



ПОСТУРАЛЬНЫЙ ДЕФИЦИТ У ДЕТЕЙ СО СТЕНОЗОМ ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА

© И.Е. Никитюк, Е.Л. Кононова, С.В. Виссарионов

ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Поступила: 24.05.2018

Одобрена: 09.11.2018

Принята: 10.12.2018

Введение. Стеноз позвоночного канала может сопровождаться нарушениями походки и баланса тела. При этом остаются неизученными изменения, происходящие в системе постурального контроля у детей со стенозом позвоночного канала.

Цель работы — изучить постуральную стабильность у детей со стенозом позвоночного канала и провести оценку нарушений баланса тела в зависимости от уровня локализации стеноза.

Материал и методы. Проведено обследование 14 больных в возрасте от 10 до 17 лет со стенозом позвоночного канала. В первую группу вошли 7 пациентов со стенозом позвоночного канала в результате врожденной деформации грудного отдела позвоночника с компрессией спинного мозга на уровне стеноза, во вторую — 7 пациентов со спондилолистезом тела L₅ позвонка 3–4-й степени, сопровождающимся компрессией корешков спинного мозга. Группу контроля составили 7 здоровых детей того же возраста. Использован метод стабилометрии, статистическое исследование включало корреляционно-регрессионный анализ.

Результаты. Значимое отклонение стабилометрических параметров от нормы отмечено только в первой группе пациентов ($p < 0,05$). В этой же группе обнаружена сильная корреляционная связь между параметрами статокинезиограмм (площадь S , длина L , амплитуда A и средний уровень мощности спектра $f60$ %), значительно превышающая таковую у здоровых детей, что может указывать на патологически высокую синхронизированность системы управления вертикальным балансом тела. В группе пациентов со стенозом на уровне пояснично-крестцового отдела позвоночника выявлены иные изменения: при нормальных стабилометрических параметрах определена сильная зависимость между L/S и A и средней силы — между L/A и $f60$ %, что также указывает на наличие постурального дефицита.

Применение для оценки постурального баланса корреляционно-регрессионного анализа в обеих группах пациентов выявило корреляционную связь между параметрами L , S , A и $f60$ %, значимо превышающую таковую у здоровых детей и наиболее сильно выраженную при грудной локализации стеноза.

Заключение. Система поддержания вертикального баланса тела у детей со стенозом позвоночного канала на уровне грудного отдела позвоночника имеет более выраженный дефицит, чем у больных со стенозом канала на пояснично-крестцовом уровне. Для выявления скрытых нарушений постурального баланса необходимо оценивать соотношения показателей длины, площади, амплитуды и средней мощности статокинезиограммы.

Ключевые слова: стеноз позвоночного канала; кифоз; сколиоз; спондилолистез; стабилометрия; траектория центра давления; постуральный баланс; постуральный дефицит.

POSTURAL DEFICIENCY IN CHILDREN WITH SPINAL STENOSIS

© I.E. Nikityuk, E.L. Kononova, S.V. Vissarionov

The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2018;6(4):13-19

Received: 24.05.2018

Revised: 09.11.2018

Accepted: 10.12.2018

Introduction. Stenosis of the spinal canal can be accompanied by abnormalities of gait and body balance. At the same time, changes occurring in the postural control in children with spinal stenosis remain unexplored.

Aim. To study postural stability in children with spinal stenosis and assess the imbalance of the body depending on the level of stenosis localization.

Material and methods. This study investigated 14 patients, aged 10–17 years, with stenosis of the spinal canal. The first group consisted of seven patients with spinal stenosis due to congenital deformity of the thoracic spine with spinal cord compression at the stenosis level. The second group consisted of seven patients with spondylolisthesis

of the L₅ vertebra body of grades 3–4, accompanied with spinal cord root compression. The control group consisted of seven healthy children of the same age. We used stabilometry, and statistical study included correlation-regression analysis.

Results. A significant deviation of the stabilometric parameters was noted only in the first group of patients ($p < 0.05$). In the same group, a strong correlation was found between the parameters of statokinesiogram: area S , length L , amplitude A , and mean power level of the spectrum of $f 60\%$, which were much higher than those of healthy children, which may indicate a pathologically high synchronization of the vertical balance control system of the body. Other changes were revealed, such as a strong relationship between L/S and A at normal stabilometric parameters and a moderate force between L/A and $f 60\%$, indicating postural deficiency in the group of patients with stenosis at the level of the lumbosacral spine.

