

УДК617.586-053.5-073.97-089.23

РАННЯЯ ЭЛЕКТРОННО-КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПАТОЛОГИИ СТОП У ДЕТЕЙ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ

С.И. Болтрукевич, В.В. Кочергин, М.И. Игнатовский,
А.Д. Максименко

УО «Гродненский государственный медицинский университет»,
Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения
НАН Беларуси

Разработана ранняя электронно-компьютерная диагностика патологии стоп у детей, заключающаяся в определении барометрического давления на подошвенной поверхности стопы с последующей регистрацией компьютерной системой и параллельно фотоплантографическим методом. Выявленная патология стоп подвергнута ортопедической коррекции, основанной на объективных данных изучения биомеханических составляющих нагрузки на стопу в динамике и статике.

Ключевые слова: компьютерно-электронная диагностика, патология стоп, детский возраст, биомеханика стопы, ортопедическая коррекция.

A new means of early electronic and computer-based diagnostics of children's foot pathology was designed by measuring barometric pressure upon the insole surface of the foot combined with its further registration by computer system together with the photoplantography method. The revealed pathology of the foot was subjected to orthopedic correction, based on objective results of studying of biomechanical constituents forming the load upon the foot both in dynamics and in statics.

Key words: computer-based electronic diagnostics, foot pathology, children's age, biomechanics of the foot, orthopedic correction.

Введение

В последнее время возрос интерес практической медицины к различным видам патологии стопы. При уплощении стопы в детском и подростковом возрасте и возникает плоскостопие. При этом снижается ее амортизационная функция. Увеличивается нагрузка распространяется на коленные, тазобедренные суставы и позвоночник. Это неизбежно приводит к серьезным заболеваниям, существенно ограничивающим социальную активность ребенка в раннем возрасте и требующими в ряде случаев хирургического лечения [1, 4, 6].

С точки зрения биомеханики, стопа представляет собой двуплечевой механизм, состоящий из многих частей и устойчивый к сгибанию. Она состоит из 26 костей разной величины и формы, между которыми происходит сложное динамическое взаимодействие. Важное значение отводится длинным и коротким мышцам стопы, действие которых осуществляется через специфический двигательный аппарат. Мышцы имеют постоянную стабильную силу и соответствующих антагонистов. Каждое двигательное изменение и нарушение баланса мышц-антагонистов приводит к деформации стопы [4, 5, 7].

Здоровая стопа является отрегулированным опорно-двигательным механизмом, принимающим посредством нижних конечностей всю тяжесть

тела. Эта костная конструкция способна выдерживать значительные нагрузки. Пять плюсневых костей принимают на себя 2/5 нагрузки (при опоре на обе ноги), в то время как подошвенная часть пяточного бугра удерживает приблизительно 3/5 веса тела. Деформация стопы часто исключает людей из различных сфер общественной и профессиональной деятельности из-за снижения общего физического уровня. 98% новорожденных имеют здоровые ноги и только около 40% взрослого населения сохраняют правильное строение и функцию стопы. Причиной этого является то, что кости адаптируют свою форму и положение под влиянием действующих на них сил. Особенно выражен этот процесс у детей.

На функциональное состояние стопы влияют возраст, масса тела, социальные условия, несоответствующая обувь, профессиональная деятельность и, в значительной мере, отсутствие полноценной профилактики в школах и детских садах. Правильная и ранняя диагностика деформаций стоп чрезвычайно важна, так как позволяет на ранних этапах противостоять развитию серьезных осложнений, приводящих к нарушению анатомического строения стопы. Клинические и антропометрические исследования, производившиеся в разных странах выявили, что от 46 до 90% населения имеет следующие отклонения от нормального строения

стопы: поперечное плоскостопие, продольное плоскостопие, искривление пальцев, молоткообразная деформация пальцев, костно-суставные разрастания плюсневых костей [3, 5, 6].

Опорная функция стопы предъявляет высочайшие требования к анатомическим и биомеханическим составляющим. Расположение опорно-нагрузочных зон на подошвенной поверхности во многом определяет патогенетический механизм заболеваний, казалось бы не связанных с опорно-двигательной системой. Смещение центра тяжести, в свою очередь, приводит к существенным изменениям циркуляционных процессов, нарушениям трофики органов. Нельзя недооценивать и механизма обратной связи, когда болезненное состояние вызывает компенсаторные отклонения опорно-двигательного аппарата.

