

УДК 615.828:617.586-007.58

<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2020-1-2-147-157>© А. А. Миронов, В. Д. Халили,
Ю. П. Потехина, Э. С. Первушкин, 2020

Постуральная роль стопы и ее нарушение при плоскостопии (обзор литературы)

А. А. Миронов¹, В. Д. Халили¹, Ю. П. Потехина^{1,2}, Э. С. Первушкин³¹ Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород² Институт остеопатии, Санкт-Петербург³ Медицинский центр «Доктор Первушкин. Центр восстановительных технологий», Нижний Новгород

В обзоре показана роль стопы в поддержании постурального баланса человека. Стопа рассмотрена как рецептивное поле и орган-эффектор постуральной системы. Приведены данные об этиологии, патогенезе и методах коррекции плоскостопия.

Ключевые слова: стопа, постуральный баланс, постуральная система, механорецепторы, плоскостопие

UDC 615.828:617.586-007.58

<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2020-1-2-147-157>© A. A. Mironov, V. D. Khalili,
Yu. P. Potekhina, E. S. Pervushkin, 2020

Postural role of the foot and its disturbance in case of flat feet (literature review)

A. A. Mironov¹, V. D. Khalili¹, Yu. P. Potekhina^{1,2}, E. S. Pervushkin³¹ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia² Institute of Osteopathy, Saint-Petersburg³ Medical Center «Doctor Pervushkin. Center of the Restorative Technologies», Nizhny Novgorod, Russia

The review presents data about the role of the foot in maintaining of the human postural balance. The foot is considered as a receptive field and an organ-effector of the postural system. Data of the etiology, pathogenesis and methods of flatfoot correction are presented.

Key words: foot, postural balance, postural system, mechanoreceptors, flatfoot

Для корреспонденции:

Юлия Павловна Потехина, профессор,
докт. мед. наук, профессор кафедры нормальной
физиологии им. Н. Ю. Беленкова
ORCID ID: 0000-0001-8674-5633
eLibrary SPIN: 8160-4052
Scopus Author ID: 55318321700
Адрес: 603005 Нижний Новгород,
пл. Минина и Пожарского, д. 10/1,
Приволжский исследовательский
медицинский университет
E-mail: newtmed@gmail.com

For correspondence:

Yulia P. Potekhina, Dr. Sci. (Med.), Professor,
professor at the N. Yu. Belenkov Department
of Normal Physiology
ORCID ID: 0000-0001-8674-5633
eLibrary SPIN: 8160-4052
Scopus Author ID: 55318321700
Address: Privolzhsky Research Medical University,
bld. 10/1 pl. Minin and Pozharsky, Nizhny Novgorod,
Russia 603005
E-mail: newtmed@gmail.com

Для цитирования: Миронов А. А., Халили В. Д., Потехина Ю. П., Первушкин Э. С. Постуральная роль стопы и ее нарушение при плоскостопии (обзор литературы). Российский остеопатический журнал. 2020; 1–2 (48–49): 147–157. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2020-1-2-147-157>

For citation: Mironov A. A., Khalili V. D., Potekhina Yu. P., Pervushkin E. S. Postural role of the foot and its disturbance in case of flat feet (literature review). Russian Osteopathic Journal. 2020; 1–2 (48–49): 147–157. <https://doi.org/10.32885/2220-0975-2020-1-2-147-157>

Введение

В регуляции позы участвует четыре сенсорные системы организма: зрение, вестибулярный аппарат, проприорецепция и кожная рецепция стоп. Для регуляции вертикальной позы самыми важными являются проприоцептивная система и барорецепторы кожи стоп [1, 2]. Стопа является одним из ключевых афферентных полей постуральной системы и, одновременно, её эффекторным звеном [3]. При регуляции постурального равновесия тела в первую очередь происходит изменение тонуса большеберцовых и камбаловидных мышц, после чего к ним присоединяются короткие мышцы стопы, а после вовлекается остальная мускулатура тела. Нейрофизиологический механизм рефлексов поддержания вертикального положения тела включает следующие элементы: рецепторный аппарат, афферентные нервные волокна проприо- и барорецепторов, интегрирующую систему — медиальный (задний) продольный пучок, вестибулоспинальный путь, мышцы [4–6].

Цель работы — систематизация данных о роли стопы в постуральной системе человека и ее изменении при плоскостопии.

Кожные рецепторы стопы

Кожа стопы является одним из ключевых рецептивных полей постуральной системы. Многочисленные механорецепторы расположены, главным образом, в дерме, а также в самых нижних слоях эпидермиса (рис. 1) [5].

Механорецепторы реагируют на тактильные раздражения, такие как прикосновение к коже или давление. Их различают по скорости адаптации. К быстро адаптирующимся относят осязательные тельца (тельца Мейсснера) и пластинчатые тельца (тельца Фатера–Пачини), расположенные в подкожной жировой клетчатке. Тельца Мейсснера предпочтительно отвечают на стимулы, поступающие с частотой 30–40 Гц, а тельца Фатера–Пачини — на стимулы с более высокой частотой (около 250 Гц). К медленно адаптирующимся кожным рецепторам относят осязательные клетки (клетки Меркеля) и тельца (колбы) Руффини. Клетки Меркеля располагаются на границе сосочков дермы. Эти рецепторы сигнализируют об интенсивности прикосновения и давления. К механорецепторам подходят миелинизированные афферентные нервные волокна со скоростью проведения 30–70 м/с [7].