Correlation-regression analysis for assessing the postural balance in both groups of patients showed a correlation between parameters L , S , A , and $f 60\%$, which were significantly higher than those in healthy children and most pronounced in the thoracic localization of stenosis.

Conclusion. The system of maintaining vertical balance of the body in children with stenosis of the spinal canal at the level of the thoracic spine has a more pronounced deficiency than that in patients with stenosis of the canal at the lumbosacral level. To reveal hidden violations of the postural balance, the relationship between length, area, amplitude, and mean power of the statokinesiogram must be evaluated.

Keywords: spinal stenosis; kyphosis; scoliosis; spondylolisthesis; stabilometry; center of pressure trajectories; postural balance; postural deficiency.

Введение

Стеноз позвоночного канала — уменьшение передне-заднего размера позвоночного канала и боковых карманов позвоночника, приводящее к локальной компрессии нервных структур и/или нарушению кровоснабжения спинного мозга [1]. В зависимости от уровня поражения сужение позвоночного канала может сопровождаться нарушениями походки [2] и баланса тела [3], объективная оценка которого возможна методом стабилотрии [4].

Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что вопросы диагностики и методов лечения пациентов с нарушениями, развивающимися при спинальном стенозе, достаточно четко и подробно представлены в отечественной и зарубежной литературе. В исследованиях подробно описаны методы и последовательность диагностических мероприятий, позволяющих точно установить диагноз и уровень стеноза позвоночного канала. Освещены различные варианты хирургических вмешательств с применением дорсальных и боковых подходов для ликвидации причин вертебромедуллярного конфликта. Особенно досконально эта проблема изучена у взрослых пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника, сопровождающимися стенозом позвоночного канала на этом уровне [5, 6].

Однако в доступной литературе отсутствуют исследования, посвященные описанию и оценке изменений, происходящих в системе постурального контроля у детей со стенозом позвоночного канала. Кроме того, очень важно оценить постуральную дисфункцию при компрессии невральных структур на различных уровнях позвоночника.

Цель работы — изучить постуральную стабильность у детей со стенозом позвоночного канала и провести оценку нарушений баланса тела в зависимости от уровня локализации стеноза.

Материал и методы

Проведено обследование 14 больных в возрасте от 10 до 17 лет (средний возраст пациентов — $14,8 \pm 1,25$ года), имевших инструментально подтвержденный (компьютерная и магнитно-резонансная томография) стеноз позвоночного канала.

Обследованные дети были распределены на две группы в зависимости от уровня локализации стеноза. Первую группу составили 7 пациентов со стенозом позвоночного канала в результате врожденной деформации грудного отдела позвоночника, обусловленной аномалиями развития тел позвонков, с компрессией спинного мозга на уровне стеноза. Во вторую группу вошли 7 пациентов со спондилолистезом тела L₅ позвонка 3–4-й степени, сопровождающимся стенозом позвоночного канала на этом уровне, компрессией корешков спинного мозга. Все дети стояли без поддержки, в неврологическом статусе отсутствовали мозжечковые и проприорецептивные нарушения, наличие которых в свою очередь существенно влияет на развитие постурального дисбаланса [7].

Для количественной оценки вертикальной устойчивости пациентам обеих групп было проведено стабилотрическое исследование (программно-аппаратный комплекс МБН–Биомеханика, Москва). Для сравнения были определены нормативные значения стабилотрических показателей у 7 здоровых детей той же возрастной группы.

Регистрацию параметров смещения центра давления (ЦД) тела — длину траектории, пройденный ЦД L (мм), площадь S (мм²), отношение длины к площади статокинезиограммы L/S (мм⁻¹) — проводили по стандартной методике с открытыми и закрытыми глазами. Вычисляли средние показатели амплитуды колебаний центра давления A (мм), уровня 60 % мощности спектра f_{60} % (Гц) во фронтальной и сагиттальной плоскостях [8]. Дополнительно рассчитывали отношение длины к амплитуде L/A .

Анализ стабилотраграмм осуществляли в соответствии с принципом статистической механики, исходя из которого движение центра давления тела человека в процессе спокойного стояния может быть смоделировано как система парных скоррелированных случайных параметров [9].

