

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ПЛАНТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Т.В. НОСОВА

Работа посвящена автоматизированной обработке данных плантографии, которая предназначена для определения степени патологии стопы человека при нарушениях опорных реакций, например, при диагностировании плоскостопной стопы, диабетической стопы. Разработаны алгоритмы для предварительной обработки данных, автоматизированной сегментации и определения основных диагностических параметров по плантографическим изображениям.

This article highlights the experimental research results on automatic data processing method elaboration. The technique is applied by human foot pathology identification, placing reaction deterioration. The method is used by the flat foot diagnosis. The identification algorithm was elaborated for the preliminary data processing, automatic segmentation and basal diagnostic parameter definition according to the plant-graph picture.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема диагностики морфофункционального состояния стопы является актуальной при решении многих вопросов сохранения и укрепления здоровья детей и подростков, а также спортсменов, повышения физического развития и спортивных достижений, профилактики профессиональных заболеваний, нарушений опорно-двигательного аппарата при беременности, в выборе тактики и способов ортопедического лечения, оценки его эффективности и т.д.

Целью работы является обоснование этапов автоматизированной обработки плантографических данных, разработка алгоритмического и программного обеспечения, позволяющего получить диагностическую информацию о функциональном состоянии стопы человека.

В данной работе предлагаются методы автоматизированного получения диагностической информации в оригинальной плантографической системе, рассмотренной в [1], позволяющие определить морфологическое и функциональное состояние стопы человека с целью выявления плоскостопия, профилактики и коррекции ее нарушений, в том числе у лиц, занимающихся физической культурой и спортом и лиц с синдромом диабетической стопы (ДС). Синдром диабетической стопы представляет собой комплекс анатомо-функциональных изменений, затрагивающих мягкие ткани, сосуды, нервы и кости стопы, приводящих к травматизации и инфицированию мягких тканей стопы, развитию гнойно-воспалительного процесса, что, как правило, приводит к ампутации конечности.

Впервые ДС как самостоятельное осложнение сахарного диабета (СД) была выделена в докладе исследовательской группы ВОЗ по сахарному диабету в 1987 году. Предупреждению ее развития, диагностике и лечению отведено значительное место в Сент-Винсентской декларации, одной из основных целей которой являлось уменьшение к 2000 году числа ампутаций нижних конечностей у больных СД на 50%. Точных данных о частоте встречаемости и распространен-

ности ДС в Украине нет. Вместе с тем, ДС занимает одно из основных мест по сумме затрат на больных СД в системе здравоохранения ведущих развитых стран мира [2]. К примеру, стоимость лечения диабетических язв, реваскуляризаций сосудов и ампутаций нижних конечностей, а также последующих реабилитаций составляет ежегодно 500 млн. долларов в США и 43 млн. фунтов стерлингов в Великобритании. Ампутации нижних конечностей являются самыми дорогостоящими, затраты на них составляют ежегодно 25 млн. долларов в США и 43 млн. долларов в Швеции.

Эпидемиологические данные о частоте встречаемости синдрома ДС варьируют, т.к. они зависят от методов исследования и критериев диагностики. В частности, в Великобритании 15%, а в США — 25% больных СД имеют те или иные поражения ног. Именно на долю больных с ДС, главным образом с язвенными поражениями ног, приходится ежегодно 50% всех койко-дней, связанных с диабетом, а длительность госпитализации в этих случаях на 59% больше. Причем из всех пациентов с СД ежегодно 5–10% больных страдают от развития диабетических язв, 7% — подлежат реваскуляризации, 1% — переносят ампутацию ноги. Длительное наблюдение за больными, перенесшими ампутацию, показало послеоперационную смертность в 6% случаев, смертность в течение первых 5 лет после ампутации — в 39–68% случаев. После перенесенной ампутации одной ноги 42% больных производят ампутацию второй ноги в течение первых трех лет, 56% — в течение последующих 3–5 лет. Из всех производимых в мире нетравматических ампутаций ног 50–70% связаны с СД. Риск ампутаций нижних конечностей у больных СД в 25 раз выше, чем в остальной группе. Таким образом, такое осложнение, как синдром ДС, является одной из основных причин инвалидизации и смертности больных СД, что определяет первостепенную важность профилактики, раннего выявления и своевременного лечения этого осложнения. Так, после внедрения в систему здравоохранения национальных медицинских программ по профилактике ДС в

