

ДАТЧИКИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

С.А. ТАРАКАНОВ*, В.И. КУЗНЕЦОВ**, Н.И. РЫЖАКОВ**, А.А. РАССАДИНА*, В.С. ГАЙДУКОВ*

**Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49.*

***Общество с ограниченной ответственностью «Конструкторское бюро современных технологий Санкт-Петербургского Государственного Университета ИТМО», 197101, г. Санкт-Петербург, просп. Кронверкский, 49*

Аннотация: цель предлагаемой вниманию читателя публикации – предоставить информацию о методах и устройствах, предназначенных для неинвазивного измерения параметров сердечно-сосудистой системы на основе датчиков пульсовой волны. В работе раскрыта природа пульсовой волны, представлены описания типов датчиков, их основных диагностических принципов, описаны применяемые на практике методы диагностики по форме и скорости пульсовой волны. Также в работе приведены перспективы дальнейшего развития данной отрасли диагностики.

Ключевые слова: Датчики пульсовой волны, неинвазивная диагностика сердечно-сосудистой системы.

PULSE WAVE SENSORS FOR THE DIAGNOSTICS OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

S.A. TARAKANOV*, V.I. KUZNETSOV**, N.I. RYZHAKOV**, A.A. RASSADINA*, V.S. GAYDUKOV*

**Limited liability company «Design office of modern technologies of the St. Petersburg State University ITMO»*

***Center of medical, ecological instrumentation and biotechnologies of the St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Opticians.*

Abstract: the purpose proposed to the readers publication – to provide information on the methods and apparatus for non-invasive measurement of the cardiovascular system on basis of the pulse-wave sensors. The nature of pulse wave, the characterization of sensor types and its basic diagnostic principle are unsealed in the article. The authors described applicatory diagnostic technique of shape and pulse wave velocity. Aspects of subsequent progress of this diagnostics branch are also given in the article.

Key words: pulse wave sensors, non-invasive diagnosis of cardiovascular system.

Одним из перспективных методов диагностики сердечно-сосудистой системы признан метод, основанный на анализе пульсовой волны артериальной крови. Метод является неинвазивным, простым в выполнении и относительно недорогим. В основе его – регистрация с последующим графическим представлением механических пульсовых колебаний стенки кровеносного сосуда, реализуемая датчиками пульсовой волны (тензометрическими, оптическими, электромагнитными). Применение одного датчика пульсовой волны позволяет определить форму пульсовой волны. Для измерения скорости пульсовой волны пользуются двумя такими датчиками.

По форме и скорости пульсовой волны диагностируют состояние артериальных стенок сосудов, ударный объем сердца, длительность сердечного цикла, частоту сердечных сокращений, а также некоторые заболевания сердца, и в первую очередь клапанный порок сердца. Доказано, что скорость распространения пульсовой волны увеличивается при атеросклерозе аорты, гипертонической болезни и симптоматических гипертензиях, и уменьшается при аортальной недостаточности, открытом артериальном протоке, при снижении мышечного тонуса сосудов, облитерации периферических артерий [1]. Однако трактовка сложной и изменчивой формы пульсовой волны затрудняет широкое практическое применение датчиков и автоматизацию диагностики. Кроме того, в настоящее время отсутствует обзор неинвазивных методов диагностики пульсовой волны. Сведения, представленные в литературе, затрагивают обзор только тех направлений, внутри которых авторами выполнялись разработки. Поэтому, цель нашего исследования – упорядочить информацию о методах и устройствах, использующих измерения параметров сердечно-сосудистой системы на основе датчиков пульсовой волны, а также, раскрыть направление вектора дальнейшего развития отрасли.

Материалы и методы исследования. Пульсовой волной называют явление периодических колебаний диаметра артериальных сосудов, возникающее вследствие повышения давления в аорте в момент изгнания крови из левого желудочка сердца [3, 5]. Так как артериальная система состоит из связанных эластичных резервуаров, возникший в аорте скачок давления передается последовательно, подобно волне, по артериальному руслу от аорты до артерий и капилляров, увеличивая их диаметр. При этом, в процессе

движения пульсовой волны по сосудистому руслу, ее величина постепенно угасает. Скорость распространения пульсовой волны можно найти, зная расстояние, которое проходит скачек давления от одной точки сосуда к другой, и время его движения. Пульсовая волна определяет артериальный пульс, представляющий не что иное, как циклические скачки давления в артериальном русле.

Датчики пульсовой волны предназначены для получения графика зависимости формы пульсовой волны от времени на диагностируемом участке тела. Такая кривая получила название «сфигмограмма», а метод – сфигмография. В зависимости от чувствительного элемента различают датчики:

- тензометрические;
- оптические;
- электромагнитные.

