

Ханжонков Юрий Борисович – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса; e-mail: hanzchonkov@mail.ru; г. Шахты, ул. Шевченко, 147, тел.: 89185516175; кафедра радиоэлектронных систем; к.т.н.; доцент.

Семенов Владимир Владимирович – e-mail: vvsemenov@mail.ru; тел.: 89185021828; кафедра радиоэлектронных систем; к.т.н.; доцент.

Асцатуров Юрий Георгиевич – e-mail: astur73@rambler.ru; тел.: 89281564418; кафедра технической эксплуатации автомобилей; к.т.н.; доцент.

Khanzhonkov Yuri Borisovich – South-Russian State University of Economics and Service; e-mail: hanzchonkov@mail.ru; 147, Shevchenko street, Shakhty, Russia; phone: +79185516175; the department of radio-electronic systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Semenov Vladimir Vladimirovich – e-mail: vvsemenov@mail.ru, phone: +79185021828; the department of radio-electronic systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

Astsaturov Yuri Georgievich – e-mail: astur73@rambler.ru; phone: +79281564418; the department of technical maintenance of vehicles; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 615.471:612.143

А.В. Чащин

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОБ С КОМПРЕССИОННЫМ ДЕЙСТВИЕМ НА СИСТЕМУ СОСУДОВ

Представлена биотехническая система для функциональных гемодинамических проб, реализующих методику с дозировано компрессионным воздействием на локальные участки тела и анализом объемнодинамических изменений. Разработка основана на модели суперпозиции гемолимфонополнения сосудов с учётом модулирующего влияния эндогенных факторов на пульсирующий гемолимфоток. Выбором постоянных уровней давления обеспечивается сохранение функции сосудов, давление в которых превышает воздействие, и исключение функции сосудов низкого давления. Системой производится съём, регистрация и спектральный анализ сигналов, отражающих изменения в системе сосудов. Приводится пример с результатами спектрального анализа в пробах.

Биотехническая система; гемолимфонополнение; эндогенные факторы; компрессионное воздействие; спектральный анализ сигналов.

A.V. Chastchin

BIOTECHNICAL SYSTEM FOR FUCTIONAL HAEMODYNAMICAL PROBE WITH DOZED COMPRESSION INFLUENCE ON THE VASCULAR SYSTEM

The biotechnical system for the functional haemodynamic tests realizing a technique with dosed compression influence on the local sites of a body and the analysis of a volume changes in vessels is presented. Development is based on the model of superposition of a haemolymphatic occupancy of vessels taking into account modulating influence of endogenous factors on a pulsing haemolymphatic flow. The choice of the constant levels of pressure provides unchanged function of vessels pressure in which exceeds influence, and an exception of other vessels function state. The system provides assignment, registration and the spectral analysis of the signals reflecting changes in system of vessels. It is given an example with results of the spectral analysis in tests.

Biotechnical system; haemolymphatic occupancy; endogenous factors; compression action; spectral analyzing of signals.

Введение. В исследованиях кровообращения используют методы функциональной диагностики, в которых проявляются феномены, связанные с перемещением и наполнением крови в сосудистой системе. Они представляются методами,

в которых регистрируются сфигмо-, электрокардио-, рео-, плетизмо-, фотоплетизмографические, ультразвуковые и другие сигналы, снимаемые с тела специализированными измерительными преобразователями и электродами. В сигналах отражаются модулирующие кровоток изменения во внутренней среде организма, и изменяющие параметры кровообращения. К ним относятся изменения наполнения разных по калибру и функциональному назначению сосудов (артерий, вен, капилляров и лимфатических). Вместе с пульсирующим наполнением сосудов в сигналах проявляются признаки влияния многих факторов, включая движения во внутренней среде организма. При этом образуется суперпозиция, как результат их совокупного действия на наполнение сосудов. Важно, что в результирующих сигналах содержится информация о влиянии внутренних движений в теле, и из-за механических взаимосвязей тканей и органов [1, 2].