Материал и методика

Традиционно применяемые методы плантоконтуриграфии и измерения подошвенных индексов основаны на изготовлении отпечатков опорной поверхности стопы и определении осей и углов стопы. В настоящее время все шире используется фотоплантографическое исследование, позволяющее с помощью компьютерно-цифровой техники выполнять анализ состояния подошвенной поверхности. Правильно выполненный анализ плантограммы позволяет с большой долей вероятности определить тип патологии стоп (рис. 1).



Рис. 1 Фотоплантография пациента (14 лет) с плоскостопальной деформацией стоп

Основным недостатком метода является оценка только статичной составляющей без учета динамических изменений, происходящих при ходьбе. Очень часто у пациентов, обращающихся к врачу по поводу болей в стопах, не проявляются патоморфологические изменения стоп. Особенно это характерно для детского возраста, когда при неоформленных костно-мышечных структурах выражен компенсаторный механизм. Само по себе изучение подошвенной поверхности позволяет выявить ограниченное количество косвенных признаков того или иного вида патологии, тогда как современные педиатрические технологии дают возможность осуществлять диагностику широкого спектра заболеваний уже на функциональном этапе, что открывает перспективу для эффективной профилактики.

Для оценки функциональной составляющей стоп специалистами Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения НАН Беларуси и На-

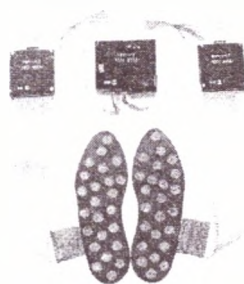


Рис. 2 Общий вид электронно-механического комплекса для диагностики патологии стоп (КЭМ)

учно-инженерного центра «Плазмотек» ФТИ НАН Беларуси под руководством профессора Болтрукевича С.И. разработан электронно-механический комплекс для диагностики патологии стоп (КЭМ) (рис. 2).

Комплекс состоит из измерительных стелек с вмонтированными датчиками давления, блока памяти, а также коллектора, собирающего сигналы с измерительных стелек. Регистрация сигналов производится в течение 20 секунд, во время которых испытуемый после проведенного инструктажа, выполняет несколько шаговых упражнений. Специально разработанная компьютерная программа производит статистическую обработку, анализ и графическую интерпретацию полученных данных.

Основным измеряемым биомеханическим параметром является временная развёртка (скан с периодом 0,0038 сек) распределения зонального давления по подошвенной поверхности стопы.

Анализ и обработка данных осуществляется по трём основным направлениям.

1. **Темпоральная карта движения** – позволяет оценить временные параметры походки, зафиксированные во время обследования. Рассчитывается общее количество шагов – в данном случае 11 (см. рис. 3). На основе диаграммы можно проконтролировать автоматически принятое решение о **разбиении** потока данных на шаги. Полезную информацию для анализа несут статистические параметры «Middle» и «Deviation», позволяющие в мсек и % сравнить длительность времени контакта по зонам и оценить отклонения для каждой из зон по всем шагам.

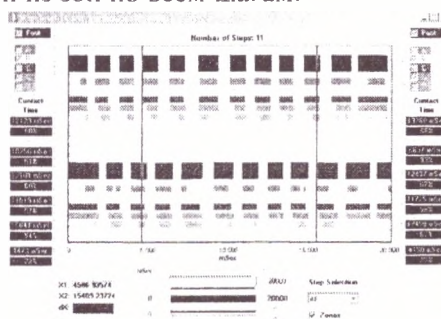


Рис. 3. Темпоральная карта движения по правой и левой стопам, а также по выделенным на них зонам

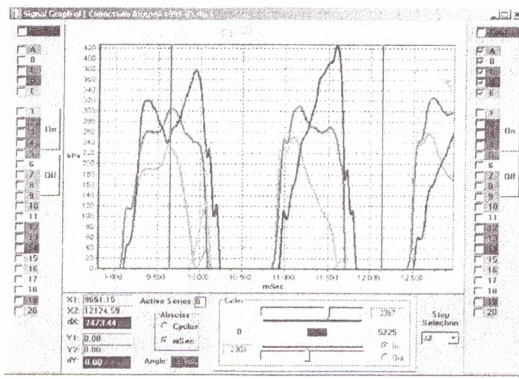


Рис. 4. Силовая карта движения. Выделен участок, охватывающий два шага. Показано изменение давления на зонах правой стопы

2. Силовая карта движения — определяет такие параметры движения, как:

- динамическое распределение нагрузочных (опорных) зон стопы;
- циклические характеристики ходьбы;
- изменение давления по фазам шага, а также выполнить статистический и амплитудно-частотный анализ изменения давления, зафиксированного во время обследования (рис. 4).

