{1-2,1-3}$ – уровень значимости различий между группами (критерий Манна – Уитни); символом | обозначен модуль показателей; ОГ – тест с открытыми глазами, ЗЗГ – тест с закрытыми глазами.

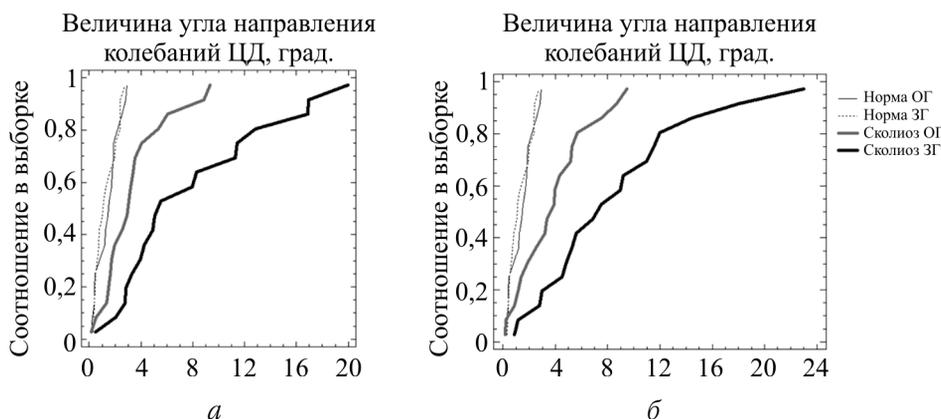


Рис. 3. Графическое отображение величины угла преимущественного направления колебаний A центра давления на статокинезиограммах здоровых детей и пациентов с идиопатическим сколиозом: а – до; б – после коррекции деформации позвоночника. ОГ – тест с открытыми глазами, ЗЗГ – тест с закрытыми глазами

Применение для оценки постурального контроля корреляционно-регрессионного анализа выявило у пациентов с идиопатическим сколиозом сильную корреляционную связь между параметрами L , S и A , значимо превышающую таковую у здоровых детей и наиболее сильно выраженную после оперативной коррекции деформации позвоночника. Указанный факт свидетельствует о более высокой упорядоченности траектории ЦД и, следовательно, повышенной синхронизированности системы управления вертикальным балансом у больных со сколиотической деформацией позвоночника по сравнению со здоровыми детьми. Такую повышенную синхронизированность системы постурального контроля считают патологической и расценивают как динамический показатель ее дефицита [11]. Подобная патологически высокая упорядоченность траектории ЦД выявлена у детей с поражением головного [12] и спинного мозга [13]. Однако в настоящем исследовании у пациентов со сколиотической деформацией позвоночника ни до, ни после операции не были выявлены клинические признаки поражения ЦНС, отсутствовали какие-либо компрессионно-ишемические блоки проведения нервных импульсов в спинном мозге. Возможно, поэтому дефицит постурального баланса тела у пациентов с идиопатическим сколиозом может быть обусловлен не нарушениями статических проприоцептивных путей, а более серьезными нарушениями динамической проприоцептивной системы, вызванными незрелостью механизмов локомоторной регуляции в теменной коре головного мозга [14]. Такая дефектная кортикальная интеграция проприоцептивной афферентации отрицательно влияет на сенсомоторный контроль, что приводит к плохо адаптированной двигательной реакции по обеспечению постуральной ста-

бильности у больных идиопатическим сколиозом [15]. После хирургической коррекции сколиотических дуг позвоночника и увеличения его длины в целом спинной мозг оказывается в новых анатомических условиях, поэтому не исключены сопутствующие изменения в проводимости афферентно-эфферентных импульсов, которые способны оказать дополнительное влияние на кортикоспинальный механизм реализации вертикального баланса. В настоящем исследовании это проявлялось дальнейшим усилением корреляционных связей между стабилметрическими параметрами в ближайшем послеоперационном периоде, свидетельствующим о патологической гиперсинхронизированности системы управления вертикальным балансом.

