DOI: 10.17117/nv.2015.03.077

Поступила (Received): 12.09.2015

<http://ucom.ru/doc/nv.2015.03.077.pdf>

post@volgmed.ru

**Перепелкин А.И., Калужский С.И.,
Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С.
Алгоритмы определения формы стопы по ее
изображению при выполнении оптической
плантографии**

**Perepelkin A.I., Kalugskii S.I., Krayushkin A.I., Atroschenko E.S.
the Algorithms of determination of the foot form in the according
to the image at realization of optical plantography**

В работе показаны разработанные алгоритмы и реализация их в виде программно-информационного комплекса для диагностики состояния органичной системы по ее изображению на примере определения состояния стопы человека. В работе представлены основные этапы диагностики состояния органичной системы и основные подходы к реализации их на примере диагностики состояния стопы человека.

Исследование морфофункционального состояния стопы было проведено у 298 студентов обоего пола Волгоградской государственной академии физической культуры, проходивших обучение по различным спортивным специализациям.

Наибольший показатель продольного плоскостопия отмечен у мужчин по специализации "тяжелая атлетика", а у девушек – по специализации "метание предметов". Наименьший коэффициент К выявлен у пловцов обоего пола

Ключевые слова: органичная система, стопа человека

The purpose of the work was development of the algorithms and their realization in the form of the program and information complex for diagnostics of the condition of the organic system in according to its image on the example of definition of the condition of the human foot. The main stages of diagnostics of the condition of the organic system and the main approaches to their realization on the example of diagnostics of the condition of the human foot are presented in the work. The research of the morphological and functional condition of the foot of 298 students of both sexes of the first course of the Volgograd state academy of the physical culture who are trained on various sports specializations was conducted. The greatest indicator of the longitudinal flat foot is noted at the men on specialization "weightlifting", and at girls – on specialization "the throwing of subjects". The smallest K-coefficient is revealed at swimmers of the both sexes

Key words: an organic system, the foot man

Перепелкин Андрей Иванович

*Доктор медицинских наук, профессор
Волгоградский государственный медицинский университет*

Волгоград, пл. Павших борцов, 1

Perepelkin Andrey Ivanovich

*Doctor Medical Science, Professor
Volgograd State Medical University
Volgograd, Pavshikh Bortsov sq., 1*

Калужский Сергей Игоревич

*Кандидат технических наук
Волгоградский государственный медицинский университет*

Волгоград, пл. Павших борцов, 1

Kalugskii Sergei Igorevich

*Candidate of Technical Sciences
Volgograd State Medical University
Volgograd, Pavshikh Bortsov sq., 1*

Краюшкин Александр Иванович

Доктор медицинских наук, профессор,
зав. кафедрой
Волгоградский государственный медицинский
университет
Волгоград, пл. Павших борцов, 1

Krayushkin Alexander Ivanovich

Doctor Medical Science, Professor,
Head of Department
Volgograd State Medical University
Volgograd, Pavshikh Bortsov sq., 1

Атросченко Екатерина Сергеевна

Аспирант
Волгоградский государственный медицинский
университет
Волгоград, пл. Павших борцов, 1

Atroschenko Ekaterina Sergeevna

Postgraduate student
Volgograd State Medical University
Volgograd, Pavshikh Bortsov sq., 1

В настоящее время существует достаточно большое количество подходов к распознаванию изображений и выделению характеристик биологической системы. В последнее время активно разрабатываются программно-информационные средства для поддержки диагностики состояния системы по ее изображению. В технике существует и хорошо разработано определение состояния системы по ее изображению (дистанционная диагностика природных и технических процессов, автоматизированная диагностика по УЗИ и др.) [2, 6, 7, 13].

