

Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 6. С. 758-766.

Genij Ortopedii. 2021. Vol. 27, no. 6. P. 758-766.

Научная статья

УДК 616.711-007.55:617.586-072]-053.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-6-758-766>

Особенности опорной функции стоп у детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза до и после хирургического лечения

Игорь Евгеньевич Никитюк^{1✉}, Сергей Валентинович Виссарионов²

^{1,2}Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

¹femtotech@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5546-2729>

²turner01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

Аннотация

Актуальность. При идиопатическом сколиозе у детей наступают изменения со стороны всей опорно-двигательной системы, в том числе в стопах. С учетом этого имеет большое значение изучение взаимосвязи между деформацией позвоночника и нарушением биомеханики стоп. **Цель.** Исследование плантографических характеристик стоп у детей с тяжелыми степенями идиопатического сколиоза до и после хирургической коррекции деформации позвоночника с применением транспедикулярных спинальных систем. **Материалы и методы.** Изучены индексы опоры стоп у 18 детей 14–17 лет с идиопатическим сколиозом III–IV степени с локализацией основной дуги по Lenke I, III, V и VI. Результаты сравнивали с плантографическим обследованием 18 здоровых детей. **Результаты.** Перед операцией на позвоночнике у пациентов с идиопатическим сколиозом только медиальный индекс опоры *m* при двуопорной нагрузке оказался в пределах нормальной величины. Остальные индексы оказались значимо снижены, независимо от степени нагрузки на стопу. В тестах с двуопорной нагрузкой выявлена патологически сильная корреляция между медиальным и срединным индексами опоры *m* ~ *s*. При этом рессорная функция сводов стоп нарушена не была. Фронтальный баланс позвоночника коррелировал с показателями индексов опоры. Через 9–10 дней после операции у больных, несмотря на отсутствие ригидности стоп, выявлено нарастание асимметрии показателей сводчатого аппарата контралатеральных стоп и аномальное усиление взаимосвязей между всеми индексами опоры *m*, *s* и *t*. При этом исчезла корреляционная связь фронтального баланса позвоночника с плантографическими характеристиками. **Заключение.** У детей с идиопатическим сколиозом тяжелых степеней нарушена биомеханика стоп, что проявляется уменьшением площади контакта стоп с поверхностью опоры и патологическим усилением функциональной взаимосвязи в их сводчатом аппарате. После коррекции деформации позвоночника у пациентов нарушения биомеханики стоп усугубляются в ближайшем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, дети, опорная поверхность стопы, плантография, индексы опоры

Для цитирования: Никитюк И.Е., Виссарионов С.В. Особенности опорной функции стоп у детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза до и после хирургического лечения // Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 6. С. 758-766. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-6-758-766>.

Original article

Supporting function of the feet in children with severe forms of idiopathic scoliosis before and after surgical treatment

Igor E. Nikityuk^{1✉} Sergei V. Vissarionov²

^{1,2}H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation

¹femtotech@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5546-2729>

²turner01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

Abstract

Background Idiopathic scoliosis in children can cause noticeable changes in the musculoskeletal system including the feet and the relationship between spinal deformity and impaired biomechanics of the feet is important to learn in the case. **The purpose** was to explore plantographic characteristics of feet in children with severe idiopathic scoliosis before and after surgical correction of the curve using transpedicular spinal systems. **Material and methods** Foot support indices were measured in 18 children aged 14–17 years with grades III and IV idiopathic scoliosis Lenke types I, III, V and VI. The results were compared with plantographic findings of 18 healthy children. **Results** The medial index *m* was within normal limits with a double-support load in patients with idiopathic scoliosis before spinal surgery. The rest of the indices were significantly reduced irrespective of the extent of the foot load. Double-support load tests showed a pathologically strong correlation between the medial and median support indices *m* ~ *s*. The spring function of the foot arches was intact. The frontal balance of the spine correlated with the foot support indices. Patients developed no foot rigidity at 9–10 days of surgery and showed an increased asymmetry in the arches of the contralateral feet and an abnormal increase in the relationship between the foot support indices *m*, *s* and *t* with no correlation between the frontal balance of the spine and the plantographic characteristics. **Conclusion** Children with severe idiopathic scoliosis were shown to develop impaired biomechanics of the feet with decreased contact area between the feet and the support surface, and a pathological increase in the functional relationship of the arches. Impaired biomechanics of the feet appeared to aggravate at a short term following correction of spinal deformity.

Keywords: idiopathic scoliosis, children, the support surface of the foot, plantography, support indexes

For citation: Nikityuk I.E., Vissarionov S.V. Supporting function of the feet in children with severe forms of idiopathic scoliosis before and after surgical treatment. *Genij Ortopedii*, 2021, vol. 27, no 6, pp. 758-766. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-6-758-766>.

ВВЕДЕНИЕ

Сколиоз является наиболее распространенным вариантом деформации позвоночника в детском возрасте [1]. Несмотря на значительные усилия по выявлению и пониманию этиопатогенеза идиопатического сколиоза, не удается достичь существенного прогресса в понимании причин, приводящих к возникновению

искривления позвоночного столба при данной патологии. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что идиопатический сколиоз – это полиэтиологическое заболевание, причинами которого рассматриваются генетические факторы, неврологические дисфункции, гормональные и метаболические нарушения, аномалии

роста скелета, а также биохимические факторы. В последнее время высказываются предположения о нарушениях моторно-сенсорной интеграции в обеспечении функции опорно-двигательной системы как о возможной причине сколиоза [2]. Для оценки сенсорных нарушений у больных с идиопатическим сколиозом применяют биомеханические методы исследования [3]. С учетом того, что при идиопатическом сколиозе у детей наступают изменения со стороны всей опорно-двигательной системы, в том числе и стопах, большой объём информации дает изучение биомеханики стоп [4]. Нарушение опорной функции стоп у детей с идиопатическим сколиозом провоцирует дальнейшее прогрессирование деформации позвоночника [5], а также способствует развитию болевого синдрома в спине, приводящее в последующем к неврологическим нарушениям [6]. В настоящее время исследователи пытаются оценить клиническое значение взаимосвязи между деформацией позвоночника и нарушением

распределения давления на подошвенной поверхности стоп. В этом ключе при изучении кинематической цепи "позвоночник – стопы" клинический и научный интерес фокусируется по двум основным направлениям: изучение "нисходящего" влияния сколиотической деформации позвоночника на особенности распределения подошвенного давления [7, 8] и исследование возможности "восходящего" влияния на сколиотические дуги искривления путем коррекции биомеханического статуса стоп [9, 10]. Таким образом, оценка подошвенного давления широко используется не только в диагностике опорной функции стоп у детей, но также дает дополнительное представление о различных заболеваниях опорно-двигательной системы, в частности, позвоночного столба.

Целью настоящей работы явилось изучение плантографических характеристик стоп у детей с тяжелыми степенями идиопатического сколиоза до и после хирургической коррекции деформации позвоночника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен проспективный когортный анализ типа "случай-контроль" результатов плантографического исследования пациентов с идиопатическим сколиозом за период 2019–2020 годы.

