

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 616.713:616.12-089; 681.3

БОРИСЕНКО
Марина Владимировна

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОСЦИЛЛОМЕТРИИ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

Минск 2016

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» и государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»

Научный руководитель **Шилько Сергей Викторович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Механика композитов и биополимеров» государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»

Официальные оппоненты: **Мухуров Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией микроэлектроники, механики и сенсорики государственного научно-производственного объединения «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Осипов Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, первый проректор учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Оппонирующая организация **Белорусский государственный университет**

Защита состоится «26» мая 2016 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220113, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «26» апреля 2016 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
доктор технических наук, доцент

А.А. Борискевич

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Заболевания сердечно-сосудистой системы (ССС) характеризуются бессимптомным развитием, внезапными проявлениями и значительным числом доклинических летальных исходов. Обследование функционального состояния ССС и раннее выявление предрасположенности к развитию сердечно-сосудистых заболеваний позволяет снизить риск развития патологий и угрожающих сбоев гемодинамики, нередко происходящих на рабочем месте или в ходе спортивной деятельности (тренировок, состязаний).

Существующие методы и технические решения для диагностики и мониторинга функционального состояния ССС реализованы в стационарных и дорогостоящих приборах, используются, как правило, лишь в клинической практике и малопригодны для массовых и регулярных обследований. Вместе с тем исследования и разработки по повышению информативности биомеханических методов контроля параметров гемодинамики, в частности, широко используемого осциллометрического метода измерения артериального давления (осциллометрии), являются перспективным направлением. Актуально создание мобильных и недорогих программно-аппаратных комплексов (ПАК) с дистанционной обработкой данных, которые позволяют расширить информационные возможности осциллометрического метода путем комплексного применения компьютерных технологий получения и хранения данных, привлечения адекватного набора моделей гемодинамики и специализированного программного обеспечения для обработки данных и представления пользователю результатов вычисления информативных параметров.

В диссертации приведены результаты исследования и разработки методологии и программно-аппаратной базы для проведения оперативной диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы основанной на комплексном использовании анализа данных артериальной осциллометрии и компьютерного моделирования и позволяющей получить оценку функционального состояния ССС при их сравнении с моделями базы данных.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Работа выполнялась по заданиям К3.5.01 (2011–2013 гг.) «Разработка методологии адресной тренировочной нагрузки на основе биомеханического анализа координационных, скоростных и силовых действий спортсменов и концепции интеллектуального тренажерно-развивающего оборудования и технологий» и К3.5.04 (2014–2015 гг.) «Создание программно-аппаратных средств

биомеханической диагностики и интеллектуальных тренажеров для оптимизации тренировочной и соревновательной деятельности спортсменов» ГПНИ «Конвергенция».

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка методики и программно-аппаратных средств оперативной диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы на основе комплексного использования артериальной осциллометрии и компьютерного моделирования гемодинамики.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- развить методику артериальной осциллометрии на основе анализа осцилляций артериального давления, выделения характерных точек осциллограммы и анализа статистики длительностей сердечных циклов;
- разработать модель процесса деформирования плечевой артерии при действии окклюзионной манжеты;
- верифицировать модель общей артериальной гемодинамики и адаптировать ее к применению в разрабатываемой комплексной методике;
- разработать методику оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы по данным артериальной осциллометрии с применением нагрузочных тестов и процедуры идентификации модели общей артериальной гемодинамики;
- разработать программное обеспечение, структурную схему и экспериментальный образец специализированного программно-аппаратного комплекса, реализующего предложенные модели и методики, для первичного контроля трудоспособности и сопровождения спортивной деятельности;
- выполнить экспериментальную апробацию разработанного программно-аппаратного комплекса, формирование базы данных, анализ результатов и разработать рекомендации по их применению.

Научная новизна

- экспериментальное и теоретическое обоснование информационного параметра – вариабельности модуля упругости стенки сосуда при проведении процедуры осциллометрии, полученное с использованием миометрии и численного моделирования процесса деформирования плечевой артерии (для корректного анализа пульсограмм и артериальной гемодинамики);
- закономерности влияния физической нагрузки на показатели артериального давления, кислотности и вязкости крови, аэробного энергообеспечения, артеровенозного градиента по кислороду, систолического объема у спортсменов различных специализаций и квалификаций.

Положения, выносимые на защиту

1. Усовершенствованная методика артериальной осциллометрии, основанная на морфологическом анализе пульсовых волн и использовании электронной базы их типовых форм. Методика позволяет дополнить измеряемые при тонометрии параметры основными информативными показателями, характеризующими состояние кровеносных сосудов, в т.ч. параметрами, являющимися маркерами повышенной жесткости сосудов (скорость пульсовой волны, гемодинамические индексы) и механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы.

2. Методика и программно-аппаратный комплекс оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы, основанные на расширенном анализе осциллометрических данных и идентификации модели общей артериальной гемодинамики для различных состояний человека (в покое и при реакции на нагрузки), что позволило оперативно, с возможностью дистанционной обработки результатов измерений классифицировать показатели состояния сердца, сосудов и кровотока, принятые в медицинской и спортивной практике.

3. Экспериментальные данные и результаты анализа влияния параметров антропометрии, долгосрочных адаптационных изменений с учетом интенсивности и длительности физических нагрузок, полученные при апробации программно-аппаратного комплекса, позволившие оперативно корректировать программу физического и спортивного совершенствования человека. Они включают установленные взаимосвязи между уровнем физической подготовленности и артеровенозным градиентом по кислороду при нагрузочном тестировании: в группе общей физической подготовки среднее значение градиента составило $49 \pm 2 \%$, в группе спортсменов средней квалификации $62 \pm 3 \%$ и у профессиональных спортсменов и членов сборных Республики Беларусь – до 72% ; средние значения систолического объема в тех же группах обследуемых составили $0,11 \pm 0,02$ л, $0,13 \pm 0,02$ л и $0,15 \pm 0,03$ л соответственно.

Личный вклад соискателя ученой степени

Личный вклад соискателя заключается в разработке модели деформирования плечевой артерии в процессе осциллометрии; верификации модели общей артериальной гемодинамики; разработке методик расширенного анализа данных осциллометрии и оценки функционального состояния ССС; разработке и апробации ПАК; планировании и проведении экспериментальных исследований; анализе результатов. Постановка цели и задач исследований, обобщение полученных научных результатов выполнялись совместно с научным руководителем канд. техн. наук, доц. С.В. Шилько.

Диссертационная работа представляет собой законченный самостоятельный труд соискателя. Соавторами публикаций являются канд. техн. наук, доц.

С.В. Шилько, ст. науч. сотр. Ю.Г. Кузьминский (ГНУ ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси); д-р мед. наук, проф. В.В. Аничкин (РНПЦ РМиЭЧ), асп., врач-кардиолог Ю.И. Тимофеев (ГомГМУ).

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и научные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности» (Минск, БНТУ, 2011), Международной научно-практической конференции «Технологии информатизации и управления (ТИМ-2011)» (Гродно, ИТИиУ БГУ, 2011), Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы медицины» (Гомель, ГомГМУ, 2012, 2014), IV и V Республиканской научно-технической конференции молодых учёных «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, ИММС НАН Беларуси, 2010, 2012), Международных научно-технических конференциях «Полимерные композиты и трибология» (Гомель, ИММС НАН Беларуси, 2011, 2015), 4-й, 6-й, и 7-й Международных научно-технических конференциях «Приборостроение-2011», «Приборостроение-2013» и «Приборостроение-2014» (Минск, БНТУ, 2011, 2013, 2014), Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы физического воспитания и формирования здорового образа жизни студенческой молодежи» (Минск, Междунар. ун-т «МИТСО», 2012), III Международной научно-практической конференции «Инновационные процессы в физическом воспитании студентов IFFA-2013» (Минск, БГУ, 2013), V Международной научно-практической конференции «Здоровье для всех» (Пинск, ПолесГУ, 2013), II Международной научно-практической виртуальной конференции «Медицина в XXI веке: тенденции и перспективы» (Россия, 2013), I Международной научно-практической конференции «Инновации и исследования в транспортном комплексе» (Курган, 2013), V Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма», (Мозырь, МГПУ им. И.П. Шамякина, 2014), Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Гомель, ГИИ МЧС, 2014), XI Международной научно-практической конференции «Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды» (Гомель, ГГУ, 2015).

