

Оценка пострурального контроля в детском возрасте

Т.В. Самсонова, В.А. Кривоногов, С.Б. Назаров, Ю.А. Рыльская

ФГБУ «Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства им. В.Н. Городкова»
Минздрава России, Иваново, Россия

Assessment of postural control in children

T.V. Samsonova, V.A. Krivonogov, S.B. Nazarov, Yu.A. Ryl'skaya

Gorodkov Ivanovo Research Institute of Maternity and Childhood, Ivanovo, Russia

Актуальность темы обусловлена высокой частотой нарушений пострурального контроля у пациентов с неврологической патологией и отсутствием единых подходов к их диагностике у детей. В статье представлены основные этапы формирования пострурального контроля и механизмы поддержания равновесия в детском возрасте. Проведена оценка информативности существующих клинических шкал, применяемых для исследования отдельных компонентов пострурального баланса у детей в клинической практике. Освещена диагностическая значимость функциональных методов оценки пострурального контроля, среди которых особое внимание уделено компьютерной постурографии (стабилометрии) и акселерометрии. Представлены основные клинические и функциональные диагностические маркеры нарушения пострурального баланса у детей разных возрастных и нозологических групп. Дальнейшие исследования в этой области позволят разработать наиболее объективные критерии нарушения пострурального контроля в детском возрасте, что будет способствовать повышению эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: дети, поструральный контроль, постурографическое исследование, стабилометрия, акселерометрический анализ.

Для цитирования: Самсонова Т.В., Кривоногов В.А., Назаров С.Б., Рыльская Ю.А. Оценка пострурального контроля в детском возрасте. Рос вестн перинатол и педиатр 2022; 67:(5): 27–33. DOI: 10.21508/1027-4065-2022-67-5-27-33

The relevance of the study is due to the high incidence of postural control impairment in patients with neurological diseases and lack of common approaches to their diagnosing in children. In this article we show the main stages in the formation of postural control and mechanisms of balance maintaining in childhood. We assessed the information content of existing clinical scales used to study components of postural balance in children in clinical practice. Also, we studied the diagnostic significance of functional methods for assessing postural control. Particular attention we paid to the study of the diagnostic significance of computer posturography (stabilometry) and accelerometry. We identified the main clinical and functional diagnostic markers of postural imbalance in children of different age and nosological groups. Further research in this area will make it possible to develop the most objective criteria for impaired postural control in childhood, which will increase the effectiveness of treatment and rehabilitation measures.

Key words: children, postural control, posturography, stabilometry, accelerometric analysis.

For citation: Samsonova T.V., Krivonogov V.A., Nazarov S.B., Ryl'skaya Yu.A. Assessment of postural control in children. Vestn Perinatol i Peditr 2022; 67:(5): 27–33 (in Russ). DOI: 10.21508/1027-4065-2022-67-5-27-33

Формирование пострурального контроля — сложный физиологический процесс, создающий фундамент для развития всех двигательных функций [1]. Его развитие — результат созревания нейронов, сенсомоторной интеграции и воздействия окру-

жающей среды [2]. При патологии нервной системы у детей эти механизмы могут нарушаться в различном сочетании, что обуславливает высокую частоту поструральных нарушений [3, 4]. Клиническая оценка пострурального контроля у детей затруднена в связи с возрастными особенностями. На проявления его нарушений могут влиять физиологическая незрелость нервной системы и другие особенности развивающегося мозга [5]. В связи с этим идет активный поиск объективных критериев оценки пострурального контроля у детей, которые позволили бы провести раннюю диагностику его нарушений.

Этапы формирования пострурального контроля

Во время внутриутробного развития воздействие гравитации на плод минимально. Сразу после рождения начинается процесс адаптации ребенка к жизни в гравитационном поле Земли, что инициирует начало становления пострурального контроля [6]. На первом году жизни через освоение ряда антигравитационных поз осуществляется переход ребенка

© Коллектив авторов, 2022

Адрес для корреспонденции: Самсонова Татьяна Вячеславовна — д.м.н., вед. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000-0001-6102-6173
e-mail: tv_samsonova@mail.ru

Кривоногов Владислав Андреевич — мл. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000-0003-2275-0104

Назаров Сергей Борисович — д.м.н., проф., зам. дир. по научной работе Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000-0003-1545-7655

Рыльская Юлия Андреевна — мл. науч. сотр. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста Ивановского научно-исследовательского института материнства и детства им. В.Н. Городкова, ORCID: 0000-0002-2573-5420

153045 Иваново, ул. Победы, д. 20

к вертикализации [7]. Дети постепенно переходят от установления контроля головы против силы тяжести к контролю верхних, средних и нижних грудных сегментов тела, а затем от верхних и нижних поясничных сегментов до полного контроля туловища и самостоятельного сидения [2]. К концу первого года ребенок приобретает способность самостоятельно стоять и делать первые шаги [8]. Процесс формирования пострального контроля наиболее активно протекает до 6–7 лет. Одновременно с этим к указанному возрасту формируется и закрепляется индивидуальный профиль функциональной (моторной, сенсорной, психической) асимметрии и схемы тела человека как постральной модели прямоходящего существа [3].