Кроме внутриглубинных процессов в теле существенное действие на кровообращение оказывают внешние факторы, главные из которых: положение тела и его частей в пространстве поля тяготения, обуславливающего гидростатическую составляющую силы тяжести; действие силы инерции, связанной с движением тела в окружающем пространстве; действие атмосферного давления воздуха на поверхность тела; действие искусственно создаваемого давления на отдельные участки тела. Анализ влияния каждого фактора представляется важным для оценки кровообращения в практических ситуациях, с целью контроля при нахождении в соответствующих условиях пребывания.

Для этих целей используются диагностические комплексы, например, предназначенные для тренировок на центрифуге, исследований с ортостатическими пробами, во время проведения велоэргометрии и в других условиях. Следует учитывать, что регистрируемые сигналы и измеряемые параметры представляют результат одновременного совместного действия связанных процессов, изменяющих кровяное давление и гемолимфонаполнение (ГЛН) сосудов.

В данной работе представлена универсальная биотехническая система (БТС), предназначенная для функционально гемодинамических проб (ФГП), реализующих исследования с дозировано компрессионным воздействием на локальные участки тела и анализом вызванных изменений ГЛН сосудов вследствие влияния эндогенных факторов.

БТС для функционально гемодинамических проб. Разработка БТС выполнена на основе выводов, полученных в работе [2] при анализе физической S-модели (модели суперпозиции). В модели учитывается влияние эндогенных факторов на наполнение сосудов и окружающих тканей. В числе главных выводов использованы: возможность дозирования компрессии для управления разделением вклада разных сосудов в проявляемой суперпозиции их ГЛН; частотное выделение характерных признаков в спектрах сигналов, связанных с ГЛН сосудов и модулирующим действием на него эндогенных факторов.

Блок-схема БТС приведена на рис. 1. Аппаратная часть БТС содержит компрессионно-объемнометрический преобразователь КОП, пневматически соединенный с преобразователем ПД давления и блоком БСД создания давления. Они связаны через блок БПС преобразования электрических сигналов с блоком управления, регистрации, обработки и представления информации, построенным на базе персонального компьютера ПК. В схему входит имитатор И объемных изменений наполнения сосудов, связанный через устройство БПС с компьютером.

Устройством КОП обеспечивается взаимодействие технических средств с тканями организма, путём передачи на них создаваемого компрессионного давления и восприятия возникающих при компрессии ответных изменений их жидкостного наполнения. При исследованиях на конечностях в качестве устройства КОП используется пневматическая манжета М. При воздействии на обследуемые участ-

ки тела давлением от преобразователя КОП создаётся компрессирующее действие на всю совокупность тканей в пространстве под манжетой. Устройством КОП также воспринимаются объёмные изменения, преобразуемые в соответствующие изменения давления, вызванные изменениями наполнения сосудов при компрессии, а также имитирующие объёмные изменения тканей, создаваемые имитатором.

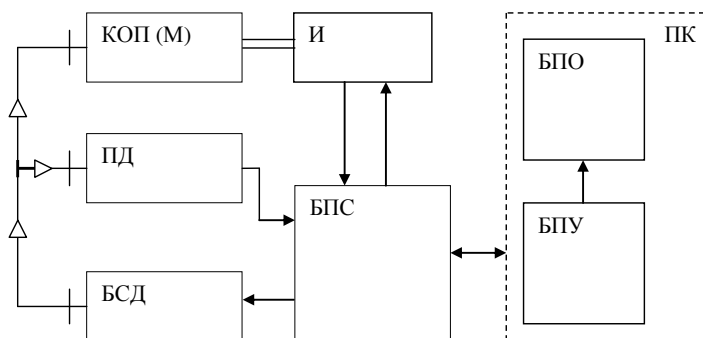


Рис. 1. БТС для исследования гемолимфонополнения в системе сосудов

Имитатор И изменений ГЛН сосудов состоит из преобразователя давление-объем, пневматически соединённого с собственным преобразователем давления и блоком создания давления (на схеме не показаны). Эти блоки соединены через БПС с компьютером ПК. Имитатор имитирует внешние объёмные изменения посредством преобразователя давление-объем, путём управления давлением в его воздушной полости. Этим маркируются заданные по частоте и амплитуде изменения в регистрируемых сигналах, в которых также проявляются изменения ГЛН сосудов, вызванные компрессионным воздействием на них.

