

Нарушения биомеханики ходьбы и деформации стоп

Е. В. Жукова, Н. В. Полукаров, Е. М. Морозенкова, А. Д. Куклев, М. В. Волкова

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Походка является двигательным актом, необходимым для выполнения повседневных задач и социального взаимодействия, более того, она является важным психоэмоциональным фактором, влияющим на нормальное развитие человека. К сегодняшнему дню мы имеем множество исследований и гипотез о том, как, когда и каким образом формируется этот сложный навык. В данном обзоре представлены современные научные данные по этому вопросу. В статье отражена нормальная биомеханика походки и цикл ходьбы в норме, факторы, влияющие на развитие походки, а также различные ее патологические формы, приводящие к деформациям костно-мышечной системы и заболеваниям, вызывающим их.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: походка, биомеханика походки, цикл ходьбы, патология, патологическая походка.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disorders of biomechanics of walking and foot deformation

E. V. Zhukova, N. V. Polukarov, E. M. Morozenkova, A. D. Kuklev, M. V. Volkova

Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

SUMMARY

Gait is a motor act which is necessary to do everyday tasks and social interaction. Moreover, it is an important psycho-emotional factor affecting the normal development of person. Nowadays we have a lot of research and hypotheses about when and how the most complex locomotor skill is formed. We made this review summarizing various Russian and foreign publications on this topic over the past 5–10 years to show modern scientific ideas in this field. The review represents the normal biomechanics of gait and the walking cycle in healthy people, factors which affect the development of gait in children, as well as its various pathological forms which may cause some deformities of the musculoskeletal system and diseases. Gait is the most complex cyclic process of interaction between biological mechanisms and social factors of human life. The hereditary and own biological aspects have an influence on gait formation, as well as the character, temperament, profession and upbringing of the child affect the gait biomechanics and the gait pathology in children.

KEYWORDS: Gait, gait biomechanics, the gait cycle, pathology, pathological gait.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

Введение

В настоящее время существует множество исследований зарубежных и отечественных авторов, посвященных развитию походки и биомеханике ходьбы у детей различных возрастов. В XX веке значительный вклад в анализ движений как способа понимания работы головного мозга внес Н. А. Бернштейн (1896–1966), который разработал обоснованную теорию формирования движений, выделяя пять уровней: тонуса, синергии, пространственного поля, предметных действий и интеллектуальных двигательных актов [1]. Вторая половина XX века и начало XXI века ознаменовались публикацией множества научных работ и выдвижением различных теорий о том, как, когда и с помощью каких механизмов у детей формируется самостоятельный навык ходьбы, представляющий собой сложную интеграцию нервной системы и скелетных мышц конечностей.

Ранние гипотезы утверждали, что торможение врожденных двигательных рефлексов новорожденных корой больших полушарий необходимо для развития моторной коры и формирования собственного локомоторного навыка у детей [2]. В 1972 году были опубликованы исследования, показывающие, что тренировка рефлекса автоматической походки с рождения способствует более раннему началу

ходьбы, при этом сам рефлекс сохраняется и может проявляться на протяжении трех месяцев после рождения [3]. В дальнейшем была высказана идея, что данный рефлекс является предшественником самостоятельной ходьбы, которая развивается с практикой, и что обучение этому навыку необходимо, как и любым другим двигательным функциям [4].

Цель исследования

В ходе проведенного литературного обзора трудов, в которых описывается биомеханика походки, факторы, отвечающие за ее становление и ее особенности при патологиях. Поиск взаимосвязи, на каком из этапов развития происходит окончательное формирование паттерна ходьбы.

Материалы и методы

Был проведен поиск в зарубежных и российских источниках. Основу зарубежных источников составили статьи, размещенные на ресурсах PubMed, Medline, Scopus, о биомеханике ходьбы, в которых проводилась оценка биомеханики ходьбы по ключевым словам, а именно: *gait biomechanics, the gait cycle, pathology, pathological gait, pathology, pathological gait*. По результатам

выборки были проанализированы 21 зарубежный и 3 отечественных литературных источника. Критерии включения: в исследовании изучалось только становление биомеханики детей; рассматривались публикации, содержащие информацию о формировании паттерна ходьбы при различных патологиях как ЦНС, так и патологии опорно-двигательного аппарата (ОДА).