Клинические шкалы оценки пострального контроля у детей

При изучении информативности клинических шкал, применяемых в педиатрии, канадскими учеными было проанализировано более 20 тестов, используемых в клинической практике за последние 30 лет. Показано, что ни одна из изученных шкал не характеризовала сразу все компоненты пострального контроля [9]. Для оценки отдельных компонентов пострального баланса у детей наиболее часто применяются модифицированные шкалы, имеющие достаточную валидность во взрослой неврологии.

Тест «Встань и иди» (Timed Up and Go test) разработан для оценки мобильности и динамического компонента пострального баланса у пациентов с инсультом, болезнью Паркинсона и другими заболеваниями центральной нервной системы (ЦНС) у взрослых пациентов [10–12]. В настоящее время тест адаптирован к применению в детской неврологии. Высокая информативность модифицированного теста показана при оценке функции равновесия у детей 3–14 лет с детским церебральным параличом, черепно-мозговой травмой, синдромом Дауна, аномалиями развития позвоночника [13]. Для проведения теста ребенка просят сесть на стул так, чтобы бедра и колени были согнуты под углом 90°, по команде исследователя ребенок встает со стула, проходит 3 м, дотрагивается до мишени, поворачивается, идет обратно и занимает исходную позицию. Измерение проводится трижды, фиксируется среднее время выполнения теста. Нормативное значение составляет менее 10 с [14].

Педиатрическая шкала баланса (Pediatric Balance Scale) предусмотрена для оценки функции равновесия у детей 5–15 лет с легкими и умеренными двигательными нарушениями [15]. Представляет собой модифицированную шкалу баланса Берга, применяемую у взрослых пациентов для оценки статического и динамического компонента пострального контроля [16]. Состоит из 14 пунктов, качество выполнения каждого из которых оценивается от 0 до 4 баллов;

6 пунктов шкалы характеризуют статический компонент баланса, 8 пунктов направлены на диагностику нарушений динамического компонента равновесия [17]. Суммарная максимальная оценка по шкале составляет 56 баллов. Сумма баллов 45 и более считается нормой [18].

Педиатрический тест досягаемости (Pediatric Reach Test) представляет собой модификацию теста функциональной досягаемости (Functional Reach Test). Во время исследования ребенка просят встать на таком расстоянии от стены, чтобы плечи располагались перпендикулярно к измерительному прибору. Первый замер проводят, когда пациент поднимает сжатую в кулак руку параллельно полу. Затем его просят максимально наклониться вперед и делают второе измерение. Балльная оценка за исследование вычисляется путем определения разности окончательного и первоначального показателей [19]. Тест предусматривает проведение измерений при наклонах в стороны, а также в положении сидя [20]. Он используется у детей 5–15 лет с детским церебральным параличом для оценки динамического компонента пострального баланса. Нормативные значения теста различаются в зависимости от возраста испытуемых.

Шкала оценки контроля туловища (Trunk Control Measurement Scale) состоит из 15 пунктов, оценивающих статический и динамический компоненты баланса [21]. Пять первых пунктов характеризуют статическое равновесие при удержании позы сидя, следующие десять — динамический баланс. Целевой группой для применения шкалы авторы считают детей со спастическими формами детского церебрального паралича в возрасте 8–15 лет. Максимальная суммарная оценка по шкале составляет 58 баллов.

Исследование пострального баланса у детей грудного возраста до последнего времени ограничивалось проведением неврологического осмотра. В последние годы появились исследования, посвященные изучению информативности клинических шкал, оценивающих функцию равновесия у детей данной возрастной группы [22, 23].

Шкала сегментарной оценки контроля туловища (Segmental Assessment of Trunk Control) оценивает способность детей к контролю положения туловища в 6 сегментах, представленных головой, верхнегрудным, среднегрудным, нижнегрудным, верхним поясничным и нижним поясничным сегментами, а также способность к полному контролю туловища в положениях лежа, сидя или стоя [22]. В процессе тестирования исследователь располагает руки непосредственно под изучаемым сегментом тела, ограничивая таким образом движения туловища ниже уровня поддержки. В каждом из указанных сегментов тела оцениваются статический (стационарный), активный (упреждающий) и реактивный (поддержание или восстановление контроля туловища после потери равновесия, вызванной резким толчком) виды контроля туловища.