Критериями включения явились клинически установленный диагноз "идиопатический сколиоз III или IV степени" (по В.Д. Чаклину); возраст пациентов от 14 до 17 лет; величина угла основной дуги искривления по Cobb от 40 до 136°.

Критериями исключения явились возраст пациентов младше 14 лет; величина угла основной дуги искривления по Cobb менее 40°; ранее перенесенные операции на позвоночнике; наличие двигательных и чувствительных расстройств, а также сегментарных нарушений спинного мозга.

В группу исследования вошли 18 пациентов (2 мальчика и 16 девочек). Для определения типа деформации и мобильности сколиотической дуги искривления проводили рентгенологическое исследование позвоночника. Для исключения интраканальной патологии и определения состояния спинного мозга и его элементов использовали метод магнитно-резонансной томографии. У 13 (72,2 %) детей направление искривления сколиотической дуги было правосторонним, у 5 (27,8 %) – левосторонним. В соответствии с классификацией Lenke локализация сколиоза была следующей: грудная (Lenke I) – 10 пациентов, грудно-поясничная – 4 (Lenke III), поясничная – 3 (Lenke V). У одного пациента был S-образный сколиоз (Lenke VI). Перед операцией среднее значение угла основной дуги искривления составляло $73,2 \pm 5,68^\circ$ по Cobb, среднее значение угла грудного кифоза было равно $26,6 \pm 4,22^\circ$.

Для определения баланса позвоночника на рентгенограммах проводили вертикальную линию – линию отвеса (C7PL), начинающуюся от середины тела позвонка C7. На рентгенограммах в боковой проекции она соответствует сагиттальной вертикальной оси (SVA). Измеряли расстояние от SVA до суставных отростков S1 (SVA-S1), которое в норме не должно превышать 40 мм [11]. При смещении SVA кпереди сагиттальный баланс считали положительным, кзади – отрицательным. На рентгенограммах в прямой проекции измеряли расстояние от C7PL до центральной крестцовой верти-

кальной линии – CSVL (C7PL-CSVL), которое в норме не должно превышать 20 мм [12]. Если C7PL проходила справа от CSVL, фронтальный (корональный) баланс считали положительным, слева – отрицательным.

Хирургическую коррекцию деформации позвоночника осуществляли по отработанной методике с применением транспедикулярных спинальных систем и стабилизацией достигнутого результата задним костным спондилодезом вдоль металлоконструкции [13], что позволило достичь значительной коррекции основной дуги искривления.

Биомеханическое исследование проводили до оперативного лечения и через 9–10 суток после вмешательства, когда пациенты могли свободно самостоятельно стоять. Исследование опорной функции стоп осуществляли с использованием метода компьютерной плантографии. Использовали программно-аппаратный комплекс диагностики «ПодоСкан» (НМФ «МБН», Россия), позволяющий получать изображения подошвенной поверхности стоп (плантограммы) и оценивать распределение подошвенного давления. Плантограммы регистрировали с различной весовой нагрузкой на стопы. При двуопорной плантографии вес тела ребенка приходился на обе нижние конечности в положении стоя с опорой на обе конечности. При одноопорной плантографии ребенок попеременно переносил вес своего тела на одну из конечностей в положении стоя на одной ноге (рис. 1). В группу контроля вошли 18 здоровых детей в возрасте от 14 до 17 лет.

На основании полученных изображений подошвенной поверхности стоп по отработанной методике проводили идентификационные линии, из которых линия BC соответствует поперечному своду стопы, линии OG, OP и OH соответствуют медиальному, срединному и латеральному продольным сводам [14]. В местах пересечения линий с контурами области контакта стопы с поверхностью опоры расставляли реперные точки. Последующее измерение расстояния между реперными точками позволило рассчитать индексы опоры: $t = KE/BC$, $m = GS/GO$, $s = PW/PO$ и $l = MN/HO$. Индекс t (передний индекс опоры) демонстрирует состояние поперечного свода стопы. Индексы m , s и l (медиальный, срединный и латеральный) свидетельствуют о функциональности соответствующих продольных сводов.

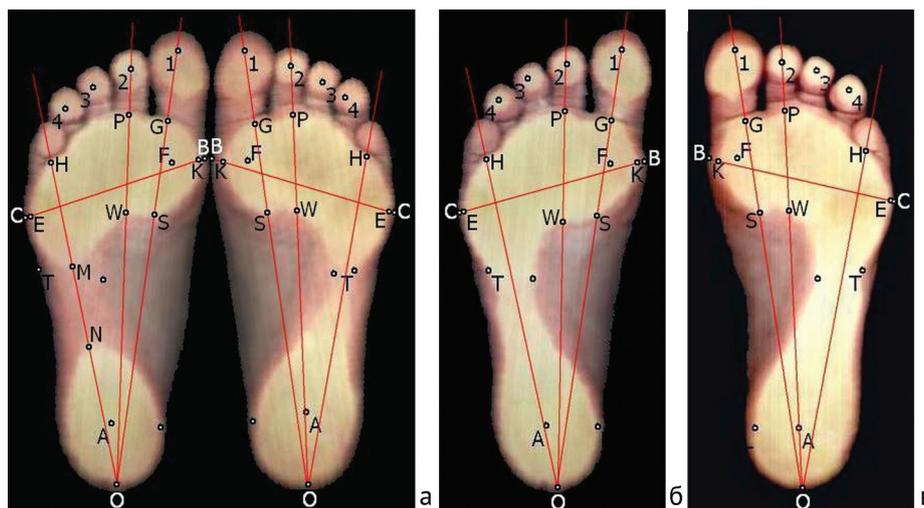


Рис. 1. Плантограммы здорового ребенка: а – при двуопорной плантографии; б – при одноопорной плантографии с опорой на левую стопу; в – при одноопорной плантографии с опорой на правую стопу. Проведены идентификационные линии и расставлены реперные точки

При статистической обработке данных использовали компьютерные программы SPSS 11.5 и Statgraphics Centurion 16.2. Для проверки вида распределения изучаемых показателей применяли тест Колмогорова-Смирнова и критерий Шапиро-Уилка. С учетом того, что в сравниваемых группах характер распределения показателей плантографии был определен как непараметрический, для сравнения значений несвязанных выборок использовали критерий Манна-Уитни, для сравнения связанных выборок применяли критерий Уилкоксона. Результаты представляли в виде медианы (Me) с интерквартильным размахом $[Q_1-Q_2]$ в стандартных пределах 25–75 %. Для сравнения дисперсий двух выборок использовали F-критерий Фишера (ANOVA).

Для исследования взаимосвязи двух признаков применяли корреляционный анализ с использованием непараметрического коэффициента Спирмена rs. Пороговый уровень статистической значимости принимали при значении критерия $p < 0,05$.

