

УДК681.3:681.5

Р.А. Файзрахманов, А.С. МехоношинПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПУЛЬСОВЫХ СИГНАЛОВ**

В последнее время существенно возрос интерес к развитию методов диагностики с использованием пульсовых сигналов. С развитием техники и использованием ее достижений в медицине получила развитие сфигмография – метод графической регистрации пульсовой волны и исследования пульсового колебания сосудистой стенки. При этом с помощью специальных датчиков, накладываемых в области поверхностных артерий, механические колебания стенки артерии улавливаются и преобразуются в электрические сигналы, которые затем усиливаются и регистрируются в виде кривой (сфигмограммы). При оценке этой кривой обращают внимание на ее форму, амплитуду, крутизну нарастания и спада, ритмичность. Нарушение ритмичности и частоты пульсовых волн свидетельствует о расстройствах сердечного ритма. Форма пульсовой волны отражает скорость изменения давления в артериальной системе, состояние стенки сосуда и работу клапанов сердца. Сфигмография позволяет объективизировать накопленные знания, подвести к ним научную базу и использовать методы пульсовой диагностики в широкой клинической практике.

Ключевые слова: диагностика, методы, пульсовой сигнал, сердечно-сосудистые заболевания, сфигмография.

R.A. Faizrahmanov, A.S. Mekhonoshin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**DIAGNOSIS METHODS OF CARDIOVASCULAR
DISEASE USING PULSE SIGNALS**

Recently significantly increased interest in the development of diagnostic methods using the pulse signals. With the development of technology and the use of its achievements in medicine was developed sphygmography - graphic recording method of the pulse wave and pulse oscillation study of the vascular wall. Thus by special sensors imposed in the surface of the arteries, the mechanical oscillations of the artery wall are captured and converted into electric signals which are then amplified and recorded as curve (sphygmogram). In assessing this curve pay attention to its shape, amplitude, slope rise and fall rhythmically. Violation of rhythm and frequency of the pulse waves indicate disorders of heart rhythm. The shape of the pulse wave reflects a rate of change of pressure in the arterial system, the condition of the vessel wall and the heart valve operation. Sphygmography allows objectify accumulated knowledge, to bring them to the scientific base and use the methods of pulse diagnosis in clinical practice.

Keywords: diagnostics, methods, pulse signal, cardiovascular disease, sphygmography.

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания занимают лидирующую позицию среди болезней человека. В связи с этим поиск методов диагностики, основанных на современных достижениях в области информационных технологий, является задачей актуальной [1, 2]. Особое место среди этих методов принадлежит бесконтактным методам исследования, основанным на регистрации пульсовых колебаний давления в сосудах, и они находят широкое применение при изучении внутрисердечной гемодинамики, сократительной функции сердца, параметров артериального давления, состояния сосудистой системы и кровообращения.

Исследование параметров пульса позволяет получить представление о ряде параметров кровообращения [1–3].

Целью исследования в зависимости от задач является изучение:

- функционального состояния сосудистой системы, параметров давления, упругого состояния (тонуса) артерий;
- сердечной деятельности и центральной гемодинамики;
- регионарного кровообращения, в том числе проходимости периферических сосудов, объемной и линейной скорости кровотока.

Графическое изображение колебаний стенки артерий во время сердечного цикла отражает характер притока и оттока крови в артериальной системе, такой метод называется сфигмографией. Таким образом, форма сфигмограммы несет объективную информацию о функциональном состоянии этой системы. В формировании пульсовой волны следует различать сердечный и сосудистый компоненты. Зная их, опытные врачи получают информацию о работе сердца и характере артериального кровотока, прощупывая пульс. В общем виде форма пульсовой волны лучевой артерии, получаемая с помощью оптоэлектронного датчика, схематически представлена на рис. 1 [4].