Однако существующие подходы, модели и методы, используемые для определения состояния системы, заданной своим изображением, плохо применимы для диагностики органичной системы, например, стопы человека. Существующие диагностические комплексы не могут подстраиваться под специфику конкретной группы обследуемых людей, в результате чего страдает качество диагностики. Поэтому актуальной задачей является разработка моделей и методов и создание на их основе программно-информационного комплекса для диагностики состояния органичной системы, заданной своим изображением, который мог бы обучаться в процессе работы для более точной и эффективной диагностики [1, 3, 4, 16, 17, 18].

Целью работы является разработка алгоритмов и реализация их в виде программно-информационного комплекса для диагностики состояния органичной системы по ее изображению на примере определения состояния стопы человека.

Для решения поставленных задач использовались методы системного анализа, теории моделирования, искусственного интеллекта, применялись положения теории объектно-ориентированного проектирования программных систем, теории проектирования реляционных баз данных и компьютерной лингвистики. На рис.1. представлены основные этапы диагностики состояния органичной системы и основные подходы к реализации их на примере диагностики состояния стопы человека.

На первом этапе диагностики определили способ первичного описания системы. От этого зависит, насколько просто будет получить данные о системе, насколько эти данные будут адекватны состоянию системы. Применительно к диагностике состояния стопы можно выделить три основных подхода: получение информации в виде карты распределения давления от участков стопы, в виде трехмерного топографического рельефа и в виде изображения стопы [5, 12].

На втором этапе выявили характеристики системы в зависимости от ее выбранного первичного описания. Применительно к диагностике состояния стопы это может производиться прямыми или косвенными измерениями.

Рис. 1. Этапы диагностики органичной системы

На третьем этапе диагностики проводили сопоставление характеристик системы с образами, определяющими ее состояние. Для этого применяли как алгоритмы распознавания образов, так и KDD-алгоритмы (Knowledge Discovery in Databases – извлечение знания из баз данных), позволяющие подстраивать параметры определения состояния системы под специфику конкретной выборки.

В последующем была разработана модель для диагностики органичной системы по ее изображению. Предположим, что имеется множество первичных описаний системы W , а сама система имеет множество состояний O . Тогда задача диагностики состоит в том, чтобы для каждого первичного описания системы $\gamma \in W$ сопоставить соответствующее состояние $o \in O$. Для этого необходимо построить отображение

$$G: W \rightarrow O. \quad (1)$$

Отображение G будем строить в виде последовательности отображений F и S : $F: W \rightarrow X$ и $S: X \rightarrow O$, где X – множество характеристик системы, F – отображение, которое из первичного описания системы получает множество ее характеристик, S – отображение, которое по характеристикам системы находит ее состояние. Таким образом, модель диагностики состояния системы представим в виде кортежа

$$M = \langle W, X, O, F, S \rangle \quad (2)$$

Первичное описание системы γ представляется в виде плоского изображения в оттенках серого цвета и кодируется в виде матрицы точек изображения:

$$\gamma = \left\| \gamma_{ij} \right\|_{\substack{i=1, y_{\max} \\ j=1, x_{\max}}}, \quad 0 \leq \gamma_{ij} < E_{\max} \quad (3)$$

где 0 – черный цвет, $E_{\max}$ – максимальная освещенность точки, i и j – y и x координаты точки соответственно.

Полагаем, что характеристики системы $x_1, x_2, \dots, x_n$ выбраны таким образом, что они функционально независимы друг от друга: $x \in X$, $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, n – число характеристик. Тогда множество состояний системы можно представить в виде простого произведения:

$$O = o_1 \times o_2 \times \dots \times o_n \quad (o \in O) \quad (4)$$

где o_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – состояние системы по i -й характеристике.

По каждой характеристике система может иметь множество состояний. Например, в случае стопы, может быть различная степень плоскостопия по разным отделам стопы. Таким образом,

$$\begin{aligned} o_1 &= \{y_1^1, y_1^2, \dots, y_1^{m_1}\} \\ o_2 &= \{y_2^1, y_2^2, \dots, y_2^{m_2}\} \\ &\dots \\ o_n &= \{y_n^1, y_n^2, \dots, y_n^{m_n}\} \end{aligned} \quad (5)$$

где y_i^j ($i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$) – j -е значение образа состояния системы o_i , m_i – число возможных состояний системы по i -й ее характеристике. Общее количество образов $r = m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n$.

