
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 615.47

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПЛАНТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Т. В. НОСОВА

Работа посвящена разработке системы для автоматизированной диагностики данных плантографии, которая предназначена для определения степени патологии стопы человека при нарушениях опорных реакций, например, при диагностировании плоскостопной стопы. Проведен анализ методов оценки состояния опорно-двигательного аппарата. Предложена структурная схема системы автоматизированной регистрации данных плантографии.

The research is devoted to the development of a system for automatic plantography data diagnostic, which is intended to determine a person's foot pathology level with some foothold response disturbances, for example, when diagnosing flatfeet. The analysis of support-motor apparatus state estimate methods is carried out. The structural scheme of a automatic plantography datalogging system is offered.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом все более актуальной в ортопедии, неврологии, реабилитации и протезостроении становится проблема поиска путей повышения эффективности диагностики ходьбы человека.

Анализ причин нарушений основных функций опорно-двигательного аппарата человека указывает на то, что чаще всего они бывают не столько из-за тяжести патологии, сколько из-за несвоевременности выявления, недостаточно раннего лечения, отсутствия профилактических мероприятий и недооценки роли врачебного контроля.

На сегодняшний день наиболее распространенный вид патологии нижних конечностей у детей и подростков — плоскостопие, которое связано с искривлением стопы, преимущественно выражающееся в уплощении ее продольного или поперечного свода.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В медицинской литературе выделяют плоскостопие приобретенное и врожденное. Последнее встречается крайне редко, комбинируясь с другими деформациями, и является, как правило, следствием первичных внутриутробных пороков развития тканей эмбриона. Приобретенное плоскостопие, в зависимости от причинного фактора, разделяют на рахитическое, травматическое, паралитическое, статистическое. Патогенез рахитического плоскостопия развивается на почве рахита, при котором кости становятся мягкими, податливыми и легко деформируются под действием нагрузки. Травматическое плоскостопие является результатом неправильно сросшихся переломов лодыжек, костей предплюсны и плюсны, повреждения мышечно-связочного аппарата, особенно задней большеберцовой мышцы. Паралитическое

плоскостопие — результат паралича мышц нижних конечностей и чаще всего — следствие вялых (или периферических) параличей мышц стопы и голени, вызванных полиомиелитом. Статическое плоскостопие — наиболее распространенный вид, причина образования которого прослеживается в нарушении упругих элементов стопы, переутомлении мышц и, следовательно, в нарушении мышечного тонуса и сократительной способности мышц. При этом кости стопы, образующие свод, смешаются относительно друг друга, и стопа теряет упругость, в результате свод стопы не возвращается в свое нормальное положение, а рессорность стопы исчезает [1, 2].

Уплощение сводов стопы приводит к изменению очертания стопы, быстрой утомляемости в ногах, болезненности при надавливании на стопы и середину подошвы. Походка теряет эластичность, плавность и часто сопровождается болевыми ощущениями в суставах нижней конечности.

Поэтому рассмотрение вопросов, связанных с созданием систем для повышения качества диагностики функционального состояния опорно-двигательного аппарата, на сегодняшний день является актуальным.

Целью данной работы является обоснование принципов построения автоматизированной системы регистрации плантографических данных морфологического и функционального состояния стопы человека с целью выявления плоскостопия, профилактики и коррекции ее нарушений.

2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Исследование функции опорно-двигательного аппарата (ОДА) человека представляет собой довольно сложную проблему. Сложность проблемы диагностики заболеваний ОДА предусматри-

валяет большое количество методов исследований, которые можно разделить на антропометрические, статические и кинематические, классификация которых приведена на рис. 1. К антропометрическим методам относят измерения анатомических параметров ОДА (массы, роста, геометрических характеристик отдельных сегментов тела человека) и рентгенометрию — изучение костной структуры ОДА. Основным статическим методом исследования ОДА является плантография, направленная на измерение параметров давления стопы человека в нагруженном состоянии. К кинематическим методам диагностики ОДА относят подографию, направленную на измерение опорных реакций при ходьбе, и гониометрию — измерение углов изгибов крупных суставов нижних конечностей в процессе ходьбы. Рассмотрим некоторые методы исследования ОДА.