Блок БПС обеспечивает аналого-цифровое преобразование сигналов давления в манжете первично преобразованных ПД.

Средствами персонального компьютера реализуется процессорная часть БТС, включающая блок БПУ программного управления дозированной компрессии и передачи сигналов управления от ПК на блоки БСД и И, и включающая блок БПО программной обработки, предназначенный для программно-математической обработки и анализа регистрируемых сигналов. В анализе сигналов при их обработке используется расчёт, выполняемый на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье, и частотное представление спектров сигналов. Детальное описание устройств и программного обеспечения БТС имеется в работе [3].

Методика функциональной гемодинамической пробы с использованием БТС (рис. 1). Ниже приводится описание ФГП, обеспечивающей создание дозированных компрессионных воздействий на исследуемые участки тела, регистрацию сигналов, связанных с ГЛН сосудов в области исследования, и спектральный анализ сигналов, представляемых в частотной области.

В пространстве под КОП одновременно функционируют разные по функциональному назначению сосуды и смежные ткани. Внутрисосудистое давление различается по амплитудно-частотным характеристикам и передаётся через окружающие наполняющих жидкостей. Движение артериальной и венозной крови и лимфы в сосудах сопряжено с их пульсирующим перемещением и с медленно модулирующим влиянием механизмов регуляции. Когда давление на ткани превышает лимфатическое, или венозное давление, полностью перекрывается просвет лимфатических сосудов, капилляров и вен и компрессируются ткани с меньшим давлением наполняющих жидкостей, то нарушается выполнение функции сосудов.

Полная окклюзия исключает их вклад в регистрируемые сигналы, проявляющие изменение ГЛН в пространстве под КОП. При установлении соответствующих дозируемых ступеней давления в последовательной серии изменений в КОП компрессирующее действие передаётся на всю совокупность тканей, расположенных в исследуемом пространстве. При этом в зависимости от уровня и продолжительности ступеней давления можно планировать варианты, когда одновременно одни сосуды и ткани полностью компрессируются, другие – частично деформированы, уплотнены, вытеснены, или смещены в соседние участки, а третьи – сохраняют свой статус функционально неизменным. Выбирая ступени компрессии, можно выделять вклад сосудов, давление в которых превышает компрессионное, и при этом управлять суперпозицией ГЛН.

Используется i -постоянных $P_{m \cdot const. i}$ уровней давления, выбираемых из диапазона от лимфатического ($P_{лимф.}$) до систолического давления ($P_{сист.}$): $P_{лимф.} < P_{m \cdot const. i} < P_{сист.}$. Этим исключается вклад компрессируемых тканей. Продолжительность компрессии в реальном исследовании определяется опытным путём, по индивидуальной реакции.

В ходе воздействия регистрируются изменения переменной составляющей давления в манжете P_{m-} , вызванные функционированием сосудов и передачей действия их объёмных изменений на манжету. Дозированное действие давления в манжете $P_{m \cdot const. i}$ на сосуды в ФГП создаёт условия, ограничивающие или полностью исключающие функционирование лимфатических, или венозных сосудов, так как давление в них ниже компрессионного. Тогда в регистрируемых сигналах доминируют объемнодинамические изменения наполнения сосудов, давление в которых превышает установленный постоянный уровень давления $P_{m \cdot const. i}$. Такой ФГП проявляется вклад составляющих, относящихся к функционально разным по уровню внутрисосудистого давления сосудам, и наполненным соответственно лимфой, артериальной и венозной кровью.