Результаты и обсуждение

Жаклин Перри определила походку как «повторяющуюся последовательность движений конечностей, которая обеспечивает перемещение тела вперед при одновременном сохранении стабильности». Походка представляет собой взаимодействие координации работы центральной нервной и костно-мышечной систем, поэтому любые нарушения в этих системах могут привести к изменению биомеханики ходьбы, что негативно сказывается на качестве жизни. Цикл походки делится на две основные фазы: фазу опоры и фазу переноса. Фаза опоры, когда нога касается земли и начинается с «первичного контакта», охватывает 60 % времени цикла. Фаза переноса, продолжительность которой составляет 40 %, определяется временем, когда конечность движется вперед без контакта с землей [5].

I. Фаза опоры

1. Первичный контакт с поверхностью. Соприкосновение конечности с внешней стороной пятки. Основная функция этого этапа заключается в инициации обеспечения стабильности и приеме веса тела.
2. Постановка ноги на опору. Задачами этого этапа являются распределение, прием веса на опорной ноге и поддержание положения тела.
3. Опора на полную стопу. На этом этапе опорная конечность полностью нагружена, а контралатеральная конечность совершает фазу переноса.
4. Отталкивание носком опорной ноги. В этом этапе тело начинает двигаться вперед, отталкиваясь опорной ногой. Максимальное разгибание опорной ноги происходит в момент, когда контралатеральная конечность находится в фазе первоначального контакта.

II. Фаза переноса конечности

1. Подготовительная стадия. Ее цель – подготовить конечности к маху.
2. Начало движения. Задача этой стадии состоит в инициации продвижения конечности.
3. Средняя стадия. Конечность движется вперед, тазобедренный сустав достигает сгибания 20°.
4. Конечная стадия. В этой стадии основной задачей является обеспечение стабильности и готовности тазобедренных и коленных суставов к первоначальному контакту.

Развитие походки

Недавно исследователи сообщили, что процесс обучения начинается уже внутриутробно в момент, когда эмбрионы касаются своего тела. Увеличивая количество

соприкосновений, они стремятся более целенаправленно осуществлять контакт с областями лица и рта. Затем открытие рта уже начинается по мере приближения руки. Исследователи делают вывод, что это происходит из-за развития нейронов соматосенсорной коры в процессе постоянной практики [6, 7].

Литературные данные говорят нам о том, что только 70–84 % здоровых новорожденных отвечают на определенную тактильную стимуляцию движениями, имитирующими ходьбу [8, 9]. Эти движения младенцы осуществляют с разной скоростью, одновременно обеими ногами или же последовательно каждой ногой с разной частотой. Различную частоту движений исследователи объясняют разными уровнями возбуждения в нейронах [10], вариабельность этой частоты высока даже тогда, когда уровень возбуждения «оптимальный» [11]. Данный поведенческий паттерн не такой же автоматический, как и другие рефлексy (например, рефлекс Моро) [12], не полностью заданный и стереотипный, а вполне пластичен и зависит от способности нейронов генерировать возбуждение в конкретный момент времени.

Классический рефлекс автоматической походки наблюдается до трехмесячного возраста. В 1980-х годах Esther Thelen создала специальную детскую беговую дорожку, которая позволяет изучать особенности походки. В ее работах исследователи изменяли скорость движения ленты, а также направление ее движения, и было установлено, что дети в возрасте 6–7 месяцев способны приспосабливаться к таким меняющимся условиям и продолжают шагать [13, 14]. Биомеханика походки зависит от взаимодействия активных нейронов и мышечного ответа под влиянием силы тяжести [15]. В 2011 году с помощью электромиографии было установлено, что ритмическая мышечная активность новорожденных к двум годам преобразуется в такую же активность, которую совершают мышцы взрослых в процессе произвольной ходьбы. У младенцев достаточно большое количество мышечных волокон участвовало в сокращении в ответ на возбуждение сенсомоторной зоны коры [16]. Данные нейромышечных взаимодействий – необходимое условие для обучения самостоятельной походке.