У здоровых детей значения угла направленности колебаний A_I центра давления оказались одинаковыми, независимо от участия в акте стояния зрительного анализатора. Это указывает на то, что в норме зрительная и проприоцептивная системы вносят сопоставимый вклад в обеспечение вертикального баланса. Однако у больных идиопатическим сколиозом, в отличие от здоровых детей, при переходе от открытых глаз к закрытым резко увеличивались значения угла направленности колебаний A_I центра давления. Это означает, что у пациентов при выключении зрительной афферентации проприоцептивная система работает в меньшей степени, чем это требуется в норме, и не обеспечивает стабильную устойчивость тела. После хирургической коррекции деформации позвоночника у больных наблюдалось нарастание величин углов A_I при закрытых глазах по сравнению с открытыми, так как механизм поддержания вертикального баланса в еще меньшей степени обеспечивал коррекцию позы тела ребенка в пространственных плоскостях. Такая двигательная страте-

гия, не обеспечивающая равнозначности углов направленности колебаний A центра давления, является проявлением дестабилизации системы постурального контроля [16]. Выявленная в настоящем исследовании у пациентов с идиопатическим сколиозом программа обеспечения стабильности вертикального баланса, лишенная равноправной регуляции со стороны визуальной и проприоцептивной систем, соответствует концепции о роли нарушения сенсомоторной интеграции в развитии дисбаланса тела у больных идиопатическим сколиозом [17] и провоцировании прогрессирования тяжелой сколиотической деформации позвоночного столба [18]. Дисфункция сенсомоторной интеграции свидетельствует о нерациональном с точки зрения биомеханики механизме баланса тела в основной стойке и предполагает формирование у пациентов с идиопатическим сколиозом неоптимального двигательного стереотипа.

Таким образом, имеет большое значение понимание механизмов нарушения сенсомоторной интеграции у детей с идиопатическим сколиозом для выяснения закономерностей развития дисфункций со стороны всей опорно-двигательной системы. Полученные данные могут способствовать разработке новых методов воздействия на кинематику позвоночника для совершенствования методологии комплексного консервативного лечения детей с идиопатическим сколиозом на начальных стадиях формирования деформации позвоночника и реабилитационных мероприятий после проведения хирургического лечения.

Выводы

1. У детей с идиопатическим сколиозом тяжелой степени выявлена дисфункция системы постурального контроля, о чем свиде-

тельствуют дисбаланс вертикальной стойки, выраженные отклонения от показателей нормы статокINETических характеристик, патологическое повышение синхронизованности системы управления вертикальным балансом.

2. В ближайшем послеоперационном периоде после коррекции деформации позвоночника, несмотря на отсутствие неврологических осложнений и восстановленные профили позвоночного столба, на основании данных лучевых исследований выявлено, что у пациентов усугубляются нарушения системы постурального контроля.

3. У пациентов с идиопатическим сколиозом сформирован неоптимальный двигательный стереотип, предположительно вследствие дисфункции сенсомоторной интеграции.

Библиографический список

1. Domenech J., Garcia-Marti G., Marti-Bonmati L., Barrios C., Tormos J.M., Pascual-Leone A. Abnormal activation of the motor cortical network in idiopathic scoliosis demonstrated by functional MRI. *Eur Spine J* 2011; 20 (7): 1069–1078.
2. Sim T., Yoo H., Lee D., Sub S.W., Yang J.H., Kim H., Mun J.H. Analysis of sensory system aspects of postural stability during quiet standing in adolescent idiopathic scoliosis patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2018; 15: 4.
3. Kbanal M., Arazpour M., Babramizadeh M., Samadian M., Hutchins S.W., Kasbani R.V., Mardani M.A., Tari H.V., Aboutorabi A., Curran S., Sadeghi H. The influence of thermoplastic thoraco lumbo sacral orthoses on standing balance in subjects with idiopathic scoliosis. *Prosthet Orthot Int* 2016; 40 (4): 460–466.