Шкала моторного развития младенцев Альберта (Alberta Infant Motor Scale) представляет собой методику оценки общего моторного развития у детей от 0 до 18 мес и неспецифична для исследования постурального контроля [23]. Тестирование проводится в положении лежа на животе, лежа на спине, сидя и стоя. Всего оцениваются 58 навыков, каждому из которых присваивается определенный балл. После проведения исследования полученные баллы суммируются и проводится общая оценка моторного развития.

Инструментальные методы оценки постурального контроля

Для объективной оценки постурального контроля в настоящее время используются функциональные методы диагностики: постурография (стабилометрия); акселерометрия; исследование с использованием резистивных датчиков давления, магнитных трекинговых систем; поверхностная электромиография [24–28]. Наиболее часто для диагностики постуральных нарушений у детей применяются постурографические платформы и акселерометрические датчики, что может быть обусловлено их высокой информативностью, простотой проведения исследования и экономической доступностью.

Постурографическое исследование. «Золотым стандартом» для оценки постурального контроля служит постурографическое исследование, основанное на регистрации положения и колебаний проекции общего центра массы тела на плоскость опоры [29]. Для проведения обследования используется постурографическая (стабилометрическая) платформа, оснащенная тензометрическими датчиками, регистрирующими изменения координат центра давления. При помощи программного обеспечения цифровой сигнал от датчиков преобразуется в графические представления перемещения центра давления и формируется постурографическое заключение, включающее большой ряд параметров, характеризующих состояние постурального контроля [30].

Высокая диагностическая значимость метода показана при выявлении постуральных нарушений у пациентов с церебральной патологией: инсультом, болезнью Паркинсона, рассеянным склерозом, травматическими поражениями головного мозга [31, 32]. В детской неврологии постурографическое исследование применяется при детском церебральном параличе, расстройствах аутистического спектра, задержке и нарушении моторного развития [24, 33, 34].

Изучение значимости постурографического исследования для оценки постурального контроля у детей со спастическими формами детского церебрального паралича проведено в работе, включавшей 26 пациентов, средний возраст которых составил $7,8 \pm 3,4$ года [24]. Методом сравнения служила педиатрическая шкала баланса. Постурографическое

исследование проводилось в положении пациента сидя и стоя с открытыми и закрытыми глазами, длительность записи составляла 10 с. Балльная оценка по педиатрической шкале баланса имела отрицательную корреляцию со скоростью перемещения и смещением центра давления в переднезадней плоскости при обследовании в положении стоя. При анализе результатов постурографии в положении сидя была обнаружена отрицательная корреляция между скоростью перемещения и смещением центра давления в медиолатеральной плоскости и показателями педиатрической шкалы баланса. Аналогичные изменения показателей постурограммы отличали пациентов со спастическими формами детского церебрального паралича и постуральными нарушениями от здоровых детей в исследовании ученых из Японии [35].

В результате исследования, включавшего 17 детей с разными формами детского церебрального паралича (GMFCS I–II) и 17 здоровых пациентов школьного возраста, установлена диагностическая значимость показателей площади поверхности под постурографической траекторией, среднеквадратичного отклонения общего центра давления и средней скорости движения центра давления для выявления нарушений постурального контроля [36]. В качестве метода сравнения авторами была использована клиническая шкала оценки контроля туловища, результаты которой имели сильную корреляцию с перечисленными показателями постурограммы.

Высокую диагностическую значимость площади эллипса постурограммы для оценки состояния постурального контроля у детей с разными формами детского церебрального паралича подтверждают результаты исследования, проведенного в США [37]. Учеными был проанализирован 21 показатель постурограммы у 60 детей школьного возраста, из которых 30 развивались без отклонений, а 30 имели детский церебральный паралич. К показателям, показавшим высокую диагностическую значимость, авторы также отнесли среднюю скорость движения центра давления в переднезадней плоскости, среднее радиальное смещение и диапазон перемещений в медиолатеральной плоскости.

В исследовании ученых из России для диагностики постуральных нарушений при детском церебральном параличе использовались следующие стабилометрические показатели: длина траектории, пройденной центром давления, площадь статокинезиограммы, отношение длины статокинезиограммы к ее площади, а также средняя амплитуда колебаний центра давления [38]. Всего в исследовании приняли участие 20 пациентов дошкольного и школьного возраста с легкими и тяжелыми формами детского церебрального паралича и 10 здоровых детей. Несмотря на разную степень выраженности двигательных нарушений у детей с легкими и тяжелыми формами детского церебрального паралича, выраженные наруше-

ния постурального баланса были выявлены в обеих группах, что подтверждалось изменением перечисленных показателей стабиллограммы, которые отличались от показателей здоровых детей.

