

**1М.В. Борисенко, 2С.В. Шилько**, канд. тех. наук, доц,

**3К.К. Бондаренко**, канд. пед. наук, доц.

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет транспорта»

<sup>2</sup>Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси

<sup>3</sup>УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СПОРТСМЕНОВ**

Актуальным направлением в разработке программно-аппаратных комплексов, предназначенных для мониторинга физкультурной и спортивной деятельности, является определение работоспособности и резервов организма в целях сохранения здоровья (предотвращения травматизма и развития патологий) [1,2]. В современных условиях, прежде всего, необходим мониторинг функционального состояния (ФС) сердечно-сосудистой системы при занятиях физкультурой и спортом. Ввиду важности системы кровообращения, она защищена многоуровневой системой регуляторных

механизмов, взаимодополняющих и дублирующих друг друга. Поэтому сердечно-сосудистые заболевания зачастую развиваются бессимптомно, что является причиной неожиданных и весьма серьезных сбоев гемодинамики, в т.ч. летальных исходов во время спортивных тренировок и состязаний.

К основным параметрам, характеризующим ФС при физических нагрузках и последующем восстановлении (релаксации), и при этом доступным для неинвазивного, массового и регулярного контроля, традиционно относят следующие: частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), показатели variability ритма сердца (VPC) и ударный объем (УО). Кроме того, опыт экспериментальных и клинических исследований последних лет показал высокую информативность таких параметров гемодинамики и механических свойств сосудов, как скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) и параметры контура пульсовой волны. Представляет интерес также использование дополнительных данных о мягких биологических тканях, присутствующих в зоне осциллометрии [3].

Цель настоящего исследования заключалась в развитии метода расширенной осциллометрии, реализованного в виде специализированного программно-аппаратного комплекса БИОСПАС.

В данном случае реализуется диагностический подход к описанию гемодинамики, позволяющий учитывать влияние, взаимовлияние и изменение значительного числа биомеханических, биохимических и биофизических факторов в режиме реального времени. БИОСПАС настоящее время применяется в экспериментальном режиме в работе со студентами и спортивными командами. В качестве входных данных используются антропометрические параметры (рост, вес, возраст, пол), значения показателя физической нагрузки и контролируемых параметров системы кровообращения. На основании хранящихся в базе данных нормативных и индивидуальных показателей, результатов нагрузочных тестов конкретного лица производится расчет текущих показателей функционирования сердечно-сосудистой системы, определяются гемодинамический профиль, выводятся интегральные показатели, прогнозируются реакции и адаптационные резервы при нагрузках. Преимуществом предлагаемой разработки является возможность хранения архива результатов обследований, возможность дистанционного сбора информации, статистической обработки данных архива, что позволяет выявить разовые отклонения от нормальных для наблюдаемого лица показателей и развивающиеся тенденции.

Применение специализированного программно-аппаратного средства

«БИОСПАС» предполагает выполнение процедуры расширенной осциллометрии, анализ полученных данных и биомеханическое моделирование системы кровообращения.

При проведении биомеханического анализа используются:

- модуль СПАС приема и архивации осциллометрических данных, получаемых от модифицированного осциллометрического тонометра, построения пульсограммы и определения расчетных оценок скорости пульсовой волны, доли диастолической части кардиоинтервала и других показателей;
- компьютерная программа моделирования БИОДИС для определения основных вычисляемых параметров гемодинамики;
- модуль «БЛАНК» расчета расширенного (до 80) списка параметров гемодинамики, предназначенных для оценки состояния сердечной деятельности, состояния сосудов, а также биохимические и функциональные показатели. Для примера в таблице 1 перечислены параметры, характеризующие состояние артериальных сосудов. В качестве функциональных показателей

используются: адаптационный потенциал Баевского, индекс Кердо, экономичность и резерв кровообращения, общий

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

гемодинамический индекс, сердечный индекс, коэффициенты выносливости Кваса, индексы физических кондиций и показатели variability ритма сердца. Производится наглядный вывод результатов в виде оценок, таблиц, графиков и диаграмм.

Таблица 1 – Биомеханические параметры, характеризующие состояние сосудов

Параметр	Описание и единицы измерения	Параметр	Описание и единицы измерения
<i>kd</i>	Сжатие – расширение, %	<i>Rp</i>	Периферическое сопротивление
<i>kdlt</i>	Дилатация, %.	$\frac{IH1}{H2}$	Отношение амплитуд H1/H2 (периферическое сопротивление), %
<i>ТИМ</i>	Толщина интима-медиа, мм	<i>Tk</i>	Длительность катократической фазы, с
<i>Cv</i>	Скорость распространения пульсовой волны, м/с	<i>T24</i>	Вершина пульса (дикротический зубец), с
<i>AI</i>	Индекс аугментации, %	<i>VPa</i>	Артериальный приток, мм рт. ст. / с
<i>RI</i>	Индекс отражения, %	<i>VPo</i>	Скорость оттока, мм рт. ст. / с
<i>E</i>	Эластичность, кПа	<i>IRP23</i>	Индекс периферического сопротивления
<i>CC</i>	Податливость аортальная, мл/мм рт. ст.	<i>IRP4</i>	Второй индекс периферического сопротивления
<i>DC</i>	Растяжимость, %	<i>ldk</i>	Дикротический индекс (сжатие – расширение сфинктеров), %.
<i>R</i>	Жесткость (ригидность) =1/DC	<i>lda</i>	Диастолический индекс (венозный тонус)

С целью совершенствования алгоритмов обработки результатов осциллометрии и биомеханического моделирования был проведен эксперимент по определению параметров гемодинамики и биомеханических характеристик мышечных тканей в зоне осциллометрии, а именно, скелетных мышц плеча с использованием миометра MYOTON 3, реализующего метод динамического контактного индентирования.