Рис. 1. Общий вид формы пульсовой волны

Пульсовые сигналы разных людей могут существенно различаться по набору имеющихся в пределах основного периода локальных волн, их выраженности, по значениям основных показателей, характеризующих каждую дополнительную волну (максимум, минимум, время их достижения и т.д.). Например, у многих отсутствует постдикротическая или поздняя систолическая волна, слабо выражен максимум дикротической волны или он имеет множественный характер (несколько локальных максимумов, следующих непосредственно друг за другом) и пр.

Квазипериодические биосигналы, в том числе пульсовой сигнал лучевой артерии, имеют сложную ритмическую структуру, характеризующуюся совокупностью различных колебательных компонент, отличающихся по амплитуде, фазе и частоте.

В последнее время большое внимание уделяется изучению так называемых медленных (секундные, декасекундные, многоминутные) колебательных процессов, которые проявляются на всех уровнях функциональной системы [5]. По данным ряда авторов, «медленные» колебательные процессы связаны в основном с активностью парасимпатической и симпатической систем и отражают состояние гормональной и нервной регуляций.

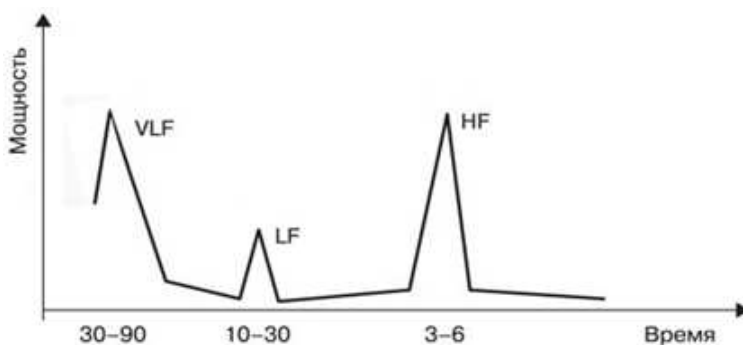


Рис. 2. Компоненты пульсового сигнала

При изучении «медленных» волн обычно выделяют следующие компоненты (рис. 2):

- высокочастотные компоненты (HF) длительностью 3...6 с, определяемые воздействием дыхательного центра;
- медленные колебания (LF) длительностью 10...30 с, определяемые вазомоторной активностью, сосудодвигательным центром;

– очень медленные колебания (VLF) длительностью 30...90 с, их связывают с обменными процессами, функционированием нейроэндокринных регуляторных механизмов.

Многочисленные результаты исследований свидетельствуют о существенной значимости параметров биологических ритмов в «медленно волновом» диапазоне, как в задачах медицинской диагностики, так и в оценке состояния человека-оператора.

Большинство современных исследований по оценке диагностической значимости «медленно-волнового» диапазона биоритмов основано на анализе колебательной структуры какого-либо одного параметра данного сигнала, наиболее часто исследуются R-интервалы сердечного ритма [6]. Однако каждый биосигнал несет в себе информацию о многих физических процессах, протекающих в организме. При этом любой функционально значимый элемент единичного колебания биосигнала обладает своей индивидуальной совокупностью колебательных компонент. Представляется, что синхронное изучение ритмики отдельных элементов биосигнала и исследование их взаимосвязей позволят получить существенно большую информацию о состоянии отдельных систем и организма человека в целом.

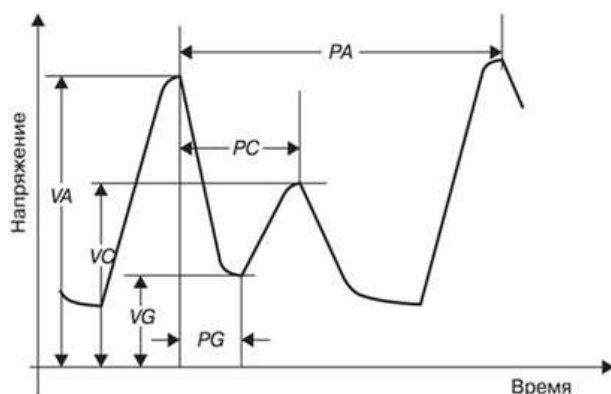


Рис. 3. Параметры сигнала пульсовой волны

На первом этапе анализа пульсограммы выделяется основной квазипериод пульсовой волны PA по всей длине записи сигнала. Сложность задачи автоматического выделения отдельных квазипериодов обусловлена значительной вариабельностью сигнала, большим разнообразием его форм и типов, наличием в пределах основного квазипериода локальных экстремумов и артефактов. На рис. 3 представлены временные

(РА, РС, РG) и амплитудные (VA, VC, VG) базовые параметры сигнала в пределах основного квазипериода пульсовой волны.