Отображение F представим в виде покоординатных отображений $F_1, F_2, \dots, F_n$:

$$\begin{aligned} F_1 &: \gamma \rightarrow x_1 \\ F_2 &: \gamma \rightarrow x_2 \\ &\dots \\ F_n &: \gamma \rightarrow x_n \end{aligned} \quad (6)$$

где F_i ($i = 1, 2, \dots, n$) реализуется алгоритмом вычисления характеристики x_i

Отображение S представим в виде покоординатных отображений $S_1, S_2, \dots, S_n$:

$$\begin{aligned} S_1 &: x_1 \rightarrow o_1 \\ S_2 &: x_2 \rightarrow o_2, S_i(x_i) = y_i, i = 1, 2, \dots, n \\ &\dots \\ S_n &: x_n \rightarrow o_n \end{aligned} \quad (7)$$

где S_i – правило (алгоритм), по которому i -й характеристике сопоставляется одно из значений образа o_i .

Эти отображения находятся следующим способом: область значений характеристики x_i разбивается на интервалы, как показано на рис. 2.

Рис. 2. Интервалы разбиения характеристики x_i

Образ состояния системы представляется в виде

$$y_i^j = \langle a_i^{j-1}, a_i^j, \varepsilon_i \rangle \quad (8)$$

где $[a_i^{j-1}, a_i^j]$ – интервал значений характеристики x_i , ε – точность задания интервала.

Правило S_i описывается следующим образом: полагаем, что характеристика x_i принадлежит образу y_i^j если выполняется соотношение:

$$a_i^{j-1} + \varepsilon_i \leq x_i \leq a_i^j - \varepsilon_i \quad (9)$$

Если $a_i^j - \varepsilon_i < x_i < a_i^j + \varepsilon_i$ то считается что x_i не распознано. Величины $a_i^{j-1}, a_i^j, \varepsilon$ являются настраиваемыми параметрами образа и уточняются в процессе обучения.

Обучающую выборку Z^j ($j = 1, 2, \dots, k$) представим в виде

$$Z^j = \langle \gamma^j, X^j, I^j \rangle \quad (10)$$

где k – объем обучающей выборки, $I^j = \{i_1^j, i_2^j, \dots, i_n^j\}$ – оценка учителя – образы состояния системы по j -й ее характеристике.

Полагаем, что величины измеренных характеристик X распределены по нормальному закону. Предлагается следующий статистический алгоритм обучения:

1. Выполняется разбиение Z на m групп по значениям y . k_y – число примеров, где имеется одинаковая оценка y .

2. По каждой i -й характеристике и для каждой j группы ($j = 1, 2, \dots, k_{y^j}$) вычисляется среднее значение характеристики x_i :

$$\bar{a}_i^j = \frac{1}{k_{y_i}} \sum_{l=1}^{k_{y_i}} a_i^l, \quad (11)$$

где a_i^l – значение характеристики x_i , полученное в l -м примере ($l = 1, 2, \dots, k_{y_i}$).

3. Вычисляется среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_i^j = \sqrt{\frac{1}{k_{y_i} - 1} \sum_{l=1}^{k_{y_i}} (a_i^l - \bar{a}_i^j)^2} \quad (12)$$

4. Вычисляются значения границы интервала a_i^l :

$$\begin{aligned} \bar{a}_i^j &= \bar{\alpha}_i^j + 3\sigma_i^j; \\ \tilde{a}_i^j &= \bar{\alpha}_i^j - 3\sigma_i^j, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\bar{a}_i^j$ и $\tilde{a}_i^j$ - рассчитанные значения a_i^l слева и справа от границы интервала;

$$a_i^j = \frac{\bar{\alpha}_i^j + \tilde{\alpha}_i^j}{2} \quad (14)$$

5. Вычисляется точность задания границы интервала ε_i :

$$\varepsilon_i^j = \frac{\bar{\alpha}_i^j - \tilde{\alpha}_i^j}{2}; \quad \varepsilon_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \varepsilon_i^l \quad (15)$$

Таким образом, границы интервалов и точность задания интервала для каждой характеристики уточняются в процессе обучения.