4. *Pau M., Leban B., Pilloni G., Porta M., Cubeddu F., Secci C., Piras V., Monticone M.* Trunk rotation alters postural sway but not gait in female children and early adolescents: Results from a school-based screening for scoliosis. *Gait Posture* 2018; 61: 301–305.
5. *Karimi M.T., Kavayani M., Kamali M.* Balance and gait performance of scoliotic subjects: A review of the literature. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2016; 29 (3): 403–415.
6. *Dufvenberg M., Adeyemi F., Rajendran I., Öberg B., Abbott A.* Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis. *Scoliosis and Spinal Disorders* 2018; 13: 19.
7. *Schimmel J.J.P., Groen B.E., Weerdesteyn V., de Klewer M.* Adolescent idiopathic scoliosis and spinal fusion do not substantially impact on postural balance. *Scoliosis* 2015; 10: 18.
8. *Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н.* Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke I с применением тотальной транспедикулярной фиксации. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2014; 2 (2): 3–8.
9. *Wiernicka M., Kotwicki T., Kamińska E., Łochyński D., Kozinoga M., Lewandowski J., Kocur P.* Postural stability in adolescent girls with progressive idiopathic scoliosis. *BioMed Research International* 2019; 7103546: 5.
10. *De Abreu D.C., Gomes M.M., de Santiago H.A., Herrero C.F., Porto M.A., Defino H.L.* What is the influence of surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis on postural control? *Gait Posture* 2012; 36: 586–590.
11. *Donker S.F., Ledebt A., Roerdink M.* Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res* 2008; 184: 363–370.
12. *Никитюк И.Е., Икочева Г.А., Кивоечко О.И.* Система управления вертикальным балансом у детей с церебральным параличом более синхронизирована по сравнению со здоровыми детьми. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2017; 5 (3): 49–57.
13. *Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Виссарионов С.В.* Постуральный дефицит у детей со стенозом позвоночного канала. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2018; 6 (4): 13–19.
14. *Assaiante C., Mallau S., Jouve J.L., Bollini G., Vaugoyeau M.* Do adolescent idiopathic scoliosis (AIS) neglect proprioceptive information in sensory integration of postural control? *PLoS One* 2012; 7 (7): e40646.
15. *Berre M.L., Guyot M.A., Agnani O., Bourdeauducq I., Versyp M.C., Donze C., Thévenon A., Catanzariti J.F.* Clinical balance tests, proprioceptive system and adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2017; 26 (6): 1638–1644.
16. *Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Гартавенко Ю.Е.* Особенности нарушения баланса тела у детей с односторонним укорочением нижней конечности. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста* 2019; 7 (3): 45–54.
17. *Chang Y.T., Meng L.F., Chang C.J., Lai P.L., Lung C.W., Chern J.S.* Effect of postural control demands on early visual evoked potentials during a subjective visual vertical perception task in adolescents with idiopathic scoliosis. *Front Hum Neurosci* 2017; 11: 326.

18. Pialasse J.P., Descarreaux M., Mercier P., Blouin J., Simoneau M. The vestibular-evoked postural response of adolescents with idiopathic scoliosis is altered. *PLoS One* 2015; 10 (11): e0143124.

REFERENCES

1. Domenech J., Garcia-Marti G., Marti-Bonmati L., Barrios C., Tormos J.M., Pascual-Leone A. Abnormal activation of the motor cortical network in idiopathic scoliosis demonstrated by functional MRI. *Eur Spine J* 2011; 20 (7): 1069–1078.

2. Sim T., Yoo H., Lee D., Sub S.W., Yang J.H., Kim H., Mun J.H. Analysis of sensory system aspects of postural stability during quiet standing in adolescent idiopathic scoliosis patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2018; 15: 4.

3. Kbanal M., Arazpour M., Babramizadeh M., Samadian M., Hutchins S.W., Kashani R.V., Mardani M.A., Tari H.V., Aboutorabi A., Curran S., Sadeghi H. The influence of thermoplastic thoraco lumbo sacral orthoses on standing balance in subjects with idiopathic scoliosis. *Prosthet Orthot Int* 2016; 40 (4): 460–466.