В исследовании участвовали: группа 1 – спортсмены циклических видов спорта (4 КМС по гребле и 4 легкоатлета – мастер спорта и перворазрядники) и группа 2 из 8-ми человек, в которую входили работники умственного труда, не занимающиеся спортом. Амплитудно-частотные характеристики мышц плеча определялась в состоянии покоя и в процессе стандартных нагрузочных проб. Измерения проводились отдельно для левой и правой руки в расслабленном и напряженном состоянии бицепса и трицепса.

При миометрии обычно используются 3 основных показателя: частота колебаний (frequency)  $F$  (Гц), декремент (decrement)  $D$  (отн. е.), жесткость (stiffness)  $H$  (Н/м). В данном исследовании рассчитывался также модуль упругости Юнга по формуле:

$$E = \frac{mF^2 0,851 R}{\pi} * (4F^2 + D^2),$$

где  $m = 20$  г – масса индектора;  $R$  – радиус индектора.

Для исследования характеристик мышц плеча в условиях поперечного сопротивления внешнему давлению в состоянии покоя (что соответствует требованиям стандартной процедуры осциллометрии) были получены следующие результаты ( $x \pm m$ ):

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Таблица 2 – Средние значения характеристик мышц плеча в условиях поперечного сопротивления внешнему давлению

Группа	Мышца	рука	$F$ (Гц)	$D$ (отн. е.)	$H$ (Н/м)	$E$ (МПа)
Группа 1	Бицепс	пр.	10,78±1,74	1,15±0,18	220,83±2,21	0,031±0,011
	Бицепс	лв.	11,88±1,8	1,36±0,19	228,23±2,14	0,038±0,014
	Трицепс	пр.	12,26±2,7	1,13±0,15	268,35±1,09	0,034±0,012
	Трицепс	лв.	13,28±2,6	1,14±0,10	246,22±4,88	0,039±0,013
Группа 2	Бицепс	пр.	11,71 ±2,6	1,28±0,21	222,76±2,47	0,029±0,023
	Бицепс	лв.	13,56±3,2	1,79±0,37	252,39±2,87	0,038±0,031
	Трицепс	пр.	9,63±3,3	0,79±0,16	211,47±2,14	0,035±0,029
	Трицепс	лв.	11,92±2,8	1,25±0,12	210,69±3,82	0,028±0,032

Объем выборок пока не позволил установить статистически значимой достоверности различий между вышеуказанными группами, однако полученные средние значения полученных биомеханических характеристик позволили провести имитационное моделирование окклюзии артерии в процессе осциллометрии с использованием конечноэлементной модели комплекса мягких и твердых тканей плеча, построенной в программе Ansys 11.0.

Диагностическую программу «БИОДИС» применяли при нагрузочном тестировании свыраженной специализацией: членов сборных РБ по самбо с выделенными особенностями гемодинамики чемпиона (сниженная  $F_{cc}$ , более резкие изменения рН и АВО<sub>2</sub>, высокий  $k_{str}$ , более плавные изменения диастолической доли кардиоинтервала и индекса Кердо) и пожарно-техническим видам спорта; профессиональных футболистов и хоккеистов с особенностями группового изменения гемодинамики за время подготовки (увеличение диастолической доли кардиоинтервала и уменьшение индекса Кердо); членов женской сборной Гомельской области по боксу; студентов Гомельского университета им. Ф. Скорины различной специализации и квалификации; пациентов Гомельского кардиологического диспансера; населения в условиях стандартного поликлинического обследования.

Использование биомеханического анализа сердечно-сосудистой системы на основе данных осциллометрии и достаточно простых моделей гемодинамики позволяет быстро и без значительных материальных затрат получить расширенный объем информации для выявления кардиопатологий и оценки адаптивных возможностей сердечно-сосудистой системы. Применение разработанных программ и стандартного нагрузочного тестирования в ходе спортивных тренировок дает достоверную оценку физиологического состояния спортсменов различной специализации высшей и массовых квалификаций.

## Литература

1. Мрочек А.Г. Сердечно-сосудистые заболевания в Республике Беларусь. Анализ ситуации и система контроля. – Мн.: Белорусская наука, 2011. – 341 с.
2. Фролов А.В. Контроль механизмов адаптации сердечной деятельности в клинике и спорте. – Мн., 2011. – 216 с.

3. Шилько С.В., Черноус Д.А., Бондаренко К.К. Метод определения *in vivo* вязкоупругих характеристик скелетных мышц // Российский журнал биомеханики.– 2006.– Т. 10, № 4.– С. 47–55.
4. Борисенко М.В., Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г. Применение программно- аппаратного комплекса «БИОСПАС» для анализа данных осциллометрии // Метрология и приборостроение – 2014. – № 4.– С. 24–32.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