Обычно ребенок начинает ползать к 6–7-му месяцу жизни, к году учится ходить и самостоятельно поддерживать постуральный тонус. Во время активного физического роста в подростковом периоде локомоторный контроль и постуральная координация становятся зрелыми. Согласно исследованию Hillman, временные и пространственные параметры детской походки становятся относительно зрелыми к четырехлетнему возрасту [17]. К 5 годам движения в коленном и тазобедренном суставах становятся такими же, как и у взрослых, а в голеностопном суставе только 9 годам [18]. От 7 до 16 лет походка гораздо более стабильна, но функция координации по-прежнему продолжает улучшаться в подростковом возрасте [19]. Незрелый локомоторный контроль у маленьких детей вызывает более высокую степень изменчивости во время шага, так что серия

шагов будет представлять большие колебания или динамическую сложность [17]. У ребенка в возрасте 8–10 лет длина шага в 3 раза больше, чем у годовалого. К 15 годам параметры походки детей становятся как у взрослых [20]. Способность ходить сама по себе очень важна для психомоторного развития человека, она позволяет гораздо лучше исследовать окружающее пространство и взаимодействовать с предметами.

В 2016 году было проведено сравнительное исследование походок взрослых и детей в различном возрасте. Детей поделили на 3 группы – до 6 лет, 7–10 лет, старше 11. Исследования параметров походки детей этих возрастов показали, что биомеханика локомоторного акта формируется к 7–8 годам. Выявлены следующие различия в паттерне походок детей от взрослых: в фазе переноса конечности – меньшая длина шага и средняя скорость движения, а в опорной фазе – более высокий темп ходьбы. Именно отличия в темпе наиболее существенно влияют на биомеханику походки детей. В третьей возрастной группе рисунок походки был наиболее стабильным и похож на таковой у взрослого человека [20].

Механизмы формирования патологической походки и деформации стоп

На формирование ходьбы влияют две большие группы факторов:

1. Физиологические факторы (состояние нервной системы, возбудимость и сократимость мышечной ткани, координация движений, суставно-мышечное чувство и др.).
2. Механические факторы (структура костей и суставов, соотношение длин конечностей, объем конечностей и др.).

Для понимания влияния каждого из этих факторов на походку человека ниже приведены примеры нозологий, объяснены патофизиологические механизмы развития той или иной патологической походки и описаны деформации стоп, которые при этом возникают.

Центральная нервная система и нейромышечные взаимодействия

Значительной частью патологий ЦНС являются наследственные заболевания. Болезнь Шарко – Мари – Тута – наследственная демиелинизирующая периферическая нейропатия с прогрессирующим течением. Основными симптомами являются слабость и атрофия мышц в дистальных отделах верхних и нижних конечностей с последующей деформацией этих отделов и потерей чувствительности [21]. Как правило, симптомы начинаются в детстве и медленно прогрессируют в проксимальном направлении, нарушая локомоторные функции. Субстратом болезни является поражение афферентных и эфферентных нейронов. Имеется несколько форм данного заболевания, на тип 1А приходится 40–50 % случаев. Мутации происходят в генах, кодирующих важные белки, которые принимают участие в формировании миелиновой оболочки. Для этого заболевания характерна походка: стопа свисает, и человек не может

ее согнуть в голеностопном суставе из-за поражения малоберцового нерва и нарушения отталкивания в конечной стадии опорной фазы походки [23]. Варусная деформация стопы, заключающаяся в подъеме медиального свода стопы, подошвенном сгибании, опоре на внешнюю часть стопы.