Соответствие принципам этики. Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013). Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом центра. До включения в исследование у родителей всех участников было получено письменное информированное согласие.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ни у одного пациента после проведенного оперативного лечения не наблюдалось неврологических осложнений, дестабилизации металлоконструкции. После хирургической коррекции деформации позвоночника среднее значение угла основной дуги уменьшилось до $11,6 \pm 2,51^\circ$ (средняя величина коррекции – 84,3 %) (рис. 2). Среднее значение угла грудного кифоза достигало $11,6 \pm 2,51^\circ$. Рост больных в среднем увеличился на $9,6 \pm 0,35$ см (среднее относительное увеличение роста – 5,8 %). При анализе возможной связи величины деформации позвоночника

по Cobb с показателями индексов опоры стоп у пациентов с идиопатическим сколиозом не было выявлено значимых корреляций ни до, ни после оперативных вмешательств.

Анализ плантографических индексов у здоровых детей (табл. 1) выявил, что при двукратном увеличении нагрузки на стопу значимо увеличиваются индексы опоры t , m и s на фоне снижения индекса l . Это указывает на то, что в норме мышечно-связочный аппарат стопы имеет хорошую эластичность, обеспечивающую ей адекватную рессорную функцию.

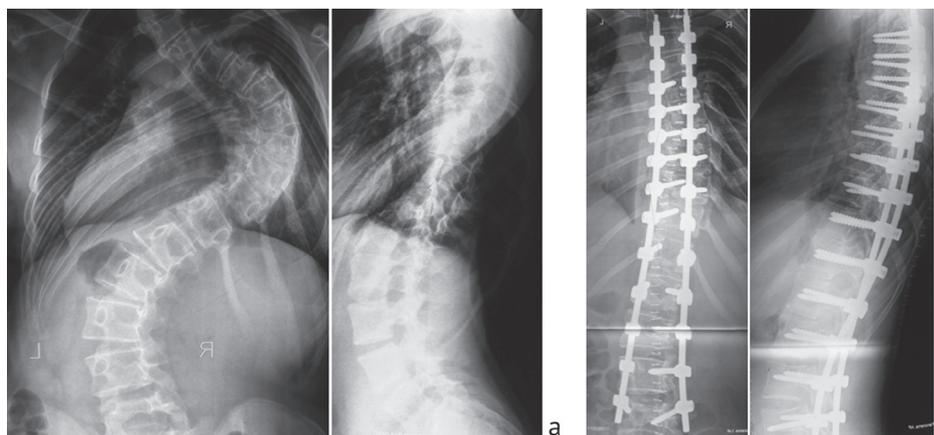


Рис. 2. Рентгенограммы позвоночника пациента К., 16 лет, с идиопатическим правосторонним сколиозом IV ст. грудной локализации, тип Lenke I: а – до операции (величина угла сколиотической деформации по Cobb – 120°); б – после хирургической коррекции деформации с применением транспедикулярной металлоконструкции (величина угла сколиотической деформации по Cobb – 18°)

Таблица 1

Абсолютные показатели плантографических индексов стоп здоровых детей и больных с идиопатическим сколиозом до и после оперативного вмешательства

Индексы ($\times 10^{-2}$)	Группы обследованных детей					Критерий Манна-Уитни	
	здоровые (1) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18	со сколиозом			после операции (3) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18		
		до операции (2) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18	p	p-value			
Двуопорная нагрузка	t	94,2 [92,2 - 96,4]	90,2 [85,7 - 91,9]	0,644	0,116	89,7 [86,8 - 91,9]	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} < 0,001$
	m	22,5 [20,6 - 24,0]	21,8 [20,4 - 23,2]	0,183	0,000	21,2 [19,4 - 22,3]	$p^{1-2} = 0,253$ $p^{1-3} = 0,019$
	s	23,6 [22,6 - 25,4]	22,9 [21,0 - 24,3]	0,195	0,193	22,2 [20,3 - 23,5]	$p^{1-2} = 0,05$ $p^{1-3} = 0,001$
	l	5,7 [0 - 20,8]	15,7 [0 - 44,1]	0,055	0,859	33,0 [16,0 - 49,8]	$p^{1-2} = 0,028$ $p^{1-3} < 0,001$
Одноопорная нагрузка	t	96,3 [95,0 - 97,7]	91,7 [88,4 - 94,3]	0,752	0,001	92,3 [89,7 - 94,0]	$p^{1-2} < 0,001$ $p^{1-3} < 0,001$
	m	25,0 [23,7 - 26,9]	22,7 [21,3 - 25,5]	0,844	0,079	22,8 [20,9 - 25,0]	$p^{1-2} = 0,001$ $p^{1-3} < 0,001$
	s	26,0 [24,3 - 27,9]	24,3 [23,1 - 26,8]	0,086	0,017	24,0 [22,2 - 25,6]	$p^{1-2} = 0,044$ $p^{1-3} < 0,001$
	l	0 [0 - 0]	0 [0 - 16,8]	0,637	0,113	0 [0 - 27,4]	$p^{1-2} = 0,015$ $p^{1-3} = 0,013$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе пациентов до и после оперативного вмешательства (критерий Уилкоксона); p-value – уровень значимости различий между стандартными отклонениями в группе пациентов до и после оперативного вмешательства (F-критерий Фишера); $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами; жирным шрифтом обозначены показатели одноопорной нагрузки, изменившиеся с достоверностью не менее $p < 0,05$ по сравнению с аналогичными показателями двуопорной нагрузки.

В ходе исследования установлено, что до операции у пациентов с идиопатическим сколиозом только медиальный индекс *m* при двуопорной нагрузке оказался в пределах значения нормальной величины. Остальные индексы оказались значимо снижены, независимо от степени нагрузки на стопу. Однако данный факт не свидетельствует в пользу ригидности стоп у больных сколиозом, так как у них при переходе от двуопорной нагрузки к одноопорной происходило значимое изменение всех индексов опоры с направленностью, характерной для здоровых детей. Величина таких относительных изменений индексов Δt , Δm , Δs и Δl у пациентов также была в пределах нормальных значений (табл. 2), что указывает на сохранность арками стопы рессорных свойств у больных с идиопатическим сколиозом.

После проведения хирургического вмешательства у пациентов с идиопатическим сколиозом усугублялись отклонения абсолютных показателей всех плантографических индексов от нормы. При этом медиальный индекс *m* оказался сниженным не только при одноопорной нагрузке, но и при двуопорной. Кроме того, произошло

резкое увеличение латерального индекса опоры *l* при двуопорной нагрузке, которое не является физиологическим и свидетельствует об избыточном увеличении высоты латерального продольного свода, так же как и медиального (рис. 3). Значимые различия между стандартными отклонениями у отдельных параметров плантографических индексов указывают на выраженное изменение послеоперационных показателей по сравнению с дооперационными, несмотря на стабильность медианных значений. При этом, согласно данным относительного изменения индексов опоры при смене нагрузки, показатели Δ у пациентов оказались в пределах нормальных значений. Это дополнительно свидетельствует о том, что у больных с идиопатическим сколиозом после операции, направленной на коррекцию деформации позвоночника, не произошло ухудшения рессорной функции стоп.