Для выделения в автоматическом режиме основной (РА) и дополнительных (РС, РН и др.) волн единичного квазипериода сигнала был разработан комплекс алгоритмов, базирующихся на методах классификационного анализа данных.

Идею этих алгоритмов рассмотрим на примере выделения основного квазипериода РА. На анализируемой записи сигнала выделяются все максимумы, т.е. формируется выборка значений амплитуд типа VA и VC для всей исследуемой записи сигнала. Затем строится автоматическая классификация сформированной выборки всех значений локальных максимумов. Для этой цели используется комплексный алгоритм автоматической классификации, который включает алгоритмы: *m*-локальной оптимизации заданного критерия *J*, выбора информативных параметров, построения начального разбиения, выбора числа классов, заполнения пропущенных наблюдений. Ввиду одномерности пространства признаков в рассматриваемой задаче не используются алгоритмы выбора информативных параметров и заполнения пропущенных наблюдений. Что касается алгоритма *m*-локальной оптимизации, то было показано, что в одномерном случае он обеспечивает глобально-оптимальное значение критерия *J* при автоматической классификации на заданное число классов.

Следует подчеркнуть, что границы классов определяются автоматически, обеспечивая минимизацию критерия средней по классам дисперсии классифицируемых точек с учетом функции распределения точек на оси амплитуд. На рис. 4 показан типичный пример гистограммы распределения амплитуд основных волн РА.

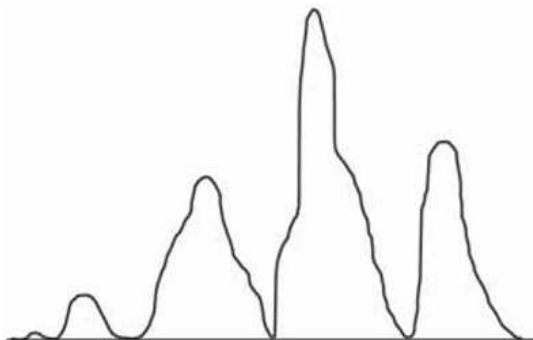


Рис. 4. Гистограмма распределения амплитуд

Самый правый на оси значений класс (большие значения амплитуды) заведомо будет соответствовать (в рамках модели этого сигнала) максимумам основного квазипериода для большей части анализируемого сигнала. Поэтому отрезки сигнала между смежными максимумами, попавшими в крайне правый класс, и являются претендентами на искомые квазипериоды.

К сожалению, на реальных сигналах часто наблюдаются существенные колебания значений амплитуд основной пульсовой волны (рис. 5).

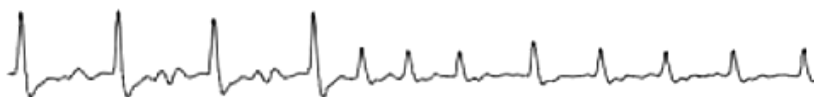


Рис. 5. Пример пульсовой волны

В связи с этим далее анализируется распределение выявленных основных волн на временной шкале [7]. Если расстояние между некоторыми соседними a -зубцами (см. рис. 1) оказывается больше $T_c K_a$, то для этой непериодизированной области выполняется коррекция. Здесь T_c – средняя (типичная) длительность периода, а K_a – коэффициент аритмии (1,5...2,5). Процесс коррекции организован в виде итеративной процедуры, а именно: в непериодизированных областях находят максимальную амплитуду, и ее включают в перечень основных волн (a -зубцов), затем вновь анализируют распределение амплитуд на временной шкале, находят максимальную амплитуду в оставшихся непериодизированных областях и т.д. Остается проблема, связанная с неопределенностью коэффициента аритмии K_a . Впрочем, как показали тесты, влияние выбора величины этого коэффициента отражается на качестве периодизации лишь в весьма экзотических случаях.