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 28 печатных работах, включая коллективную монографию и 6 статей в журналах (4,2 авторского листа), в том числе 3 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК для

опубликования результатов диссертационных исследований, 10 статей и 11 тезисов докладов в сборниках материалов научных конференций. Общий объем публикаций составляет 6,4 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и трех приложений. Общий объем диссертации 172 страницы. Таблицы и рисунки расположены на 64 страницах (45 иллюстраций, 33 таблицы). Библиографический список размещен на 19 страницах и насчитывает 218 наименований, включая 28 публикаций соискателя и свидетельство о регистрации программного продукта. Приложения занимают 11 страниц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

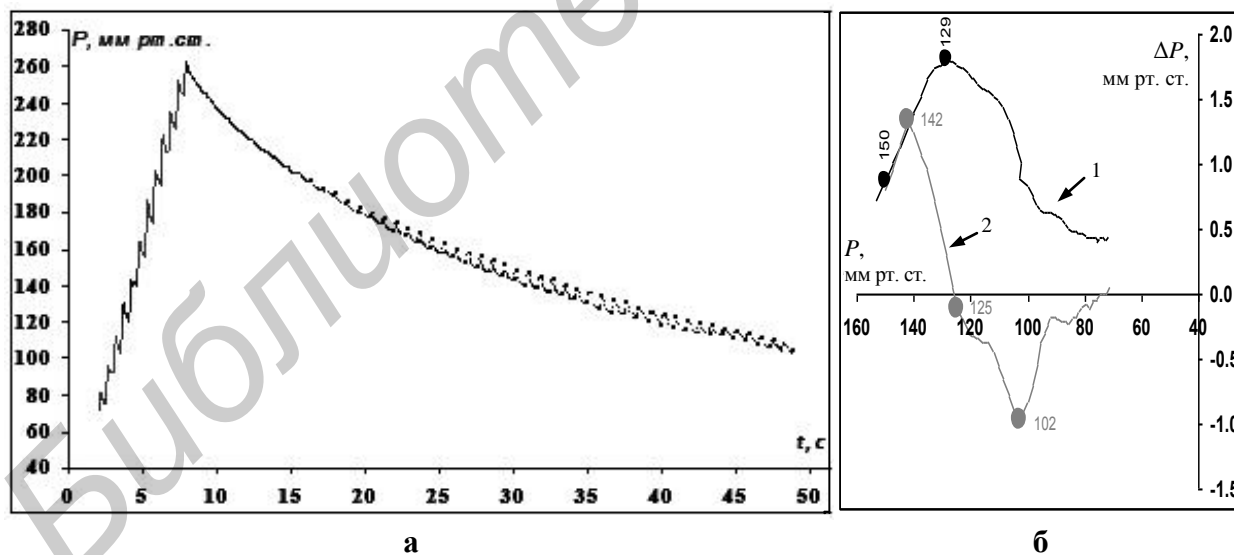
Первая глава содержит сведения о современных технических средствах и методах исследования состояния сердечно-сосудистой системы, гемодинамических моделях и программно-аппаратных комплексах по оценке состояния ССС, использующих тонометрическую приборную базу. Показано, что методы исследования состояния ССС, как правило, направлены на выявление заболеваний, требуют применения дорогостоящих приборов и лабораторных исследований в клинических условиях. Таким образом, они не совсем адаптированы для массовых и регулярных донозологических обследований. Показано, что для корректного определения функционального состояния ССС наряду с регулярным контролем артериального давления и частоты сердечных сокращений необходимо изучение дополнительных показателей гемодинамики, кислородного обмена и эластичности сосудов в состоянии покоя и физической нагрузки. Актуально комплексное использование метода осциллометрии с расширенным анализом данных и моделирования гемодинамики, а также соответствующих приборов и ПАК, пригодных для быстрой, экономичной оценки функционального состояния ССС. Показано, что диагностика в режиме реального времени затрудняет применение известных гемодинамических моделей в виде систем дифференциальных уравнений Навье–Стокса большой размерности, идентификация которых в каждом конкретном случае практически невозможна из-за большого объема вычислений и ограниченности данных о морфологии сосудов, свойствах крови и т. д. Обосновано использование многокомпонентных моделей артериальной гемодинамики с сосредоточенными параметрами.

Во **второй главе** описаны использованные методы и приборная база биомеханического исследования сердечно-сосудистой системы, включая методики

артериальной осциллометрии с расширенным анализом данных и моделирования общей артериальной гемодинамики, метод динамического индентирования и численный метод конечных элементов, реализованный в программном продукте Ansys 14.5. Для оценки функционального состояния (ФС) организма применялись методики вариационной пульсометрии и нагрузочные тесты (Гарвардский степ-тест, PWC-170, пробы Мартине и Руфье).

Для получения первичной информации в лабораторных условиях производилась регистрация осцилляций давления в окклюзионной манжете (ОМ) полуавтоматического тонометра. Аппаратная часть экспериментального образца комплекса включала тонометр LD-1; тензостанцию TS-32 (ИПФ НАН Беларуси) с модифицированным каналом LD-1 обработки динамического барометрического сигнала, оснащенную Bluetooth; кабель соединения встроенного манометра с тензостанцией; внешний Bluetooth ноутбука и драйвер тензостанции. Измеряемые показатели АД преобразуются в цифровой код и с частотой 120 Гц передаются в компьютер, где регистрируются и отображаются драйверной программой тензостанции, а затем переносятся в архивный файл для фильтрации с применением программного фильтра низких частот и последующей обработки.

Процедура анализа по разработанным алгоритмам с графической визуализацией данных представлена на рисунке 1, где зависимость на рисунке 1, а разбивается на отдельные участки. Определяются протяженность нисходящей ветви кривой, средняя скорость снижения давления S_m .



а – осцилляции давления в ОМ; б – огибающая амплитуд осцилляций (линия 1) и ее производная (линия 2)

Рисунок 1. – Изменение давления в окклюзионной манжете при осциллометрии

Из массива данных нисходящей ветви кривой давления формируется массив параметров осцилляций MK , каждая i -я строка которого содержит время t_i , точку локального максимума скорости снижения давления S_{\max}^i и точку минимального значения давления P_{\min}^i . Вычисляются амплитуды осцилляций для анализа

характерных точек осциллограммы. На рисунке 1, б изображены линии огибающей амплитуд осцилляций 1 и ее производной 2, полученные при сглаживании экспериментальных данных. Процедуры сглаживания методом скользящего среднего с определением характерных точек осциллограммы, включая значения систолического P_{\max} и диастолического P_{\min} давления, повторяются до выполнения заданного критерия точности. Частота сердечных сокращений F_{cc} определяется по числу циклов, соответствующих стадии снижения давления от значения P_{\max} до значения P_{\min} .