Порог чувствительности барорецепторов стопы составляет 300 мг. Самый высокий порог — у рецепторов, расположенных в пяточной области. Таким образом, о быстром смещении центра

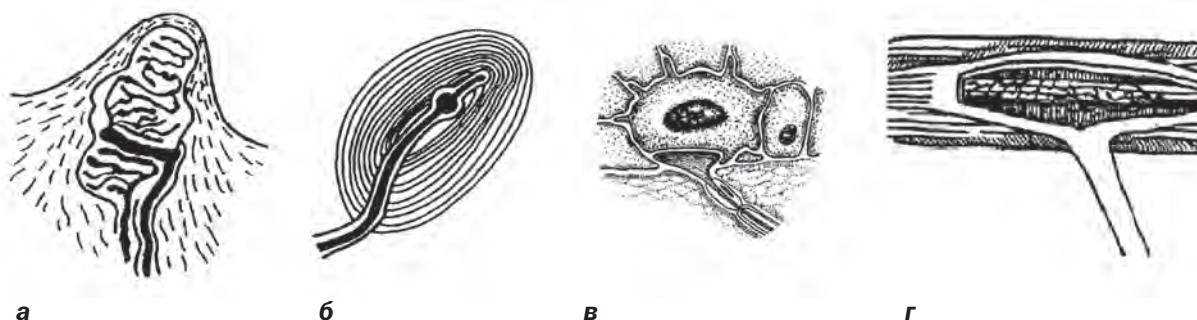


Рис. 1. Типы рецепторов кожи: а — тельце Мейсснера; б — тельце Фатера–Пачини;
в — клетка Меркеля; г — тельце Руффини

Fig. 1. Types of skin receptors: а — Meissner body; б — Vater–Pacini body;
в — Merkel cell; г — Ruffini body

тяжести сообщают тельца Фатера–Пачини и тельца Мейсснера. О статическом распределении нагрузки информация поступает от медленно адаптирующихся барорецепторов — клеток Меркеля [5].

Сенсорная информация от рецепторов кожи направляется по сенсорному проводящему пути в центральную нервную систему (ЦНС). В переработке сенсорной информации участвуют спинной мозг, ствол мозга, таламус и кора больших полушарий [8].

Проприоцепторы стопы

Проприоцепцией (глубокой, или кинестетической чувствительностью) называют восприятие позы и движений тела в целом и его сегментов в частности. Постоянный контроль баланса в значительной степени зависит от проприоцепции. Доказательством этого служит раскачивание тела при стоянии в условиях нарушения проприоцепции [9, 10]. Кроме того, исследования, сравнивающие контроль баланса в различных условиях сенсорной обратной связи (например, с закрытыми глазами, стоя на податливой поверхности), оценивают влияние проприоцепции на постуральный баланс в 58–69 % [11]. Проприоцепция голеностопного сустава, по-видимому, имеет особое значение, так как она предоставляет наиболее важную информацию о положении тела [12, 13].

Выделяют три вида структурно и функционально различающихся проприорецепторов — мышечные веретена, сухожильные и суставные рецепторы [14].

Расположенные параллельно скелетной мышце мышечные веретена крепятся к соединительнотканной оболочке (перимизию) пучка экстрафузальных мышечных волокон, поэтому при расслаблении мышцы рецепторы мышечных веретен растягиваются, что ведет к их возбуждению. Заключенные в соединительнотканную капсулу сухожильные рецепторы (луковицеобразные тельца, тельца Гольджи–Маццони) последовательно располагаются в сухожилиях скелетных мышц, в связи с чем раздражение рецепторов возникает при натяжении сухожилия, то есть сокращении мышцы [15].

Импульсы от мышечных веретен поступают к α -мотонейронам спинного мозга и возбуждают их, что ведет к сокращению растянутой (растяжение мышцы в ответ на пассивный поворот звена конечности в суставе) или расслабленной мышцы. Как только мышца начинает сокращаться, возбуждение мышечных веретен прекращается или сильно ослабевает, одновременно импульсация от сухожильных рецепторов поступает в спинной мозг к тормозным клеткам Реншоу. Возбуждение последних вызывает торможение α -мотонейронов скелетной мышцы, вследствие чего она расслабляется. То есть мышца поочередно сокращается и расслабляется в результате поступления к ее мотонейронам импульсов от собственных рецепторов [14].

Суставные механорецепторы расположены в капсуле, хрящах, связочном аппарате суставов и в перикапсулярной соединительной ткани. Они типизируются в зависимости от их реакции на амплитуду, скорость и направление движения в суставе [14]. Наибольшую их плотность наблюдают в стопе, шее и кистях [5].

Так, окончания и тельца Руффини, локализующиеся как в капсуле сустава, так и в окружающих соединительнотканых образованиях (в том числе расположенных в глубоких слоях дермы и подкожной жировой клетчатки), генерируют информацию о значениях межзвенных суставных углов, то есть о взаимоположении элементов сустава. Импульсация продолжается в течение всего периода сохранения такого угла и определяется его величиной. Считается, что данный тип механорецепторов особенно чувствителен при экстремальных диапазонах углов. Тельца Фатера–Пачини специализированы для сигнализации быстрых изменений прикосновения–давления. Этот орган приспособлен для сигнализации о быстрых вибрационных стимулах, его максимальная чувствительность лежит в пределах 200–300 Гц. Пороговое ощущение возникает при смещении поверхности рецептора меньше чем на 1 мкм [5]. Тельца Фатера–Пачини находятся исключительно

в капсуле сустава и воспринимают направление и скорость изменения его угла, причем с увеличением скорости возрастает и частота генерируемых импульсов [14].