3. Пространственная карта движения — позволяет оценить пространственные параметры движения:

- распределение давления по подошвенной поверхности;
- расположение общего центра массы пациента (ОЦМ);
- определение положения вектора ОЦМ при ходьбе.

На диаграмме формы (рис. 5 а) отображаются траектории движения «вектора давления» для левой измерительной стельки. На оси абсцисс указывается порядковый номер шага, по оси ординат — линейные единицы (мм) по длине стопы. Масштаб линейных единиц вдоль оси абсцисс тот же, что и вдоль оси ординат. Штрих-пунктирной линией на диаграмме указана большая диагональ стопы. Также прорисована аппроксимирующая траекторию прямая.

Форма (рис. 5 b) предназначена для визуализации двухмерной картины силовых и пространственных параметров движения. На верхней панели приведены значения (слева направо):

- максимальное значение давления на левой измерительной стельке;
- суммарное значение давления на левой измерительной стельке в данный момент;
- суммарное значение давления на двух измерительных стельках в данный момент;
- суммарное значение давления на правой измерительной стельке в данный момент;
- максимальное значение давления на правой измерительной стельке.

Траектория вектора центра давления задаётся координатами общего центра давления в момент времени t :

$$\vec{r}_t = \frac{\sum_{p=0}^{n-1} P_p \vec{r}_p}{\sum_{p=0}^{n-1} P_p}$$

где \vec{r}_p — радиус вектор для точки p (датчика давления), а n — количество датчиков для каждой стопы. Количество датчиков, их расположение на измерительном приборе может изменяться. Ситуация, приведенная на рис. 5 b, показывает, что указатель суммарный центр давления смещён влево (на верхней панели значения 64%-35%). Левый

центр давления смещён к пятке — 21%, а правый к носку — 74%.

Форма «3D Plane» предназначена для визуализации трёхмерной картины силовых параметров движения (рис. 5 c, d).

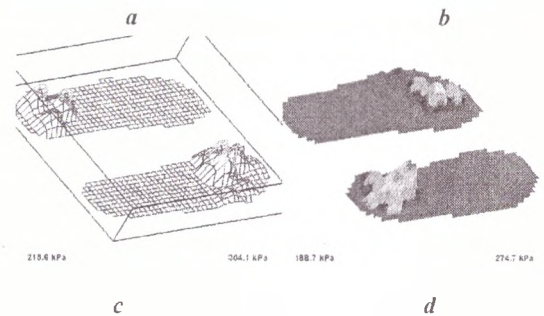
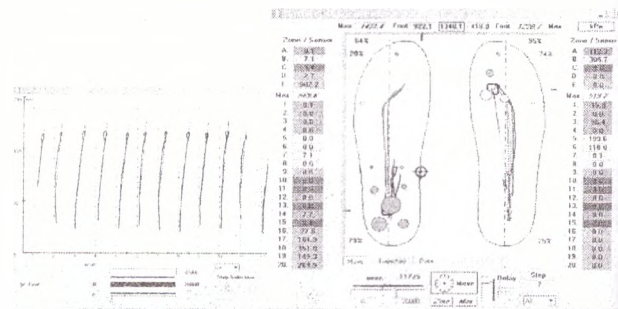


Рис. 5. Пространственные карты движения

Результаты и обсуждение

Таким образом, программное обеспечение электронно-механического комплекса позволяет получать широкий спектр объективной биомеханической информации, определяющей индивидуальный диагностический алгоритм. Анализ полученных данных дает возможность выявить критические зоны на стопе, установить динамический механизм патологического процесса. Регистрация динамических показателей обеспечивает определение функциональной составляющей и оценку фактического состояния стопы с учетом компенсаторных