Анализ осцилляций давления предусматривает устранение шумов, учет снижения давления в ОМ при декомпрессии, сглаживание сигнала методом скользящего среднего и масштабирование. В результате обработки и осреднения осцилляций, соответствующих интервалу значений АД $[0,9P_{\max} \dots 1,1P_{\max}]$, строится график изменения амплитуды сигнала выделенного периода сердечного цикла – портрет пульсовой волны (ППВ). Экспериментально доказано подобие ППВ с характеристиками центральной пульсовой волны. Морфологический анализ ППВ включает выделение характерных точек с последующим вычислением скорости пульсовой волны C_v , коэффициента интегральной тоничности KIT , гемодинамических индексов и оценки содержания гемоглобина Hb по имеющимся в литературе зависимостям. Статистический анализ длительности кардиоинтервалов позволяет также вычислить показатели вегетативной регуляции деятельности ССС – параметры variability ритма сердца: вариационный размах VR , моду Mo , амплитуду моды AMo и показатель $pNN50$, определяющий долю смежных кардиоинтервалов, отличающихся по длительности более чем на 50 мс.

На этапе моделирования общей артериальной гемодинамики в соответствии с подходом, описанным в [1–3], в качестве исходных данных используются: антропометрические параметры – рост H , вес M , возраст A , пол S и признак спортивной квалификации SK ; величина тестовой нагрузки L и параметры F_{cc} , P_{\max} , P_{\min} , KIT , Hb , C_v , определяемые на основе анализа осциллометрических данных [1–3, 8, 16, 18, 19, 21]. В основу моделирования положен тот факт, что кровоток происходит вследствие разности гидростатического давления в различных участках сосудистой системы. Градиент давления на пути течения крови от устья аорты до конца капилляра $\sum \Delta P$ (Па) представляется в виде суммы:

$$\sum \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4, \quad (1)$$

где ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 , ΔP_4 – изменение АД в магистральных артериях, мелких артериях, артериолах и сфинктерах соответственно.

Для описания кровотока в сети артерий из n параллельных сосудов одного типа применима следующая аналитическая зависимость для градиента давления с учетом возможной дилатации [1]:

$$Fp_{lbz}(\eta, k_d, k_{dl}, d, l, n, Q) = 1,573 \cdot \frac{Q \cdot \eta \cdot l}{n \cdot (k_d \cdot k_{dl} \cdot d)^4}, \quad (2)$$

где d, l – диаметр и длина сосуда, м; n – число сосудов рассматриваемого типа; Q – объемная скорость кровотока, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; η – кинематическая вязкость крови, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; k_d – коэффициент активной деформации сосудов; k_{dl} – коэффициент дилатации.

При идентификации модели по персональным данным обследуемого, определяются искомые гемодинамические параметры. Применяется метод оптимизации, позволяющий минимизировать отклонения модельных и известных значений контрольных параметров [1–3, 19]. Норма определяется на основании баз нормативных показателей. При последующем мониторинге производится анализ и оценка текущего состояния ССС с учетом статистики обследований, хранящейся в базе данных. В таблице 1 указаны результирующие (выходные) параметры модели в единицах размерности, применяемых в медицинской и спортивной практике.

Таблица 1. – Выходные параметры модели артериальной гемодинамики

Обозначение	Описание и единицы измерения	Минимальное, номинальное и максимальное значения
E	Модуль упругости биоткани стенок сосудов, кПа	$E \in [8-12-18]$
V_s	Систолический объем, л	$V_s \in [0,03-0,08-0,25]$
pH	Параметр кислотного равновесия, безразм.	$pH \in [6,9-7,37-7,47]$
k_d	Коэффициент активной деформации сосудов, безразм.	$k_d \in [0,8-1-1,3]$
k_{dl}	Коэффициент дилатации сосудов, безразм.	$k_{dl} \in [1,0-1,16-1,3]$
k_{str}	Коэффициент аэробного энергообеспечения, безразм.	$k_{str} \in [0,8-1-1,3]$
η	Кинематическая вязкость крови, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot 10^{-6}$	$\eta \in [1,9-5-12]$
AV_{O_2}	Артеровенозный градиент по кислороду, %	$AV_{O_2} \in [9-14-80]$

Достоинством используемой модели является возможность учета высокоскоростных изменений pH , η , k_{str} , V_s и других гемодинамических параметров. В настоящее время исследуемые параметры определяются дорогостоящими биохимическими и биофизическими методами, что затрудняет их использование. Верификация модели, выполненная путем сопоставления расчетных и контрольных параметров [1, 5], показала адекватность и устойчивость метода, а также его чувствительность к вариативности входных данных.

Тестирование экспериментального образца программно-аппаратного комплекса показало, что различие артериальных давлений P_{\max} и P_{\min} , вычисленных параллельно в тонометре и модулях ПАК, в среднем составило 3,8 мм рт. ст. Значение ЧСС совпало в 100 % испытаний. Для определения точности вычислений более широкого перечня показателей были проведены диагностические тесты параллельно на экспериментальном образце ПАК и комплексе объемной компрессионной осциллометрии КАП ЦГосм–«Глобус». Отклонение по девяти

ключевым показателям не превысило 8 %, что является хорошим результатом для методов неинвазивной диагностики ССС.

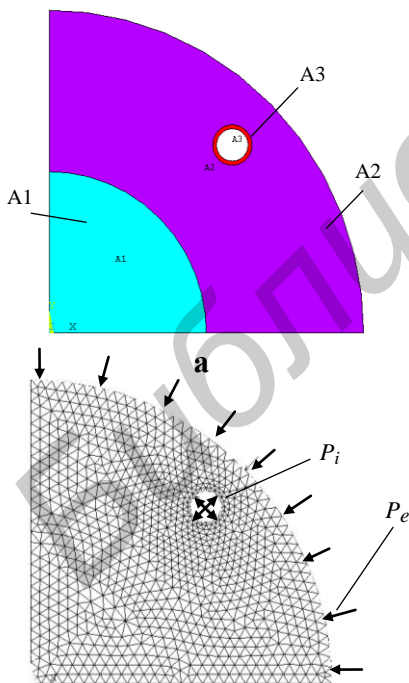
Для построения модели деформирования ПА в процессе осциллометрии экспериментально определялись деформационные характеристики биологических тканей плеча *in vivo* с использованием миометра MYOTON 3, реализующего метод динамического индентирования, в исходном состоянии и после проведения нагрузочного тестирования (таблица 2). При среднем значении модуля Юнга E^m мышц плеча в исходном состоянии $0,034 \pm 0,011$ МПа выявлено его увеличение на 15–60 % сразу после нагрузочного тестирования.

Таблица 2. – Характеристики упругости биологических тканей плеча

Элемент	Модуль Юнга E , МПа		Коэффициент Пуассона ν
	Литературные данные	Результаты миометрии	
Кость	10000 – 12000	–	0,2
Мышца	0,03 – 0,06	0,034 – 0,046	0,44 – 0,46
Стенки артерии	0,008 – 0,50	–	0,49 – 0,498

Индивидуальные особенности морфологии и нелинейная упругость стенки ПА вызывает вариацию ее модуля упругости E^a в пределах 0,008 – 0,02 МПа при малых деформациях (таблица 2) с увеличением E^a до 0,50 МПа при более высоком уровне деформаций, вызывающих последовательное выпрямление и растяжение относительно жестких коллагеновых волокон. Таким образом, вариабельность

модуля упругости стенки плечевой артерии E^a является информационным параметром, определяющим процесс окклюзии ПА под действием компрессионной манжеты. Задачу конкретизации значения E^a в различных стадиях процесса осциллометрии целесообразно решать средствами моделирования.



б
Рисунок 2. – Структура модели (а) и ее конечноэлементное представление (б)

Для анализа напряженно-деформированного состояния ПА при ее окклюзии выполнено моделирование области плеча методом конечных элементов с помощью программного продукта Ansys 14.5 (рисунок 2). Упрощенная геометрия области локализации ПА показана на рисунке 2, а (A1 – область кости, A2 – область мышцы и A3 – стенки артерии), а ее конечноэлементная дискретизация – на рисунке 2, б. Стрелками показано приложение артериального (внутреннего) давления P_i и внешнего давления P_e . Для значений давлений P_e и P_i , соответствующих процессу осциллометрии под

действием компрессионной манжеты, исследовались расчетные значения наиболее информативных для анализа окклюзии ПА параметров (деформации по Мизесу ε и максимального суммарного перемещения U) при исходных данных: $E^k = 10$ ГПа, $\nu^k = 0,2$, $E^m = 0,03$ МПа, $\nu^m = 0,46$, $E^a = 0,08$ МПа, $\nu^a = 0,49$. Индексы k , m , a соответствуют материалам кости, мышцы, артерии.