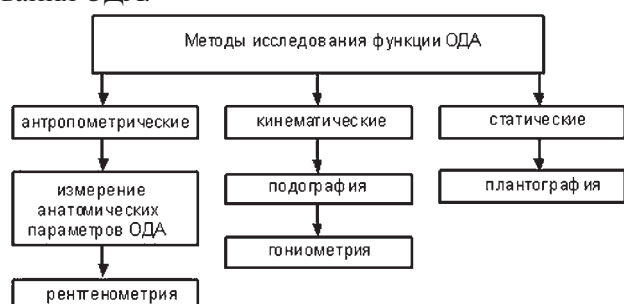


Рис. 1. Классификация методов исследования ОДА

Первоначальным этапом диагностики ОДА является визуальная оценка. Однако несмотря на то, что глаз человека является уникальным инструментом, созданным природой, данный метод не объективен, не дает количественной оценки выявленных нарушений и не позволяет зафиксировать состояние патологии.

Исторически был известен метод измерения стопы человека метрической лентой. Производился замер различных анатомических образований стопы (Gould N., 1983), из соотношений которых вычисляются различные индексы (Фридланд, 1953). Данный метод недостаточно точен, трудоемок, не лишен субъективизма, а также позволяет описать лишь анатомический компонент патологии, не затрагивая функционального.

Традиционная плоскостная рентгенография — наиболее распространенный метод диагностики патологии стопы, для которого предложено большое число различных проекций, имеющих целью получить изображения тех или иных анатомических образований стопы. Однако при этом проводится только оценивание анатомического компонента патологии, что недостаточно для современного уровня требований реконструктивной хирургии даже при условии введения количественных показателей с применением различных рентгенологических схем. Также следует учитывать воздействие ионизирующего излучения на пациента, что ограничивает проведение многократных повторных снимков.

Кинематические методы исследования являются перспективными, нацеленными на получение информации о функционировании стопы в динамике (при ходьбе) [1]. В настоящее время во многих странах анализ ходьбы применяется не только для научных исследований, но и находит широкое практическое применение в ортопедии, неврологии, реабилитации, протезировании и других областях.

Анализ ходьбы часто проводят по временным характеристикам ходьбы человека. Электроподография позволяет получить временные характеристики ходьбы и является одной из основных лабораторных методик оценки качества протезирования.

Наиболее известная методика регистрации подограммы связана с использованием контактных дорожек — это сплошная металлическая дорожка, которая представляет одну контактную поверхность, а металлические пластинки на каблучке и носке — другую, при замыкании контактов обуви с дорожкой во время ходьбы получают соответствующую информацию.

Существуют методы подометрии, при которых информацию о временных характеристиках ходьбы получают с помощью специальной дорожки, которая освобождает обследуемого человека от проводной связи с регистрирующим устройством.

В последние годы появилась новая возможность освободить пациента при обследовании не только от проводной связи, но и от дорожки. Специально сконструированные сандалии, которые обувают на обычную обувь человека, разрешают проводить исследования при ходьбе по любой поверхности.

Расположение контактных площадок по подошвенной поверхности специальных сандалий соответствует анатомическим особенностям стопы человека и требованиям ГОСТ 3927-75 «Колодки обувные» [3]. На подограмме различают фазу опоры и фазу переноса для каждой ноги. Фаза опоры содержит пять компонентов, которые имеют название перекатов: перекат через пятку, геленочный перекал, собственно опора на всю стопу, пучковый перекал, перекал через носок. В процессе движения происходит контактирование разных участков подошвы с полом и формируются подографические сигналы от разных датчиков [4]. Длительность двойного шага — 1,0 — 1,3 с, длительность фазы опоры конечности — 0,63 — 0,68 с, в среднем 67% от общего времени двойного шага, длительность фазы переноса — 0,32 — 0,37 с, в среднем 33% от общего времени двойного шага. Коэффициент симметрии периодов правого и левого шагов — 0,98 — 1,0. Вместе с исследованиями ритмики ходьбы подография имеет широкое применение в комплексных исследованиях.

Неотъемлемой частью современного программно-аппаратного комплекса для кинематических (биомеханических) исследований являются измерительные устройства, которые предназначены

для исследований пространственных перемещений человека. Причем, среди множества параметров, которые характеризуют пространственные перемещения опорно-двигательного аппарата (отклонение корпуса во фронтальной плоскости, компенсаторные движения рук и т. п.), ключевыми являются угловые перемещения в крупных суставах нижних конечностей (тазобедренном, коленном, голеностопном), как основные показатели реализации двигательных возможностей человека. Измерение этих показателей является задачей электрогониометрии.

В настоящее время развитие измерительных средств, которые позволяют получить эти данные, имеет два направления: оптические системы и системы с использованием носимых датчиков [5].