Рис. 3. Изображение стопы с реперными точками.

Разработанная модель использовалась для определения состояния стопы. Изображение стопы представляется согласно (3) в виде матрицы точек изображения (рис. 3):

$$\gamma = \left\| \gamma_{ij} \right\|_{\substack{i=1, y_{\max} \\ j=1, x_{\max}}}^{\substack{i=1, y_{\max} \\ j=1, x_{\max}}}, \quad 0 \leq \gamma_{ij} \leq 255 \quad (0 - \text{черный цвет, } 255 - \text{белый цвет}); j - x$$

координата точки, i – y координата точки, $x_{\max} = 1000$, $y_{\max} = 500$.

В процессе разметки изображения стопы вычисляются характеристики x_1, x_2, x_3, x_4 , где x_1 – угол наклона I пальца; x_2 – угол наклона V пальца; x_3 – коэффициент, характеризующий состояние ее продольного свода, x_4 – пяточный угол.

Алгоритм отображения F для стопы состоит из следующих шагов.

1. Интерактивное определение координат точек (таблица 1).

Таблица 1. Точки, определяемые пользователем

Обозначение	P_{12}	P_{11}	P_{13}	P_{14}	P_8	P_5
Расположение точки	Светлая точка в передней части стопы	Крайняя передняя точка большого пальца	Крайняя передняя точка второго пальца	Крайняя передняя точка пятого пальца	Точка между основаниями третьего и четвертого пальцев	Крайняя задняя точка отпечатка пяточной области

2. Выделение на снимке контура стопы $C = \|c_{ij}\|$, $c_{ij} = \{0,1\}$ и поиск на этом контуре точек (таблица 2).

Таблица 2. Точки, определяемые по контуру стопы

Обозначение	P_1	P_2	P_3
Расположение точки	Точка, соответствующая головке первой плюсневой кости	Точка, соответствующая головке пятой плюсневой кости	Наиболее выступающая наружу точка области пяточной кости

3. Вычисление координат остальных точек и нахождение углов x_1, x_2, x_4 и расстояний l_1 и l_2 , необходимых для вычисления коэффициента x_3 .

Отображение S представляется следующими формулами:

o_1 : угол I пальца стопы:

$$o_1 = \begin{cases} y_1^1, & \text{если } x_1 \leq a_1^1 - \varepsilon_1 \text{ "Норма"} \\ y_1^2, & \text{если } a_1^1 + \varepsilon_1 \leq x_1 \leq a_1^2 - \varepsilon_1 \text{ "I ст. плоскостопия"} \\ y_1^3, & \text{если } a_1^2 + \varepsilon_1 \leq x_1 \leq a_1^3 - \varepsilon_1 \text{ "II ст. плоскостопия"} \\ y_1^4, & \text{если } x_1 \geq a_1^3 + \varepsilon_1 \text{ "III ст. плоскостопия"} \\ \text{не определено} & \text{в противном случае} \end{cases}$$

O_2 : угол V пальца стопы:

$$o_2 = \begin{cases} y_2^1, & \text{если } x_2 \leq a_2^1 - \varepsilon_2 \text{ "Норма"} \\ y_2^2, & \text{если } a_2^1 + \varepsilon_2 \leq x_2 \leq a_2^2 - \varepsilon_2 \text{ "I ст. плоскостопия"} \\ y_2^3, & \text{если } a_2^2 + \varepsilon_2 \leq x_2 \leq a_2^3 - \varepsilon_2 \text{ "II ст. плоскостопия"} \\ y_2^4, & \text{если } x_2 \geq a_2^3 + \varepsilon_2 \text{ "III ст. плоскостопия"} \\ \text{не определено в противном случае} \end{cases}$$