Недостаточная чувствительность постурографии установлена при минимально выраженных постуральных нарушениях [39]. В результате исследования, включавшего 100 детей со спастическими формами детского церебрального паралича в возрасте 4–14 лет, показана необходимость дальнейшей разработки более чувствительных и информативных критериев постурографической диагностики.

Изучение состояния постурального контроля при помощи постурографии у детей с расстройствами аутистического спектра проведено в работе, включавшей 29 пациентов [33]. Перед началом исследования учеными были сформированы 3 группы в зависимости от возраста детей: 1-я группа — 6–8 лет, 2-я группа — 9–11 лет и 3-я группа — 12–14 лет. Постурографическое исследование проводилось в положении стоя, длительность записи составляла 15 с при открытых глазах и 15 с при закрытых глазах. Из полученной постурограммы были проанализированы такие показатели, как смещение центра давления в медиолатеральной и переднезадней плоскостях, длина его траектории движения, энтропия и площадь колебаний центра давления. Пациенты 1-й группы продемонстрировали большее смещение центра давления в медиолатеральной плоскости, в то время как у детей 3-й группы данный показатель соответствовал норме. В результате исследования был сделан вывод, что у детей с расстройствами аутистического спектра темпы формирования постурального контроля могут быть замедленными, а для диагностики постуральных нарушений наиболее значимым показателем постурограммы служит смещение центра давления в медиолатеральной плоскости.

Аналогичные параметры постурограммы были проанализированы у 17 детей с расстройствами аутистического спектра и 20 здоровых детей в возрасте 6–18 лет [40]. Исследование проводилось в положении стоя с установкой стоп по ширине плеч, при близкой установке стоп друг к другу и во время кругового раскачивания при установке стоп по ширине плеч. Участники также выполняли шаговое задание, при котором они шагали вперед с одной платформы на другую. При последнем тесте авторами также были проанализированы амплитуда и продолжительность упреждающих корректировок позы, а также продолжительность и скорость корректировок центра давления после начального шага. Межгрупповые различия были получены при сравнении длины траектории движения центра давления. Во время выполнения шагового задания у детей с расстройствами аутистического спектра наблюдалось уменьшение продолжительности переноса тела по сравнению с пациентами контрольной группы. Эти параметры могут

быть использованы при диагностике постуральных нарушений у детей с расстройствами аутистического спектра во время выполнения статических и динамических задач.

Результативность применения стабилметрического исследования для диагностики постуральных нарушений у детей первого полугодия жизни оценена в работе, включавшей 130 пациентов в возрасте 3–6 месяцев, у 114 из которых отмечались последствия перинатального поражения ЦНС в виде двигательных нарушений, а у 16 неврологическая патология отсутствовала [34]. Исследование проводилось на стабилметрической платформе с высокой чувствительностью для малой массы тела по разработанной авторами методике, в положении ребенка лежа на животе с опорой на предплечья или ладони [41]. Ретроспективно при достижении обследованными детьми возраста 1 года основная группа была разделена на 2 подгруппы в зависимости от исходов перинатального поражения ЦНС: с нарушением моторного развития при компенсации двигательных нарушений и с детским церебральным параличом. В результате исследования установлена диагностическая значимость показателей ширины, разности длины и ширины эллипса статокинезиограммы и скорости перемещения центра давления при нарушении моторного развития. Параметры уровней 60% мощности спектра во фронтальной и сагиттальной плоскостях, разности длины и ширины эллипса статокинезиограммы показали диагностическое значение при формировании детского церебрального паралича у детей первого полугодия жизни.

Показана высокая значимость метода компьютерной стабилметрии у детей первого года жизни с двигательными нарушениями для оценки эффективности лечебно-абилитационных мероприятий [42]. При анализе статокинезиограмм, полученных до и после курса медицинской реабилитации, у 72% детей отмечалась положительная динамика стабилметрических показателей (разности длины и ширины эллипса статокинезиограммы), которая соответствовала клиническому улучшению.

Оценка постурального контроля у детей в возрасте 6 мес с высоким риском развития аутизма при помощи постурографической платформы проведена в работе ученых из США [43]. Всего в исследовании участвовали 19 пациентов, из которых 8 составили основную группу, а 11 — контрольную (дети с низким риском развития аутизма). Постурографическое исследование проводилось в положении сидя. Дети были прослежены в анамнезе, диагноз у пациентов основной группы был подтвержден. При анализе постурограмм, полученных в возрасте 6 мес, существенных межгрупповых различий не получено, что свидетельствует о недостаточной информативности постурографического исследования в данном возрасте у больных этой категории.