Совместная работа тельц Руффини и Фатера–Пачини обеспечивает как реакции положения и выпрямления, так и динамической стабилизации. Тельца Фатера–Пачини вместе с мышечными веретенами и тельцами Гольджи–Маццони, контролирующими сокращения мышц, являются сенсорными каналами динамической обратной связи, информирующими о скорости изменения взаиморасположения частей тела, конечностей и головы в пространстве [16].

Система регуляции постурального баланса

Постуральная система — это совокупность физиологических систем организма, обеспечивающих поддержание человеком вертикальной позы. Она объединяет скелетно-мышечную систему, несколько сенсорных систем и ЦНС [17, 18].

В математической модели, предназначенной для исследования механизмов регуляции позы, выделяют две составляющие — биомеханическую модель тела человека и модель управления, отражающую, собственно, механизмы регуляции позы, причем последняя во многом зависит от первой [2].

С биомеханической точки зрения, тело стоящего человека можно рассматривать как многозвенную шарнирно-стержневую систему, звенья которой представляют собой перевернутые маятники, опирающиеся один на другой (модель перевернутого маятника является общепризнанной на текущий момент). Перевернутый маятник неустойчив. Устойчивость стояния достигается за счет работы тонических мышц, возвращающих этот маятник в положение равновесия [2].

Модель перевернутого маятника используют при построении большого числа моделей регуляции позы, в частности для описания спектра позных колебаний человека. Позные колебания — это характерные для спокойного стояния тела отклонения, имеющие амплитуды порядка долей градуса. Такие отклонения являются подпороговыми для вестибулярного аппарата и лежат на границе чувствительности суставно-мышечных рецепторов. Анализ спектра позных колебаний человека позволил выделить наличие двух основных «позных стратегий», используемых человеком при компенсации внешних возмущений. Так, медленные возмущения компенсируются преимущественно за счет изменения угла в голеностопном суставе, что соответствует «голеностопной стратегии» («ankle strategy»). При быстром возмущении или при стоянии на узкой опоре задействуется «тазобедренная стратегия» («hip strategy»), в которой основная роль в стабилизации отводится тазобедренному суставу [2].

Позные стратегии подразумевают строго определенную последовательность активации различных групп мышц, формирующуюся в раннем детстве. Систематическое изучение физиологических механизмов регуляции позной активности мышц было начато Ч. Шеррингтоном, который стремился обосновать механизм поддержания позы исходя из рефлекса на растяжение [19]. Голеностопная стратегия представляет собой последовательную активацию разгибателей стопы, голени и бедра, что приводит к вращению тела вокруг голеностопного сустава с относительно малыми моментами в коленном и тазобедренном суставах. Тазобедренная стратегия представляет собой изгибание туловища в тазобедренном суставе и в то же самое время против вращения в шее и голеностопном суставе при последовательной активации мышц шеи, живота и четырехглавой мышцы бедра. Принято считать, что при спокойном стоянии используется голеностопная стратегия стабилизации позы как наиболее близкая к условию отсутствия внешних возмущений. Таким образом, для поддержания позы стоя необходимо напряжение многих мышц туловища (мышцы спины, прямая мышца живота), ног (двуглавая мышца бедра, мышцы голеностопного сустава, коленного и тазобедренного суставов). Самая гравитационно-чувствительная мышца человека — камбаловидная (*m. soleus*), названная так из-за своей плоской формы. Она несет основную на-

грузку по поддержанию тела в вертикальном положении, находится на задней поверхности голени в глубине, сразу над пяточным (ахилловым) сухожилием и закрыта двумя головками икроножной мышцы [2, 20].

Функции мышц обеспечиваются моторным контролем, начиная от двигательных зон коры головного мозга через мост, мозжечок, спинной мозг и мотонейроны. Центральные мотонейроны пирамидного тракта оканчиваются α -мотонейронами передних рогов спинного мозга, которые иннервируют экстрафузальные мышечные волокна. Последние подразделяются на три типа:

1-й — тонические (красные), аэробные, богаты митохондриями, мышечные волокна медленнее сокращаются, их максимальное напряжение слабее, они не так быстро утомляются и развивают гладкий тетанус при более низких частотах раздражения порядка 20 Гц и обеспечивают поддержание мышечного тонуса;

2-й — волокна 2В-типа — фазические, анаэробные, крупные (белые) мышечные волокна, которые быстро утомляются, характеризуются быстрыми сокращениями, развивают высокое напряжение, необходимы для быстрых движений;

3-й — волокна 2А-типа имеют промежуточные свойства, обеспечивают быстроту сокращения мышцы, устойчивость ее к утомлению, участвуют во всех движениях [21].

Удержание человеком вертикальной позы сопровождается микроколебательным процессом. Происходят достаточно сложные гармонические колебания как общего центра масс, так и центра давления стоп на плоскость опоры, которые в силу объективных обстоятельств не совпадают по амплитуде и фазности [22, 23].