Отмечено, что окклюзия 85 % в исходном состоянии мышц и артерий достигается при значениях: $P_e = 160$ мм рт. ст., $P_i = 70$ мм рт. ст. (рисунок 3).

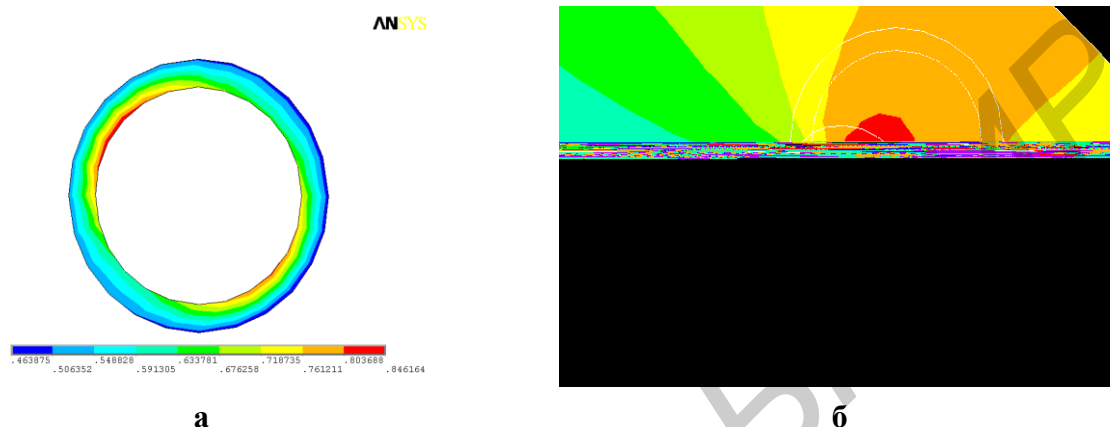


Рисунок 3. – Схема распределения упругих деформаций по Мизесу (а) и перемещения (б) стенок артерии и окружающих тканей в состоянии, предшествующем нагрузочному тесту

Для значений $E^m = 0,045$ МПа, $E^a = 0,2$ МПа, соответствующих состоянию мышц и артерий после проведения нагрузочного теста, расчетная окклюзия уменьшилась до 78 %, что объясняется остаточным тонусом мышечных тканей.

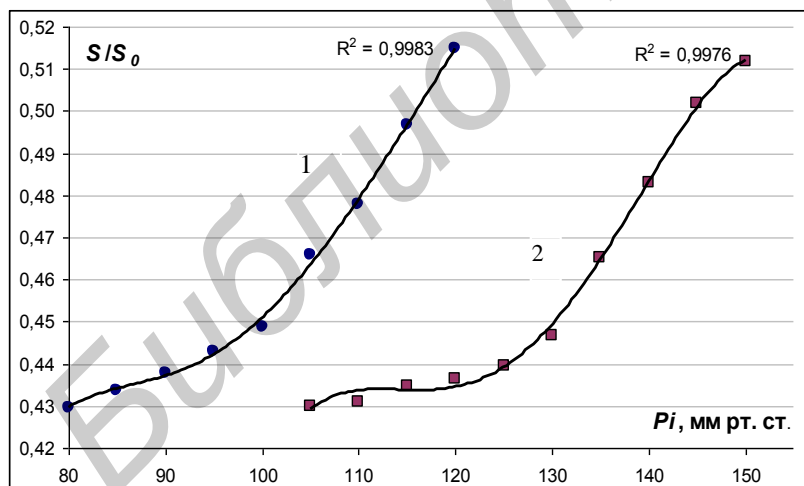


Рисунок 4. –Зависимости отношений площади просвета плечевой артерии S к его начальному значению S_0 от давления P_i при $P_e = \text{const}$ (1 – для здоровой артерии, 2 – для артерии повышенной жесткости)

существенно более «жесткой» артерии, характерной для атеросклероза 2, с принятыми значениями модуля упругости стенки артерии E^a равными 0,01 МПа и

Исследовались условия возникновения осцилляций на этапе декомпрессии при давлении $P_e = 110$ мм рт. ст. Данное значение P_e входит в диапазон внешних давлений, для которых на разрабатываемом ПАК были получены характеристики сигнала, позволяющие строить портрет пульсовой волны.

На рисунке 4 показаны зависимости площади просвета ПА от давления P_i для здоровой артерии 1 и

0,018 МПа соответственно. Указанные значения E^a попадают в интервал 0,008 – 0,02 МПа, соответствующий малым деформациям.

Таким образом, выполненное моделирование позволило обосновать диапазон значений информационного параметра – вариабельности модуля упругости E^a биоткани стенки ПА – в пределах 0,008 – 0,02 МПа для корректного построения ППВ и моделирования общей артериальной гемодинамики.

В **третьей главе** представлены структурные схемы программно-аппаратного комплекса оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы, принципы программной реализации, алгоритмы, программные модули, интерфейс пользователя и протокол измерений [3, 9, 12, 20].

Для оперативной регистрации гемодинамических показателей в условиях физических нагрузок предложена структурная схема программно-аппаратного комплекса с возможностью дистанционной обработки результатов измерений (рисунок 5). ПАК состоит из специализированного тонометра с электронным интерфейсом и программой передачи данных, и персонального компьютера (или мобильного устройства) с программным обеспечением обработки и анализа информации.

В модуле первичной обработки данных (МПОД) под воздействием управляющих сигналов от ПК осуществляется измерение величины АД и предварительная обработка (усиление и фильтрация сигнала с целью минимизации влияния помех, цифровое кодирование). Предусмотрено использование двух режимов считывания, позволяющее на основании анализа динамики

изменения поступивших исходных данных (массив $D_0[i]$) получать массив $D_1[i]$, соответствующий поддиапазону АД $[0,9P_{\max} \dots 1,1P_{\max}]$ и используемый для расширенного анализа результатов осциллометрии. После предварительной