Акселерометрическая оценка постурального контроля. В последнее время для оценки постурального контроля начинают применяться акселерометрические датчики. Среди широкого диапазона акселерометров наиболее подходящими для исследования баланса являются трехосевые датчики, регистрирующие ускорения тела или сегмента тела, к которому они прикреплены, в трех осях пространства [44]. Эффективность акселерометров продемонстрирована при оценке постурального контроля у здоровых пожилых людей, у пациентов с болезнью Паркинсона, болезнью Гентингтона, инсультом, прогрессирующей мозжечковой атаксией и вестибулярными расстройствами [45, 46].

Изучение результативности применения акселерометрических датчиков для оценки постурального контроля в детском возрасте проводилось у здоровых детей, а также у пациентов с патологией вестибулярной системы, нарушениями координации движений и детским церебральным параличом [26, 44, 47]. Средний возраст пациентов, включенных в проанализированные нами исследования, составлял 6–12 лет. Локализация установки датчиков в работах существенно различалась. Наиболее часто акселерометры устанавливали в поясничной области на уровне III–IV поясничных позвонков. Частота записи в исследованиях также различалась. В основном она составляла 100–128 Гц, хотя для изучения движений человека рекомендуется использовать записи на более низких частотах (20–50 Гц) [48]. Регистрация ускорения тела в трех осях пространства осуществлялась во время выполнения детьми определенных заданий, среди которых были следующие: удержание позы стоя на двух ногах с открытыми и закрытыми глазами, балансирование на одной ноге с открытыми и закрытыми глазами, балансирование на одной ноге с открытыми глазами стоя на пенопласте, ходьба до конуса, расположенного на расстоянии 10 м. Авторами установлена отрицательная корреляция между показателями клинических тестов и такими параметрами акселерометрического анализа как ускорение тела по медиолатеральной оси и среднеквадратичное отклонение всех тестов, прове-

денных в положении стоя на одной ноге, а положительная корреляция — с ускорением тела по медиолатеральной оси во время спокойной ходьбы [44, 47].

Оценка постурального контроля при помощи акселерометрических датчиков у детей первого полугодия жизни проведена в работе, включавшей 33 ребенка с нарушением моторного развития и 10 детей контрольной группы в возрасте 3–5 мес [49]. Исследование проводилось по разработанной авторами методике в положении ребенка лежа на животе с опорой на предплечья и удержанием головы по средней линии. Микроэлектромеханический сенсор, оснащенный акселерометром, устанавливался на шейный отдел позвоночника, длительность записи составляла 30 с [50]. Оценивали амплитуду и частоту постурального тремора, возникающего во время удержания данной позы, по трем взаимно перпендикулярным осям — X, Y и Z. Межгрупповые различия были получены при сравнении показателя амплитуды тремора. У детей с нарушением моторного развития отмечалось ее повышение по всем трем осям по сравнению со здоровыми детьми.

Заключение

Разработка методов оценки постурального контроля у детей представляет актуальную задачу. Применяемые в практическом здравоохранении клинические шкалы недостаточно информативны, часто имеют возрастные и нозологические ограничения к применению. Среди методов функциональной диагностики наиболее информативны постурографическое и акселерометрическое исследования, однако результаты исследований диагностической значимости различных маркеров нарушения постурального контроля у детей противоречивы. Дальнейшие исследования в этой области позволят разработать новые объективные критерии нарушения постурального контроля в детском возрасте, что может способствовать своевременному началу лечебно-реабилитационных мероприятий при неврологических заболеваниях с целью повышения их эффективности и предотвращения инвалидизирующих последствий.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. Orendorz-Frączkowska K., Kubacka M. The development of postural control in 6–17 old years healthy children. Part II Postural control evaluation — Limits of Stability Test (LOS) in 6–17 old year children. *Otolaryngologia polska* 2020; 74(4):18–24. DOI: 10.5604/01.3001.0013.8594
2. Duncan K., Goodworth A., Neves Da Costa C.S., Winger M., Saavedra S. Parent handling of typical infants varies segmentally across development of postural control. *Exper Brain Res* 2018; 236(3): 645–654. DOI: 10.1007/s00221-017-5156-4
3. García-Soidán J.L., Leirós-Rodríguez R., Romo-Pérez V., García-Liñeira J. Accelerometric assessment of postural balance in children: a systematic review. *Diagnostics (Basel)* 2020; 11(1): 8. DOI: 10.3390/diagnostics11010008
4. Mouel C.L., Brette R. Mobility as the purpose of postural control. *Frontiers in Computational Neuroscience* 2017; 11: 67. DOI: 10.3389/fncom.2017.00067
5. Boxum A.G., La Bastide-Van Gemert S., Dijkstra L.J., Furda A., Reinders-Messelink H.A., Hadders-Algra M. Postural control during reaching while sitting and general motor behaviour when learning to walk. *Developmental Med Child Neurol* 2019; 61(5): 555–562. DOI: 10.1111/dmcn.13931
6. Adolph K.E., Franchak M. The development of motor behaviour. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Scie* 2017; 8(1–2): 10.1002/wcs.1430. DOI: 10.1002/wcs.1430
7. Pin T.W., Butler P.B., Cheung H.M., Shum S.L. Relationship between segmental trunk control and gross motor de-