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

$r_s \geq 0,7$, средней — при $0,3 < r_s < 0,7$, слабой — при $r_s \leq 0,3$ [10]. При отрицательной корреляционной зависимости модуль коэффициента корреляции интерпретировали так же, как и для положительной зависимости. Для поиска функции, описывающей связь между признаками, применяли регрессионный анализ.

Статистическую обработку полученных данных производили с использованием компьютерной программы SPSS 12.0 и Statgraphics Centurion 16.2.

Результаты

У больных со стенозом грудного отдела позвоночника определялись нарушения постурального баланса, на что указывали стабилотрические показатели. Это проявлялось статистически значимым ($p < 0,05$) увеличением средних значений длины L и площади S , а также тенденцией к увеличению амплитуды колебаний центра давления A статокинезиограмм пациентов первой группы по сравнению с аналогичными показателями у здоровых детей (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика количественных показателей статокинезиограмм здоровых детей и пациентов со стенозом позвоночника

Параметры	Группы обследованных детей		
	здоровые дети, $n = 7$	первая группа (стеноз на уровне грудного отдела позвоночника), $n = 7$	вторая группа (стеноз на уровне поясничного отдела позвоночника), $n = 7$
L , мм	748,3 ± 13,83	1396,4 ± 79,34*	769,9 ± 27,37
S , мм ²	576,3 ± 54,05	1123,1 ± 119,06*	618,6 ± 108,58
L/S , мм ⁻¹	1,5 ± 0,17	1,9 ± 0,69	1,5 ± 0,25
A , мм	3,1 ± 0,17	4,2 ± 0,43	3,1 ± 0,36
f_{60} %, Гц	1,1 ± 0,11	1,3 ± 0,30	1,2 ± 0,03
L/A	250,1 ± 20,36	378,4 ± 84,69	265,3 ± 28,21

Примечание. * достоверные отличия от показателей здоровых детей, $p < 0,05$.

При этом у больных второй группы не было выявлено значимых отклонений длины L , площади S и амплитуды A от нормы, что указывает на лучшую постуральную стабильность, однако с учетом имеющейся патологии не дает полного представления о происходящих изменениях функции поддержания вертикального баланса тела.

В этой связи нами был проведен корреляционно-регрессионный анализ, который позволил изучить зависимость параметров статокинезиограмм здоровых детей и больных со стенозом позвоночного канала. Для этого провели поиск уравнений регрессии, выбор которых определялся анализом диаграммы рассеяния и физиологи-

ческим смыслом коэффициентов регрессии. Для изучения зависимости параметра L/S от амплитуды колебаний A центра давления наиболее оптимально подходила степенная — аллометрическая функция: $y = bx^a$. Зависимость параметра L/A от среднего уровня мощности спектра f_{60} % имела линейный характер:

$$y = a + bx,$$

где a и b — коэффициенты регрессии, переменная x соответствует амплитуде A или среднему уровню мощности спектра f_{60} %, переменная y соответствует параметрам L/S или L/A .

Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Корреляционный анализ зависимости параметра L/S от амплитуды колебаний A центра давления и зависимости параметра L/A от среднего уровня мощности спектра $f 60 \%$ статокинезиограмм здоровых детей и пациентов со стенозом позвоночника

Группы обследованных детей		Коэффициент корреляции Спирмена r_s	
		Зависимость $L/S \sim A$	Зависимость $L/A \sim f 60 \%$
Здоровые дети $n = 7$	ОГ	-0,56	0,29
	ЗГ	-0,47	0,15
Первая группа (стеноз на уровне грудного отдела позвоночника), $n = 7$	ОГ	-0,88	0,99
	ЗГ	-0,83	0,90
Вторая группа (стеноз на уровне поясничного отдела позвоночника), $n = 7$	ОГ	-0,96	0,62
	ЗГ	-0,90	0,49

Примечание. ОГ — открытые глаза; ЗГ — закрытые глаза.

Корреляционный анализ выявил, что в группе здоровых детей значения модулей коэффициентов корреляции указывают на среднюю зависимость $L/S \sim A$, которые не превышают 0,7. При этом у этих же детей зависимость $L/A \sim f 60 \%$ является слабой, так как коэффициенты корреляции составили меньше 0,3. Это позволяет предположить, что в норме для обеспечения вертикальной стабильности тела нет необходимости в высокой синхронизации параметров L , S , A и $f 60 \%$, соотношения между которыми большей частью носят случайный, хаотический характер (рис. 1).