В условиях постоянно действующего гравитационного поля Земли процесс отклонения тела человека от вертикали в информационном плане является абсолютно необходимым для последующего восстановления утрачиваемого равновесия. С этой точки зрения у здорового человека функцию равновесия можно охарактеризовать как устойчивое неравновесие. И в этом поддерживающемся неравновесии для стабилизации вертикальной позы функционирует преимущественно тоническая мускулатура. Тонические мышцы — глубокие, моноуставные, короткие, стабилизируют сустав [21]. Колебательный процесс центра давления осуществляется по плавным дугам, с минимальными затратами энергии, что и характеризует нормальное, комфортное в субъективном плане стояние здорового человека, закрепившего удержание вертикальной позы на уровне прочного автоматизма [24].

В регуляции позной активности мышц принимают участие разные уровни ЦНС: спинальные, стволовые, корковые, организующие свою деятельность на основе переработки афферентной информации от сенсорных систем различной модальности — проприоцептивной (от стоп, голеностопных суставов), вестибулярной, зрительной, тактильной. Формируются корковые и подкорковые двигательные ответы, направленные на включение мускулатуры и мышц конечностей, прежде всего нижних, что позволяет реализовать скоординированные движения по поддержанию постурального баланса [2, 25].

Высокая значимость голеностопного сустава в обеспечении постуральной устойчивости доказана корреляцией изменения его угла с отклонением корпуса [26]. Важную роль стопы как органа-эффектора постуральной системы подтверждают исследования постуральной функции у детей с послеожоговой деформацией стоп, в ходе которых были выявлены нарушения постурального баланса, на что указывали стабилметрические показатели. Устранение послеожоговой деформации стопы сопровождалось выраженной положительной динамикой в состоянии системы вертикального баланса тела пациентов [27].

В исследовании Д. Е. Мохова показано, что у всех больных люмбоишиалгией, сочетающейся с аномальной плантарной проприорецепцией, выявляют постуральные нарушения. После применения мануальных техник восстановления положения и подвижности костей стопы нормализуется постуральный баланс и купируется неврологическая симптоматика [4].

Строение сводов стопы

Стопа имеет сложное строение. Предплюсневый ее отдел, воспринимающий основную нагрузку при стоянии, представлен крупными костями (пяточной, таранной, ладьевидной, кубовидной, клиновидными), соединенными в малоподвижные суставы. В плюсневый отдел входят более тонкие кости, образующие хорошо подвижные суставы. Расположение костей стопы сводчатое, что соответствует ее особой пружиняще-амортизирующей функции (рис. 2). Свод стопы опирается, в основном, на три точки — пяточную кость, головки I и V плюсневых костей. Между этими опорными точками расположены продольный и поперечный своды. Продольный свод образован арками плюсневых костей, которые сзади конвергируют через предплюсну к одной опоре — пяточной кости. В продольном своде выделяют внутренний (по внутреннему краю стопы) более высокий свод и наружный (по наружному краю стопы) низкий свод. При нагрузке передача тяжести происходит через таранную кость на пяточную, а затем на наружный свод. Поэтому наружный свод — опорный. Внутренний свод благодаря большой подвижности — пружинящий, рессорный аппарат, который обуславливает упругий, эластичный характер походки человека. Поперечный свод находится между головками I и V плюсневых костей. У взрослых он постепенно с годами снижается, после 40 лет его практически невозможно определить [28].

В удержании сводов стопы принимают участие связки стопы, подошвенный апоневроз, а главным образом — мышцы: большеберцовая группа, сгибатель большого пальца и короткие мышцы стопы (сводоподдерживающие мышцы) [28]. Следовательно, для укрепления сводов стопы и профилактики плоскостопия необходима регулярная физическая активность с участием мышц голени.

Сухожилия и связки стопы также играют важную роль, и она не сводится только к механическим пружинным свойствам. Главной частью мышцы для проявления упругости считается зона, где сухожилие вплетается своими волокнами в волокна мышечной массы, тем самым соз-

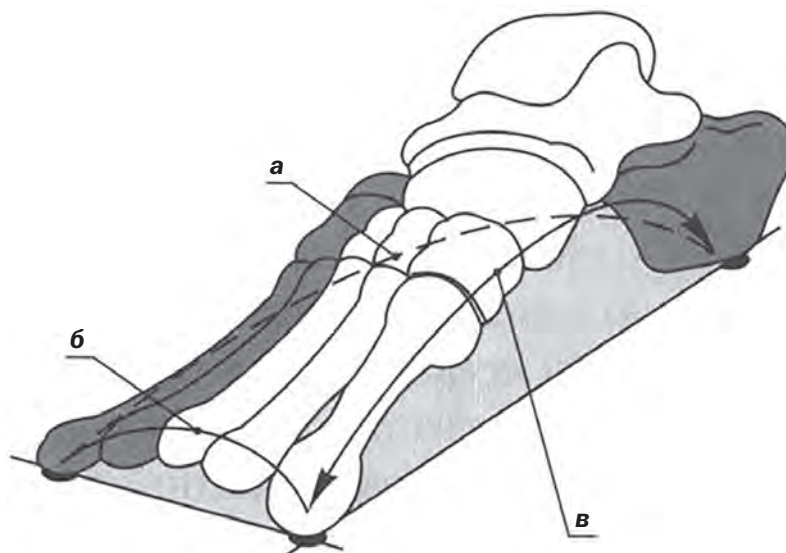


Рис. 2. Своды стопы: а — наружный; б — поперечный; в — внутренний

Fig. 2. The arches of the foot: a — the outer arch; б — transverse arch; в — the inner arch

даются условия для проявления особых двигательных свойств. В проявлении упругости важную роль играет строение сухожилия, которое состоит из коллагеновых волокон, позволяющих выполнять упругую функцию. При отталкивании сухожильные зоны работают по механизму «амортизаторов» в своей обратной отдаче. На голени и стопе сухожилия и связки многочисленны и хорошо выражены. Стопа с помощью сухожилий и мелких мышц представляет единый упругий двигательный рычаг [29].