4. Pau M., Leban B., Pilloni G., Porta M., Cubeddu F., Secci C., Piras V., Monticone M. Trunk rotation alters postural sway but not gait in female children and early adolescents: Results from a school-based screening for scoliosis. *Gait Posture* 2018; 61: 301–305.

5. Karimi M.T., Kavyani M., Kamali M. Balance and gait performance of scoliotic subjects: A review of the literature. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2016; 29 (3): 403–415.

6. Dufvenberg M., Adeyemi F., Rajendran I., Öberg B., Abbott A. Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature

review and meta-analysis. *Scoliosis and Spinal Disorders* 2018; 13: 19.

7. Schimmel J.J.P., Groen B.E., Weerdesteyn V., de Kleuver M. Adolescent idiopathic scoliosis and spinal fusion do not substantially impact on postural balance. *Scoliosis* 2015; 10: 18.

8. Vissarionov S.V., Kokushin D.N., Belyanchikov S.M., Murashko V.V., Kartavenko K.A., Nadirov N.N. Surgical treatment of children with idiopathic scoliosis of Lenke type I with the use of total transpedicular fixation. *Ortopediya, traumatologiya i vosstanovitel'naja hirurgiya detskogo vozrasta* 2014; 2 (2): 3–8 (in Russian).

9. Wiernicka M., Kotwicki T., Kamińska E., Łochyński D., Kozinoga M., Lewandowski J., Kocur P. Postural stability in adolescent girls with progressive idiopathic scoliosis. *BioMed Research International* 2019; 7103546: 5 pages.

10. de Abreu D.C., Gomes M.M., de Santiago H.A., Herrero C.F., Porto M.A., Defino H.L. What is the influence of surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis on postural control? *Gait Posture* 2012; 36: 586–590.

11. Donker S.F., Ledebt A., Roerdink M. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res* 2008; 184: 363–370.

12. Nikityuk I.E., Ikoeva G.A., Kivoenko O.I. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Ortopediya, traumatologiya i vosstanovitel'naja hirurgiya detskogo vozrasta* 2017; 5 (3): 49–57 (in Russian).

13. Nikityuk I.E., Kononova E.L., Vissarionov S.V. Postural deficiency in children with spinal stenosis. *Ortopediya, traumatologiya i vosstanovitel'naja hirurgiya detskogo vozrasta* 2018; 6 (4): 13–19 (in Russian).

14. Assaiante C., Mallau S., Jouve J.L., Bollini G., Vaugoyeau M. Do adolescent idiopathic scoliosis (AIS) neglect proprioceptive information in sensory integration of postural control? *PLoS One* 2012; 7 (7): e40646.
15. Berre M.L., Guyot M.A., Agnani O., Bourdeauducq I., Versyp M.C., Donze C., Thévenon A., Catanzariti J.F. Clinical balance tests, proprioceptive system and adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2017; 26 (6): 1638–1644.
16. Nikityuk I.E., Kononova E.L., Garkavenko Yu.E. Characteristics of body balance disorder in children with unilateral lower limb shortening. *Ortopediya, travmatologija i vosstanovitel'naja hirurgija detskogo vozrasta* 2019; 7 (3): 45–54 (in Russian).
17. Chang Y.T., Meng L.F., Chang C.J., Lai P.L., Lung C.W., Chern J.S. Effect of postural control demands on early visual evoked potentials during a subjective visual vertical perception task in adolescents with idiopathic scoliosis. *Front Hum Neurosci* 2017; 11: 326.
18. Pialasse J.P., Descarreaux M., Mercier P., Blouin J., Simoneau M. The vestibular-evoked postural response of adolescents with idiopathic scoliosis is altered. *PLoS One* 2015; 10 (11): e0143124.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Материал поступил в редакцию 31.03.2021