Синдром Дауна является наиболее часто встречающейся хромосомной аномалией среди живых новорожденных [22]. Дети с синдромом Дауна часто сталкиваются с патологией ОДА, гипотонией, слабостью связочного аппарата, нестабильностью атлантоаксиального сочленения, дислокацией тазобедренного сустава и коленной чашечки, а также с деформацией стоп. Плоскостопие считается одной из наиболее часто встречаемых проблем ОДА среди детей с синдромом Дауна, эта распространенность колеблется от 19,9 до 83 % [22]. Также нередко встречается поперечно распластанная деформация переднего отдела стопы с вальгусной деформацией первого пальца. Плоскостопие, как правило, связано с гипотонией и слабостью связочного аппарата, которые являются типичными особенностями этого синдрома. В связи с этим у детей с синдромом Дауна наблюдается изменение биомеханики походки. Они ходят медленней и имеют меньшую длину шага по сравнению со здоровыми сверстниками. С возрастом у них, как и у здоровых детей, увеличивается скорость походки и длина шага, но опорная фаза походки со временем не изменяется. Были обнаружены существенные различия между детьми с высоким, нормальным и низким сводом стоп, который демонстрировал менее функциональную модель походки. Дети с синдромом Дауна и плоскостопием значительно задевали голеностопный сустав во время ходьбы. Из этого следует, что наличие плоскостопия и других факторов, таких как ожирение, чаще вызывают боль и дискомфорт в нижних конечностях. Увеличение степени плоскостопия приводит к снижению способности отталкивания от поверхности во время походки, приводя к нарушениям нормального цикла ходьбы. Происходит формирование порочного круга, прогрессирующая патология изменяет биомеханику походки и увеличивает степень плоскостопия. Ожирение также свойственно людям с синдромом Дауна. Изменения биомеханики походки, вызванные ожирением, зависят от пола. Данные показали, что эти изменения более выражены у женщин по сравнению с мужчинами, в частности на уровне тазобедренного сустава и таза. Женщины и мужчины, имея сходную массу, характеризуются разным распределением жировой ткани. У мужчин жировая масса обычно накапливается в области живота, тогда как у женщин чаще в области бедер. Избыток жировой массы у женщин является одной из причин изменения биомеханики походки именно на уровне тазобедренного сустава и таза [22], усугубляя сформированную патологию стоп.

С 2013 года все дети с аутизмом, синдромом Аспергера и другими нарушениями развития получают диагноз «расстройство аутистического спектра». Моторные паттерны у детей с расстройством аутистического спектра определяются как произвольные, скоординированные,

повторяющиеся, ритмичные и бесцельные, но кажущиеся целенаправленными движения [24]. Формирующиеся вследствие таких движений патологические паттерны ходьбы могут привести к боли в нижних конечностях, усталости, дополнительной нагрузке на суставы, ограничивая функциональные возможности ребенка и снижая качество жизни. Дети демонстрируют различные стереотипы походки, такие как шагание, прыжки, скачки, вращение, было предложено рассматривать эти стереотипы как повторяющееся поведение [24]. Нарушения походки у детей с аутизмом могут включать вышеперечисленные моторные стереотипы, но не ограничиваться ими. Такие двигательные нарушения сравнили с нарушениями у пациентов, имеющих патологию мозжечка. Нейровизуализация у детей с расстройствами аутистического спектра показала снижение ипсилатеральной активности мозжечка, которая связана с грубыми двигательными действиями, и увеличенную диффузную активность в VI–VII долях [24].

Наблюдение уменьшения количества гранулярных клеток и клеток Пуркинью

Описанные аномалии мозжечка приводят к двигательной дисфункции у детей с аутизмом. Походка у детей с расстройством аутистического спектра схожа по характеристикам с походкой пожилых людей: нарушение ритмичности походки, уменьшение скорости походки, уменьшение длины и увеличение ширины шага. Особенности опоры на подошвенную часть стопы у детей с расстройством аутистического характера заключаются в увеличении давления на подошву и отсутствии контроля над подошвенным сгибанием, что приводит к развитию плоскостопия. Лечение патологии стоп должно быть сосредоточено на увеличении контроля и прочности подошвенных мышц-сгибателей [4].