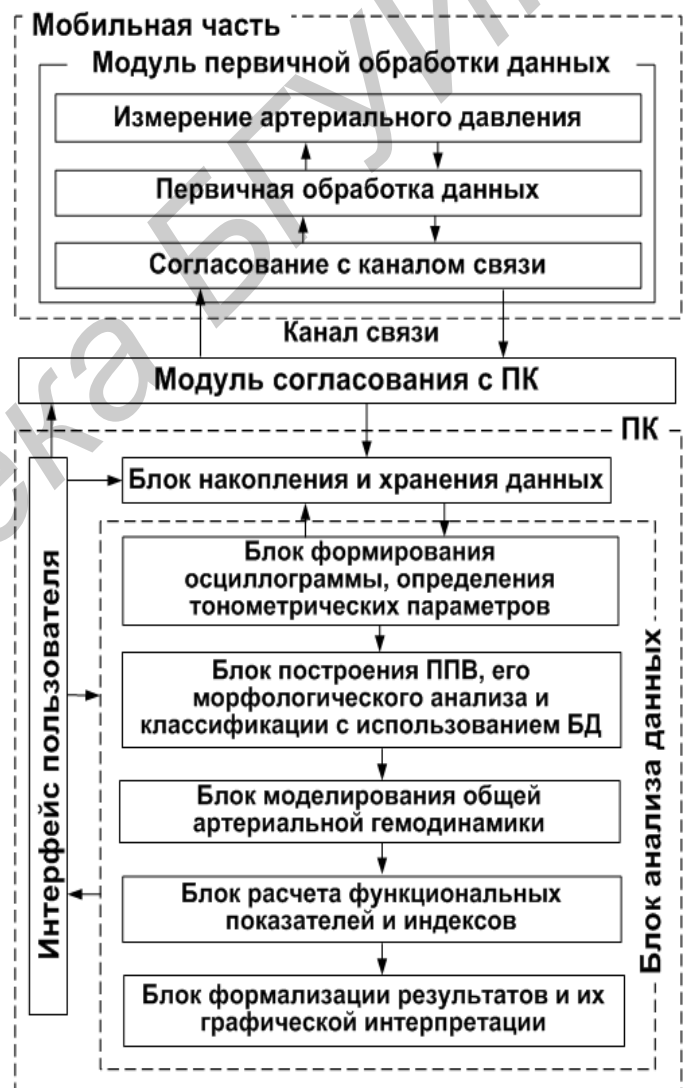


Рисунок 5. – Структурная схема программно-аппаратного комплекса

обработки результатов измерений производится передача данных в блок накопления и хранения данных через модуль согласования с каналом связи.

В блоке анализа данных осуществляется ввод информации пользователя, выполняются этапы анализа результатов осциллометрии (рисунок 5) и их представление. Анализ данных осциллометрии и диагностическая методика реализованы в модулях «СПАС», «БИОДИС» и «БЛАНК», являющихся составными частями программного обеспечения ПАК. В модуле «СПАС» считывается адресуемая часть архива, формируется осциллограмма, выполняется анализ осцилляций давления в манжете и определяются сохраняемые в архиве параметры, в том числе результаты тонометрии – частота пульса F_{cc} , давления P_{max} и P_{min} ; показатели variability ритма сердца, KIT , C_v , Hb . При обработке данных массива $D_1[i]$ производится выделение и осреднение осцилляций из интервала значений АД $[0,9P_{max} \dots 1,1P_{max}]$ с построением ППВ и его морфологический анализ. В программном модуле «БИОДИС» реализуется модель общей артериальной гемодинамики. Входными являются данные антропометрии, тонометрии, нагрузочного режима, а также показатели KIT , C_v , Hb , вычисленные в «СПАС». В число процедур модуля «БИОДИС» входят исходный анализ; сопоставительный мониторинг и статистический прогноз. В модуле «Бланк» определяется расширенный список показателей, индексов и интегральных оценок. Производится формализация результатов с их представлением в виде таблиц абсолютных значений и балльных оценок, а также графиков и диаграмм.

В программном обеспечении ПАК реализована модификация классического метода артериальной осциллометрии, позволяющая построить портрет пульсовой волны и провести его классификацию с использованием электронной базы ППВ (рисунок 6). Составлен электронный справочник из 24 типовых портретов, характерных для нормальных и патологических состояний ССС, что позволяет автоматизировать сравнение рассматриваемого случая с типовыми формами путем масштабирования и вычисления интегрального отклонения портретов.

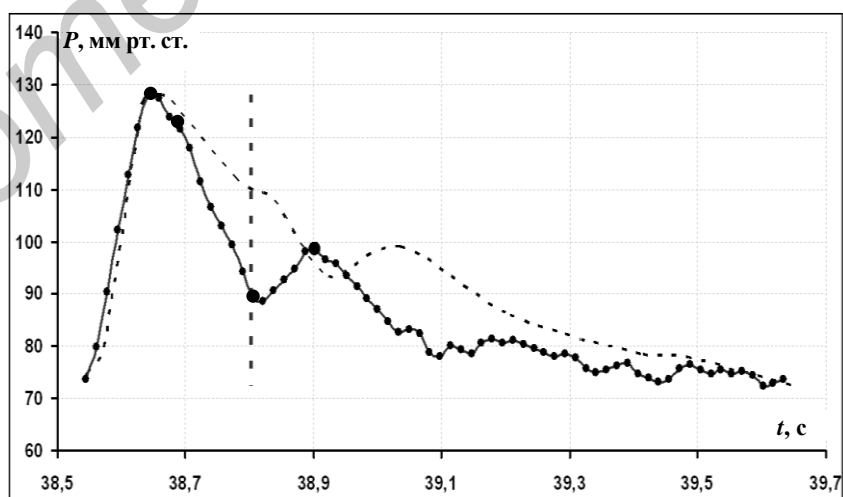
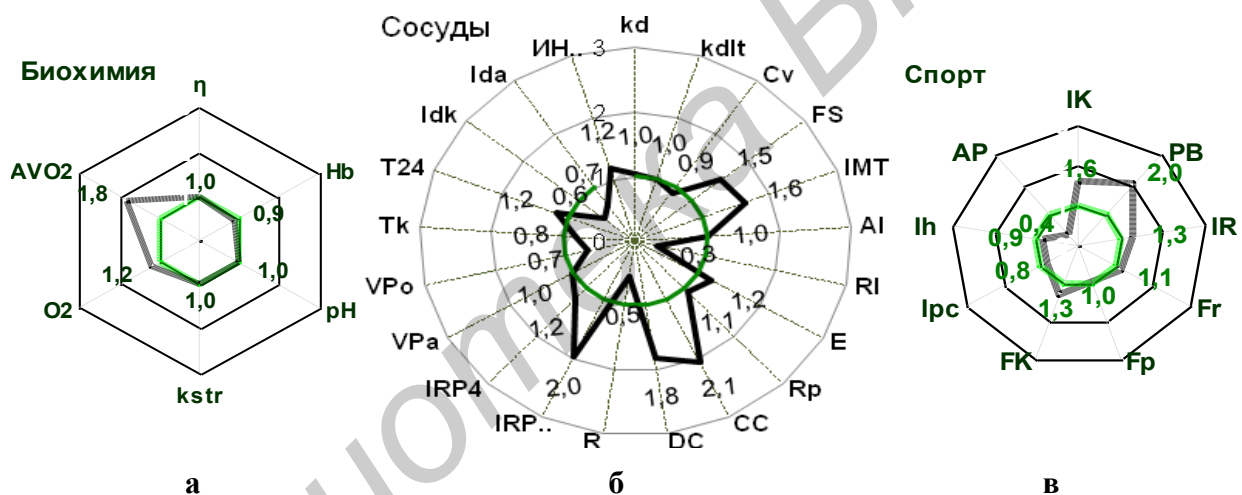


Рисунок 6. – Портрет пульсовой волны обследуемого (сплошная линия) в сравнении с нормотензивным портретом (пунктир)

В четвертой главе приведены результаты апробации разработанного ПАК и предложенных методик для различных групп населения и сопровождения

спортивной деятельности. Верификация и опыт использования предлагаемой инновационной технологии (460 наблюдаемых, 4070 тестов) показали возможность получения большого числа показателей состояния ССС неинвазивным путем и при минимальных финансовых и временных затратах. Для выборок одной возрастной группы 20–28 лет из категорий «трудоспособное население» (80 человек) и «спортсмены» (105 человек) установлена количественная взаимосвязь и достоверные ($p < 0,05$) различия зависимостей основных показателей гемодинамики от нагрузки L .

В ПАК созданы специализированные версии программного обеспечения для первичного контроля трудоспособности и сопровождения спортивных тренировок. Пример нормированного графического изображения параметров ССС обследуемого и их отклонений от стандартных значений («гемодинамический профиль») представлен в виде круговой диаграммы (рисунок 7). При проведении регулярных наблюдений (мониторинга) формируются зависимости исследуемых параметров от времени [12].