Важное значение в правильном формировании стопы, начиная с годовалого возраста, играет обувь. Рационально выбранная обувь с широким носком, твердым задником, небольшим каблук способствует нормальному формированию стопы. В отношении рациональной обуви старших детей, подростков и взрослых необходимо обращать внимание на то, чтобы подошва ботинка была эластичной и гнущейся. Это создает возможность свободного движения всей стопы и плавного переката при ходьбе. Ширина обуви определяется поперечным размером переднего отдела нагруженной босой стопы в области головок плюсневых костей. Задний отдел ботинка должен быть прочным и плотно прилегать к пяточной области стопы [30].

Плоскостопие

Это патология стопы, структурно заключающаяся в уменьшении высоты продольных сводов, наклоне и ротации таранной кости в сочетании с пронацией пяточной кости, а функционально — в супинационной контрактуре переднего отдела стопы, нарушении амортизационных свойств свода и эластичности ее связок. Распространенность плоскостопия очень велика: 26,4 % — ортопедической патологии, 81,5 % — от деформации стоп [31, 32].

В мышцах стопы при развитии плоскостопия утрачивается свойство упругости, стопа перестает выполнять одну из своих главных функций — амортизационную, и продолжается ее патологическое уплощение [29]. Также плоскостопие приводит к дисфункции походки, поскольку нога не может изменять свою форму и функционировать адекватно, чтобы приспособиться к различным фазам походки, которые требуют многократных быстрых изменений позиции стопы [33].

Плоская стопа в биомеханическом отношении характеризуется отсутствием возможности образовывать жёсткий свод и, как результат этого, — низкая способность к супинации при отталкивании от опоры [30]. По данным Т. Огурцовой, при этом типе деформации в опоре участвует на 38 % площади больше, чем это необходимо [34].

Патогенез статического плоскостопия связан со слабостью сводоподдерживающих мышц. При длительных статических и динамических перегрузках в начальных стадиях мышцы находятся в состоянии избыточного компенсаторного напряжения, которое вызывает спазм сосудов, гипоксию. Клинически отмечают болевые ощущения и судороги в мышцах голени и стопы. Ослабление функций мышц лишает стопу резервных возможностей в поддержании сводов, что, в свою очередь, приводит к дальнейшему развитию морфологических изменений. Наибольшему воздействию подвержены подошвенные мышцы. В них начинаются деструктивные процессы, уменьшается их масса, снижаются функциональные возможности. Мощный связочный аппарат на подошвенной поверхности и подошвенный апоневроз, сухожилия длинных мышц голени принимают активное участие в удержании свода. Не имея активной поддержки со стороны мышц, связки постепенно начинают растягиваться. Далее нагрузка передаётся на кости стопы, возникает деформация от сжатия (подвывихи, вывихи). Таким образом, происходит разрушение сводчатой конструкции стопы [28].

Патологические изменения стопы, сопровождающиеся снижением или полным отсутствием продольной части свода, должны определяться термином «плосковальгусная деформация стопы» и рассматриваться как многокомпонентная деформация, состоящая из следующих элементов:

- 1 — подошвенного сгибания таранной, пяточной костей, избыточной пронации в подтаранном суставе;

- 2 — горизонтального смещения головки таранной кости кнутри и вертикального книзу по отношению к ладьевидной кости;
- 3 — укорочения наружной и удлинения внутренней колонны стопы;
- 4 — супинации переднего отдела стопы по отношению к заднему [35].

В. В. Лашковский, А. Г. Мармыш [30] дополняют характеристику данной деформации ещё двумя важными признаками — перерастяжение сухожилия задней большеберцовой мышцы и её функциональная недостаточность, укорочение ахиллова сухожилия.

Все указанные элементы деформации формируют видимое снижение высоты внутренней части свода стопы разной степени выраженности [30, 36].

Причиной развития продольного плоскостопия служит слабость мышц стопы и голени, играющие роль в снижении внутреннего продольного свода стопы [37].

На поструральную функцию влияет площадь опоры стопы, ее сокращение уменьшает устойчивость, а ее увеличение обеспечивает более широкую амплитуду перемещений центра тяжести [38]. Можно предположить, что увеличение площади подошвы (то есть плоскостопие) служит компенсаторным механизмом при поструральных нарушениях.

Методы коррекции плоскостопия

Плоскостопие относят к прогрессирующим заболеваниям, поэтому сроки начатого лечения играют существенную роль. Для коррекции применяют лечебную гимнастику, массаж, физиотерапевтические процедуры, ортопедические стельки или обувь. Важно заметить, что лечение должно быть не только комплексным, но и регулярным и продолжаться до полного выздоровления [37].

Важное значение придается ортезной коррекции. Основными принципами воздействия ортезов являются: перераспределение сил, действующих на подошвенную поверхность; снижение нагрузок на стопу, голеностопный, коленный, тазобедренный суставы, позвоночник; поддержка свода; создание покоя болезненным участкам подошвенной поверхности, компенсация укорочений [30].