некоторых развитых странах мира число ампутаций сократилось почти вдвое. Причины развития синдрома ДС различны. Основными являются три фактора: диабетическая нейропатия ног, когда основной причиной этого осложнения выступает повреждение нервных волокон при интактности артериальных сосудов; поражение сосудов нижних конечностей вследствие развития атеросклеротического процесса; сопутствующая инфекция.

Диабетическая нейропатия нижних конечностей — наиболее распространенная форма поражения ног при СД, может быть острой и хронической и является наиболее частой причиной формирования нейропатической язвы стопы. Исследования, проведенные в различных клиниках Великобритании, показали, что из всех язвенных дефектов стоп у больных СД чисто нейропатическая язва встречается в 45-62% случаев, нейроишемическая язва — в 43-25% случаев и чисто ишемическая — в 7-13% случаев. В США 87% язв стоп у диабетиков составляют нейропатические и нейроишемические формы. Особую роль в формировании язвенного дефекта играют травматические повреждения ног. Очень часто это происходит по причине неправильного подбора обуви, когда обувь подбирается исходя из прежних параметров, без учета деформаций и отеков, свойственных диабетической стопе. Кроме того, ноги пациента подвергаются воздействию различных повреждающих факторов: механических — при попадании инородных тел в обувь, при хождении без обуви, термических — при использовании грелок, горячих ванн, химических — при использовании кератолитических мазей и т.д. Сниженная чувствительность не позволяет своевременно обнаружить травму, и в этом месте образуется язва, часто инфицированная.

Следует отметить, что развитие диабетической стопы, а тем более такого грозного состояния, как диабетическая гангрена, не являются обязательными осложнениями СД. Несложные правила профилактики, вовремя назначенное адекватное лечение синдрома ДС позволяют в большом количестве случаев избежать развития диабетических язв. Больные СД нуждаются в специальном обследовании ног, которое обязательно должно включать осмотр ног, неврологическое обследование и исследование состояния сосудов нижних конечностей. Только всесторонний анализ полученных результатов может дать ответ на вопрос, какой вид терапии показан данному больному. Тщательное и внимательное обследование ног больных СД должно проводиться рутинно эндокринологом каждому больному не менее 3–4 раз в год и чаще при необходимости.

Особое значение должно придаваться выявлению ранних признаков поражения стоп, что позволяет в большинстве случаев не допустить возникновения язвенных дефектов и их прогрессирования.

Поэтому в данной работе предлагаются методы и соответствующее программное обеспечение для автоматизированной обработки плантографических данных и получения диагностической информации о состоянии стопы. Рассмотрим основные этапы автоматизированной обработки плантографических данных.

1. ЭТАП ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПЛАНТОГРАФИИ

Рассматриваемая плантографическая система состоит из платформы, выполненной из бронестекла, блока освещения, устройства регистрации изображения, интерфейсного модуля сопряжения, подсистемы обработки и отображения плантографических данных [1].