Оценку функциональной асимметрии контралатеральных стоп здоровых детей и больных с идиопатическим сколиозом проводили путем сравнения медианных и квартильных значений плантографических индексов, а также показателей дисперсии (табл. 3).

Таблица 2

Изменение показателей плантографических индексов стоп при переходе от двуопорной нагрузки к одноопорной у здоровых детей и у больных с идиопатическим сколиозом до и после оперативного вмешательства

Индексы ($\times 10^{-2}$)	Группы обследованных детей				Критерий Манна-Уитни
	здоровые (1) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18	со сколиозом		после операции (3) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18	
		до операции (2) Me [$Q_1 - Q_2$], n = 18	p		
Δt	2,1 [0 - 4,0]	3,2 [0,3 - 5,2]	0,897	2,4 [0,5 - 5,1]	$p^{1-2} = 0,303$ $p^{1-3} = 0,408$
Δm	2,6 [0,6 - 5,0]	1,9 [-0,2 - 3,0]	0,892	1,5 [0,5 - 3,0]	$p^{1-2} = 0,068$ $p^{1-3} = 0,122$
Δs	2,1 [0 - 4,5]	1,9 [0,9 - 3,2]	0,175	1,5 [0,6 - 2,4]	$p^{1-2} = 0,923$ $p^{1-3} = 0,489$
Δl	-4,6 [-20,1 - 0]	-6,7 [-22,2 - 0]	0,287	-14,2 [-28,1 - -2,8]	$p^{1-2} = 0,248$ $p^{1-3} = 0,018$

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.

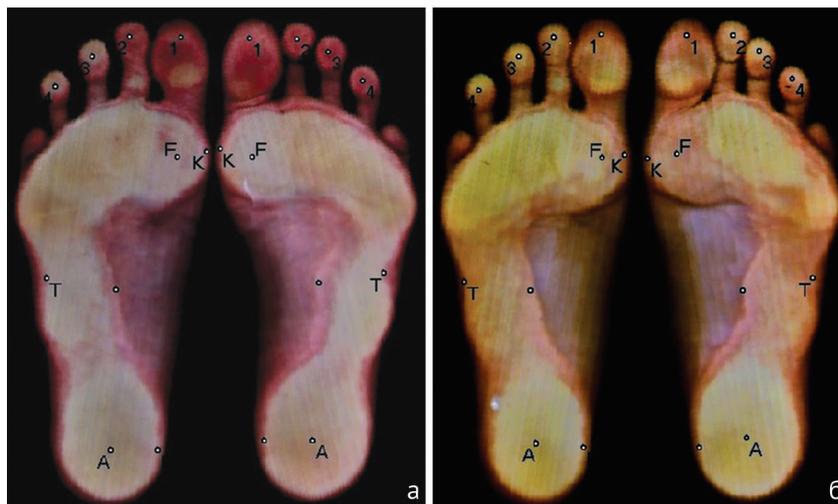


Рис. 3. Платнограммы стоп пациента К., 16 лет, с идиопатическим правосторонним грудным сколиозом IV ст., тип Lenke I: а – двуопорная платнография до операции; б – двуопорная платнография через 9 дней после операции с использованием транспедикулярной металлоконструкции (увеличена высота латеральных продольных сводов, уменьшена площадь контакта стоп с поверхностью опоры)

Таблица 3

Показатели асимметрии платнографических индексов контралатеральных стоп здоровых детей и больных с идиопатическим сколиозом до и после оперативного вмешательства

Индексы ($\times 10^{-2}$)	Группы обследованных детей					Критерий Манна-Уитни	
	здоровые (1)	со сколиозом			после операции (3) Me [Q1- Q2], n = 18		
	Me [Q1 - Q2], n = 18	до операции (2) Me [Q1-Q2], n = 18	p	p-value			
Двуопорная нагрузка	t	2,0 [0,1 - 2,5]	4,3 [2,5 - 5,3]	0,601	0,009	2,6 [0,7 - 7,7]	$p^{1-2} = 0,006$ $p^{1-3} = 0,179$
	m	2,3 [1,0 - 4,0]	2,3 [1,3 - 3,2]	0,987	0,719	2,1 [1,4 - 3,4]	$p^{1-2} = 0,912$ $p^{1-3} = 0,716$
	s	2,1 [1,2 - 3,6]	1,0 [0,8 - 2,5]	0,716	0,802	1,0 [0,8 - 2,7]	$p^{1-2} = 0,110$ $p^{1-3} = 0,117$
	l	2,5 [0 - 8,1]	1,1 [0 - 5,9]	0,727	0,416	9,3 [1,8 - 20,6]	$p^{1-2} = 0,163$ $p^{1-3} = 0,033$
Одноопорная нагрузка	t	1,9 [0,1 - 2,3]	2,9 [2,1 - 3,6]	0,189	0,001	3,6 [2,4 - 5,0]	$p^{1-2} = 0,005$ $p^{1-3} < 0,001$
	m	1,7 [0,6 - 3,6]	2,7 [0,7 - 4,3]	0,887	0,006	2,6 [1,6 - 3,4]	$p^{1-2} = 0,384$ $p^{1-3} = 0,211$
	s	1,3 [0,9 - 3,0]	1,0 [0,7 - 1,7]	0,624	0,001	1,2 [0,7 - 2,7]	$p^{1-2} = 0,289$ $p^{1-3} = 0,669$
	l	0 [0 - 0]	0 [0 - 2,5]	0,958	0,974	0 [0 - 9,9]	$p^{1-2} = 0,169$ $p^{1-3} = 0,127$

Примечание: p – уровень значимости различий в группе пациентов до и после оперативного вмешательства (критерий Уилкоксона); p-value – уровень значимости различий между стандартными отклонениями в группе пациентов до и после оперативного вмешательства (F-критерий Фишера); $p^{1-2;1-3}$ – уровень значимости различий между группами.

При анализе таблицы 3 в группе пациентов с идиопатическим сколиозом после операции выявлено значимое увеличение медиан, межквартильных интервалов и различий между стандартными отклонениями показателей асимметрии индексов опоры контралатеральных стоп по сравнению с таковыми до проведения вмешательства. Это свидетельствует о нарастании асимметрии функциональной активности сводчатого аппарата контралатеральных стоп у больных после хирургического устранения деформации позвоночника.

При корреляционно-регрессионном анализе индексов опоры стоп у здоровых детей (табл. 4) при двуопорной нагрузке выявлена очень слабая взаимосвязь между всеми опорными индексами (рис. 4, а).

Это означает, что при опоре на обе стопы в норме наблюдается бессистемное изменение размеров стопы по фронтальной и сагиттальной осям, что является показателем адекватной рессорной функции поперечного и продольных сводов стоп у здоровых детей [15]. В то же время при одноопорной нагрузке у таких детей увеличилась корреляция между медиальным и срединным индексами опоры $m \sim s$, что может объясняться повышенными требованиями опорно-двигательной системы и возросшими энергетическими затратами для удержания равновесия в условиях опоры только на одну нижнюю конечность. При этом связь между срединным и передним индексами $s \sim t$, а также между медиальным и передним $m \sim t$ оставалась слабой.