O_3 : состояние среднего отдела стопы (продольного свода):

$$o_3 = \begin{cases} y_3^1, & \text{если } x_3 \leq a_3^1 - \varepsilon_3 \text{ "Стопа полая"} \\ y_3^2, & \text{если } a_3^1 + \varepsilon_3 \leq x_3 \leq a_3^2 - \varepsilon_3 \text{ "Норма"} \\ y_3^3, & \text{если } a_3^2 + \varepsilon_3 \leq x_3 \leq a_3^3 - \varepsilon_3 \text{ "Стопа с пониженным сводом"} \\ y_3^4, & \text{если } a_3^3 + \varepsilon_3 \leq x_3 \leq a_3^4 - \varepsilon_3 \text{ "I ст. плоскостопия"} \\ y_3^5, & \text{если } a_3^4 + \varepsilon_3 \leq x_3 \leq a_3^5 - \varepsilon_3 \text{ "II ст. плоскостопия"} \\ y_3^6, & \text{если } x_3 \geq a_3^5 + \varepsilon_3 \text{ "III ст. плоскостопия"} \\ \text{не определено в противном случае} \end{cases}$$

O_4 : состояние заднего отдела стопы:

$$o_4 = \begin{cases} y_4^1, & \text{если } x_4 \leq a_4^1 - \varepsilon_4 \text{ "Норма"} \\ y_4^2, & \text{если } x_4 \geq a_4^1 + \varepsilon_4 \text{ "Уплотнение"} \\ \text{не определено в противном случае} \end{cases}$$

Таким образом, по четырем характеристикам, получаемым из изображения стопы, можно определить состояние каждого из ее трех отделов.

Анатомо-функциональное исследование стопы с учетом полученных алгоритмов ее изображения проводилось с использованием программно-информационного комплекса, состоящего из следующих компонентов: компонент управления плантографической установкой (укрепленным сканером) и получения снимков стопы исследуемого; компонент получения и хранения данных об исследуемом (паспортные данные, антропометрические параметры, полученные изображения стопы, результаты диагностики); компонент обработки и распознавания изображения стопы; компонент формирования индивидуального отчета в текстовом процессоре Microsoft Word по результатам диагностики стопы; компонент формирования группового отчета по диагностике группы людей в табличном процессоре Microsoft Excel. Функциональная структура системы представлена на рис.4.

Основу составляет компонент хранения данных об обследовании, который обменивается данными со всеми остальными компонентами комплекса. Указанный компонент хранит данные об обследовании в формате XML и изображения в формате JPG, что позволяет обмениваться данными с другими приложениями. Предусмотрены диалоговые окна для задания паспортных данных пациента и параметров обследования.

Рис. 4. Функциональная структура программно-информационного комплекса

Компонент управления плантографической установкой работает со сканером через TWAIN и позволяет задавать параметры сканера и передавать полученное изображение стопы в компонент хранения данных, откуда оно может быть взято для дальнейшей обработки.

Компонент обработки и распознавания изображения стопы реализует разработанные методы и алгоритмы и позволяет определить состояние стопы человека по ее изображению. Для обучения системы предусмотрены диалоговые окна, в которых пользователь должен выбрать папку с проведенными обследованиями стопы и затем задать образцовый диагноз для каждого обследования, чтобы система пересчитала и уточнила границы для интервалов разбиения каждой характеристики стопы.

Компонент формирования индивидуального отчета выводит в текстовый процессор Microsoft Word данные о пациенте и результаты определения состояния стопы, а также рекомендации по проведению лечебных мероприятий.

Компонент формирования группового отчета выводит в табличный процессор Microsoft Exell результаты диагностики состояния стопы у группы обследуемых. Эти данные могут в дальнейшем использоваться для статистической обработки.