а – биохимические показатели; б – свойства сосудов; в – спортивные индексы
Рисунок 7. – Графическое представление результатов обследования спортсмена-гиревика в сопоставлении со среднестатистической нормой

Предусмотрена обработка результатов функциональных проб и вычисление индексов для мониторинга состояния спортсменов, физкультурников и лиц со средней физической подготовленностью. Выбор параметров и функциональных проб для обследования спортсменов производится на основании экспертных оценок специалистов с учетом скоростных и силовых особенностей спортивной деятельности. Результатом расчета является интегральный показатель – обобщенный индекс состояния системы кровообращения $I_{BIOSPAS}$. Воздействие на организм тренировочных нагрузок может быть оценено путем сопоставления векторов состояний, а также графически. Важной составляющей контроля адаптации организма человека к нагрузкам является анализ variability ритма

сердца, результаты которого при нагрузочном тестировании наглядно представляются в виде частотных гистограмм и корреляционных ритмограмм.

Применение автоматизированной статистической обработки позволило анализировать результаты массовых обследований для групп спортсменов и физкультурников, динамику функционального состояния, выделять параметры, подверженные значительным изменениям в ходе тренировок, и параметры, являющиеся ключевыми для определения уровня подготовки спортсменов различных специализаций. Выявлены закономерности влияния физической нагрузки на показатели давления, кислотности, стрессовой нагрузки, вязкости крови, артеровенозного градиента по кислороду, систолического объема *in vivo*. В частности, установлена взаимосвязь между уровнем физической подготовленности и артеровенозным градиентом по кислороду при нагрузочном тестировании: в группе общей физической подготовки среднее значение AV_{O_2} составило $49 \pm 2 \%$, в группе спортсменов средней квалификации $62 \pm 3 \%$, в то время как у профессиональных спортсменов и членов сборных Республики Беларусь достигало 72% . При этом среднее значение систолического объема V_s в тех же группах обследуемых поднималось до $0,11 \pm 0,02$ л, $0,13 \pm 0,02$ л и $0,15 \pm 0,03$ л. Показано, что изменение F_{cc} , P_{max} , C_v и других величин на единицу изменения нагрузки имеет статистически значимые различия для представителей одного вида спорта разной квалификации ($\alpha = 0,05$). Динамические наблюдения в тренировочном и соревновательном периодах позволили установить, что F_{cc} , KIT и $pNN50$ адекватно отображают уровень подготовки спортсмена в сложном для формализации пожарно-спасательном виде спорта [25, 26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика расширенного анализа данных артериальной осциллометрии при действии окклюзионной манжеты. Для идентификации модуля упругости стенок плечевой артерии как информационного параметра выполнено конечноэлементное моделирование зоны осциллометрии. Определен диапазон информационного параметра $0,008 - 0,02$ МПа, определяющий условия возникновения осцилляций артериального давления, пригодных для построения портрета пульсовой волны и моделирования. Усовершенствованная методика артериальной осциллометрии предусматривает преобразование сигнала, характеризующего уровень артериального давления, в цифровой код и его передачу в ПК для расширенной обработки данных, включая выделение осцилляций и их морфологический анализ. Это позволяет получить дополнительные информативные

показатели, характеризующие состояние кровеносных сосудов (скорость пульсовой волны, гемодинамические индексы, коэффициент интегральной тоничности) и параметры variability ритма сердца; автоматизировать анализ портрета пульсовой волны и его классификацию в электронной базе данных путем сравнения с типовыми формами, характерными для различных состояний сердечно-сосудистой системы [1, 5–15, 17, 20–21, 23–24, 27, 28].

2. Разработана и верифицирована методика оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы, основанная на комплексном использовании результатов анализа осциллометрических данных и моделирования общей артериальной гемодинамики для различных состояний человека. Это позволяет учесть высокоскоростные изменения кислотности, уровня аэробного энергообеспечения, систолического объема, вязкости крови и других гемодинамических параметров. По данным осциллометрии и восьми параметрам, дополнительно получаемых идентификацией гемодинамической модели, определяются 85 показателей сердечной деятельности, свойств крови, состояния сосудов, включая функциональные индексы, принятые в медицинской и спортивной практике. Балльная оценка показателей производится с применением вероятностной шкалы, результат воздействия на организм может быть оценен путем сопоставления векторов состояний и представлен графически [1–3, 7–9, 18, 19, 21].

3. Разработан программно-аппаратный комплекс для исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы на основе осциллометрии с возможностью дистанционной обработки результатов измерений, что позволяет производить расширенный анализ осциллометрических данных, включая процедуру идентификации модели общей артериальной гемодинамики. Отклонение расчетных и измеренных значений при количестве итераций алгоритма $N_s = 7$ (время расчета 7 с) не превысило 10 %, а при $N_s = 9$ отклонение составило 6 % и время расчета – 19 с соответственно [4–6, 13, 16, 17, 20, 24–26].

4. Анализ данных, полученных при апробации ПАК, показал его эффективность для сопровождения спортивных тренировок и первичного контроля трудоспособности. Получены достоверные различия параметров гемодинамики при нагрузочном тестировании спортсменов различной специализации и квалификации, а также других категорий обследуемых. Выявлены закономерности влияния физической нагрузки на показатели артериального давления, кислотности и вязкости крови, аэробного энергообеспечения, артеровенозного градиента по кислороду, систолического объема. В частности, установлена взаимосвязь между уровнем физической подготовленности и артеровенозным градиентом по кислороду при нагрузочном тестировании: в группе общей физической подготовки среднее значение AV_{O_2} составило 49 ± 2 %, в группе спортсменов средней квалификации 62 ± 3 %, в то время как у профессиональных спортсменов и членов

сборных Республики Беларусь достигало 72 %. При этом среднее значение систолического объема V_s в тех же группах обследуемых поднималось до $0,11 \pm 0,02$ л, $0,13 \pm 0,02$ л и $0,15 \pm 0,03$ л. Статистическая обработка результатов позволила выделить гемодинамические параметры, определяющие функциональное состояние спортсмена конкретной специализации. Опыт использования предлагаемой инновационной информационной технологии (460 наблюдаемых, свыше 4000 тестов) свидетельствует о том, что она позволяет получить большое число показателей ССС при минимальных финансовых и временных затратах. Продолжительность процедуры, включая подготовку к тонометрии, не превышает 5 мин при обследовании в состоянии покоя и 15 мин с применением нагрузочных тестов [1, 5–7, 9–19, 23–26, 28].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанный ПАК рекомендуется для проведения скрининговых обследований, первичного контроля трудоспособности и мониторинга состояния сердца и сосудов при лечебном воздействии, включая реабилитационные мероприятия [1, 2, 7, 11, 13, 15, 19, 23–24].

2. В комплектации с модулем «Биодис-спорт» ПАК «БИОСПАС» может применяться как система информационного обеспечения в спортивной деятельности для оптимизации тренировочных режимов, обеспечивающих повышение результативности выступлений и снижение травматизма спортсменов [1, 5, 9, 12, 14, 19, 25–26, 28]. Практическая ценность доказана актом об использовании результатов исследования в тренировочном процессе сборной команды Республики Беларусь по пожарно-спасательному спорту (27.01.2015 г., РБ), справкой о практическом использовании в лаборатории олимпийских видов спорта (24.12.2014 г., РБ). Целесообразно массовое применение ПАК для обследований состояния сердечно-сосудистой системы при занятиях физической культурой в учреждениях образования (акт о внедрении от 18.03.2014 г. в РБ, акт о практическом использовании от 09.01.2015 г. в РБ).

3. Методика и техническая реализация осциллометрии, алгоритм и программное обеспечение анализа пульсограмм используются в ОАО «Интеграл» при создании мобильного диагностического комплекса для определения гемодинамических параметров сердца и сосудов (справка о практическом использовании результатов исследования в производстве от 10.11.2015 г. в РБ).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монографии

1. Шилько, С.В. Биомеханическая диагностика гемодинамики сердечно-сосудистой системы : в 2 ч. / С.В. Шилько, М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский. – Новосибирск : СИБАК, 2014. – Ч. 2 : Инновационные аспекты современной медицины. – С. 11–41.