Таблица 4

Линейная корреляционная связь между индексами опоры стоп у здоровых детей и больных с идиопатическим сколиозом до и после оперативного вмешательства

Группы детей	Коэффициент корреляции r_s					
	двуопорная нагрузка			одноопорная нагрузка		
	$m \sim t$	$s \sim t$	$m \sim s$	$m \sim t$	$s \sim t$	$m \sim s$
Здоровые (n = 18)	0,20 (p = 0,234)	0,10 (p = 0,581)	0,34 (p = 0,043)	0,24 (p = 0,159)	0,36 (p = 0,031)	0,58 (p = 0,001)
Со сколиозом до операции (n = 18)	0,07 (p = 0,697)	0,07 (p = 0,677)	0,72 (p = 0,000)	0,30 (p = 0,076)	0,30 (p = 0,083)	0,79 (p = 0,000)
Со сколиозом после операции (n = 18)	0,48 (p = 0,003)	0,44 (p = 0,008)	0,79 (p = 0,000)	0,30 (p = 0,090)	0,18 (p = 0,309)	0,81 (p = 0,000)

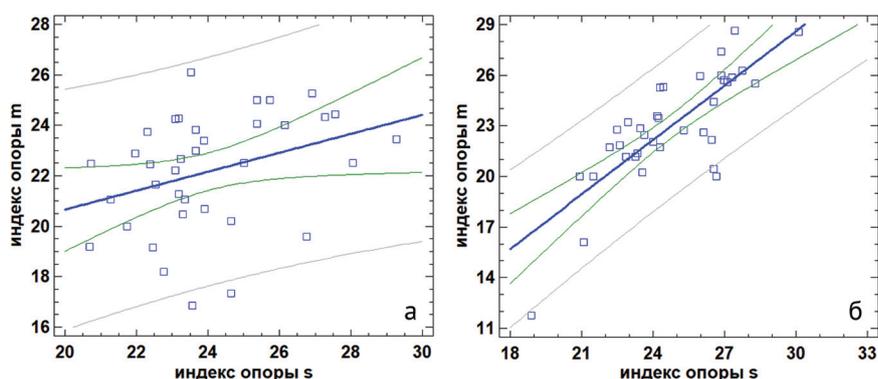


Рис. 4. Линия регрессии (жирная) и ее доверительный интервал (тонкие линии) для оценки связи между индексами опоры стоп (медиального *m* и срединного *s*) при двуопорной нагрузке: а – у здоровых детей; б – у детей с идиопатическим сколиозом до операции

В группе пациентов с идиопатическим сколиозом до операции, в отличие от здоровых детей, при двуопорной нагрузке на стопы выявлена сильная корреляция между медиальным и срединным индексами опоры $m \sim s$ (рис. 4, б). Это указывает на повышенную функциональную связь между внутренним и срединным продольными сводами стоп по сравнению с нормой. При этом корреляция между индексами $s \sim t$ и $m \sim t$, как и у здоровых детей, оставалась слабой. В тестах с увеличением нагрузки на стопу характер корреляционных связей между индексами опоры не менялся и был аналогичным таковому у здоровых детей.

После выполненной операции у больных с идиопатическим сколиозом выявлена динамика взаимосвязей между индексами опоры только в тестах с двуопорной нагрузкой на стопы, по сравнению с предоперационными показателями. Это проявлялось значимым повышением корреляций между всеми индексами m , s и t . Одновременно с этим при одноопорной нагрузке характер связей между индексами опоры оставался аналогичным таковому у здоровых детей.

При анализе состояния баланса туловища перед оперативным лечением у 2 пациентов с идиопатическим сколиозом выявлен фронтальный дисбаланс позвоночника в сочетании с сагиттальным. По 1 пациенту имели изолированное нарушение фронтального и сагиттального баланса. У всех этих больных дисбаланс был субкомпен-

сированный. Средняя величина фронтального баланса перед операцией составляла 5,0 [-10,5 ÷ 15,5] мм, сагиттального – (-3,0) [-8,5 ÷ 18,0] мм. После хирургической коррекции деформации позвоночника только у 1 пациента сохранялась фронтальная и сагиттальная субкомпенсация баланса туловища, которая, однако, была меньше по сравнению с предоперационным показателем. У остальных больных были восстановлены физиологически правильные фронтальный и сагиттальный профили позвоночника. Средняя величина фронтального баланса стала составлять 5,5 [3,0 ÷ 7,5] мм, сагиттального – 10,5 [6,0 ÷ 18,5] мм. Хотя медианные показатели баланса после операции значимо не изменились, во фронтальном балансе произошло резкое нарастание дисперсии (p -value (F-критерий Фишера) = 0,016) с уменьшением расстояний C7PL-CSVL (рис. 5, а). В сагиттальном балансе также наблюдалось значимое нарастание дисперсии (p -value (F-критерий Фишера) = 0,029) с существенными, но с разнонаправленными изменениями расстояний SVA-S1 (рис. 5, б). Поэтому динамика сагиттального баланса менее выражена по сравнению с фронтальным.

Корреляционный анализ выявил у пациентов перед операцией связь модульных значений фронтального баланса туловища с показателями асимметрии плантографических индексов контралатеральных стоп: положительную – с медиальным индексом опоры m и отрицательную – с передним индексом опоры t (табл. 5).

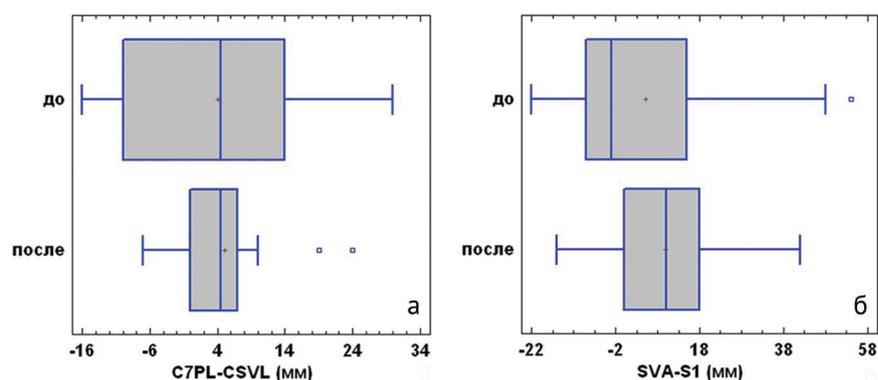


Рис. 5. Диаграммы баланса туловища у пациентов с идиопатическим сколиозом до и после коррекции деформации позвоночника: а – фронтальный баланс; б – сагиттальный баланс

Таблица 5

Мультипликативная корреляционная связь между балансом позвоночника и показателями асимметрии плантографических индексов контралатеральных стоп у больных с идиопатическим сколиозом до и после оперативного вмешательства