В результате математической обработки регистрируемых сигналов P_{m-} определяются показатели спектральных характеристик, отражающих изменения ГЛН сосудов: частоты характерных пиков; полосы частот характерных пиков; абсолютные значения и отношения амплитудных значений характерных пиков. Полезным результатом ФГП с компрессией тканей являются воспроизведение проявлений спектральных характеристик сигналов суперпозиции наполнения сосудов в исследуемой области, и проявление функциональной активности разных тканей и функциональных систем, ответственных за соответствующий вклад.

Другой особенностью методики ФГП, с использованием БТС, является внесение техническими средствами, при исследовании, имитирующих с заданными параметрами объемнодинамических изменений в сосудистой системе. В последовательной серии дозировано компрессионных воздействий на ткани регистрируется спровоцированная реакция изменений ГЛН, и вместе с этим дополнительно и независимо создаются имитирующие изменения в наполнении сосудов. Это осуществляется имитатором И, путём соответствующих воздействий на КОП. Воздействия на КОП создают заданные маркирующие по амплитуде и частоте объемнодинамические изменения. Они имитируют изменение ГЛН сосудов в общем проявлении регистрируемых сигналов. При этом в спектре анализируемых сигналов выделяются внесённые маркирующие признаки, отличающие их от реакции.

Пример исследования с ФГП на сосудах верхней конечности. На рис. 2 представлены спектрограммы плотности мощности (СПМ) изменения сигналов давления в воздушной полости КОП, полученные при создании разных дозированных ступеней компрессии в спокойном лежачем состоянии испытуемого. В композиции спектров отражена динамика объёмных изменений ГЛН сосудов, соответственно быстрых и медленных волновых процессов. Характерные высокочастотный пик и его полоса частот в спектрах связаны с циклической работой

сердца и соответствуют частоте сердечных сокращений и диапазону её изменения. В примере они соответствуют предварительно определённым в независимом электрокардиографическом исследовании частоте пульса 57 уд/мин и диапазону его изменения ± 3 уд/мин. Низкочастотная область спектра отражает медленно волновые изменения в сосудистой системе организма и действие эндогенных факторов на ГЛН, включая вклад в суперпозицию модулирующего действия дыхательных волн и проявление волн более высокого порядка (Траубе–Геринга–Майера и других физиологических механизмов) [2, 3].

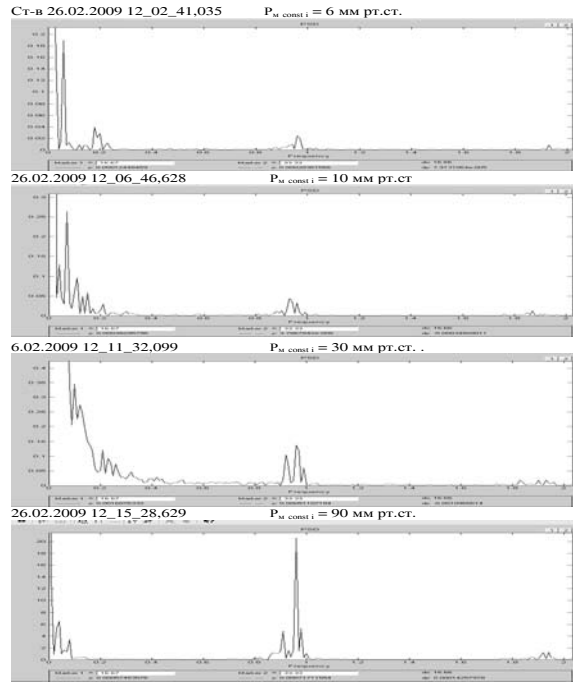


Рис. 2. Сравнение СПМ давления P_m в манжете при четырёх постоянных уровнях компрессии $P_{m.const-i}$

Приведенные спектры позволяют сравнить изменение переменной составляющей сигнала давления в манжете P_m соответственно для четырёх постоянных уровней $P_{m.const-i}$ окклюзионных воздействий на ткани плечевой области. Сигналы P_m обработаны программой MatLab 6.5 по алгоритму быстрого преобразования Фурье, с разрешением 8192 точки. По осям Y – оцифрованные отметки значений СПМ, мм рт.ст.²/Гц, по осям X – отметки частоты, Гц.