Статьи в рецензируемых журналах

2. Возможности первичной диагностики сердечно-сосудистой системы на основе биомеханического анализа гемодинамики / С. В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, В.В. Аничкин, М.В. Борисенко // Проблемы здоровья и экологии, ГГМУ. – 2010. – Т. 14, № 3. – С. 148–155.

3. Шилько, С. В. Математическая модель и программная реализация мониторинга сердечно-сосудистой системы / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Проблемы физики, математики и техники. – ГГУ. – 2011. – № 3. – С. 104–112.

4. Аппаратная реализация биомеханической диагностики сердечно-сосудистой системы по данным осциллометрии / В.В. Шевцов, С.В. Шилько, М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 2(5). – С. 51–56.

5. Борисенко, М.В. Применение программно-аппаратного комплекса «БИОСПАС» для анализа данных осциллометрии / М.В. Борисенко, С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский // Метрология и приборостроение. – 2014. – № 4.– С. 24–32.

6. Шилько, С.В. Аппаратная реализация и апробация неинвазивной диагностики гемодинамики на основе тензометрии и тонометрии / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Приборы и методы измерений. – 2015. – № 1 (10). – С. 39–46.

Статьи в журналах

7. Шилько, С. В. Диагностика сердца и сосудов: биомеханический анализ гемодинамики / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Наука и инновации. – 2013. – № 2 (120)_2013. – С. 15–17.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

8. Шилько, С. В. Программная реализация биомеханической модели гемодинамики / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Технологии информатизации и управления : сб. науч. ст.. – вып. 2 / Институт технологий

информатизации и управления БГУ; редкол. : А. М. Кадан (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2011, – С. 102–108.

9. Борисенко, М.В. Программно-аппаратное средство для биомеханического мониторинга параметров гемодинамики спортсменов / М.В. Борисенко // Современные проблемы физического воспитания и формирования здорового образа жизни студенческой молодежи : материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 17 мая 2012 г. / Междунар. ун-т «МИТСО». – Минск, 2012. – С. 15–20.

10. Кузьминский, Ю.Г. Инновационная технология компьютерного гемодинамического анализа / Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко, С.В. Шилько // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / БНТУ; редкол.: О.В. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 89–94.

11. Борисенко, М.В. Автоматизированная экспертная оценка состояния здоровья с использованием компьютерного комплекса "БИОДИС" / М.В. Борисенко // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15–16 декабря 2011 г. / БелГУТ; под общ. ред. А.Б. Невзоровой. – Гомель, 2011. – С. 33–35.

12. Борисенко, М.В. Программно-аппаратное средство мониторинга гемодинамики как средство медико-педагогического контроля тренировочного процесса / М.В. Борисенко, С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский // Современные и традиционные системы оздоровления и единоборства – выбор приоритетов : сб. науч. ст. / БГУ; редкол. : В.А. Коледа [и др.]. – Минск, 2013. – С. 202–210.

13. Специализированное программно-аппаратное средство «СПАС» биомеханической диагностики сердечно-сосудистой системы / Ю.Г. Кузьминский, С.В. Шилько, М.В. Борисенко, В.В. Аничкин // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. : в 4 т. / ГомГМУ; редкол. : А.Н. Лызиков [и др.]. – Гомель, 2012. – Т. 2. – С. 202–205.

14. Борисенко, М.В. Совершенствование учебно-тренировочного процесса с использованием программно-аппаратных средств / М.В. Борисенко, А.П. Кейзер, В.А. Коледа // Здоровье для всех : сб. ст. / ПолесГУ; редкол. : К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск, 2013. – С. 18–21.

15. Борисенко, М.В. Автоматизированный мониторинг функционального состояния сердечно-сосудистой системы с использованием программно-аппаратных средств «СПАС» / М.В. Борисенко // Инновации и исследования в транспортном комплексе : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Курган, 23–24 мая 2013 г. / редкол.: Д.Н. Парышев [и др.]. – Курган, 2013. – С. 201–203.

16. Шилько, С.В. Специализированное программно-аппаратное средство «СПАС»: опыт биомеханического анализа гемодинамики по данным осциллометрии / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко //

Приборостроение – 2013 : материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2013 г. / БНТУ; редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2013. – С. 130–132.

17. Борисенко, М.В. Аппаратная реализация измерительного модуля мобильной версии комплекса биомеханической диагностики «БИОСПАС» / М.В. Борисенко // Приборостроение – 2014 : материалы 7-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–21 ноября 2014 г. / БНТУ; редкол. : О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2013. – С. 37–39.

Тезисы докладов научных конференций

18. Борисенко, М.В. Имитационное моделирование гидродинамики артериальной части сердечно-сосудистой системы / М.В. Борисенко // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы респ. науч.-техн. конф. мол. ученых, Гомель, 5–7 окт. 2010 г. / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2010. – С.115–116.

19. Кузьминский, Ю.Г. Применение 0-D моделирования для оценки гемодинамических параметров / Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб-2011) : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 27–30 июня 2011 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол. : В.Н. Адериша [и др.]. – Гомель, 2011. – С. 136–137.

20. Расширенная тонометрия и ее аппаратно-программная реализация / С.В. Шилько, В.В. Шевцов, М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский // Приборостроение–2011: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–13 ноября 2011 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 178–179.

21. Борисенко, М.В. Возможности моделирования и анализа состояния сердечно-сосудистой системы при использовании программно-аппаратного средства «СПАС» / М.В. Борисенко // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XV Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 26–28 марта 2012 г. : в 2 ч. / ГГУ, редкол. : О.М. Демиденко (гл. ред.). – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 64–65.

22. Тимофеев, Ю.И. Роль структуры и деформационных свойств артериальных сосудов в гемодинамических процессах / Ю.И. Тимофеев, М.В. Борисенко // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы II Респ. науч.-техн. конф. мол. ученых, Гомель, 2–4 октября 2012 г. / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2012. – С. 120–121.

23. Борисенко, М.В. Применение программно-аппаратного комплекса для мониторинга состояния здоровья и оценки работоспособности работников транспорта / М.В. Борисенко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы

VI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 29–30 ноября 2012 г. / БелГУТ ; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2012. – С. 58–59.

24. Шилько, С.В. Компьютерная экспресс-диагностика гемодинамики / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Медицина в XXI веке: тенденции и перспективы : тез. докл. II Междунар. науч.-практ. виртуальной конф., Пенза, 19–20 апреля 2013 г. / РахGrid, МЗ РФ.– Пенза, 2013. – С. 305–306.

25. Применение биомеханической диагностики в подготовке спортсменов-спасателей / Ю.Г. Кузьминский, С.В. Шилько, М.В. Борисенко, Д.Н. Григоренко // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 мая 2014 г. / ГИИ МЧС РБ. – Гомель, 2014. – С. 347–349.

26. Борисенко, М.В. Опыт и перспективы использования программно-аппаратного средства «БИОСПАС» для мониторинга гемодинамических показателей спортсменов / М.В. Борисенко // Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 9–11 октября 2014 г. / УО МГПУ им. И.П. Шамякина ; редкол.: С.М. Блоцкий (отв. ред.) [и др.]. – Мозырь, 2014. – С. 162–164.

27. Борисенко, М.В. Биомеханическая модель окклюзии артерии в процессе осциллометрии / М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский // ПОЛИКОМТРИБ-2015 : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 23–26 июня 2015 г. / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2015.– С. 254.