Исходные изображения обследуемых стоп (с разрешающей способностью 1024×768 элементов растра и 24-разрядной цветовой глубиной) обладают разной степенью зашумленности, которая мешает визуальному восприятию и автоматизированному анализу полученных плантографических данных. Локальные выбросы интенсивности в трех цветовых каналах RGB приводят к появлению различных неоднородностей как по интенсивности, так и по цветовым оттенкам. Шумы такого рода относят к высокочастотным. Они могут быть устранены с помощью применения низкочастотной фильтрации. Данный вид фильтрации может быть реализован путем усреднения значений цветовых составляющих в соседних элементах изображения. Так как изображение задается на плоскости, то для проведения низкочастотной обработки целесообразно применить метод пространственной низкочастотной фильтрации, реализуемый путем свертки исходного изображения с усредняющей маской [3-7]. В качестве маски для данного типа изображений целесообразно применить квадратную матрицу размером 3×3 и нормирующим множителем равным 9:

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

При этом для каждой точки исходного изображения выполняется локальная обработка в восьмисвязной области. В результате происходит низкочастотная фильтрация исходного изображения $B(0..N_{\max}-1, 0..I_{\max}-1)$ в отфильтрованное $C(0..N_{\max}-1, 0..I_{\max}-1)$ согласно выражению:

$$C(n, i) = \sum_{k=-p}^p \sum_{l=-p}^p B(n+l, i+k) h(l, k),$$

где (n, i) и $C(n, i)$ — элементы исходного и результирующего изображения соответственно, $h(l, k)$ — элемент маски фильтра, p — параметр апертуры фильтра (для данной маски $p=1$). Фильтрация проводится скользящим окном по трем каналам, при этом крайние элементы изображения остаются без изменения. Результаты работы приводятся на рис. 1.

При анализе плантографических данных необходимо выделить белые (наиболее светлые) и розовые участки на изображении нагруженной диагностируемой стопы. В соответствии с этими параметрами необходимо провести автоматизированную сегментацию изображения для выделения искомым цветовых областей. Поэтому проведение автоматизированной обработки плантографических данных требует процедуры сегментации исходных изображений.



Рис. 1. Иллюстрация результатов работы модуля усредняющей фильтрации для плантографических изображений: *а* — исходное изображение; *б* — результирующее изображение

2. ЭТАП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПЛАНТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Изображение стопы является полноцветным (содержит 1,7 миллиона цветовых оттенков) и представляется в системе RGB с 8-битовым кодированием цветовых составляющих.

Модель RGB является аппаратно-ориентированной, в которой используются декартовы координаты красной, зеленой и синей цветовых составляющих.

Для выполнения разметки областей был проведен анализ цветовых составляющих светлых областей и выявлены их характерные параметры для автоматизированной сегментации. Процесс сегментации в данном случае заключается в разбиении изображения на непересекающиеся области, однородные по группе признаков и разбивается на несколько стадий: построение характеристической функции для светлых областей изображения, логической фильтрации артефактов и построения многозначной характеристической функции, позволяющей выполнить «раскраску» сегментированного изображения. Для этого выполняется сканирование плантографического изображения $C(0..N_{\max}-1, 0..I_{\max}-1)$ по строкам и анализ каждого $C(n,i)$ элемента для построения характеристической функции $F(n,i)$:

$$F(n,i) = \begin{cases} 1, & \text{при } (R/G < 1,3) \& (R/B > 1,3) \& (Y > \bar{Y}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где R, G, B, Y — соответственно значения красной, зеленой, синей и яркостной составляющих $C(n,i)$ элемента изображения, а значение интенсивности определяется из выражения:

$$Y = 0,3R + 0,6G + 0,1B.$$

Процедура логической фильтрации заключается в устранении объектов, занимающих малую площадь и являющихся артефактами. Параметры логической фильтрации устанавливаются специалистом интерактивно. Визуальные отображения характеристических функций исходного изображения (рис. 2а), полученные в соответствии с процедурами сегментации и последующей логической фильтрации предобработанного плантографического изображения, приведены на рис. 2б и 2в соответственно.



Рис. 2. Иллюстрация процедуры сегментации плантографического изображения: *а* — исходное изображение; *б* — сегментированное изображение; *в* — сегментированное изображение после проведения логической фильтрации

Далее на изображении характеристической функции проводится подсчет общей площади белых областей S_1 , площади фона S_{ϕ} и вычисление площади розовых областей S_2 на изображении ступни согласно формуле:

$$S_2 = S_0 - S_1 - S_{\phi},$$

где $S_0 = N_{\max} \cdot I_{\min}$ — общее число элементов исходного изображения.