Совершенно другой механизм обеспечения вертикального баланса тела наблюдался в первой группе пациентов со стенозом на уровне грудного отдела позвоночника, для которого была характерна сильная корреляционная связь между параметрами L/S и A и сильная, вплоть до прямой — между параметрами L/A и $f 60 \%$ (рис. 2, б).

У пациентов второй группы соотношение $L/S \sim A$ также оказалось высоким, но корреляция $L/A \sim f 60 \%$ находилась в пределах средних величин (рис. 3, б). Указанные факты могут свидетельствовать о различных компенсаторных возможностях в обеспечении вертикального баланса тела при стенозе на уровне грудного и стенозе на уровне пояснично-крестцового отдела позвоночника.

При выключении канала зрительной афферентации характер связи между рассматриваемыми параметрами не претерпевал существенных изменений во всех группах обследованных детей (см. табл. 2).

Обсуждение результатов

Предложенный в последние десятилетия математический метод изучения постурального контроля показывает, что акт поддержания вер-

тикальной позы может быть представлен как стохастический процесс, случайность или закономерность которого можно рассматривать с точки зрения теории вероятности [11]. Развитие концепции стохастического процесса для оценки нарушений постурального баланса у больных с нейродегенеративными заболеваниями происходит в направлении оценки соотношений параметров колебаний центра давления с последующим проведением корреляционно-регрессионного анализа [12]. Такой принцип анализа динамических характеристик траектории ЦД при оценке отклонений в постуральной стабильности оказывается более чувствительным и информативным по сравнению с методологией описательной статистики [13–15].

В настоящем исследовании с помощью описательной статистики было показано значимое снижение постуральной стабильности только у больных первой группы (со стенозом на уровне грудного отдела позвоночника), что проявлялось выраженным увеличением длины и площади статокинезиограмм по сравнению с результатами, полученными у здоровых детей. При этом у больных второй группы (со стенозом на уровне пояснично-крестцового отдела позвоночника) отсутствовали какие-либо различия с группой контроля по этим параметрам.

Применение для оценки постурального контроля корреляционно-регрессионного анализа в обеих группах пациентов дало возможность выявить корреляционную связь между параметрами L , S , A и $f 60 \%$, значимо превышающую таковую у здоровых детей и наиболее сильно выраженную при грудной локализации стеноза.

Более упорядоченная траектория центра давления указывает на высокую синхронизированность системы управления вертикальным балансом тела

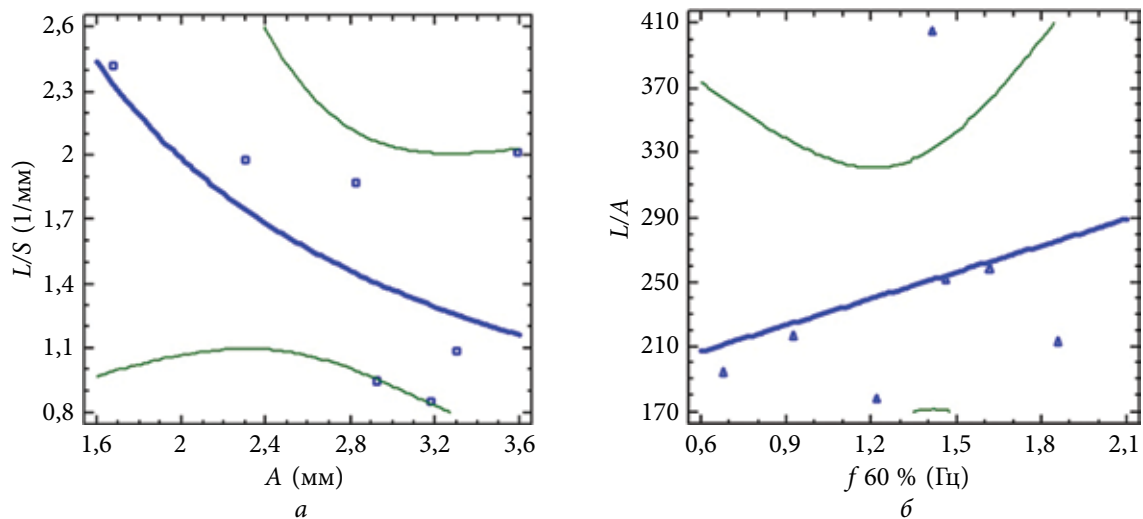


Рис. 1. Линия регрессии (жирная синяя) и ее доверительный интервал (тонкие зеленые линии), отражающие у здоровых детей при открытых глазах зависимость: *a* — параметра L/S от амплитуды колебаний A центра давления; *b* — параметра L/A от среднего уровня мощности спектра $f_{60\%}$ статокинезиограммы