При сравнении спектров отмечается, что с ростом давления $P_{m.const-i}$ в диапазоне от 6 до 90 мм рт. ст., значительно снижаются амплитуды пиков в спектре. При разных ступенях компрессии в спектрах по разному проявляется соотношение пиков высокочастотной (в диапазоне 0,85–1,0 Гц) и низкочастотных (0,05–0,4 Гц) составляющих, отражающих динамику жидкостного наполнения разных сосудов и их вклад в совокупном объемном изменении. Очевидно, что проявляемая полоса частот и пик в высокочастотной области связаны с пульсирующим характером переноса крови и лимфы и вариабельностью частоты сердечных сокращений. В низкочастотной области спектра проявляются медленно волновые процессы, связанные с модулирующим влиянием дыхательных волн, волн Траубе-Геринга-Майера и их гармоник на ГЛН разных сосудов, а также отражается суперпозиция волн и результаты действия других физиологических механизмов.

В спектрах (рис. 2) отмечается, что с изменением компрессионного давления, при переходе от 6 до 30 мм рт.ст., проявляется более мощное действие низкочастотных процессов в тканях, по сравнению с высокочастотными. Это объясняется тем, что при давлении выше лимфатического (> 10 мм рт.ст.) нарушается лимфодренаж, перераспределение и обмен жидкостей в тканях и проявляются замедленные движения тканей, связанные с их уплотнением и смещением.

При давлении 30 мм рт.ст. пережимаются венозные сосуды, что инициирует реакцию адаптации к новым условиям гемолимфообращения.

При компрессии 90 мм рт.ст. медленноволновые процессы, судя по низкочастотной части спектра, менее интенсивны, по сравнению с высокочастотным. Это связывается с превышением внешнего давления над давлением в разных сосудах и проявлением ответной реакции не полностью компрессированных артерий.

Отмеченные факты интерпретируются разным вкладом в общую ответную реакцию разных функциональных систем на компрессирующее действие.

Ещё отметим о воспроизводимости проявления отмеченных проявлений при проведении ФГП с компрессией тканей в повторных обследованиях. Это показывает, что в ФГП с компрессией тканей принципиально регистрируются данные, объективно отражающие объемные изменения тканей. Полученные данные характеризуются показателями частотных характеристик: частотами пиков, полосами частот, включающих эти пики, абсолютными значениями пиков и их соотношением при разных уровнях компрессии. И, наконец, путём создания разных уровней давления на ткани, исключается проявление вклада тканей, внутреннее давление в которых меньше уровня создаваемого компрессионного давления.

Кроме отмеченных фактов, в повторных исследованиях, выявлено, что регистрируемые низкочастотные сигналы проявляются в диапазоне частот от 6 до 14 волн /мин. Этот диапазон частот в спектре, по интерпретации результатов известных из практики остеопатической медицины, соответствует проявлению первичного дыхательного механизма [1, 3]. Полученные результаты воспроизводятся как в ФГП при дозировано компрессионных воздействиях, так и в сочетании с другими пробами [2, 3], что соответствует теоретическим представлениям [2].