- velopment in typically developing infants aged from 4 to 12 months: a pilot study. *BMC Pediatr* 2019; 19(1): 425. DOI: 10.1186/s12887-019-1791-1
8. *Rebello M., Serrano J., Duarte-Mendes P., Monteiro D., Paulo R., Marinho D.A.* Evaluation of the psychometric properties of the portuguese body developmental motor scales-2 edition: a study with children aged 12 to 48 months. *Children (Basel)* 2021; 8(11): 1049. DOI: 10.3390/children8111049
 9. *Sibley K.M., Beauchamp M.K., Ooteghem K.V., Paterson M., Wittmeier K.D.* Components of standing postural control evaluated in pediatric balance measures: a scoping review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2017; 98(10): 2066–2078.e4. DOI: 10.1016/j.apmr.2017.02.032
 10. *Muhla F., Clanche F., Duclos K., Meyer P., Maïaux S., Colnat-Coulbois S. et al.* Impact of using immersive virtual reality over time and steps in the Timed Up and Go test in elder. *PLoS One* 2020; 15(3): e0229594. DOI: 10.1371/journal.pone.0229594
 11. *Aramaki A.L., Sampaio R.F., Reis A.C.S., Cavalcanti A., Silva E. Dutra F.C.M.* Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* 2019; 77(4): 268–278. DOI: 10.1590/0004-282X20190025
 12. *Cekok K., Kahraman T., Duran G., Colakoğlu B.D., Yener G., Yerlikaya D.* Timed Up and Go Test With a Cognitive Task: Correlations With Neuropsychological Measures in People With Parkinson's Disease. *Cureus* 2020; 12(9): e10604. DOI: 10.7759/cureus.10604
 13. *Al-Toaimi N.S., Shaheen A.A.M., Algabbani M.F., Gawwad R.W.M.* Reference values for the Modified Timed Up and Go Test in Saudi children aged 4–12 years old in Riyadh city: cross-sectional study. *Ann Intern Med* 2021; 53(1):1905–1913. DOI: 10.1080/07853890.2021.1986638
 14. *Choi J.Y., Son S.M., Park S.H.* A backward walking training program to improve balance and mobility in children with cerebral palsy. *Healthcare (Basel)* 2021; 9(9): 1191. DOI: 10.3390/healthcare9091191
 15. *Panchal A., Tedla J.S., Ghatamaneni D., Reddy R.S., Sangadala D.R., Alshahrani M.S.* Normative reference values for the timed up-and-go test in Indian children aged four to 11 years old and their correlation with demographic characteristics: A cross-sectional study. *Nigerian J Clin Pract* 2021; 24(4): 569–575. DOI: 10.4103/njcp.njcp_204_20
 16. *Karasu A.U., Batur E.B., Karatas G.K.* Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: A randomized controlled study. *J Rehabil Med* 2018; 50(5): 406–412. DOI: 10.2340/16501977-2331
 17. *Suk M.H., Park I.K., Yoo S., Kwon J.Y.* The association between motor capacity and motor performance in school-aged children with cerebral palsy: An observational study. *Journal of exercise science and fitness* 2021; 19(4): 223–228. DOI: 10.1016/j.jesf.2021.07.002
 18. *Kim S.K., Park D., Yoo B., Shim D., Choi J.O., Choi T.Y. et al.* Overground robot-assisted gait training for pediatric cerebral palsy. *Sensors (Basel)* 2021; 21(6): 2087. DOI: 10.3390/s21062087
 19. *Jung Y., Chun E.J., Chun H.L., Lee B.H.* Effects of whole-body vibration combined with action observation on gross motor function, balance, and gait in children with spastic cerebral palsy: a preliminary study. *J Exerc Rehabil* 2020; 16(3): 249–257. DOI: 10.12965/jer.2040136.068
 20. *Panibatl S., Kumar V., Narayan A.* Relationship Between Trunk Control and Balance in Children with Spastic Cerebral Palsy: A Cross-Sectional Study. *J Clin Diagn Res* 2017; 11(9): YC05–YC08. DOI: 10.7860/JCDR/2017/28388.10649
 21. *Marsico P., Mitteregger E., Balzer J., van Hedel H.J.* The Trunk Control Measurement Scale: reliability and discriminative validity in children and young people with neuromotor disorders. *Developm Med Child Neurol* 2017; 59(7): 706–712. DOI: 10.1111/dmcn.13425