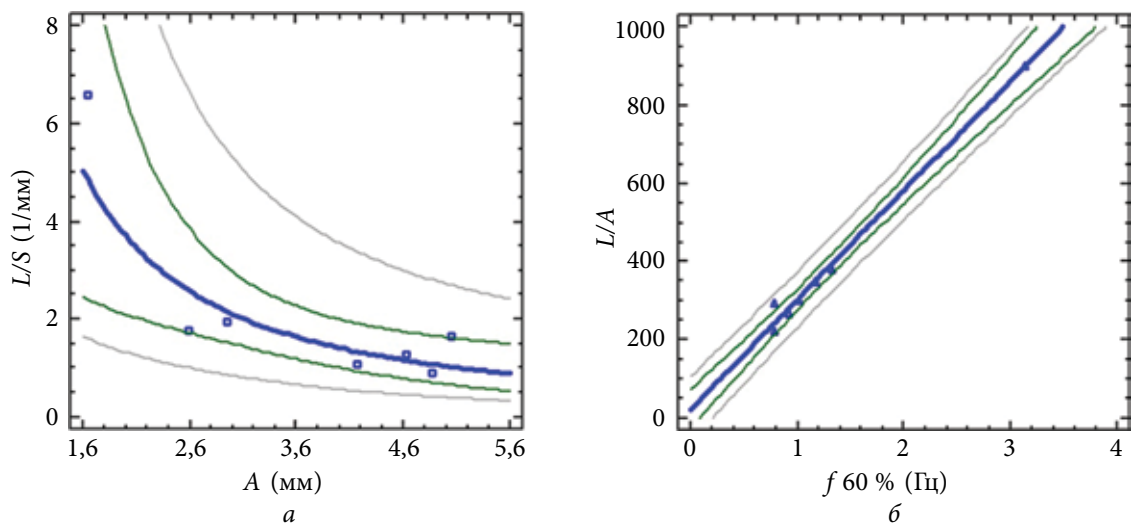


Рис. 2. Линия регрессии (жирная синяя) и ее доверительный интервал (тонкие зеленые линии), отражающие у пациентов со стенозом грудного отдела позвоночника при открытых глазах зависимость: *a* — параметра L/S от амплитуды колебаний A центра давления; *b* — параметра L/A от среднего уровня мощности спектра $f_{60\%}$ статокинезиограммы