Группы детей	Коэффициент корреляции r_s					
	фронтальный баланс – стопы			сагиттальный баланс – стопы		
	C7PL-CSVL ~ m	C7PL-CSVL ~ s	C7PL-CSVL ~ t	SVA-S1 ~ m	SVA-S1 ~ s	SVA-S1 ~ t
Со сколиозом до операции (n = 18)	0,68 (p = 0,002)	-0,18 (p = 0,471)	-0,51 (p = 0,030)	-0,12 (p = 0,650)	-0,23 (p = 0,349)	-0,18 (p = 0,513)
Со сколиозом после операции (n = 18)	-0,11 (p = 0,674)	-0,33 (p = 0,183)	0,03 (p = 0,899)	-0,32 (p = 0,191)	-0,28 (p = 0,264)	0,20 (p = 0,427)

Примечание: символом | обозначены модули значений фронтального баланса

Следует подчеркнуть, что при корреляционном анализе значимыми оказались именно модульные значения баланса, что указывает на отсутствие связи между направленностью латерального смещения позвоночника и повышением нагрузки на стопу соответствующей стороны. Таким образом, причиной асимметрии функциональной активности сводчатого аппарата контралатеральных стоп у пациентов с идиопатическим сколиозом не является гипотетическая перегрузка соответствующей нижней конечности при боковом отклонении туловища. Вероятнее всего, асимметрия опорной функции стоп может являться их адап-

тивной реакцией в ответ на компенсаторные изменения в звеньях кинематической цепи опорно-двигательной системы при формировании сколиотической деформации позвоночника. В ближайшем послеоперационном периоде после коррекции деформации позвоночника рассматриваемые корреляционные связи отсутствуют, что может быть обусловлено формированием новых адаптивных механизмов в опорно-двигательной системе для обеспечения вертикального положения тела.

Анализ связи сагиттального баланса позвоночника с показателями индексов опоры стоп не выявил значимых корреляций ни до, ни после оперативных вмешательств.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время не существует единой точки зрения на механизм формирования биомеханических нарушений в опорно-двигательной системе у детей с идиопатическим сколиозом. Результаты различных исследований показали, что, несмотря на выраженную сколиотическую деформацию позвоночного столба, нарушения вертикального баланса у пациентов были либо умеренные [16], либо вообще отсутствовали [17]. Согласно мнению других специалистов, при сколиозе имеет место биомеханическое рассогласование координации сегментов в системе связей между позвоночником и стопами [18]. Это приводит к дисбалансу стоп и отклонениям в распределении подошвенного давления у данной категории пациентов по сравнению со здоровыми детьми [19]. Необходимо учитывать, что стопа обеспечивает контакт опорно-двигательной системы с поверхностью опоры и является важнейшим биомеханическим звеном, обеспечивающим стато-локомоторную функцию человека [20]. Характерным для стопы человека является сводчатое строение, нормальное функционирование которого обеспечивает адекватный и сбалансированный тонус мышц дистальных отделов нижних конечностей [21]. В настоящем исследовании были выявлены различия в опорной стратегии стоп здоровых детей и пациентов с идиопатическим сколиозом. Анализ абсолютных значений плантографических индексов у больных указывает на уменьшение площади контакта стоп с поверхностью опоры как до, так и после операции, что означает увеличение регионарного подошвенного давления и является характерным для пациентов с идиопатическим сколиозом [22]. При этом стопы у данной категории больных не были ригидными, так как значимое изменение параметров поперечных и продольных сводов при изменении нагрузки свидетельствовало о сохранности ими рессорной функции. Таким образом, у больных с идиопатическим сколиозом не было выявлено нарушения амортизационных свойств стоп, поэтому ударные нагрузки, воздействующие на нижние конечности в момент постановки на опору при ходьбе и беге, смягчаются стопами и не проходят к вышерасположенным суставам нижних конечностей, сочленениям таза и позвоночника.

Выявленная в настоящем исследовании асимметрия распределения подошвенного давления между контралатеральными стопами у больных с идиопатическим сколиозом согласуется с данными других авторов [23]. Кроме того, в настоящем исследовании у пациентов перед операцией показана корреляционная связь значения величины асимметрии функциональной активности

сводчатого аппарата контралатеральных стоп с величиной отклонения туловища во фронтальной плоскости. Факт наличия корреляций между фронтальным (коронарным) балансом и распределением давления в стопах у детей с идиопатическим сколиозом выявлен также другими исследователями [24]. Понимание таких взаимосвязей между сегментами тела имеет важное значение, так как нарушения в распределении подошвенной нагрузки стоп при идиопатическом сколиозе связаны с риском прогрессирования деформации позвоночника вследствие изменения походки [25]. Проведенная нами хирургическая коррекция деформации позвоночника позволила достичь наряду со значительной коррекцией основной дуги искривления и улучшением фронтального баланса существенного увеличения длины тела и, соответственно, значительного смещения общего центра массы тела вверх. Все это в совокупности, безусловно, привело к изменению взаимоотношений в кинематических звеньях опорно-двигательной системы и появлению новой опорной стратегии стоп в ближайшем послеоперационном периоде. Нарастание асимметрии показателей плантографических характеристик в ближайшем послеоперационном периоде также может быть обусловлено трансформацией механизмов поддержания баланса позвоночного столба на фоне снижения его мобильности в результате спондилодеза [26]. При этом для обеспечения стабильности вертикального положения тела формируются новые паттерны двигательной активности с вовлечением новых мышечных групп, в том числе и на нижних конечностях [27]. Это, в свою очередь, вносит дополнительный вклад в формирование новой опорной стратегии стоп, оценить которую позволил корреляционный анализ. Анализ корреляций индексов опоры свидетельствует о том, что у здоровых детей адекватным состоянием рессорной функции стопы является слабая функциональная связь между всеми сводами при двуопорной нагрузке и повышенная связь между продольными сводами – при одноопорной. Это можно объяснить тем, что уменьшение общей площади опоры при стоянии на одной нижней конечности усложняет условия для сохранения телом вертикального положения. При этом локомоторная система активизирует балансирующую функцию стопы, что проявляется повышением синхронизированности работы внутреннего и срединного продольного сводов [14]. В соответствии с указанным фактом стопы пациентов с идиопатическим сколиозом находятся в менее благоприятных условиях в плане обеспечения полноценной опорной функции вследствие уменьшенной площади контакта с