По аналогичной схеме находят другие периодические составляющие сигнала в рамках основного квазипериода (в общем случае анализируют распределения не только максимумов, но и минимумов).

В процессе автоматического выделения основных и дополнительных волн происходит оценка амплитудных и временных значений базовых параметров. При этом амплитудные значения вычисляются относительно условного нуля, установленного в измерительном устройстве, а временные параметры отсчитываются относительно момента, соответствующего максимальному значению амплитуды сигнала в пределах основного квазипериода (a -зубца).

Полученные значения базовых параметров единичных колебаний используются далее для формирования динамических рядов, представляющих собой зависимость значений данного параметра в функции от номера периода. Сформированные динамические ряды подвергаются в дальнейшем статистическому и структурному анализу [8–10].

При этом предварительно осуществляется процедура проверки сформированных массивов на наличие выбросов, которые могут иметь место под воздействием артефактов, и их коррекция в случае необходимости. Контролируют выбросы путем автоматической оценки относительного отклонения значений каждого идентифицируемого параметра от значений предыдущего и последующего элементов. При отклонении, превышающем заданный порог, данное значение считается аномальным и подвергается коррекции в автоматическом или диалоговом режиме.

Исследования разработанных методов показали большую диагностическую значимость характеристик ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии. Метод диагностики не требует вмешательства в организм человека, не травматичен, не имеет противопоказаний, быстро выполняем. Показан эффективный алгоритм классификации, который обеспечивает оценку информативности исследуемых признаков и построение надежного решающего правила диагностики.

Библиографический список

1. О возможности выделения дополнительных информативных признаков в сигнале периферического пульса для оценки функционального состояния человека-оператора / А.А. Десова, В.Ф. Короткий, И.И. Белова, А.А. Журавель // Физиология человека. – 1985. – Т. 11. – № 2. – С. 17– 22.
2. Божокин С.В. Математическое описание сердечного ритма. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – С. 36–56.
3. Филичкин Д.Е. Показатели центрального давления при записи пульсовой волны с правой и левой лучевых артерий методом аппланационной тонометрии // Вестник Смоленской медицинской академии. – 2009. – № 2. – С. 91–92.

4. Файзрахманов Р.А., Кычкин А.В. Информационно-измерительная система для оценки состояния сосудов: монография. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – С. 22–53.

5. Разин О.С., Десова А.А., Ольховой Ю.К. Датчик пульсового сигнала лучевой артерии // Приборы и системы управления. – 1998. – № 8. – С. 38–39.

6. Десова А.А., Легович Ю.С., Разин О.С. Компьютерная система диагностики на базе анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии // Медицинская техника. – 1999. – № 2. – С. 3–5.

7. Бауман Е.В., Дорофеев А.А. Классификационный анализ данных // Труды Международной конференции по проблемам управления. – Т. 1. – М.: СИНТЕГ, 1999. – С. 62–77.

8. Милягин В.А., Филичкин Д.Е. Контурный анализ центральной и периферической пульсовых волн у здоровых людей и больных артериальной гипертензией // Артериальная гипертензия. – 2009. – Т. 15. – № 1. – С. 78–86.

9. Филичкин Д.Е., Шпынева З.М. Новые факторы риска сердечно-сосудистых осложнений // Профилактическая кардиология 2010: материалы всерос. науч.-образоват. форума. – М., 2010. – С. 116.

10. Дорофеев Ю.А. Комплексный алгоритм автоматической классификации и его применение для анализа и принятия решений в больших системах управления // Теория активных систем: труды междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд-во ИПУ, 2007. – С. 39–42.