3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ПРИ ПЛАНТОГРАФИИ

Для определения диагностических признаков необходимо на плантографическом изображении выделить информативные области нагруженной стопы, характеризующие степень выраженности патологии. Чтобы классифицировать заболева-

ние, необходимо определить количество белых областей, их общую площадь, соотношение площадей белых и розовых участков, распределение центров симметрии белых участков, их отклонение от геометрического центра стопы и угол, по отношению к продольной (вертикальной) оси стопы человека. С этой целью был разработан алгоритм, позволяющий определять данные числовые характеристики в автоматическом режиме. Данный алгоритм состоит из нескольких этапов:

1) определения количества объектов (белых областей) и построения многозначной характеристической функции;

2) определения площади и координат центра симметрии каждого из выделенных объектов;

3) определение геометрического центра стопы;

4) определение координат векторов расстояний геометрических центров соответствующих областей от геометрического центра стопы;

5) определение углов отклонения данных векторов от продольной оси симметрии стопы.

Определение количества объектов и «раскраска» информативных областей диагностируемой стопы выполняется в цикле путем сканирования по строкам и определения принадлежности соседних элементов изображения фону P_{ϕ} , данному P_n или еще не просмотренному объекту P_{n+1} в соответствии с рис. 3, где символом A обозначены анализируемые элементы окрестности точки (n, i) , при $F(n, i) = 1$, X – неанализируемые элементы.

$A(n-1, i-1)$	$A(n, i-1)$	$A(n+1, i-1)$
$A(n-1, i)$	$F(n, i)$	$X(n+1, i)$
$X(n-1, i+1)$	$X(n, i+1)$	$X(n+1, i+1)$

Рис. 3. Иллюстрация 8-точечной окрестности анализируемой точки с координатами (n, i)

Многозначная характеристическая функция $G(n, i)$ задается как:

$$G(n, i) = p, \text{ при } \delta(n, i) \in D_p,$$

где D_p – область изображения с индексом p .

Расчет координат центров симметрии (Cx_i, Cy_i) областей интереса проводится согласно следующим формулам:

$$Cx_i = \sum_{\text{при } (n, j) \in i} \frac{E_{n, j}}{S_i};$$

$$Cy_i = \sum_{\text{при } (n, j) \in i} \frac{E_{n, j}}{S_i},$$

где S_i – площадь i -й области интереса.

Координаты геометрического центра ступни (Cmx, Cmy) определяются как

$$Cmx = \text{int}(N_{maz} / 2);$$

$$CmC = \text{int}(I_{maz} / 2),$$

где N_{maz}, I_{maz} – координаты правого нижнего элемента изображения.

Координаты векторов (Dx_i, Dy_i) расстояний геометрических центров соответствующих $(i - x)$ областей от геометрического центра стопы определяются как:

$$Dx_i = Cx_i - Cmx;$$

$$Dy_i = Cy_i - Cmy.$$

Углы наклона данных векторов относительно вертикальной оси симметрии стопы определяются согласно формуле:

$$\alpha_i = \arctg(Cx_i / Cy_i).$$

Рабочее окно программы, представленное на рис. 4, состоит из трех областей, отображающих