 22. *Sangkarit N., Keeratisiroj O., Yonglithipagon P., Bennett S., Siritaratiwat W.* Segmental Assessment of Trunk Control in Moderate-to-Late Preterm Infants Related to Sitting Development. *Children (Basel)* 2021; 8(9): 722. DOI: 10.3390/children8090722
 23. *Kepenek-Varol B., Hosbay Z., Varol S., Torun E.* Assessment of motor development using the Alberta Infant Motor Scale in full-term infants. *Turkish J Pediatr* 2020; 62(1): 94–102. DOI: 10.24953/turkjped.2020.01.013
 24. *Shim D., Park D., Yoo B., Choi J.O., Hong J., Choi T.Y. et al.* Evaluation of sitting and standing postural balance in cerebral palsy by center-of-pressure measurement using force plates: comparison with clinical measurements. *Gait Posture* 2021; 92: 110–115. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.11.024
 25. *Garcia-Lineira J., Leiros-Rodriguez R., Romo-Perez V., Garcia-Soldán J.L.* Validity and Reliability of a Tool for Accelerometric Assessment of Balance in Scholar Children. *J Clin Med* 2021; 10(1): 137. DOI: 10.3390/jcm10010137
 26. *Guo G., Guffey K., Chen W., Pergami P.* Classification of normal and pathological gait in young children based on foot pressure data. *Neuroinformatics* 2017; 15(1): 13–24. DOI: 10.1007/s12021-016-9313-x
 27. *Wu W., Lee P.V.S., Ackland D.C.* The sensitivity of shoulder muscle and joint force predictions to changes in joint kinematics: A Monte-Carlo analysis. *Gait Posture* 2017; 54: 87–92. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.02.027
 28. *Coratella G., Longo S., Rampichini S., Doria C., Borrelli M., Limonta E. et al.* Passive stretching decreases muscle efficiency in balance tasks. *PLoS One* 2021; 16(9): e0256656. DOI: 10.1371/journal.pone.0256656
 29. *Ernandes R.C., Brech G.C., Luna N.M.C., Nunes M.F., Greve J.M., Leme L.E.G.* Relationship of force platform with the clinical balance evaluation systems test in older adults. *Acta Ortopedica Brasileira* 2020; 28(3): 111–113. DOI: 10.1590/1413-785220202803228895
 30. *Quijoux F., Nicolai A., Chairi I., Bargiotas I., Ricard D., Yelnik A. et al.* A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. *Physiol Reports* 2021; 9(22): e15067. DOI: 10.14814/phy2.15067
 31. *Błaszczak J.W., Cieslinska-Swider J., Orawiec R.* New methods of posturographic data analysis may improve the diagnostic value of static posturography in multiple sclerosis. *Heliyon* 2021; 7(2): e06190. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06190
 32. *Kamieniarz A., Michalska J., Brachman A., Pawlowski M., Słomka K.J., Juras K.* A posturographic procedure assessing balance disorders in Parkinson's disease: a systematic review. *Clin Interv Aging* 2018; 13: 2301–2316. DOI: 10.2147/CIA.S180894
 33. *Li Y., Liu T., Venuti C.E.* Development of postural stability in children with autism spectrum disorder: a cross-sectional study. *Int Biomechan* 2021; 8(1): 54–62. DOI: 10.1080/23335432.2021.1968316
 34. *Самсонова Т.В., Назаров С.Б.* Диагностическое значение компьютерной стабилотрии при двигательных нарушениях у детей первого года жизни. *Российский вестник перинатологии и педиатрии* 2019; 64(5): 97–100. [Samsonova T.V., Nazarov S.B. Diagnostic value of computer stabilometry in children with movement disorders in their first twelve months of life. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* 2019; 64(5): 97–100. (in Russ.)] DOI: 10.21508/1027-4065-2019-64-5-97-100
 35. *Kimoto M., Okada K., Mitobe K., Saito M., Kawanobe U., Sakamoto H.* Analysis of center of mass and center of pressure displacement in the transverse plane during gait termination in children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2021; 90: 106–111. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.07.015