References

1. Desova A.A., Korotkii V.F., Belova I.I., Zhuravel A.A. O vozmozhnosti vydeleniia dopolnitel'nykh informativnykh priznakov v signale perifericheskogo pul'sa dlia otsenki funktsional'nogo sostoianiia cheloveka-operatora [On the possibility of allocating additional informative features in the peripheral pulse signal for evaluating the functional state of the human operator]. *Human Physiology*, 1985, vol. 11, no. 2, pp. 17-22.

2. Bozhokin S.V. Matematicheskoe opisanie serdechnogo ritma [Mathematical description of the cardiac rhythm]. Saint Petersburg: Polytechnical University, 2005, pp. 36-56.

3. Filichkin D.E. Pokazateli tsentral'nogo davleniia pri zapisi pul'sovoi volny s pravo i levo lučevykh arterii metodom applanatsionnoi tonometrii [Indicators central pressure pulse wave recording with the right

and left radial artery applanation tonometry method]. *Bulletin of the Smolensk Medical Academy*, 2009, no. 2, pp. 91-92.

4. Faizrahmanov R.A., Kychkin A.V. Informatsionno-izmeritel'naia sistema dlia otsenki sostoiianiia sosudov [Information-measuring system for the assessment of vessels]. *Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet*, 2012, pp. 22-53.

5. Razin O.S., Desova A.A., Ol'khovoi Iu.K. Datchik pul'sovogo signala luchevoi arterii [Sensor radial artery pulse signal]. *Instruments and Control Systems*, 1998, no. 8, pp. 38-39.

6. Desova A.A., Legovich Iu.S., Razin O.S. Komp'iuternaia sistema diagnostiki na baze analiza ritmicheskoi struktury pul'sovogo signala luchevoi arterii [Computer diagnostic system based on the analysis of rhythmic structure radial artery pulse signal]. *Medical Technology*, 1999, no. 2, pp. 3-5.

7. Bauman E.V., Dorofeiuk A.A. Klassifikatsionnyi analiz dannykh [Classification analysis of data]. *Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii po problemam upravleniia*. Moscow: SINTEG, 1999, vol. 1, pp. 62-77.

8. Miliagin V.A., Filichkin D.E. Konturnyi analiz tsentral'noi i perifericheskoi pul'sovykh voln u zdorovykh liudei i bol'nykh arterial'noi gipertoniei [Contour analysis of the central and peripheral pulse wave in healthy people and patients with hypertension]. *Hypertension*, 2009, vol. 15, no. 1, pp. 78-86.

9. Filichkin D.E., Shpyneva Z.M. Novye faktory riska serdechno-sosudistykh oslozhnenii [New risk factors for cardiovascular complications]. *Profilakticheskaia kardiologiya 2010: materialy vserossiiskogo nauchnogo-obrazovatel'nogo foruma*. Moscow, 2010, p. 116.

10. Dorofeiuk Iu.A. Kompleksnyi algoritm avtomaticheskoi klassifikatsii i ego primeneniye dlia analiza i priniatiia reshenii v bol'shikh sistemakh upravleniia [Integrated automatic classification algorithm and its application for analysis and decision making in large control systems]. *Teoriia aktivnykh sistem: trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Moscow, 2007, pp. 39-42.

Сведения об авторах

Файзрахманов Рустам Абубакирович (Пермь, Россия) – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и автоматизирован-

ных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: itas@pstu.ru).

Мехоношин Антон Сергеевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры информационных технологий и автоматизированных систем Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shimakenshi@gmail.com).

About authors

Fayzrakhmanov Rustam Abubakirovich (Perm, Russian Federation) is Ph.D. of Economic Sciences, Professor, the Head of the Department of Information Technologies and Computer-Aided Systems Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com).

Mekhonoshin Anton Sergeevich (Perm, Russian Federation) is a post-graduator of the Department of Information Technologies and Computer-Aided Systems Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., 614990, Perm, Russian Federation, e-mail: akropag@mail.ru).

Получено 10.06.2014