горизонтальной поверхностью. Этим можно объяснить повышенную функциональную связь между продольными сводами при двуопорной нагрузке до операции, по сравнению со здоровыми детьми. По аналогичному механизму у пациентов с идиопатическим сколиозом с уменьшением общей площади опоры стоп при переходе от двуопорной нагрузки к одноопорной взаимосвязь между всеми сводами стопы оказалась более сильной. После операции на позвоночнике наблюдалась так называемая динамическая инверсия опорной стратегии стоп. Это проявлялось обратной, по сравнению с нормой, закономерностью: достаточно сильными корреляциями между всеми сводами стопы при двуопорной нагрузке и сильной взаимосвязью только между продольными сводами – при одноопорной. Подобная адаптивная парадоксальная опорная стратегия стоп выявлена у детей со стенозом позвоночного канала и компрессией корешков спинного мозга, развившихся на фоне спондилолистеза [28]. Однако у пациентов с идиопатическим сколиозом после хирургического исправления деформации позвоночника в послеоперационном периоде не были выявлены неврологические нарушения, следовательно, отсутствовали какие-либо компрессионно-ишемические блоки проведения нервных импульсов. Поэтому не наблюдалась грубая нервно-мышечная дисфункция нижних конечностей, характерной особенностью которой являлась бы ригидность сводов стоп [29] и нарушение их амортизационной функции [30]. Тем не менее, после коррекции сколиотических дуг позвоночника спинной мозг оказывается в новых анатомических условиях, поэтому нельзя полностью исключить наступившие изменения в проводимости афферентно-эфферентных импульсов, которые способны оказать влияние на кортикоспинальный механизм реализации акта опоры стоп. Таким образом, после хирургического вмешательства на позвоночнике у детей с идиопатическим сколиозом центральная регуляция локомоторных функций претерпевает изменения, что запускает формирование

адаптивных механизмов для стабильного удержания тела в вертикальном положении в измененных условиях. В целом, важными адаптивными реакциями опорно-двигательной системы в кинематической цепи “позвоночник – стопы” у детей с идиопатическим сколиозом являются уменьшение площади контакта стоп с поверхностью опоры и инверсивная опорная стратегия стоп, характеризующаяся патологическим усилением функциональной взаимосвязи в их сводчатом аппарате. Нарушенное распределение нагрузки в стопах закономерно приводит к изменению характера проприоцептивной импульсации от механорецепторов стоп, что сказывается на афферентном контроле и регуляции локомоторной функции всей опорно-двигательной системы [31]. Однако, несмотря на то, что у исследуемой группы пациентов в ближайшем послеоперационном периоде усугубляется аномальная опора на стопы, клинически это не сказывалось на стереотипе их ходьбы. До момента выписки из стационара на амбулаторное лечение двигательная активность оперированных детей соответствовала срокам и тяжести перенесенных вмешательств. С учетом того, что в основе формирования идиопатического сколиоза позвоночного столба лежит дисфункция сенсомоторной интеграции [32], дополнительно наслаивающиеся со стороны стоп модифицированные проприоцептивные сигналы усугубляют нарушения сенсомоторных процессов и провоцируют прогрессирование сколиотической деформации [33]. Таким образом, имеет большое значение понимание механизмов нарушения опорной функции стоп у детей с идиопатическим сколиозом для выяснения закономерностей развития дисфункций со стороны всей опорно-двигательной системы. Полученные при этом знания должны способствовать разработке новых технических систем для воздействия на кинематику позвоночника, а также для совершенствования методологии комплексного консервативного лечения детей с идиопатическим сколиозом на начальных стадиях формирования деформации позвоночника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У детей с идиопатическим сколиозом тяжелых степеней нарушена биомеханика стоп, что проявляется уменьшением площади контакта стоп с поверхностью опоры и патологическим усилением функциональной взаимосвязи в их сводчатом аппарате.

2. В предоперационном периоде у пациентов с идиопатическим сколиозом величина отклонения туловища во фронтальной плоскости коррелирует со значением величины асимметрии функциональной активности сводчатого аппарата контралатеральных стоп, в ближайшем послеоперационном периоде после коррекции деформации позвоночника корреляционная связь исчезает.

3. В ближайшем послеоперационном периоде после коррекции деформации позвоночника, несмотря на

отсутствие неврологических осложнений, у пациентов усугубляются нарушения биомеханики стоп, проявляющиеся прогрессированием уменьшения площади их контакта с поверхностью опоры, нарастанием асимметрии показателей контралатеральных стоп и появлением инверсии в их опорной стратегии при изменениях нагрузки.

4. Необходимо учитывать отягощающее влияние стоп с измененной опорной стратегией на состояние деформированного позвоночника и включать в план комплексной диагностики детей с идиопатическим сколиозом изучение опорной функции стоп с возможностью проведения реабилитационных мероприятий, направленных на коррекцию распределения подошвенного давления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Konieczny M.R., Senyurt H., Krauspe R. Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis // J. Child. Orthop. 2013. Vol. 7, No 1. P. 3-9. DOI: 10.1007/s11832-012-0457-4.
2. Abnormal activation of the motor cortical network in idiopathic scoliosis demonstrated by functional MRI / J. Domenech, G. García-Martí, L. Martí-Bonmatí, C. Barrios, J.M. Tormos, A. Pascual-Leone // Eur. Spine J. 2011. Vol. 20, No 7. P. 1069-1078. DOI: 10.1007/s00586-011-1776-8.
3. Analysis of sensory system aspects of postural stability during quiet standing in adolescent idiopathic scoliosis patients / T. Sim, H. Yoo, D. Lee, S.W. Suh, J.H. Yang, H. Kim, J.H. Mun // J. Neuroeng. Rehabil. 2018. Vol. 15, No 1. P. 54. DOI: 10.1186/s12984-018-0395-6.
4. Assessment of Static Plantar Pressure, Stabilometry, Vitamin D and Bone Mineral Density in Female Adolescents with Moderate Idiopathic Scoliosis / L. Catan, S. Cerbu, E. Amaricai, O. Suciu, D.I. Horhat, C.M. Popoiu, O. Adam, E. Boia // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17, No 6.