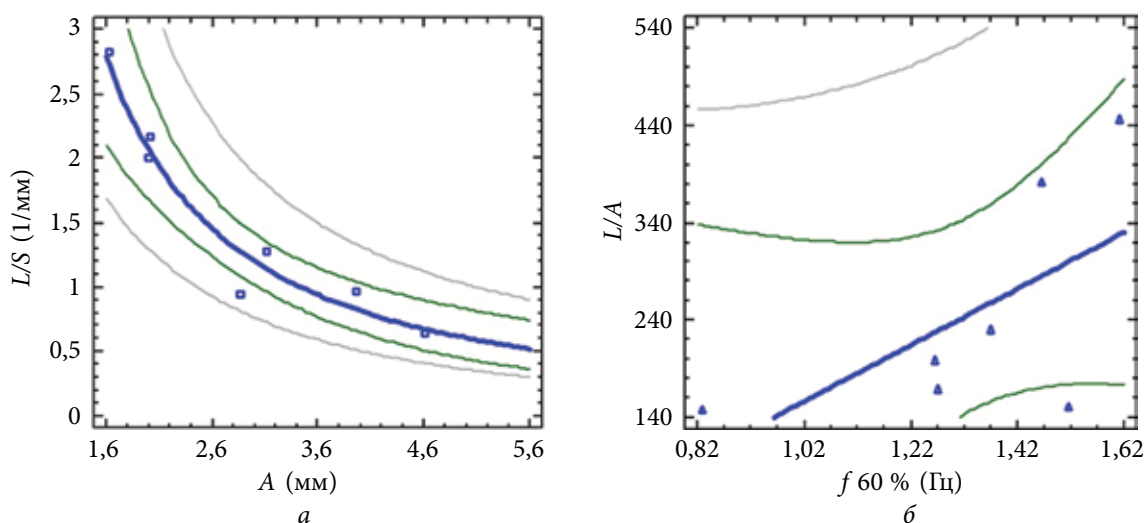


Рис. 3. Линия регрессии (жирная синяя) и ее доверительный интервал (тонкие зеленые линии), отражающие у пациентов со стенозом пояснично-крестцового отдела позвоночника при открытых глазах зависимость: *a* — параметра L/S от амплитуды колебаний A центра давления; *b* — параметра L/A от среднего уровня мощности спектра $f_{60\%}$ статокинезиограммы

у детей с частичной компрессией проводящих путей спинного мозга, что подтверждает феномен, характерный для пациентов с травматическими [16], дегенеративными [17] и органическими [18] поражениями центральной нервной системы (ЦНС). Указанный феномен пока не нашел своего четкого объяснения, хотя и предлагается расценивать повышенную упорядоченность системы постурального контроля у больных с различными поражениями ЦНС как динамический показатель его дефицита [19]. Такое утверждение согласуется с концепцией, в соответствии с которой более упорядоченные параметры биологических процессов отражают менее эффективный физиологический контроль над ними [20]. Все это в совокупности объясняет выраженность постурального дефицита у больных со стенозом позвоночного канала грудного отдела позвоночника, при котором помимо спинальных нарушений присутствует кифосколиотическая деформация позвоночника. В то же время несостоятельность в поддержании вертикальной позы у детей со стенозом позвоночного канала на уровне пояснично-крестцового отдела носит скрытый характер в положении стоя на месте, но, вероятно, усугубляется при ходьбе за счет проявлений радикулоишемии.

Заключение

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что у пациентов со стенозом позвоночного канала в грудном и пояснично-крестцовом отделах позвоночника наблюдается постуральный дефицит, наиболее выраженный у пациентов со стенозом грудной локализации. Вероятно, напряженность в работе статокINETической системы в этом случае вызвана как сегментарными нарушениями проводниковой функции спинного мозга, так и биомеханически иной стратегией поддержания вертикального баланса тела у больных с врожденной деформацией позвоночника. Результаты, полученные у пациентов второй группы, показали, что схожий постуральный дефицит проявляется и в случае стеноза на уровне пояснично-крестцового отдела позвоночника, однако выраженность его проявлений нивелируется отсутствием грубых анатомических изменений позвоночного столба.

Дальнейшее применение корреляционно-регрессионного анализа для изучения вертикального баланса тела пациентов со стенозом позвоночного канала может дать более глубокое понимание механизмов, используемых системой постурального контроля для поддержания равновесия. Такое изучение представляется перспективным в плане

количественной оценки состояния адаптивных ресурсов статокINETической системы у данной категории пациентов в ответ на лечебные мероприятия.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Работа проведена на базе и при поддержке ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

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

Этическая экспертиза. Родители всех пациентов добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию персональных данных.

Вклад авторов

И.Е. Никитюк, Е.Л. Кононова — получение данных, анализ данных, обзор публикаций по теме статьи и написание текста рукописи.

С.В. Виссарионов — этапное и заключительное редактирование текста статьи.