Для экспериментальной проверки было изготовлено аппаратные части комплекса, представляющие собой специально укрепленный сканер, способный выдержать вес человека [8, 14, 15].

Исследование морфофункционального состояния стопы было проведено у 298 студентов обоего пола первого курса Волгоградской государственной академии физической культуры, проходивших обучение по различным спортивным специализациям.

Как показал анализ, анатомо-функциональное состояние стоп у юношей-спортсменов существенным образом зависит от спортивной специализации.

Причем у спортсменов различных дисциплин показатели плоскостопия имеют специфические особенности проявлений.

Наиболее информативным показателем для выявления этой закономерности является угол I пальца стопы. Имеется прямо пропорциональная закономерность между величиной угла и выраженностью поперечного плоскостопия. Как видно из полученных нами данных величины угла I пальца стопы у мужчин и женщин различных спортивных специализаций имеют отличия. Самые большие они у студентов, мужского пола, обучающихся по специальности тяжелая и легкая атлетика, тогда как у лиц женского пола – гимнастика и метание предметов. Наименьшая величина угла I пальца у юношей отмечена у пловцов, тогда как у девушек, занимающихся легкой атлетикой (рис. 5).

Наибольший показатель продольного плоскостопия (коэффициент К) отмечен у мужчин по специализации “тяжелая атлетика”, а у девушек – по специализации “метание предметов”. Наименьший коэффициент К выявлен у пловцов обоего пола (рис. 6).

Рис. 5 Угол I пальца стопы у спортсменов обоего пола разных специализаций.

Примечание: гимн. – гимнастика, мет. пр – метание предметов, АФК – адаптивная физическая культура, сп. и. – спортивные игры, аэр. – аэробика, плав. – плавание, ла – легкая атлетика

Таким образом, спортивная специализация изменяет морфологические характеристики стоп. Она формирует существенные особенности взаимоотношений показателей анатомических характеристик, которые обычно используются при проведении плантографических обследований. Это заключение еще

раз подчеркивает необходимость их применения для мониторингового прогноза возможных проявлений плоскостопия, обусловленных как избыточными, так и длительными физическими нагрузками стоп.

Рис. 6 Коэффициент K спортсменов разных специализаций.

Примечание: та – тяжелая атлетика, гимн. – гимнастика, мет. пр – метание предметов, АФК – адаптивная физическая культура, сп. и. – спортивные игры, аэр. – аэробика, плав. – плавание, ла – легкая атлетика

Выводы

Разработаны модель и алгоритмы, на основе которых реализован программно-информационный комплекс для диагностики состояния органичной системы на примере определения состояния стопы человека:

1. Предложено первичное описание системы W в виде матрицы точек изображения.
2. Предложен набор характеристик X и разработан алгоритм их получения с помощью отображения F .

3. Разработано описание возможных состояний системы O и алгоритм отображения S множества характеристик из множества состояний.

4. Предложенная модель и алгоритмы реализованы в виде программно-информационного комплекса для диагностики состояния стопы человека.

5. Спортивная специализация формирует взаимоотношения показателей анатомических характеристик стопы, которые четко определяются при проведении компьютерного плантографического исследования.

Список используемых источников:

1. Перепелкин А.И., Мандриков В.Б., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. Анатомические параметры стопы девушек, относящиеся к различным этническим группам. *Морфология*. 2014. № 3. С. 153.
2. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х. Ультразвуковая дефектометрия металлов с применением галографических методов. *Машиностроение*, 2008. 368 с.
3. Перепелкин А.И., Калужский С.И., Мандриков В.Б. и др. Исследование упругих свойств стопы человека // *Российский журнал биомеханики*. 2014. Т. 18. № 3. С. 381-388.
4. Перепелкин А.И., Краюшкин А.И. Динамика линейных параметров стопы девушек при возрастающей нагрузке // *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2013. № 2. С. 25-27.
5. Перепелкин А.И. Соматотипологические закономерности формирования стопы человека в постнатальном онтогенезе: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Волгоград, 2009. 53 с.
6. Перепелкин А.И., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. О методе определения упругих характеристик стопы человека. // *Сборник трудов научн.-практ. конф. профессор.-препод. коллектива, посвященной 80-летию Волгоградского государственного медицинского университета под редакцией академика РАН В.И. Петрова, изд-во ВолгГМУ*, 2015. С. 139-143.
7. Перепелкин А.И., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. Упругие характеристики стопы человека // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. №8 (39). Ч. 3. С. 125-128.
8. Перепелкин А.И., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. Исследование продольного свода стопы у детей методом компьютерной плантографии // *Бюллетень медицинских Интернет-конференций*. 2015. Т. 5. № 7. С. 1053-1057.
9. Перепелкин А.И., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. Динамика анатомических параметров стопы человека при возрастающей нагрузке // *О некоторых вопросах и проблемах современной медицины*. №2. Челябинск, 2015. С. 21-23.
10. Туманова А.В., Перепелкин А.И., Краюшкин А.И., Краюшкин А.А. Взаимосвязь анатомических структур черепа // *Наука и образование в глобальных процессах*. Уфа: НИЦ «НИКА», 2015. С. 7-13.
11. Перепелкин А.И., Калужский С.И., Краюшкин А.И., Плешаков И.А., Атрощенко Е.С. Диагностика состояния органичной системы на примере изображения стопы // *Международный академический вестник*. №3(9). 2015. С. 81-83.
12. Перепелкин А.И., Мандриков В.Б., Николенко В.Н., Краюшкин А.И. Опорно-двигательный аппарат человека (возрастные, гендерные, соматотипологические и этнотерриториальные аспекты). Волгоград: Изд-во ВолгГМУ, 2015. 400 с.
13. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Математические методы и программно-алгоритмическое обеспечение распознавания образов на основе комплексирования последовательности многоспектральных изображений и совместной обработки систем признаков // *Искусственный интеллект*. 2004. № 2. С. 253-257.
14. Гавриков К.В., Плешаков И.А., Калужский С.И. и др. Способ диагностики состояния отделов стопы. Пат. Рос. Федерация № 2253363, заявл. 2004, опубл. 2005, Бюл. № 16.
15. Гавриков К.В., Перепелкин А.И., Калужский С.И. Способ определения анатомо-функционального состояния стоп. Пат. Рос. Федерация №2309663, заявл. 2006, опубл. 2007, Бюл. №31.
16. Perepelkin A.I., Mandrikov V.B., Krayushkin A.I. Individual and typological characteristics of the human foot in the age aspect. Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, 2015. 175 p.
17. Perepelkin A., Mandrikov V., Krayushkin A., Atroschenko K. Anatomical justification of mechanical characteristics of the human foot. Comenius university in Bratislava, 2015. P. 83.
18. Perepelkin A., Mandrikov V., Krayushkin A., Atroschenko K. Mechanical characteristics of the human foot. *Innovation in the Modern World*. Vol. III. Australia, Sydney, 2015. P. 87-91.

References:

1. Perepelkin A.I., Mandrikov V.B., Krayushkin I.A., Atroshchenko E.S. Anatomical parameters of the feet of girls belonging to different ethnic groups. *Morphology*. 2014. No. 3. P. 153.
2. Badalyan V.G., Bazulin E. G., A. H. Vopilkin Ultrasonic flaw metering of metals with the use of holographic methods. *Engineering*, 2008. 368 p.
3. Perepelkin A.I., Kalugskiy S.V., Mandrikov V.B., and others. Study of elastic properties of human feet. *Russian journal of biomechanics*. 2014. Vol. 18. No. 3. P. 381-388.
4. Perepelkin A.I., Krayushkin A.I. Dynamics of linear parameters of the feet of girls when increasing the load. *Vestnik of Volgograd state medical University*. 2013. No. 2. P. 25-27.
5. Perepelkin A.I. Somatotypological regularities of the formation of human feet in postnatal ontogenesis: abstract Dissertation. *Volgograd*, 2009. 53 p.
6. Perepelkin A.I., Krayushkin A.I., Atroshchenko E.S. Method for determination of elastic characteristics of the foot of man. *Proceedings of sci.-practical. Conf. Professor.-the teacher. team, dedicated to the 80th anniversary of Volgograd state medical University under the editorship of academician of RAS V. I. Petrov, publishing house of the Volgograd state medical University*, 2015. P. 139-143.
7. Perepelkin A.I., Krayushkin A.I., Atroshchenko E.S. Elastic characteristics of the foot in humans. *International research journal*. 2015. №8 (39). Pt. 3. P. 125-128.
8. Perepelkin A.I., Krayushkin A.I., Atroshchenko E.S. Investigation of the longitudinal arch of the foot in children by the method of computer plantography. *Bulletin of medical Internet conferences*. 2015. Vol. 5. No. 7. P. 1053-1057.
9. Perepelkin A.I., Krayushkin A.I., Atroshchenko E.S. Dynamics of anthropometric parameters of the foot of a person with the increase in traffic. *On some issues and problems of modern medicine*. No. 2. Chelyabinsk, 2015. P. 21-23.
10. Tumanov A.V., Perepelkin A.I., Krayushkin A.I., Krayushkin A. Relationship of anatomical structures of the skull. *Science and education in global processes*. Ufa: center "NIKA", 2015. P. 7-13.
11. Perepelkin A.I., Kalugskiy S.I., Krayushkin A.I., Pleshakov I.A., Atroshchenko E.S. Diagnostics of the condition of the organic system on the example of image of the foot. *International academic journal*. No. 3(9). 2015. P. 81-83.
12. Perepelkin I.A., Mandrikov V.B., Nikolenko V.N., Krayushkin A.I. Musculoskeletal system of the person (age, gender, somatotypological and ethno-territorial aspects). *Volgograd: Publishing house Volgograd state medical University*, 2015. 400 p.
13. Potaturkin O.I., Borzov S.M. Mathematical methods and software, algorithm of pattern recognition based on the aggregation of a sequence of multispectral images, and joint treatment systems signs. *Artificial intelligence*. 2004. No. 2. P. 253-257.
14. Gavrikov K.V., Pleshakov I.A., Kalugskiy S.I. Method of diagnosing status of parts of feet. *Pat. ROS. Federation* No. 2253363, Appl. 2004. Pub. 2005, bull. No. 16.
15. Gavrikov K.V., Perepelkin A.I., Kalugskiy S.I. The method for determining anatomical and functional condition of the feet. *Pat. ROS. Federation* No. 2309663, Appl. 2006, publ. 2007, bull. No. 31.
16. Perepelkin I.A., Mandrikov V.B., Krayushkin A.I. Individual and typological features of the human foot in the age aspect. *Raleigh, North Carolina, USA: Lulu press*, 2015. 175 p
17. Perepelkin A., Mandrikov V., Krayushkin A., Atroschenko K. Anatomic substantiation of the mechanical characteristics of the human foot. *Comenius University in Bratislava*, 2015. P. 83.
18. Perepelkin A., Mandrikov V., Krayushkin A., Atroschenko K. Mechanical characteristics of the human foot. *Innovation in the modern world*. Vol. III. Australia, Sydney, 2015. P. 87-91.

© 2015, Перепелкин А.И., Калужский С.И., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С.
Алгоритмы определения формы стопы по ее изображению при выполнении оптической плантографии

© 2015, Perepelkin A.I., Kalugskii S.I., Krayushkin A.I., Atroschenko E.S.
the Algorithms of determination of the foot form in the according to the image at realization of optical plantography