механизмов, скрывающих клиническую симптоматику, что особенно характерно для пациентов детского возраста. Важнейшее значение имеет сравнительный анализ данных, полученных на различных этапах динамического наблюдения, позволяющий объективно оценить эффективность лечебно-реабилитационных мероприятий и определить перспективную тактику лечебного процесса. Программное обеспечение предусматривает постоянную доработку и расширение возможностей по компьютерному анализу биомеханических параметров и определению конкретных ортопедических лечебно-профилактических решений. В то же время необходима определенная осторожность при оценке результатов подошвенной барографии, так как ее показатели имеют выраженный индивидуальный характер, и шаблонный подход к анализу полученных данных недопустим. Безусловно, имеются критерии стандартного типа, позволяющие исследовать качественные параметры функции опорно-двигательной системы, однако количественные характеристики в каждом конкретном случае слишком специфичны. Изучение показателей, полученных у различных испытуемых, показало, что данные давления зависят от многих индивидуальных факторов, таких как вес, возраст, анатомические особенности и даже от типа темперамента. Таким образом, норматизация цифровых показателей подошвенной барографии представляется крайне сомнительной. Тем не менее, исследование конкретного пациента и, что особенно важно, систематическое динамическое наблюдение дает возможность оценить состояние опорно-двигательной системы по многим параметрам и представляет целый ряд возможностей для диагноста.

Биомеханические показатели являются основой для разработки индивидуальной конструкции ортопедической коррекции. Локализация компенсаторных участков избыточного подошвенного давления, расположение траектории вектора центра давления служат объективным ориентиром для составления индивидуальной схемы ортопедической коррекции, размещения разгружающих и рессорно-поддерживающих элементов ортопедической стельки, их размера и плотности. Функциональный анализ позволяет определить незадействованные зоны на подошвенной поверхности и активизировать их методом ортопедической коррекции.

При опоре тела на одну конечность, даже при спокойном движении по горизонтальной поверхности, возникающие избыточные отклонения структур стопы трансформируются в увеличение двигательной асимметрии таза и позвоночного столба. Это обстоятельство имеет важнейшее значение в клинике и позволяет определять направления ортопедического решения задачи лечения пациента. Важнейшим показателем при динамическом исследовании подошвенного давления приня-

то считать вектор перемещения общего центра массы пациента. При нормальной установке стопы основная нагрузка распространяется по подошве от пяточного бугра по наружному краю до проекции основания четвертой плюсневой кости, после чего разделяется в направлении головок I и V плюсневых костей. При пронационном отклонении стопы опорный вектор смещается медиально, что является причиной дисфункций как самой стопы, так и вышележащих опорных структур тела. Изучение динамического вектора позволяет детализировать структуру патологического процесса и объективизирует ортопедическое решение при самых различных вариантах патологии.

Оптимальная ортопедическая коррекция патологии стоп должна учитывать следующие принципиальные элементы конструкции корригирующих стелек: индивидуальность, реконструкция свода, разгрузка болезненных участков, обеспечение оптимальной терморегуляции, энергосберегающая амортизация.

Эффективного восстановления сводов стоп можно достичь только сочетанием ношения правильно изготовленных индивидуальных стелек и систематического выполнения определенных физических упражнений по укреплению мышц и связочного аппарата стоп в течение нескольких лет. Только в этом случае, если даже и не удастся полностью вернуть стопам их природные формы и свойства, появляется гарантия сохранения дееспособного состояния опорно-двигательного аппарата и предотвращения дальнейшей деформации стоп и появления связанных с этим заболеваний и ограничений. Стратегия ортопедической восстановительной коррекции состоит, как правило, из нескольких последовательных этапов:

- 1) корректировка углов подтаранных суставов;
- 2) корректировка угла переднего отдела относительно задней части стопы;
- 3) формирование поперечного свода;
- 4) формирование продольного свода с обязательной разгрузкой I-ого плюснефалангового сустава как наиболее страдающего в большинстве случаев;
- 5) ликвидация зон локальной перегрузки суставов и костей стоп.

Коррекция должна обеспечивать оптимальное функционирование стоп как в статике, так и в динамике таким образом, чтобы стопа оставалась активной, а не была посажена в «жесткую колодку», где ее структуры атрофируются без действия, усугубляя имеющиеся нарушения. Индивидуальность ортопедической коррекции достигается, кроме того, обязательным учетом возраста, веса, уровня двигательной активности пациента, фасоном обуви, сопутствующими заболеваниями (особенно при наличии сахарного диабета, деформирующих остеоартрозах и др.).