Первое направление дает полную информацию о пространственных перемещениях, включая руки, ноги, корпус. Измерения происходят без любых ограничений со стороны измерительных устройств. Маркеры крепятся к одежде человека и не мешают двигаться. Параметры ходьбы регистрируются видеокамерами. Примером таких систем может быть ELITE, MacReflex, Vicon [4, 9 — 10]. Однако высокая стоимость этих систем является серьезным препятствием для их широкого использования. Альтернативой оптическим системам являются системы с использованием носимых датчиков, которые крепятся на конечности в области сустава.

Измерение кинематических характеристик движений в суставах — наиболее распространенный биомеханический прием исследования движений человека. Регистрация движений осуществляется различными средствами. Наибольшее применение в клинической биомеханике нашли системы [6] с угловыми датчиками — потенциометрами, представляющие собой круговой переменный резистор с линейной характеристикой. Вращение потенциометра превращается в изменение сопротивления. В простейшем гониометре ось потенциометра ориентируется по оси движения сустава по анатомическим ориентирам. Совместить оси вращения с суставом очень сложно и это снижает точность измерения. В связи с этим были предложены конструкции гониометров, состоящих из нескольких последовательно соединенных прецизионных потенциометров. Такая конструкция обеспечивает большую точность измерения, но ее недостатком являются значительные габариты и вес.

Измеряемые параметры преобразуются в электрический сигнал и по проводам или через радиоканал пересылаются в устройство обработки. Как правило, ограничиваются тремя датчиками (гониометрами) на каждую конечность, при этом углы измеряются только в сагиттальной плоскости. При этом с помощью гониометрических датчиков измеряются углы сгибания в тазобедренном суставе, коленном суставе и голеностопном суставе.

Однако кинематические методы оценки ОДА не дают исчерпывающей информации об анато-

мическом компоненте патологии и функциональном состоянии стопы в статике. Другим серьезным недостатком этих методов является очень высокая стоимость их аппаратно-программного обеспечения, что ограничивает их применение даже в странах Европейского Союза и США.

Поэтому целесообразным представляется объединение данных методов с плантографическим исследованием, позволяющим диагностировать степень поражения стопы по оценке состояния кожного покрова и параметров распределения нагрузки под стопой.

Плантография — исследование стопы по ее отпечатку. Среди первых методик исследования давления под стопой следует считать изучение отпечатков стопы. Материалом для их получения служила гипсовая каша, свежая глина, мокрая земля. Более наглядные результаты давал способ изучения давления по степени анемизации кожи подошвы. Для этого обследуемый должен был встать ногами на стекло. Первые устройства такого типа представляли собой двухэтажное помещение со стеклянным перекрытием. Врач находился на первом этаже, обследуемый стоял на втором [3].

Методом «чернильных отпечатков» и более современные варианты на основе цифровой видеотехники. Эти методы позволяют получать изображение зоны контакта подошвенной поверхности стопы, по которому также рассчитываются различные индексы и показатели при помощи схем типа Брандеса С.А. 1930, Годунова С.Ф. 1976. Однако эти методы не позволяют получить какую-либо информацию о форме подводящего пространства, и поэтому имеют ограниченную информативность и описывают также только анатомический компонент патологии.

Таким образом, рассмотренные методы не обеспечивают возможности одновременной количественной оценки анатомической и функциональной компоненты патологии стопы, что заставляет либо сочетать эти методы, либо — искать новые перспективные.

Научные исследования ученых за последние годы доказали существование прямой взаимосвязи между распределением давления под стопой в процессе ходьбы и возникновением хронических болей в суставах и позвоночнике.

В прошлом распределение давления анализировалось при помощи отпечатка стопы пациента на стекле или бумаге. Этот вид диагностики лишь косвенно позволял судить о реальных параметрах распределения нагрузки под стопой. Возникшая потребность в получении более точных результатов и возросшие технические возможности привели к созданию компьютерных методов и средств диагностики, включая электронные бароподометры.

Недостатком современных систем диагностики ОДА является низкая степень автоматизации процесса диагностики, малое количество информативных показателей состояния ОДА, что

приводит к увеличению субъективного фактора, снижению точности и общей эффективности исследований. Поэтому представляется целесообразным разработку систем автоматизированной регистрации и обработки плантографических данных. Это позволит за минимальный промежуток времени, в присутствии пациента, выполнить сбор информации о стопе и дать заключение о возможных функциональных нарушениях.

3. МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ ПЛАНТОГРАФИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ

При проектировании современных плантографических систем необходимо соблюдать следующие принципы:

- обеспечение неинвазивности и максимального комфорта при проведении диагностики;
- получение диагностически значимых изображений стопы, обладающих максимальной информативностью;
- выполнение автоматизированной предобработки и анализа плантографических данных;
- выделение информативных признаков на изображении стопы в автоматическом режиме;
- получение количественных информативных показателей для диагностики функционального состояния стопы;
- выполнение наглядной визуализации диагностической информации и реализации возможностей организации телемедицинских консультаций.

Так же в состав системы целесообразно ввести модуль автоматизированной постановки предварительного диагноза.

Одним из главных критериев качества плантографической диагностики является получение цветных изображений исследуемой стопы с высоким пространственным и цветовым разрешениями. Исходными данными при этом целесообразно принимать цифровые изображения в несжатом формате Windows BitMap (bmp) с пространствен-

ным разрешением 1024×768 элементов раstra с 24 разрядным представлением цвета с 8-ми битовыми значениями в каналах RGB.

В соответствие с предложенными принципами структурная схема плантографической системы должна содержать следующие компоненты (см. рис. 2): платформа из бронестекла, блок освещения, устройство регистрации изображения, интерфейсный модуль сопряжения, подсистему обработки и отображения плантографических данных.

Блок освещения предназначен для равномерного освещения платформы из бронестекла для отсутствия артефактов на диагностических изображениях, связанных с неоднородностью освещения.

Устройство регистрации изображения включает в себя управляемую с компьютера фотокамеру на основе ПЗС матрицы, содержащей не менее трех миллионов светочувствительных элементов. Через интерфейсный модуль сопряжения, построенный на основе интерфейса USB 2.0, изображения ступней обследуемого пациента поступает в подсистему отображения и обработки плантографических данных, состоящую из модулей предварительной обработки информации, сегментации диагностических изображений, выделения диагностических показателей и отображения результирующей диагностической информации. В модуле предварительной обработки информации выполняется коррекция переданного изображения, а также устранение шумовых составляющих на изображении и локальных помех. В модуле сегментации изображения происходит выделение характерных областей стопы по определенным критериям интенсивности и цветовых составляющих. В модуле определения диагностических показателей происходит расчет параметров характерных областей и их пространственных соотношений. Полученная информация выводится на экран монитора и может заноситься в базу данных и распечатываться на бумажном носителе.

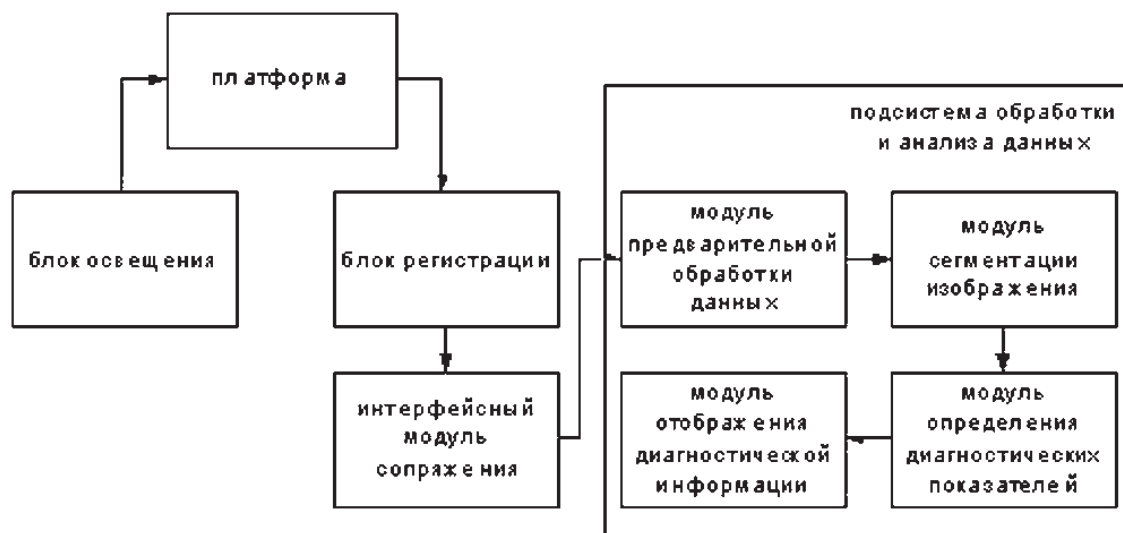


Рис. 2. Структурная схема системы автоматизированной обработки данных плантографии

Протокол обследования заключается в следующем: обследуемый встает на опорные платформы из бронестекла, в торец которых направляется мощный световой поток от блока освещения. В местах контакта стоп с опорными поверхностями происходит формирование образа отпечатков стоп пациента, который направляется в систему визуализации. Полученный образ фиксируется устройством регистрации изображения и через интерфейсный модуль сопряжения передается в подсистему обработки и отображения плантографических данных, в которой выполняется математический анализ полученной информации и определение количественных диагностических показателей, характеризующих функциональное состояние стопы пациента. Математическая обработка проводится для получения координат точек приложения векторов опорных реакций по каждой из опор и главного вектора опорной реакции (проекция общего центра масс). Вычисленные координаты точек приложения всех векторов выводятся на экран монитора в цифровом виде соответственно отпечаткам каждой из стоп.