- P. 2167. DOI: 10.3390/ijerph17062167.
5. Теория и практика профилактики и реабилитации нарушений опорно-двигательного аппарата / В.Б. Мандриков, Л.В. Царапкин, А.И. Краюшкин, А.И. Перепелкин. Волгоград : Изд-во ВолГМУ, 2009. 202 с.
 6. Center of pressure progression patterns during level walking in adolescents with idiopathic scoliosis / C.C. Gao, J.S. Chern, C.J. Chang, P.L. Lai, C.W. Lung // PLoS One. 2019. Vol. 14, No 4. e0212161. DOI: 10.1371/journal.pone.0212161.
 7. Lee S., Shim J. The effects of backpack loads and spinal stabilization exercises on the dynamic foot pressure of elementary school children with idiopathic scoliosis // J. Phys. Ther. Sci. 2015. Vol. 27, No 7. P. 2257-2260. DOI: 10.1589/jpts.27.2257.
 8. Kim K., Mullineaux D.R., Jeon K. A Comparative Study of Spinal Deformity and Plantar Pressure according to the Static Standing Posture of Female Adolescents with or without Idiopathic Scoliosis // Iran J. Public Health. 2019. Vol. 48, No 2. P. 345-346.
 9. Cho B.Y., Yoon J.G. The effect of gait training with shoe inserts on the improvement of pain and gait in sacroiliac joint patients // J. Phys. Ther. Sci. 2015. Vol. 27, No 8. P. 2469-2471. DOI: 10.1589/jpts.27.2469.
 10. Raster-stereographic evaluation of the effects of biomechanical foot orthoses in patients with scoliosis / S.M. Park, S.H. Ahn, A.Y. Lee, I.S. Park, Y.W. Cho // J. Phys. Ther. Sci. 2016. Vol. 28, No 7. P. 1968-1971. DOI: 10.1589/jpts.28.1968.
 11. Pasha S., Baldwin K. Preoperative Sagittal Spinal Profile of Adolescent Idiopathic Scoliosis Lenke Types and Non-Scoliotic Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis // Spine (Phila Pa 1976). 2019. Vol. 44, No 2. P. 134-142. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002748.
 12. Coronal Imbalance after Selective Posterior Thoracic Fusion in Patients with Lenke 1 and 2 Adolescent Idiopathic Scoliosis / H. Jiang, W. Shao, E. Xu, Z. Ji, T. Lin, Y. Meng, J. Ma, C. Wang, R. Gao, X. Zhou // Biomed. Res. Int. 2018. Vol. 2018. 3476425. DOI: 10.1155/2018/3476425.
 13. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа Lenke I с применением тотальной транспедикулярной фиксации / С.В. Виссарионов, Д.Н. Кокушин, С.М. Белянчиков, В.В. Мурашко, К.А. Картавенко, Н.Н. Надиров // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2, № 2. С. 3-8.
 14. Никитюк И.Е., Гаркавенко Ю.Е., Кононова Е.Л. Особенности опорной функции нижних конечностей у детей с последствиями поражения проксимального отдела бедра острым гематогенным остеомиелитом // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2018. Т. 6, № 1. С. 14-22. DOI: 10.17816/PTORS6114-22.
 15. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Семенов М.Г. Особенности опорной функции стоп у детей с аномалиями развития и приобретенными деформациями челюстных костей // Физиология человека. 2018. Т. 44, № 5. С. 39-46. DOI: 10.1134/S0131164618050119.
 16. Does postural stability differ between adolescents with idiopathic scoliosis and typically developed? A systematic literature review and meta-analysis / M. Dufvenberg, F. Adeyemi, I. Rajendran, B. Öberg, A. Abbott // Scoliosis Spinal Disord. 2018. Vol. 13. P. 19. DOI: 10.1186/s13013-018-0163-1.
 17. Postural Stability in Adolescent Girls with Progressive Idiopathic Scoliosis / M. Wiernicka, T. Kotwicki, E. Kamińska, D. Łochyński, M. Kozinoga, J. Lewandowski, P. Kocur // Biomed. Res. Int. 2019. Vol. 2019. 7103546. DOI: 10.1155/2019/7103546.
 18. Bugnariu N., Fung J. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance // J. Neuroeng. Rehabil. 2007. Vol. 4. P. 19. DOI: 10.1186/1743-0003-4-19.
 19. The study of correlation between foot-pressure distribution and scoliosis / S.C. Noh, H.S. Jang, W.J. Yu, M.K. Park, H.H. Choi // J. Sens. Sci. Technol. 2009. Vol. 17, No 3. P. 210-216. DOI: 10.1007/978-3-540-92841-6_241.
 20. Ефимов А.П. Информативность биомеханических параметров походки для оценки патологии нижних конечностей // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16, № 1. С. 80-88.
 21. К вопросу о формировании продольного свода стопы у детей / А.И. Перепелкин, В.Б. Мандриков, А.И. Краюшкин, Е.С. Атрощенко // Волгоградский научно-медицинский журнал. 2016. № 1. С. 32-36.
 22. Lee J.U., Kim M.Y., Kim J. Comparison of static plantar foot pressure between healthy subjects and patients with adolescent idiopathic scoliosis // Toxicol. Environ. Health Sci. 2014. Vol. 6, No 2. P. 127-132. DOI: 10.1007/s13530-014-0197-6.
 23. Скрыбин Е.Г., Шарыпова А.А. Взаимосвязь заболеваний позвоночника и стоп у детей // Медицинская наука и образование Урала. 2016. Т. 17, № 2 (86). С. 45-48.
 24. Correlation between spinal coronal balance and static baropodometry in children with adolescent idiopathic scoliosis / Q. Ma, H. Lin, L. Wang, L. Zhao, M. Chen, S. Wang, Z. Rao, Y. Luo // Gait Posture. 2020. Vol. 75. P. 93-97. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.10.003.
 25. Postural adjustments in adolescent idiopathic thoracic scoliosis during walking / K.W. Wu, T.M. Wang, C.C. Hu, S.W. Hong, P.A. Lee, T.W. Lu // Gait Posture. 2019. Vol. 68. P. 423-429. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.12.024.
 26. Adolescent idiopathic scoliosis and spinal fusion do not substantially impact on postural balance / J.J. Schimmel, B.E. Groen, V. Weerdesteyn, M. de Kleuver // Scoliosis. 2015. Vol. 10. P. 18. DOI: 10.1186/s13013-015-0042-y.
 27. What is the influence of surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis on postural control? / D.C. de Abreu, M.M. Gomes, H.A. de Santiago, C.F. Herrero, M.A. Porto, H.L. Defino // Gait Posture. 2012. Vol. 36, No 3. P. 586-590. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.05.019.
 28. Никитюк И.Е., Виссарионов С.В. Нарушение функции стоп у детей с тяжелыми формами спондилолистеза L5 позвонка // Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25, № 2. С. 71-80. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-71-80.
 29. Шалавина А.С., Ситдилов Ф.Г. Состояние и подготовленность продольного свода стопы младших школьников // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-5. С. 954-957.
 30. Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet / A.K. Buldt, S. Forghany, K.B. Landorf, G.S. Murley, P. Levinger, H.B. Menz // J. Foot Ankle Res. 2018. Vol. 11. P. 3. DOI: 10.1186/s13047-018-0245-6.
 31. Бачу А.Я. Усиление сенсорно-моторной интеграции в неокортексе путем рефлексогенной стимуляции физиологически активных зон // Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки. 2014. № 2 (47). С.112-117.
 32. Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis / M. Simoneau, P. Mercier, J. Blouin, P. Allard, N. Teasdale // BMC Neurosci. 2006. Vol. 7. P. 68. DOI: 10.1186/1471-2202-7-68.
 33. The Vestibular-Evoked Postural Response of Adolescents with Idiopathic Scoliosis Is Altered / J.P. Pialasse, M. Descarreaux, P. Mercier, J. Blouin, M. Simoneau // PLoS One. 2015. Vol. 10, No 11. P. e0143124. DOI: 10.1371/journal.pone.0143124.

Статья поступила в редакцию 01.03.2021; одобрена после рецензирования 25.06.2021; принята к публикации 19.10.2021.

The article was submitted 01.03.2021; approved after reviewing 25.06.2021; accepted for publication 19.10.2021.

Информация об авторах:

1. Игорь Евгеньевич Никитюк – кандидат медицинских наук;
2. Сергей Валентинович Виссарионов – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН.

Information about the authors:

1. Igor E. Nikityuk – Candidate of Medical Sciences.
2. Sergei V. Vissarionov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

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