36. Pierret J., Caudron S., Paysant J., Beyaert C. Impaired postural control of axial segments in children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2021; 266–272. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2021.03.012
37. Bickley C., Linton J., Sullivan E., Mitchell K., Slota G., Barnes D. Comparison of simultaneous static standing balance data on a pressure mat and force plate in typical children and in children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2019; 67: 91–98. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.08.012
38. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивовенко 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. [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, travmatologiya i vosstanovitel'naya hirurgiya detskogo vozrasta* 2017; 5(3): 49–57. (in Russ.)] DOI: 10.17816/pors5350–57
39. Давыдов О.Д., Степаненко Д.Г. Особенности поструральных нарушений у пациентов со спастическими формами детского церебрального паралича по данным компьютерной стабилотметрии. *Детская и подростковая реабилитация* 2018; 3(35): 39–46. [Davydov O.D., Stepanenko D.G. Features of postural disorders in patients with spastic forms of cerebral palsy according to computer stabilometry. *Detskaya i podrostkovaya reabilitaciya* 2018; 3(35): 39–46. (in Russ.)]
40. Bojanek E.K., Wang Z., White S.P., Mosconi M.W. Postural control processes during standing and step initiation in autism spectrum disorder. *J Neurodevel Dis* 2020; 12(1): 1. DOI: 10.1186/s11689–019–9305-x
41. Самсонова Т.В., Земляникин К.О., Назаров С.Б. Функциональная диагностика двигательной патологии в системе реабилитации детей с последствиями перинатального поражения нервной системы. *Курортная медицина* 2016; 2: 223–225. [Samsonova T.V., Zemlyanikin K.O., Nazarov S.B. Functional diagnostic of motor pathology in rehabilitation system of children with consequences of the nervous system perinatal injuries. *Kurortnaya medicina* 2016; 2: 223–225 (in Russ.)]
42. Самсонова Т.В., Назаров С.Б., Магомедова Н.М., Чистякова А.А. Применение компьютерной стабилотметрии для оценки эффективности медицинской абилитации детей первого года жизни с двигательными нарушениями. *Российский вестник перинатологии и педиатрии* 2020; 65(4): 67–70. [Samsonova T.V., Nazarov S.B., Magomedova N.M., Chistyakova A.A. Computer stabilometry for evaluation of the habilitation effectiveness of children with movement disorders in their first twelve months of life. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* 2020; 65(4): 67–70. (in Russ.)] DOI: 10.21508/1027–4065–2020–65–4–67–70
43. Kyvelidou A., Koss K., Wickstrom J., Needelman H., Fisher W.W., Deveney S. Postural control may drive the development of other domains in infancy. *Clin Biomechan* 2021; 82: 105273. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2021.105273
44. García-Liñeira J., García-Soidán J.L., Romo-Perez V., Leirós-Rodríguez R. Reliability of accelerometric assessment of balance in children aged 6–12 years. *BMC Pediatrics* 2020; 20(1): 161. DOI: 10.1186/s12887–020–02073–1
45. Leiros-Rodríguez R., García-Soidán J.L., Romo-Perez V. Analyzing the use of accelerometers as a method of early diagnosis of alterations in balance in elderly people: a systematic review. *Sensors (Basel)* 2019; 19(18): 3883. DOI: 10.3390/s19183883
46. Chung J., Kim S., Yang Y. Correlation between accelerometry and clinical balance testing in stroke. *J Phys Ther Scie* 2017; 28(8): 2260–2263. DOI: 10.1589/jpts.28.2260
47. García-Lineira J., Leiros-Rodríguez R., Chinchilla-Minguet J.L., García-Soidán J.L. Influence of visual information and sex on postural control in children aged 6–12 years assessed with accelerometric technology. *Diagnostics (Basel)* 2021; 11(4): 637. DOI: 10.3390/diagnostics11040637
48. García-Soidán J.L., García-Liñeira J., Leirós-Rodríguez R., Soto-Rodríguez A. Physical activity practice and optimal development of postural control in schoolchildren: are they related? *J Clin Med* 2020; 9(9): 2919. DOI: 10.3390/jcm9092919
49. Самсонова Т.В., Назаров С.Б., Чистякова А.А., Рылская Ю.А. Постуральный тремор у детей первого года жизни с нарушением моторного развития. *Российский вестник перинатологии и педиатрии* 2021; 66(5): 56–59. [Samsonova T.V., Nazarov S.B., Chistyakova A.A., Ryl'skaya Yu.A. Postural tremor in children with motor development disorders in their first twelve months of life. *Rossiyskiy vestnik perinatologii i pediatrii* 2021; 66(5): 56–59. (in Russ.)] DOI: 10.21508/1027–4065–2021–66–5–56–59
50. Самсонова Т.В., Назаров С.Б., Рылская Ю.А., Чистякова А.А. Регистрация пострурального тремора у детей первого года жизни. *Children's medicine of the north-west* 2021; 9(1): 311. [Samsonova T.V., Nazarov S.B., Ryl'skaya Yu.A., Chistyakova A.A. Registration of postural tremor in children of the first year of life. *Children's medicine of the north-west* 2021; 9(1): 311. (in Russ.)]

Поступила: 15.03.22

Received on: 2022.03.15

Конфликт интересов:

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, финансовой или какой-либо иной поддержки, о которых необходимо сообщить.

Conflict of interest:

The authors of this article confirmed the absence conflict of interests, financial or any other support which should be reported.