Заключение. Аппаратно-программными средствами разработанной БТС обеспечивается ФГП с дозировано компрессионным воздействием на участки тела и анализ реакции изменений по спектрам сигналов, отражающих суперпозицию ГЛН сосудов. В спектрах проявляется действие эндогенных факторов, влияющих на суперпозицию ГЛН и выделяется модулирующее влияние медленноволновых составляющих дыхательных волн и волн более высокого порядка на пульсирующее ГЛН сосудов, за которые отвечают циклически функционирующие органы. БТС также обеспечивает имитацию объемных изменений наполнения сосудов, для верификации показателей, проявляющих эти изменения в спектре. После клинической апробации БТС может применяться для диагностических целей, а также контроля терапевтических мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Беленький Ю.С.* Фасция, её топография и прикладное значение с точки зрения анатома, хирурга и остеопатаю. – СПб., 2007. – 251 с.
2. *Чащин А.В., Попечителей Е.П.* Анализ влияния эндогенных факторов на кровелимфононаполнение в сосудистой системе организма // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – М., 2012. – № 1. – С. 26-34.
3. Функциональная проба с компрессией тканей организма и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2405424, приоритет от 12.05.2009.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.И. Боровков.

Чашин Александр Васильевич – ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ»; e-mail: chaalexander@gmail.com; 197341, Санкт-Петербург, пр. Испытателей, 15, корп. 1, кв. 51; тел.: 89117149260; вед. инженер по патентной и изобр. работе; к.т.н.

Chastchin Alexander Vasil'evich – ОАО “Golovnoy institute “VNIPIET”; e-mail: chaalexander@gmail.com; 15, Ispitateley pr., korp. 1, app. 51, St-Petersburg, 197341, Russia; phone: +79117149260; the leading engineer on patent and inventive work; cand. of eng. sc.

УДК 617.54–007.2–053.2–07

В.Б. Шамик, Б.А. Давуд

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ АСИММЕТРИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ И ОБЪЕМА РЕКОНСТРУКТИВНЫХ ТОРАКОПЛАСТИК У ДЕТЕЙ

С помощью «Устройства для определения врожденных деформаций грудной клетки у детей» (патент РФ № 2175522) проводится торакометрия передней стенки грудной клетки с вычислением площади входа во впадину, объема полусферической и плоской воронкообразной деформации грудной клетки у детей. Созданы и успешно применены у 148 пациентов программы для расчета указанных показателей. У 42 детей с асимметричными воронкообразными деформациями грудной клетки величина предполагаемых для резекции сегментов ребер отличается в сторону уменьшения от размеров удаленных фрагментов ребер. Требуется дальнейшее усовершенствование диагностики и программ для асимметричных деформаций.

Воронкообразная грудная клетка; диагностика; дети.

V.B. Shamik, B.A. Dawud

SYSTEMIC PROGRAM FOR DIAGNOSE ASYMMETRIC DEFORMATION CHEST AND VOLUME OF RECONSTRUCTIVE THORACOPLASTY IN CHILDREN

With the help of the "Apparatus for determining congenital deformities of the chest in children" (Russian Federation patent № 2175522) held torakometry anterior chest wall with calculation the entrance to the basin area, the volume of the hemispherical and flat funnel chest in children. Developed and successfully applied in 148 patients of the program to calculate these indicators. In 42 children with asymmetric funnel chest, the size expected for the resection segments ribs is different and the size is smaller than in the deleted fragments of the ribs. Requirement for further improvement of diagnostics and programming in asymmetric deformations.

Funnel chest; diagnosis; and children.

В настоящее время нет универсально согласованных стандартов для диагностики воронкообразных деформаций грудной клетки (ВДГК) [4, 7]. Большинство авторов высказываются о необходимости проводить СКТ или МРТ грудной клетки с целью более четкого определения степени и формы деформации, показаний к проведению торакопластики, для расчета оптимального объема торакопластики и резекции деформированных ребер, а также для оценки формы грудной клетки до и после операции. Наиболее часто используется грудной индекс (СТ), представляющим собой отношение поперечного к переднезадному размеру грудной клетки [2, 6, 7], а также объемный индекс деформации, объем грудной клетки и впадины, индекс компрессии сердца. J.J. Haller et al. [6] считают, что пациенты с СТ, превышающим 3,25, нуждаются в операции. E.W. Fonkalsrud et al. [5] указывают на необходимость хирургической коррекции ВДГК у больных с грудным индексом 4,65 (в норме равен 2,56).