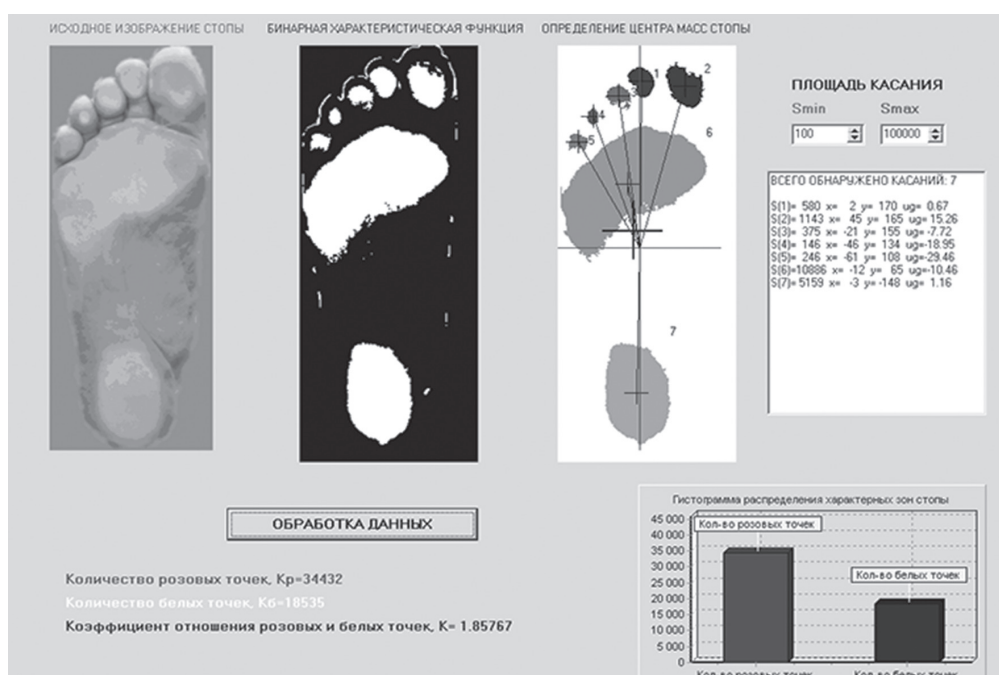


Рис. 4. Рабочее окно программы автоматизированной обработки плантографических данных

графическую информацию: исходное диагностируемое изображение, сегментированное изображение, полученное в результате визуализации бинарной характеристической функции и результирующее изображение, на котором отображаются диагностические характеристики стопы, полученные в результате автоматизированной обработки плантографических данных.

Автоматизированная система для обработки плантографических данных может работать с персональным компьютером при соответствии следующим требованиям:

- процессор Пентиум/AMD 1 ГГц или выше;
- оперативная память RAM 32 МБ;
- жесткий диск (2 МБ свободного пространства);
- адаптер SVGA 4 МБ;
- цветной монитор с разрешающей способностью 600x800 точек или выше;
- по одному свободному порту COM 1, LPT 1 и USB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в работе методы диагностики стопы человека позволяют не только повысить качество съема информации о состоянии стопы, но и создать новые критерии оценки ее здоровья.

Предложенные алгоритмы позволяют определять следующие диагностические показатели: количество белых и розовых областей стопы, площадей соответствующих областей и их отношений, геометрических центров симметрии, а также их векторные характеристики отклонения от геометрического центра стопы.

По разработанным в работе алгоритмам и созданному на их основе программному продукту на языке Borland Delphi v.7.0 для автоматизированной системы обработки плантографических данных можно определить характерные параметры стопы, исходя из которых можно установить

степень патологии при плоскостопии, уровни поражения диабетической стопы, а также другие функциональные нарушения опорно-двигательного аппарата.

Перспективой работы является разработка законченной автоматизированной системы для обработки плантографических данных, позволяющей выделять наиболее информативные признаки, по которым можно выполнять автоматизированную диагностику различных патологических состояний стопы.

Литература.

- [1] Носова Т.В. Принципы построения системы автоматизированной регистрации плантографических данных // Прикладная радиоэлектроника 2008, том 7, №1, с.96-100
- [2] World Diabetes Day: too many people are losing lower limbs unnecessarily to diabetes / Joint News Release WHO/IDF – Geneva: WHO. – 2005.
- [3] Рудаков П.И., Сафонов В.И. Обработка сигналов и изображений – М:Диалог-МИФИ, 2000. – 413 с.
- [4] Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.
- [5] Пуятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. – 330 с.
- [6] Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
- [7] Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений. – М.: Эком, 1997. – 336 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2008



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