Для решения этой комплексной задачи в Научно-исследовательском центре проблем ресурсосбережений НАН Беларуси при активном участии кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ Гродненского ГМУ разработана технология изготовления индивидуальной ортопедической коррекции из полимерных композитов. В отличие от традиционных многослойных ортопедических стелек, наши изделия представляют собой цельную конструкцию, имеющую волокнисто-пористую структуру, обеспечивающую уникальные гигиену и теплоизоляцию с сохранением демпфирующих характеристик. Благодаря паро- и влагопроницаемости стелька обеспечивает миграцию влаги от подошвенной поверхности, создавая вентиляцию, гидро- и теплоизоляцию стопы. Это существенно повышает функциональные свойства ортопедических стелек, комфортность при их эксплуатации в различных климатических условиях.



Рис. 6. Ортопедическая стелька

Особенностью технологии является возможность локального уплотнения структуры материала, обеспечивающего эффективную поддержку свода. В зависимости от массы пациента и размера стопы можно усилить или же, наоборот, ослабить выкладку свода стопы. Существенным элементом стельки является пяточная часть, выполненная в форме чаши, что позволяет рационально распределить нагрузку подошвенной части пяточного бугра (3/5 всей нагрузки на стопу) и дает, благодаря амортизации, дополнительный энергосберегающий эффект. Схемой для создания индивидуальных корректирующих элементов служат результаты, полученные при компьютерно-плантографическом исследовании. При контрольном исследовании сконструированной корректирующей стельки на электронно-механическом комплексе проверяется эффективность достигнутой коррекции, регистрируются изменения биомеханических

характеристик стопы. Технология изготовления ортопедических стелек обладает конструктивной гибкостью, не требует использования дорогостоящих импортных материалов, отличается высокими биомеханическими и гигиеническими свойствами. Ортопедические стельки имеют преимущества перед известными аналогами своей легкостью (60-100 грамм/пара) и низкой ценой. Оценка распределения давления и параметров походки пациента до и после коррекции показала существенное изменение этих параметров.

Заключение

Таким образом, разработанный нами и внедряемый в клиническую практику метод бароплантографии и компьютерного анализа данных с применением электронно-механического комплекса для диагностики патологии стоп позволяет объективно зарегистрировать и оценить биомеханические параметры при стоянии и ходьбе. Компьютерная регистрация и быстрая визуализация изменения давления на опорной поверхности стопы дает возможность определить различные патологические состояния стопы (деформации стоп, диабетические нарушения, дистрофическое состояние, пяточная шпора и т.д.) на стадиях до развития клинических проявлений, а также подобрать оптимальное ортопедическое решение, снижающее до минимума патологическое воздействие на стопу.

Литература

1. Болтрукевич С.И., Тишковский В.Г., Карев Б.А., Лашковский В.В., Тишковский С.В., Кочергин В.В., Замилацкий А.А., Мармыш А.Г. Комплексная диагностика и ортопедическая коррекция патологии стоп. Инструкция по применению. Рег.№ 165-1202 МЗ РБ от 24.03.2003 г. Гродно 2003.- 30 с.
2. Кочергин В.В., Свириденко А.И., Тишковский В.Г., Домбровский Я.Р. Биомеханические и технологические особенности ортопедической коррекции при диабетической стопе//Сб. мат. 3 межд. Симпозиума по ортопедической и протезной инженерии.- Белосток- 2001.- С. 125-130.
3. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений, анализ походки.- М.-1996 - 230 с.
4. Reliability of measurements of pressures applied on the foot during walking by a computerized insole sensor system//Arch Phys Med Rehabil - 2000.- 81(5).- P. 573-578.
5. Mow V.C., Hayes W.C., editors: Basic Orthopaedic Biomechanics. Philadelphia, Lippincott-Raven, 1997.-P.342-350/
6. Razian M.A., Pepper M.G. Triaxial and uni-axial in-shoe pressure measurements. Are uni-axial measurements adequate?// Proceedings of the 13th conference of the European Society of Biomechanics.- 2002.-4.-P.357-358.
8. Kochergin V., Maksimenko A., Shashura L. "The plantar pressure biomechanical aspect. Diagnostic device analyze" Journal of Vibroengineering 2004 Vol.6. No.1 p. 11-13. Vilnius, Lithuania 2004.