Список литературы

1. Гринберг М.С. Нейрохирургия. – М.: МЕДпресс-информ, 2010. [Greenberg MS. Neurokhirurgiya. Moscow: MEDdpress-inform; 2001. (In Russ.)]
2. Nagai K, Aoyama T, Yamada M, et al. Quantification of changes in gait characteristics associated with intermittent claudication in patients with lumbar spinal stenosis. *J Spinal Disord Tech.* 2014;27(4):E136-142. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182a2656b.
3. Sasaki K, Senda M, Katayama Y, et al. Characteristics of Postural Sway during Quiet Standing before and after the Occurrence of Neurogenic Intermittent Claudication in Female Patients with Degenerative Lumbar Spinal Canal Stenosis. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(6):675-678. doi: 10.1589/jpts.25.675.
4. Truszczynska A, Truszczynski O, Rapala K, et al. Postural stability disorders in rural patients with lumbar spinal stenosis. *Ann Agric Environ Med.* 2014;21(1):179-182.
5. Kreiner D, William O, Jeffrey S, et al. Evidence-Based Clinical Guidelines for Multidisciplinary Spine Care. Burr Ridge: North American Spine Society; 2011.
6. Otani K, Kikuchi S, Yabuki S, et al. Lumbar spinal stenosis has a negative impact on quality of life compared with other comorbidities: an epidemiological cross-sectional study of 1862 community-dwelling individuals. *Scientific World Journal.* 2013;2013:590-652. doi: 10.1155/2013/590652.
7. Кононова Е.Л., Ананьева Н.И., Балунов О.А. Нарушения статики при поражении структур мозжечка / I Международный симпозиум «Клиническая постурология, поза и прикус»; июнь 5–8, 2004; Санкт-

- Петербург. – СПб., 2004. [Kononova EL, Anan'eva NI, Balunov OA. Narusheniya statiki pri porazhenii struktur mozzhechka. In: Proceedings of the 1st International symposium "Klinicheskaya posturologiya, poza i prikus"; 2004 Jun 5-8; Saint Petersburg; 2004. (In Russ.)]
8. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. – М., 2007. [Skvortsov DV. Diagnostika dvigatel'noy patologii instrumental'nymi metodami: analiz pokhodki, stabilometriya. Moscow; 2007. (In Russ.)]
 9. Collins JJ, De Luca CJ. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res.* 1993;95(2):308-318. doi: 10.1007/BF00229788.
 10. Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика. – СПб.: Фолиант, 2003. [Zaytsev VM, Lifyandskiy VG, Marinkin VI. Prikladnaya meditsinskaya statistika. Saint Petersburg: Foliant; 2003. (In Russ.)]
 11. Riley MA, Balasubramaniam R, Turvey MT. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait Posture.* 1999;9(1):65-78. doi: 10.1016/S0966-6362(98)00044-7.
 12. Blaszczyk JW, Klonowski W. Postural stability and fractal dynamics. *Acta Neurobiol Exp (Wars).* 2001;61(2):105-112.
 13. Roerdink M, De Haart M, Daffertshofer A, et al. Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Exp Brain Res.* 2006;174(2):256-269. doi: 10.1007/s00221-006-0441-7.
 14. Blaszczyk JW. Sway ratio — a new measure for quantifying postural stability. *Acta Neurobiol Exp (Wars).* 2008;68(1):51-57.
 15. Raymakers JA, Samson MM, Verhaar HJ. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture.* 2005;21(1):48-58. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.11.006.
 16. Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Stergiou N. A nonlinear dynamic approach for evaluating postural control: new directions for the management of sport-related cerebral concussion. *Sports Med.* 2005;35(11):935-950. doi: 10.2165/00007256-200535110-00002.
 17. Schmit JM, Riley MA, Dalvi A, et al. Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. *Exp Brain Res.* 2006;168(3):357-367. doi: 10.1007/s00221-005-0094-y.
 18. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивоенко 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. – Т. 5. – № 3. – С. 50–57. [Nikityuk IE, Ikoeva GA, Kivoenko OI. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2017;5(3):50-57. (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS5350-57
 19. Donker SF, Ledebt A, Roerdink M, et al. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res.* 2008;184(3):363-370. doi: 10.1007/s00221-007-1105-y.
 20. Goldberger AL. Fractal Variability Versus Pathologic Periodicity: Complexity Loss and Stereotypy in Disease. *Perspect Biol Med.* 1997;40(4):543-561. doi: 10.1353/pbm.1997.0063.

Сведения об авторах

Игорь Евгеньевич Никитюк — канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: femtotech@mail.ru.

Елизавета Леонидовна Кононова — канд. мед. наук, руководитель лаборатории физиологических и биомеханических исследований ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Yelisaveta@yandex.ru.

Сергей Валентинович Виссарионов — д-р мед. наук, профессор, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.

Igor E. Nikityuk — MD, PhD, Leading Research Associate of the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. E-mail: femtotech@mail.ru.

Elizaveta L. Kononova — MD, PhD, Head of the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Yelisaveta@yandex.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, Professor, Deputy Director for Research and Academic Affairs, Head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.