28. Борисенко, М.В. Разработка средств мониторинга функционального состояния сердечно-сосудистой системы спортсмена / М.В. Борисенко, С.В. Шилько, К.К. Бондаренко // Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., посв. 85-летию УО «ГГУ имени Ф. Скорины», Гомель, 8–9 октября 2015 г. : в 3 ч. / УО ГГУ им. Ф. Скорины; редкол. : О.М. Демиденко (гл. ред.). – Гомель, 2015.– Ч. 3. – С. 16–19.

Авторское свидетельство

1. Свидетельство № 738 о регистрации программного продукта «БИОСПАС» для биомеханической диагностики и мониторинга сердечно-сосудистой системы / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко; № 20140108; заявл. 15.12.2014; опубл. 19.02.2015 // Нац. центр інтэл. уласнасці. – 2015.

РЭЗІЮМЭ

Барысенка Марына Уладзіміраўна

ПРАГРАМНА-АПАРАТНЫ КОМПЛЕКС АСЦЫЛАМЕТРЫІ ДЛЯ ДЫЯГНОСТЫКІ ФУНКЦЫЯНАЛЬНАГА СТАНУ САРДЭЧНА-САСУДЗІСТАЙ СІСТЭМЫ

Ключавыя словы: сардэчна-сасудзістая сістэма, артэрыяльны ціск, гемадынамічныя мадэлі, пругкія характарыстыкі сасудаў, асцыламетрыя, танометр, праграмна-апаратны комплекс.

Мэта работы: распрацоўка метадыкі і праграмна-апаратных сродкаў аператыўнай дыягностыкі функцыянальнага стану сардэчна-сасудзістай сістэмы на аснове комплекснага выкарыстання артэрыяльнай асцыламетрыі і камп'ютэрнага мадэлявання гемадынамікі.

Метады даследавання і абсталяванне: метады гідрадынамікі вязкіх вадкасцяў у эластычных сасудах; метады канечных элементаў, метады дынамічнага індэнтавання; асцыламетрыя; метады ідэнтыфікацыі мадэляў, метады статыстычнай апрацоўкі дадзеных; нагрузачныя тэсты.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана новая метадыка асцыламетрыі, заснаваная на аналізе пульсавай хвалі і мадэлі працэсу дэфармавання плечавой артэрыі пры дзеянні аклюзійнай манжэты. Прапанавана новая метадыка ацэнкі функцыянальнага стану сардэчна-сасудзістай сістэмы на аснове асцыламетрыі і ідэнтыфікацыі мадэлі агульнай артэрыяльнай гемадынамікі. Распрацаваны прынцыпы схемнага рашэння і эксперыментальны ўзор ПАК для дыягностыкі сардэчна-сасудзістай сістэмы, у якім упершыню рэалізавана працэдура пашыранай асцыламетрыі і камп'ютарнага аналізу гемадынамікі. Атрыманы заканамернасці ўплыву фізічнай нагрузкі на асноўныя паказчыкі гемадынамікі.

Ступень выкарыстання: вынікі даследавання выкарыстоўваюцца ў адукацыйным працэсе УА БелДУТ і УА ГДУ імя Ф. Скарыны, у трэніровачным працэсе зборнай каманды Рэспублікі Беларусь па пажарна-ратавальным спорце, у лабараторыі алімпійскіх відаў спорту УА ГДУ імя Ф. Скарыны і пры распрацоўцы мабільнага дыягнастычнага комплексу для вызначэння гемадынамічных параметраў (ААТ «Інтэграл»).

Сфера прымянення: скрынінгавыя абследаванні, ацэнка эфектыўнасці рэабілітацыйных мерапрыемстваў, першасны кантроль працаздольнасці ў мэтах павышэння эфектыўнасці і бяспекі вытворчых працэсаў; аналіз і маніторынг сардэчна-сасудзістай сістэмы ў спартыўнай дзейнасці, уключаючы падрыхтоўку спецыялістаў па спартыўнай медыцыне і тэхнічнаму забеспячэнню фізкультуры і спорту.

РЕЗЮМЕ

Борисенко Марина Владимировна

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОСЦИЛЛОМЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, артериальное давление, гемодинамические модели, упругие характеристики сосудов, осциллометрия, тонометр, программно-аппаратный комплекс.

Цель работы: разработка методики и программно-аппаратных средств оперативной диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы на основе комплексного использования артериальной осциллометрии и компьютерного моделирования гемодинамики.

Методы исследования и оборудование: методы гидродинамики вязких жидкостей в эластичных сосудах; метод конечных элементов, метод динамического индентирования; осциллометрия; методы идентификации моделей, методы статистической обработки данных; нагрузочные тесты.

Полученные результаты и их новизна: разработана новая методика осциллометрии, основанная на анализе пульсовой волны и моделировании деформирования плечевой артерии при действии окклюзионной манжеты. Предложена новая методика оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы на основе осциллометрии и идентификации модели общей артериальной гемодинамики. Разработаны принципы схемного решения и экспериментальный образец ПАК для диагностики сердечно-сосудистой системы, в котором впервые реализована процедура расширенной осциллометрии и компьютерного анализа гемодинамики. Получены закономерности влияния физической нагрузки на основные показатели гемодинамики.

Степень использования: результаты используются в образовательном процессе УО БелГУТ и УО ГГУ им. Ф. Скорины, тренировочном процессе сборной команды Республики Беларусь по пожарно-спасательному спорту, в лаборатории олимпийских видов спорта УО ГГУ им. Ф. Скорины и при разработке мобильного диагностического комплекса для определения гемодинамических параметров (ОАО «Интеграл»).

Область применения: скрининговые обследования, оценка эффективности реабилитационных мероприятий, первичный контроль трудоспособности в целях повышения эффективности и безопасности производственных процессов; анализ и мониторинг сердечно-сосудистой системы в спортивной деятельности, включая подготовку специалистов по спортивной медицине и техническому обеспечению физкультуры и спорта.

SUMMARY

Borisenko Marina Vladimirovna

HARDWARE AND SOFTWARE OSCILLOMETRY COMPLEX FOR EVALUATION OF FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

Keywords: cardiovascular system, arterial pressure, hemodynamic models, elastic characteristics of vessels, oscillometry, tonometer, hardware and software complex

The aim of the work is to empower oscillometry method and software and hardware on-line diagnostics of the functional state of the cardiovascular system based on the integrated use of arterial oscillometry and computer modeling of hemodynamics.

Research methods and equipment: methods of hydrodynamics of viscous fluids in flexible vessels; finite element method; method of dynamic indentation; oscillometry; methods of model identification; statistical treatment; stress tests.

The results and their novelty: the new technique of extended oscillometry has been developed. It has been based on the analysis of the pulse wave form and the model of the deformation process of the brachial artery during the action of the occlusive cuff. The new technique of estimation of the functional state of the cardiovascular system based on enhanced oscillometry and model identification of common arterial hemodynamics has been developed. The principles of circuit design and experimental sample of HSC has been developed for the diagnosis of cardiovascular system in which first implemented the procedure of enhanced oscillometry and computer analysis of hemodynamics. Laws of influence of exercise on the main hemodynamic parameters have been presented.

Extent of use: the results are used in the educational process of BelSUT and GSU, in the training process of the national team of Republic Belarus on fire-rescue sport, in the laboratory of Olympic sports of F. Skaryna GSU and in the development of mobile diagnostic complex for determination hemodynamic parameters in JSC «Integral».

Application area: screening tests, evaluation of the effectiveness of rehabilitation measures, primary health monitoring in order to increase the efficiency and safety of production processes; analysis and monitoring of the cardiovascular system in sports activities, including the training of specialists in sports medicine, and technical support of physical education and sports.

Научное издание

Борисенко Марина Владимировна

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОСЦИЛЛОМЕТРИИ
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

Подписано в печать 21.04.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 60 экз. Заказ 98.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014,
ЛП №02330/264 от 07.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6