Вышеперечисленные методы далеко не всегда дают положительный эффект, в частности потому, что требуют активного участия пациента и длительных сроков лечения. В отдельных случаях деформация стоп требует хирургической коррекции. Видимо, поэтому предложено большое количество оперативных методик лечения плосковальгусной деформации стопы [30].

Врачам, занимающимся коррекцией плоскостопия, стоит рассматривать стопу как важное многокомпонентное звено поструральной системы человека. Таким системным подходом к лечению обладает остеопатия. Остеопатическая коррекция у детей 10–11 лет с плоскостопием привела к уменьшению числа жалоб в 13,5 раза, а в контрольной группе (стандартное лечение) — в 1,4 раза ($p < 0,05$). В основной группе после курса лечения стопу оценивали как нормальную, в контрольной группе — как плоскую [39].

Заключение

В настоящее время доказана важнейшая роль стопы в поддержании пострурального баланса, однако до сих пор патогенез плоскостопия и его связь с нарушением поструральной функции недостаточно изучен. Таким образом, необходима новая концепция патогенеза плоскостопия, которая будет объединять не только морфологические изменения стопы, но и функциональные нарушения в поструральной системе.

Дополнительная информация

Исследование не финансировалось каким-либо источником.

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

Литература/References

1. Мохов Д. Е. Основные теоретические аспекты функционирования постуральной системы. Мануальная терапия. 2009; 1 (33): 76–82 [Mokhov D. E. The main theoretical aspects of the functioning of the postural system. Manual Ther. 2009; 1 (33): 76–82 (in russ.)].
2. Грибанов А. В., Шерстенникова А. К. Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор). Вестн. Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2013; 4: 20–29 [Gribanov A. V., Sherstennikova A. K. Physiological mechanisms of regulation of human postural balance (review). Bull. Northern (Arctic) Federal University. Series: Biomedical Sciences. 2013; 4: 20–29 (in russ.)].
3. Tramontano M., Piermaria J., Morone G., Reali A., Vergara M. and Tamburella F. Postural Changes During Exteroceptive Thin Plantar Stimulation: The Effect of Prolonged Use and Different Plantar Localizations. Front. Syst. Neurosci. 2019; 13:49. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00049>
4. Мохов Д. Е. Постуральный дисбаланс и проприорецептивные нарушения стопы, их коррекция у больных люмбаго-ишиалгией. Автореф. дис. канд. мед. наук. СПб.; 2002 [Mokhov D. E. Postural imbalance and proprioceptive disorders of the foot, their correction in patients with lumbar ischialgia: Abstract Dis. Cand. Sci. (Med.). St. Petersburg; 2002 (in russ.)].
5. Мохов Д. Е., Бабкин О. А. Стопа в динамическом поддержании вертикального положения тела человека. Российский остеопатический журнал. 2010; 3–4 (10–11): 127–133 [Mokhov D. E., Babkin O. A. The foot in the dynamic maintenance of human body in standing position. Russian Osteopathic Journal. 2010; 3–4 (10–11): 127–133 (in russ.)].
6. Christovão T. C. L., Neto H. P., Grecco L. A. C., Ferreira L. A. B., Franco de Moura R. C., Eliege de Souza M. et al. Effect of different insoles on postural balance: a systematic review. J. Phys. Ther. Sci. 2013; 25(10): 1353–1356. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1353>
7. Улащик В. С. Рецепторы кожи и лечебные физические факторы. Вopr. курортол., физиотер. и ЛФК. 2017; 94 (5): 48–57 [Ulashchik V. S. Skin receptors and therapeutic physical factors. Probl. Balneol. Physiother. Exercise Ther. 2017; 94 (5): 48–57 (in russ.)]. <https://doi.org/10.17116/kurort201794548-57>
8. Стельникова И. Г., Самарин М. Ю., Григорьева В. Н., Курникова А. А., Никонова Л. Г. Анатомия проводящих путей нервной системы: Учебно-методическое пособие. Н/Новгород: НижГМА; 2011; 57 с. [Stel'nikova I. G., Samarin M. Yu., Grigor'yeva V. N., Kurnikova A. A., Nikonova L. G. Anatomy of the Pathways of the Nervous System: Training Manual. N/Novgorod: NizhGMA; 2011; 57 p. (in russ.)].
9. Horak F. B., Dickstein R., Peterka R. J. Diabetic neuropathy and surface sway-referencing disrupt somatosensory information for postural stability in stance. Somatosensory & Motor Res. 2002; 19 (4): 316–326. <https://doi.org/10.1080/0899022021000037782>
10. Speers R. A., Kuo A. D., Horak F. B. Contributions of altered sensation and feedback responses to changes in coordination of postural control due to aging. Gait & Posture. 2002; 16 (1): 20–30. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(02\)00003-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(02)00003-6)
11. Simoneau G. G., Leibowitz H. W., Ulbrecht J. S., Tyrrell R. A., Cavanagh P. R. The effects of visual factors and head orientation on postural steadiness in women 55 to 70 years of age. J. Geront. 1992; 47 (5): M151–M158. <https://doi.org/10.1093/geronj/47.5.m151>
12. Fitzpatrick R., McCloskey D. I. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. J. Physiol. 1994; 478 (1): 173–186. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1994.sp020240>
13. Goble D. J., Coxon J. P., Van Impe A., Geurts M., Doumas M., Wenderoth N., Swinnen S. P. Brain activity during ankle proprioceptive stimulation predicts balance performance in young and older adults. J. Neurosci. 2011; 31 (45): 16344–16352. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4159-11.2011>
14. Андреев Д. А., Кармазин В. В., Парастаев С. А. Интегральная характеристика эффективности постурального контроля как концептуальная платформа для оптимизации реабилитационных и восстановительных программ в спорте. Вестн. РГМУ. 2017; 6: 5–12 [Andreev D. A., Karmazin V. V., Parastayev S. A. Comprehensive assessment of postural control as a conceptual basis for optimizing rehabilitation and recovery programs in sports. Bull. RSMU. 2017; 6: 5–11 (in russ.)]. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2017-06-01>
15. Смит К. Ю. М. Биология сенсорных систем (пер. с англ.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2005; 583 с. [Smith C. U. M. Biology of Sensory Systems. M.: BINOM. Laboratoriya Znaniy; 2005; 583 p. (in russ.)].
16. Усачёв В. И., Говорун М. И., Голованов А. Е., Кузнецов М. С. Динамическая стабилизация вертикального положения тела человека. Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2010; 9 (110): 164–169 [Usachev V. I., Govorun M. I., Golovanov A. E., Kuznetsov M. S. Dynamic stabilization of vertical human body position. Izv. SFedU. Engineering Sci. 2010; 9 (110): 164–169 (in russ.)]
17. Мохов Д. Е. Постурология в остеопатии: Учебное пособие. СПб.: СПбГУ; 2011; 48 с. [Mokhov D. E. Posturology in Osteopathy: A Training Manual. SPb.: St. Petersburg State University; 2011; 48 p. (in russ.)].
18. Краснобаев Д. А. Методика формирования вектора признаков патологий при исследовании постуральной системы человека. Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2010; 9 (110): 220–221 [Krasnobayev D. A. Method of formation vector of signs pathologies in investigating human postural system. Izv. SFedU. Engineering Sci. 2010; 9 (110): 220–221 (in russ.)].
19. Шеррингтон Ч. Рефлекторная деятельность спинного мозга (пер. с англ.). Л.: Биомедгиз; 1935; 300 с. [Sherrington Ch. Reflex Action of the Spinal Cord. L.: Biomedgiz; 1935; 300 p. (in russ.)].