Участки стопы, соприкасающиеся со стеклом и подвергающиеся нагружению, имеют на отображении светлый (почти белый) цвет, а не соприкасающиеся – розовый. По соотношению площади розовых и белых участков можно сделать вывод о степени плоскостопия – чем меньше свод, тем меньше площадь розового участка.

Полученные отображения стоп с точками проекций векторов опорных реакций сохраняются в памяти ПЭВМ, после чего возможно проведение автоматизированного измерения фрагментов полученных образов (линейные и угловые измерения) с одновременной визуальной графической и цифровой индикацией результатов измерений на экране монитора. Принтер служит для документирования результатов измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ современных методов для оценки функционального состояния ОДА. Подробно рассмотрены диагностические возможности данных методов, их преимущества и ограничения. Обоснованы некоторые принципы построения современных систем автоматизированной регистрации плантографических данных, предложена структурная схема системы, обладающей возможностями автоматизированной регистрации и обработки плантографических данных.

Предложен протокол обследования пациента с помощью автоматизированной системы программной обработки плантографических данных морфологического и функционального состояния стопы человека с целью выявления плоскостопия, профилактики и коррекции ее нарушений, в том числе у лиц, занимающихся физической культурой и спортом.

Перспективой работы является разработка медико-технических требований для проектирования автоматизированной плантографической системы, позволяющей выделять наиболее информативные признаки анализируемых изображений, по которым можно выполнять автоматизированную диагностику различных патологических состояний стопы.

Литература.

- [1] *Скворцов Д.В.* Клинический анализ движений. — М.: 1998. — С. 11-59
- [2] *Мартиросов Э.Г.* Методы исследования в спортивной антропологии. — М.: «Физкультура и спорт», 1982. — С. 100-104.
- [3] *Остроухов В.Д., Карпинский М.Ю.* Медицинская аппаратура для функциональной диагностики и ортопедии. — Харьков: Крокус, 2003. — 204 с.
- [4] *Салеева А.Д., Качер В.С., Гадацкий А.В., Подпрудников П.М., Роман Л.К.* Аппаратно-программный комплекс для сбора и обработки биомеханической информации по ходьбе человека // Тез. докл. 7-й Международной конференции. — Туапсе, 2001. — С. 197-198.
- [5] *Витензон А.С., Миронов Е.М., Петрушанская К.А., Скоблин А.А.* Искусственная коррекция движений при патологической ходьбе. — М.: ООО «Зеркало», 1993. — 504 с.
- [6] Пат. на винахід № 68877 МНК(2006) А61В 5/0488. Спосіб діагностики і корекції ходи людини та пристрій для його реалізації / Семенець В.В., Салеева А.Д., Подпрудников П.М., Радченко В.І., Гадацкий О.В., Качер В.С., Носова Т.В. бюл. №4. 2006.
- [7] Клиническая биомеханика / Под ред. *В.И. Филатова*. — Л.: Медицина, — 1980. — 199 с.
- [8] *Витензон А.С., Иванов А.М., Гриценко Г.П., Петрушанская К.А.* Реабилитация инвалидов с культей бедра посредством программируемой электростимуляции мышц при ходьбе. М.: «Зеркало», 2001. — 176 с.
- [9] *Жилев А.А., Паршикова М.В.* Биомеханическая диагностика функционального состояния крупных суставов нижних конечностей // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2000. — №1. — С. 15-21.
- [10] *Бербук В.Е., Демидюк М.В., Красюк Г.В., Ковалько Н.Т., Качер В.С.* Автоматизированный сбор, обработка и анализ биомеханических данных ходьбы человека // Вестник ХГПУ.- 1999. Выпуск 73. — С. 7-13.

Поступила в редколлегию 14.03.2008



Носова Татьяна Витальевна, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры Биомедицинских электронных устройств и систем ХНУРЭ. Область научных интересов: цифровая обработка изображений; автоматический анализ биосигналов.