Тензометрические датчики состоят из чувствительного элемента (мембраны), реагирующего на изменение давления поверхности, и преобразовательного элемента [2, 5, 8, 13, 14]. В качестве чувствительного элемента может быть использован пьезометрический, тензорезистивный, оптоволоконный и др. тип измерителя.

В основе оптических (фотометрических) датчиков – принцип оптической денситометрии – измерения фотоэлектрическим преобразователем интенсивности отраженного от конечности или прошедшего через нее рассеянного света [7, 11, 14, 15]. Интенсивность света, отраженного или рассеянного исследуемым участком ткани (органа) пропорциональна изменению объема крови в исследуемой ткани при условии стабильности прочих параметров, таких как давление, уровень сахара в крови и др. Селективность датчика относительно артериальной крови обеспечена использованием инфракрасного излучения с длиной волны, соответствующей спектральным зонам поглощения гемоглобина крови.

Принцип работы электромагнитного датчика основан на получении сфигмограммы путем регистрации воздействия пульсовой волны на слабую сверхвысокочастотную электромагнитную волну, излучаемую и принимаемую датчиком [4, 14].

Вне зависимости от выбранного типа датчика, в каждом из методов выполняется анализ получаемой формы пульсовой волны или скорости ее распространения.

Форма регистрируемой датчиком пульсовой волны зависит от места расположения датчика на теле диагностируемого. В качестве классических точек диагностики приняты:

- сонная и подключичная артерии – сфигмограммы центрального пульса;
- лучевая и бедренная артерии – сфигмограммы периферического пульса.

Основные трудности при диагностике возникают при трактовке и компьютерной обработке формы пульсовой волны, которая изменяется при движении от сердца к периферии тела, постепенно угасая [3, 10]. Считается, что частота и продолжительность пульсовой волны зависит от особенностей работы сердца, а величина и форма ее пиков – от состояния сосудистой стенки.

Вне зависимости от выбранной точки диагностики на графике пульсовой волны (рис.) различают 2 пика, вершины которых соответствуют наибольшему объему крови в сосудах:

1. пик восходящей волны с амплитудой A_1 , который характеризует ударный объем крови при сердечном выбросе – им заканчивается анакротический период;
2. пик нисходящей волны с амплитудой A_2 , который определяется сопротивлением сосудов повышению давления – им начинается диакротический период (период добавочной критической волны).

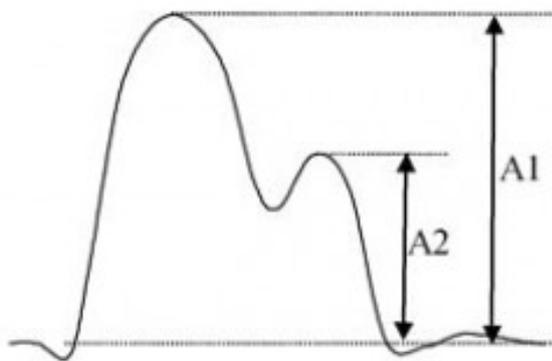


Рис. Типичная сфигмограмма

По форме пульсовой волны определяют недостаточность работы левого желудочка сердца, артериального клапана, аорты и магистральных артерий. Нарушение периодичности сердечных сокращений позволяет оценить степень и тип экстрасистол.

Существует корреляция между диаметром просвета сосудов, артериальным и пульсовым давлением и скоростью пульсовой волны [5, 6]. Пульсовое давление соответствует величине массы миокарда левого желудочка

и, следовательно, соответствует гипертрофии левого желудочка. Увеличение артериального и пульсового давлений возникает при ригидности сосудов, что отражается на увеличении скорости пульсовой волны.

Врачи пока не сошлись в едином мнении относительно методов анализа формы пульсовой волны, но современные методы анализа сигналов, в том числе с помощью обучаемых нейронных сетей [9, 12], позволяют проанализировать корреляцию получаемого от датчика сигнала с диагностированными иными способами отклонениями и в дальнейшем упростить и автоматизировать процесс анализа.

Скорость пульсовой волны определяется двумя датчиками в двух диагностических точках. Как правило, это (1) плечо и нижняя треть предплечья, (2) бедро и нижняя треть голени, либо (3) сонная и лучевая артерии, (4) сонная и бедренная артерии. Между этими точками измеряется индивидуально для каждого диагностируемого расстояние D , соответствующее длине артерии и время запаздывания t сигнала при одновременной диагностике точек. Время запаздывания оценивают по расстоянию между началами или пиками анакроты на сфигмограммах. Тогда скорость пульсовой волны V равна:

$$V = \frac{D}{t}.$$

Точность диагностики достигается при использовании усредненного по 10-ти диагностическим циклам времени.