20. Hsu W. L., Scholz J. P., Schöner G., Jeka J. J., Kiemel T. Control and Estimation of Posture During Quiet Stance Depends on Multijoint Coordination. *J. Neurophysiol.* 2007; 97 (4): 3024–3035. <https://doi.org/10.1152/jn.01142.2006>
21. Зозуля И.С., Бредихин А.В., Бредихин К.А., Чеха О.А. Мышечно-фасциальная дисфункция, пути ее коррекции. *Международ. неврол. журн.* 2014; 4 (66): 41–50 [Zozulya I.S., Bredikhin A.V., Bredikhin K.A., Chekha O.A. Myofascial dysfunctions, ways of its correction. *Int. neurol. J.* 2014; 4 (66): 41–50 (in russ)].
22. Chvatal S. A., Torres-Oviedo G., Safavynia S. A., Ting L. H. Common Muscle Synergies for Control of Center of Mass And Force in Nonstepping and Stepping Postural Behaviors Perturbations. *J. Neurophysiol.* 2011; 106 (2): 999–1015. <https://doi.org/10.1152/jn.00549.2010>
23. Goodworth A. D., Peterka R. J. Contribution of Sensorimotor Integration to Spinal Stabilization in Humans. *J. Neurophysiol.* 2009; 102 (1): 496–512. <https://doi.org/10.1152/jn.00118.2009>
24. Доценко В.И. Методологические аспекты комплексного изучения стратегии сосуществования человека с гравитационным полем Земли. *Изв. ЮФУ. Техн. науки.* 2008; 6 (83): 101–108 [Dotsenko V.I. Some methodological aspects of complex studies in person's coexistence with gravitation earth field. *Izv. SFedU. Engineering Sci.* 2008; 6 (83): 101–108 (in russ.)].
25. Safavynia S. A., Ting L. H. Task-Level Feedback Can Explain Temporal Recruitment of Spatially Fixed Muscle Synergies Throughout Postural Perturbations. *J. Neurophysiol.* 2012; 107 (1): 159–177. <https://doi.org/10.1152/jn.00653.2011>
26. Лихачев С.А., Лукашевич В.А. Клиническая оценка видеоаналитического профиля ходьбы. *Анналы клин. и экспер. неврол.* 2010; 4 (2): 30–34 [Likhachev S.A., Lukashevich V.A. Clinical assessment of the gait video-analytic profile. *Ann. clin. exp. Neurol.* 2010; 4 (2): 30–34 (in russ.)].
27. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Никитин М.С., Афоничев К.А. Патологическая гиперсинхронизированность системы управления балансом тела у детей с послеожоговой деформацией стопы. *Ортопед., травматол. и восстановительная хир. дет. возраста.* 2019; 7 (2): 61–68 [Nikityuk I.E., Kononova E.L., Nikitin M.S., Afonichev K.A. Abnormal hypersynchronization of body balance control system in children with post-burn foot deformity. *Pediatr. Traumatol. Orthopaed. Reconstr. Surg.* 2019; 7 (2): 61–68 (in russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS7261-68>
28. Котельников Г.П., Миронов С.П., Мирошниченко В.Ф. Травматология и ортопедия: Учеб. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2006; 400 с. [Kotel'nikov G.P., Mironov S.P., Miroshnichenko V.F. Traumatology and Orthopedics: Textbook. M.: GEOTAR-Media; 2006; 400 p. (in russ.)].
29. Саватеева В.Г. Некоторые представления о биомеханике мышечного сокращения при коррекции плоскостопия. *Вестн. БГУ.* 2014; 1 (4): 31–33 [Savvateeva V.G. Some ideas of muscular contractions biomechanics during flat-foot correction. *BSU Bull.* 2014; 1 (4): 31–33 (in russ.)].
30. Лашковский В.В., Мармыш А.Г. Детская и подростковая подиатрия современные подходы к диагностике и лечению заболеваний стоп. *Новости хирургии.* 2011; 19 (2): 94–100 [Lashkovskiy V.V., Marmysh A.G. Pediatric and adolescent podiatry modern approaches to the diagnosis and treatment of foot diseases. *Surg. News.* 2011; 19 (2): 94–100 (in russ.)].
31. Мамонова С.Б., Крылов В.Н., Смирнов В.П., Сабурцев С.А. Антропометрические и реографические характеристики детей с плоскостопием. *Вестн. ННГУ.* 2014; 1 (1): 137–141 [Mamonova S.B., Krylov V.N., Smirnov V.P., Saburtsev S.A. Anthropometric and rheographic characteristics of children with flat feet. *Vestn. NNSU.* 2014; 1 (1): 137–141 (in russ.)].
32. Vulcano E., Deland J. T., Ellis S. J. Approach and treatment of the adult acquired flatfoot deformity. *Curr. rev. Musculoskelet. Med.* 2013; 6 (4): 294–303. <https://doi.org/10.1007/s12178-013-9173-z>
33. Flores D. V., Mejía Gómez C., Fernández Hernando M., Davis M. A., Pathria M. N. Adult Acquired Flatfoot Deformity: Anatomy, Biomechanics, Staging, and Imaging Findings. *Radio Graphics.* 2019; 39(5):1437–1460. <https://doi.org/10.1148/rg.2019190046>
34. Огурцова Т. Метод обследования опорно-двигательного аппарата человека по отпечаткам стоп в динамике и синтез бионических стелек. *Промоционная работа.* Рига; 2006 [Ogurtsova T. A method for examining the human musculoskeletal system according to footprints in dynamics and the synthesis of bionic insoles. *Promotion Work.* Riga; 2006 (in russ.)].
35. Mosca V. S. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hind foot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skew foot. *J. Bone Joint Surg.* 1995; 77 (4): 500–512. <https://doi.org/10.2106/00004623-199504000-00002>
36. Arain A., Harrington M. C., Rosenbaum A. J. Adult Acquired Flatfoot (AAFD) [Updated 2019 Jun 9]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2019 Jan.
37. Мелихов Я.П. Актуальные вопросы развития плоскостопия и методы ее коррекции. *Universum: психология и образование.* 2017; 6 (36). Ссылка активна на 11.12.2019 [Melikhov Ya. Actual questions flatfoot's evolution and methods it's correction. *Universum: psychology and education.* 2017; 6 (36). Accessed December 11, 2019 (in russ.)]. <http://7universum.com/ru/psy/archive/item/4852>
38. Гаже П.М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушение равновесия тела человека (пер. с франц.). СПб.: Издательский дом СПб МАПО; 2008; 316 с. [Gage P.M., Weber B. Posturology. Regulation and imbalance of the human body. SPb.: Publishing House SPB MAPO; 2008; 316 p. (in russ.)].