Детский церебральный паралич – гетерогенное заболевание с точки зрения этиологии ввиду разнообразия клинической картины, одними из проявлений которой являются двигательные нарушения, в основном по типу спастичности [4]. В 30–50 % случаев наблюдаются нарушения интеллекта. Наиболее распространенной формой ДЦП является спастическая диплегия, при которой рано формируются контрактуры с деформацией суставов, преимущественно в нижних конечностях [4]. Двигательные нарушения, приводящие к деформации скелетно-мышечной системы, могут прогрессировать. Фокальное одностороннее поражение моторной коры может привести к односторонней гемиплегии, тогда как травма перивентрикулярной области у недоношенных детей влияет на двигательные пути в обеих нижних конечностях, что приводит к развитию диплегии. Большинство пациентов с ДЦП страдают от гипертонуса, также наблюдаются элементы дистонии, гипотонии, атаксии, атетоза и смешанных вариантов. Клинические проявления крайне разнообразны и варьируются от легких нарушений до тяжелой, инвалидизирующей патологии. Деформации стоп и голеностопного сустава встречаются в 93 % случаев ДЦП. Стопа может быть

в пяточном положении, эквинуса, варусной или вальгусной деформации, супинации или пронации и их комбинаций. Наиболее часто при ДЦП встречаются эквинус, эквиноварус, эквиновальгус. Эквиновальгусная деформация обычно встречается у детей со спастической диплегией и квадриплегией. Со временем мышечные деформации могут привести к контрактурам и костным деформациям.

Нарушения координации движений

Расстройство координации движений, или диспраксия, – неврологическое расстройство, характеризующееся нарушением двигательной функции и координации движений. При данном заболевании были зарегистрированы следующие симптомы: нарушение координации, снижение мышечной силы, плоскостопие и гипермобильность суставов. У таких детей неразборчивый почерк, сложности в завязывании шнурков и в участии в подвижных видах спорта. Данное заболевание характерно не только для детского возраста, оно наблюдается и у взрослых.

В одном исследовании по изменению походки людей пожилого возраста выявлено, что в процессе старения организма человека снижение скорости ходьбы является одним из основных возрастных изменений. Медленная ходьба пожилых людей связана с мышечной слабостью и ухудшением моторного контроля, страхом падения. Однако неясно, является ли снижение скорости походки с возрастом компенсаторным механизмом для повышения безопасности, или это следствие ухудшения показателей активности мышц. Утрата мышечной массы и снижение тонуса сухожилий с возрастом приводит к уплощению свода стопы и уменьшению ее гибкости [21].

Костно-мышечный аппарат

Множественный врожденный артрогрипоз – это состояние, которое характеризуется наличием врожденных контрактур. Существуют две главные формы этого заболевания: амиоплазия и дистальный артрогрипоз. При амиоплазии отмечается симметричное поражение мышечной ткани конечностей, что приводит к образованию контрактур и жировой дистрофии. Дистальная форма в основном вызвана генетическими мутациями, при этом крупные суставы обычно остаются нетронутыми. Согласно литературным источникам, в нижних конечностях чаще всего страдают суставы стопы и голеностопного сустава, следующими по частоте будут коленные и тазобедренные суставы. Внешний вид нижних конечностей при этом заболевании представляет собой цилиндрические формы с нечеткими контурами суставов и костей; бедра смещены, а в тазобедренном суставе наблюдается некоторое сгибание, при этом коленные суставы удлинены. Способность детей передвигаться зависит от тяжести деформаций ног и слабости мышц бедра и голени [14].

Другим примером изменения походки, при котором целостность костей и суставов сохраняется, является болезнь Легга – Кальве – Пертеса. Это состояние связано с нарушением кровоснабжения головки бедренной кости,

что может приводить к асептическому некрозу. В результате этого укорачивается шейка бедренной кости, изменяется угол между шейкой и диафизом, нарушается нормальная структура вертлужной впадины. Характерная хромота ухудшается при физической нагрузке, формируется походка Тренделенбурга: таз наклоняется в здоровую сторону при опоре на пораженную конечность из-за смещения центра тяжести. При недостаточной терапии в течение полугода могут развиваться мышечная гипотрофия, хроническая хромота и контрактура в тазобедренных суставах.

Заключение

Формирование походки осуществляется через взаимодействие врожденных биологических механизмов и рефлексов с социальными факторами. Ущерб или отсутствие какого-либо элемента на любом этапе развития может привести к определенным последствиям, уровень серьезности которых зависит от тяжести нарушений. Нормальный гетерокинетический акт включает в себя взаимодействие многочисленных систем организма; хотя движения могут показаться легкими и простыми, походка является хрупким механизмом, который подвержен негативным изменениям при различных заболеваниях как центральной нервной, так и опорно-двигательной системы. Это может вызвать различные деформации и патологии стоп.