При одновременном измерении ЭКГ и пульсовой волны, по фазовому сдвигу между графиками диагностируют артериальное давление и скорость пульсовой волны.

Заключение. Анализ формы пульсовой волны и ее скорости относительно простыми датчиками несомненно является альтернативой распространенному на сегодня методу катетеризации сосудов ультразвуковыми датчиками и неинвазивным методам магниторезонансной томографии и доплерографии. Чувствительный элемент датчика пульсовой волны может быть выполнен на основе тензометрического, оптического и магнитного принципов измерения. На данный момент, вне зависимости от выбранного типа датчика пульсовой волны, трактовка формы пульсовой волны выполняется высококвалифицированными специалистами по визуальному анализу сфигмограммы. Поэтому основная задача развития данной отрасли медицинского приборостроения – создание автоматических систем диагностики, например, на основе обучаемых нейронных сетей, позволяющих не только сопоставить наблюдаемые параметры пульсовой волны и заболевания, но и автоматизировать процесс обработки сигнала датчиков. Также интересным представляется решение задачи измерения артериального давления по скорости пульсовой волны, позволяющее выполнять измерения непрерывно в течение длительного времени и без окклюзионной манжеты.

Литература

1. Информативность показателя скорости распространения пульсовой волны, определенного посредством анализа синхронной записи электрокардиограммы и волны давления / Н.А. Верлов [и др.] // Вестник восстановительной медицины.– 2010.– № 4.– С. 22–23.
2. *Винокуров, Л.Н.* Современные неинвазивные методы измерения артериального давления. Преимущества применения дифференциальных пьезодатчиков пульсовой волны/ Л.Н. Винокуров, В.А. Тихоненков // Вузовская наука в современных условиях: сборник докладов 43 научно-техн. конф. УлГТУ. Ульяновск: УлГТУ.– 2009.– 256 с.
3. Измерение, преобразование и обработка пульсового сигнала лучевой артерии в задачах медицинской диагностики/ А.А. Дорофеев, А.А. Десова, В.В. Гучук, Ю.А. Дорофеев // Мир измерений.– 2009.– № 1.– С. 4–10.
4. Измеритель скорости пульсовой волны [Режим доступа] URL: <http://www.nanopulse.ru/articles.php?catvar=9&artvar=30> (Дата обращения: 01.11.2012)
5. *Илюхин, О.В.* Скорость распространения пульсовой волны и эластические свойства магистральных артерий: факторы, влияющие на механические свойства, возможности диагностической оценки / О.В. Илюхин, Ю.М. Лопатин // Вестник ВолГМУ.– 2006.– № 1 (17).– С. 3–8.
6. Изменение скорости распространения пульсовой волны при артериальной гипертензии / С.В. Недогода [и др.] // Вестник ВолГМУ.– 2005.– № 3 (15).– С. 48–51.
7. *Парфёнов, А.С.* Экспресс-диагностика сердечно-сосудистых заболеваний. / А.С. Парфёнов // Мир измерений.– 2008.– № 6.– С. 74–82.
8. *Рамазанов, М.А.* Датчик для регистрации артериальных пульсовых волн на основе полимерных пьезоэлектрических композитов / М.А. Рамазанов // Датчики и системы.– 2002.– № 12.– С. 25–27.
9. *Сурпин, В.П.* Мониторинг многокомпонентных систем: предметно-независимые модели и методы / В.П. Сурпин // Информационные процессы.– 2011.– Т. 11.– № 3.– С. 378–393.
10. Сфигмография [Режим доступа] URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/30399/Сфигмография (Дата обращения: 1.11.2012)

11. Фотоплетизмография и анализ пульсовых кривых / Е.В. Тылюдина [и др.] // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение. Мат. Всерос. науч.-практ. конф. 14-17 февраля.– Ижевск.– ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА.– 2012.– Т. 3.– С. 336–342.

12. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд./ Пер. с англ. М.-СПб-Киев.: «Вильямс».– 2006.– 1104 с.

13. Pulse wave registration method by the instrumentality of microstrip resonators. / E.A. Antonenko [et al.] // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2012, 22nd International Crimean Conference. 10-14 Sept., UK.: Sevastopol, Crimea.– 2012.– P. 952–953.

14. Optical and electrical methods for pulse wave transit time measurement and its correction with arterial blood pressure / J. Lass [et al.] // Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.– 2004.– № 10 (2).– P. 123–136.

15. Contour analysis of the photoplethysmographic pulse measured at the finger / S.C. Millasseau [et al.] // J. Hypertens.– 2006.– № 24(8).– P. 1449–1456.