39. Банных Н.И. Сравнительный анализ результатов лечения плоскостопия стандартными и остеопатическими методами. Российский остеопатический журнал. 2017; 1–2 (36–37): 61–66 [Bannykh N. Comparative Study of the Results of Treatment of Platypodia by Standard and Osteopathic Methods. Russian Osteopathic Journal. 2017; 1–2 (36–37):61–66(in russ)].<https://doi.org/10.32885/2220-0975-2017-1-2-61-66>

Статья поступила 28.01.2020 г.,
принята к печати 20.02.2020 г.

The article was received 28.01.2020,
accepted for publication 20.02.2020

Сведения о соавторах:

А. А. Миронов, Приволжский исследовательский
медицинский университет,
студент лечебного факультета
ORCID ID: 0000-0001-7541-0491

В. Д. Халили, Приволжский исследовательский
медицинский университет,
студент лечебного факультета
ORCID ID: 0000-0002-2793-4407

Э. С. Первушкин, МЦ «Доктор Первушкин. Центр
восстановительных технологий» (Нижний Новгород),
врач-остеопат, руководитель
ORCID ID: 0000-0002-5366-2345

Information about co-authors:

A. A. Mironov, Privolzhsky Research
Medical University, student at the Department
of General Medicine
ORCID ID: 0000-0001-7541-0491

V. D. Khalili, Privolzhsky Research
Medical University, student at the Department
of General Medicine
ORCID ID: 0000-0002-2793-4407

Eduard S. Pervushkin, Medical Center «Doctor
Pervushkin. Center for Restorative Technologies»
(Nizhny Novgorod), osteopathic physician, director
ORCID ID: 0000-0002-5366-2345