Список литературы / References

1. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. Москва: Наука, 1990. 373 с. Bernstein N. A. Physiology of Movements and Activity. Moscow: Nauka, 1990. 373 p. (In Russ.).
2. Teulier C., Lee D.K., Ulrich B.D. Early gait development in human infants: Plasticity and clinical applications. *Developmental Psychobiology*. 2015; 57 (4): 447–458. DOI: 10.1002/dev.21291
3. Thelen E., Fisher D., Ridley-Johnson R. The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant Behavior and Development*. 1984; 7 (4): 479–493. DOI: 10.1016/S0163-6383 (84) 80007-7
4. Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Reviews*. 2016; 1 (12): 448–460. DOI: 10.1302/2058-5241.1.000052
5. Reissland N., Francis B., Aydin E. et al. The development of anticipation in the fetus: A longitudinal account of human fetal mouth movements in reaction to and anticipation of touch. *Developmental Psychobiology*. 2014; 56 (5): 955–963. DOI: 10.1002/dev.21172
6. Zoia S., Blason L., D'Ottavio G. et al. The development of upper limb movements: From fetal to post-natal life. *PLoS One*. 2013; 8 (12). DOI: 10.1371/journal.pone.0080876

7. Dominici N., Ivanenko Y.P., Cappellini G. Loc primitives in newborn babies and their development. *Science*. 2011; 334 (6058): 997–999. DOI: 10.1126/science.1210617
8. Siekerman K., Barbu-Roth M., Anderson D.I. et al. Treadmill stimulation improves newborn stepping. *Developmental Psychobiology*. 2015; 57 (2): 247–254. DOI: 10.1002/dev.21270
9. Okamoto T., Okamoto K., Andrew P.D. Electromyographic study of newborn stepping in neonates and young infants. *Electromyography and clinical neurophysiology*. 2001; 41 (5): 289–296.
10. Forssberg H. Ontogeny of human locomotor control I. Infant stepping supported locomotion and transition to independent locomotion. *Experimental Brain Research*. 1985; 57 (3): 480–493. DOI: 10.1007/BF00237835
11. Futagi Y., Toribe Y., Suzuki Y. The grasp reflex and Moro reflex in infants: hierarchy of primitive reflex responses. *Int J. Pediatr*. 2012; (12): 191562. DOI: 10.1155/2012/191562
12. Thelen E., Ulrich B.D., Niles D. Bilateral coordination in human infants: Stepping on a split-belt treadmill. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1987; 13 (3): 405–410. DOI: 10.1037/0096-1523.13.3.405
13. Yang J.F., Lamont E.V., Pang M.Y. Split-belt treadmill stepping in infants suggests autonomous pattern generators for the left and right leg in humans. *Journal of Neuroscience*. 2005; 25 (29): 6869–6876. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1765-05.2005
14. Lamb T., Yang J.F. Could different directions of infant stepping be controlled by the same locomotor central pattern generator. *Journal of Neurophysiology*. 2000; 83 (5): 2814–2824. DOI: 10.1152/jn.2000.83.5.2814
15. Kamiloff-Smith A. Preaching to the converted? From constructivism to neuroconstructivism. *Child Development Perspectives*. 2009; 3 (2): 99–102. DOI: 10.1111/j.1750-8606.2009.00086.x
16. Hillman S.J., Stansfield B.W., Richardson A.M. et al. Development of temporal and distance parameters of gait in normal children. *Gait and Posture*. 2009; 29 (1): 81–85. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2008.06.012
17. Chester V.L., Tingley M., Biden E.N. A comparison of kinetic gait parameters for 3–13-year-olds. *Clinical Biomechanics*. 2006; 21 (7): 726–732. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2006.02.007
18. Menkveld S.R., Knapstein E.A., Quinn J.R. Analysis of gait patterns in normal school-aged children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 1988; 8 (3): 263–267. DOI: 10.1097/01241398-198805000-00002
19. Pomarino D., Ramirez L.J., Pomarino A. Analysis of Physiological Gait Pattern in Children Without the Influence of Footwear. *Foot and Ankle Specialist*. 2016; 9 (6): 506–512. DOI: 10.1177/1938640016666914
20. Жукова Е.В., Ачкасов Е.Е., Полукаров Н.В. Влияние индивидуального подхода консервативной терапии плоскостопия на уменьшение боли и улучшение качества жизни пациентов. *Вестник восстановительной медицины*. 2019; 5 (93): 74–80. DOI: 10.1136/bmjsem-2019-000565
21. Zhukova E.V., Achkasov E.E., Polukarov N.V. Impact of the individual approach of conservative therapy of flatfoot on reducing pain and improving the quality of life of patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019; 5 (93): 74–80. (In Russ.). DOI: 10.1136/bmjsem-2019-000565
22. Schwend R.M., Drennan J.C. Cavus foot deformity in children. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2003; 11 (3): 201–211. DOI: 10.5435/00124635-200305000-00007
23. Tawada S. Motor development of Down syndrome. *J. Clin. Rehabil*. 2011; 20: 529–534.
24. Жукова Е.В., Ачкасов Е.Е., Полукаров Н.В. и др. Влияние биомеханики ходьбы на формирование патологий стопы. *Вопросы практической педиатрии*. 2018; 13 (4): 91–97. DOI: 10.20953/1817-7646-2018-4-91-97
25. Zhukova E.V., Achkasov E.E., Polukarov N.V. et al. Influence of the biomechanics of walking on the formation of foot pathologies. *Questions of practical pediatrics*. 2018; 13 (4): 91–97. (In Russ.). DOI: 10.20953/1817-7646-2018-4-91-97
26. Calhoun M., Longworth M., Chester V.L. Gait patterns in children with autism. *Clinical Biomechanics*. 2011; 26 (2): 200–206. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2010.09.013

Статья поступила / Received 17.10.2024

Получена после рецензирования / Revised 04.11.2024

Принята к публикации / Accepted 06.11.2024

Сведения об авторах

Жукова Екатерина Владимировна, аспирант кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации. ORCID: 0000-0003-1763-4416

Полукаров Николай Викторович, к.м.н., доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации. ORCID: 0000-0002-5035-7265

Морозенкова Екатерина Михайловна, старший лаборант кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации. ORCID: 0000-0003-4683-795X

Куклев Александр Дмитриевич, врач-ординатор кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации. ORCID: 0009-0004-8778-7244

Волкова Мария Васильевна, студентка 3-го курса лечебного факультета. ORCID: 0009-0008-7019-3799

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

Автор для переписки: Куклев Александр Дмитриевич. E-mail: kuklev_a@list.ru

About authors

Zhukova Ekaterina V., postgraduate student at Dept of Sports Medicine and Medical Rehabilitation. ORCID: 0000-0003-1763-4416

Polukarov Nikolay V., PhD Med, associate professor at Dept of Sports Medicine and Medical Rehabilitation. ORCID: 0000-0002-5035-7265

Morozenkova Ekaterina M., senior laboratory assistant at Dept of Sports Medicine and Medical Rehabilitation. ORCID: 0000-0003-4683-795X

Kuklev Aleksander D., resident physician at Dept of Sports Medicine and Medical Rehabilitation. ORCID: 0009-0004-8778-7244

Volkova Maria V., 3rd year student at Medical Faculty. ORCID: 0009-0008-7019-3799

Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Corresponding author: Kuklev Aleksander D. E-mail: kuklev_a@list.ru

Для цитирования: Жукова Е.В., Полукаров Н.В., Морозенкова Е.М., Куклев А.Д., Волкова М.В. Нарушения биомеханики ходьбы и деформации стоп. *Медицинский алфавит*. 2024; (33): 26–30. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-33-26-30>

For citation: Zhukova E.V., Polukarov N.V., Morozenkova E.M., Kuklev A.D., Volkova M.V. Disorders of biomechanics of walking and foot deformation. *Medical alphabet*. 2024; (33): 26–30. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-33-26-30>

