

КОНТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПУЛЬСОВЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ГИДРОМАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

М. С. Геращенко, Н. Ю. Митрохина, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко

M. S. Gerashchenko, N. Yu. Mitrokhina, N. A. Volkova, S. M. Gerashchenko

CONTOUR ANALYSIS OF PULSE WAVES BASED ON GIDROINGEO TECHNOLOGY

Аннотация. *Актуальность и цели.* Несмотря на огромное количество методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, применяемых на практике, актуальной задачей в последнее десятилетие является разработка новых методов, а также совершенствование и расширение функциональных возможностей существующих. Широкое применение находит оценка гемодинамических параметров на основе контурного анализа пульсовых волн, однако особенности формирования пульсовых волн под действием внешнего давления являются неучтенными данными при анализе осциллометрических сигналов. Цель данной работы – выявление факторов, оказывающих влияние на результат оценки гемодинамических параметров на основе осциллометрического метода, а также обоснование необходимости учитывать их при проведении контурного анализа. *Материалы и методы.* Для количественной оценки расхождений между формой пульсовых волн при различных уровнях внешнего давления использована статистическая метрика – дивергенция Кульбака – Лейблера. *Результаты.* Проведенное исследование выявило существенные отличия формы пульсовых волн при разных уровнях внешнего давления. *Выводы.* Для снижения влияния внешнего давления на результат контурного анализа пульсовых волн, зарегистрированных осциллометрическим методом, предлагается проведение оценки гемодинамических параметров на уровне давления, равного диастолическому давлению.

Ключевые слова: артериальное давление, осциллометрия, пульсовая волна, пульсовое давление, индекс аугментации, скорость распространения пульсовой волны, гидроманжета, расхождение Кульбака – Лейблера.

Abstract. *Background.* Despite the huge number of methods of diagnosis of cardiovascular diseases used in practice, an urgent task in the last decade is to develop new methods, as well as improving and expanding the functionality of existing ones. The assessment of hemodynamic parameters on the basis of contour analysis of pulse waves is widely used, however, the peculiarities of the formation of pulse waves under the influence of external pressure are not taken into account in the analysis of oscillometric signals. The aim of this work is to identify the factors that influence the result of the assessment of hemodynamic parameters based on the oscillometric method, as well as the rationale for the need to take them into account when conducting contour analysis. *Materials and methods.* To quantify the differences between the form of pulse waves at different levels of external pressure used statistical metric – divergence Kulbaka – Leibler. *Results.* The study revealed significant differences in the shape of pulse waves at different levels of external pressure. *Conclusions.* To reduce the influence of external pressure on the result of contour analysis of pulse waves recorded by the oscillometric method, it is proposed to assess hemodynamic parameters at a pressure level equal to diastolic pressure.

Key words: arterial pressure, oscillometry, pulse wave, pulse pressure, augmentation index, velocity of propagation of pulse wave, hydromaniac, the divergence of Kullback – Leibler.

Введение

Артериальное давление (АД) является важным критерием для определения состояния здоровья пациентов [1]. Методы измерения АД делятся на инвазивные и неинвазивные. Инвазивный метод предполагает введение катетера непосредственно в кровеносный сосуд. Несмотря на высокую информативность регистрируемых данных, измерение АД инвазивным методом имеет ряд ограничений, но остается незаменимым в случае контроля внезапного динамического изменения параметров кровообращения у пациентов в критических состояниях. Среди неинвазивных методов, широко используемых для измерения АД, можно выделить пальпацию, аускультацию, тонометрию и осциллометрию. Все большее распространение в устройствах автоматического измерения АД получает осциллометрический метод [2]. Расширение функциональных возможностей осциллометрических тонометров позволит создать удобное для пациентов, надежное и информативное устройство для диагностики и контроля течения ряда сердечно-сосудистых заболеваний.

Формирование, регистрация и анализ пульсовых волн

Сердечные сокращения создают пульсации давления крови в виде волновых импульсов, распространяющихся по артериальному руслу. По мере распространения волн давления от сердца к периферии происходят многочисленные отражения в зонах изменения геометрии сосудов. Волновые процессы напрямую зависят от интенсивности сердечных сокращений и свойств сосудов, внутри которых происходит движение крови. Большое влияние на интенсивность сердечных сокращений оказывают упруго-эластические свойства артериальных стенок. Пульсовые волны (ПВ) являются результатом взаимодействия сердца с артериальной системой и, таким образом, несут значительную диагностическую ценность и часто не используются в максимально возможной степени. В традиционной клинической практике для диагностики, профилактики и лечения используются только показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС) и АД – систолическое АД (САД) и диастолическое АД (ДАД). В последние годы все больше внимания уделяется характеристикам ПВ, таким как индекс аугментации (АИ) и пульсовое давление (ПД). По мере совершенствования методов неинвазивной регистрации ПВ становится возможным расширение использования методов волнового анализа [3] и характеристик пульсовых волн в рамках будущей клинической практики.

Старение сосудов характеризуется функциональными и структурными изменениями артериальной стенки, приводящими к повышению жесткости артерий. Повышение жесткости артерий вызывает повышение САД и снижение ДАД, что вызывает увеличение ПД и снижение коронарного кровотока, и соответственно влияет на форму ПВ. Известно, что жесткость артерий является маркером прогнозирования неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, таких как инфаркт миокарда или инсульт [4–6].

Одним из наиболее часто используемых методов оценки жесткости артерий является оценка скорости распространения ПВ (СРПВ), увеличение СРПВ свидетельствует об увеличении жесткости артерии [4, 7]. В ряде исследований доказано увеличение аортальной СРПВ у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) [4–8]. СРПВ рассматривается как средство выявления субклинического поражения органов-мишеней у больных артериальной гипертензией [6]. Данный метод оценки жесткости артерий реализуется при использовании системы из двух гидроманжет [9–12], рис. 1.

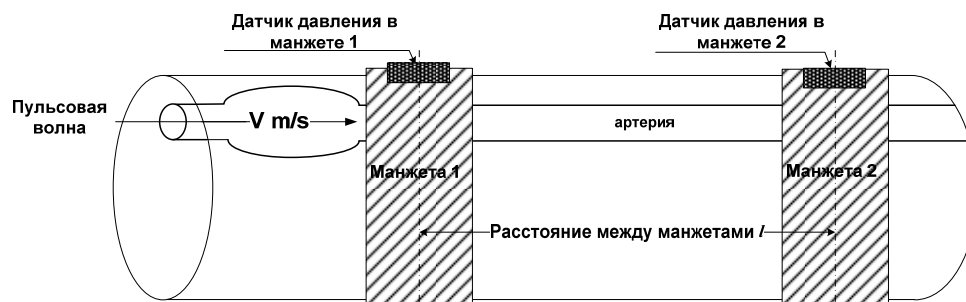


Рис. 1. Применение системы из двух гидроманжет для определения СРПВ

Другим методом оценки жесткости артерий является применение контурного анализа пульсовых волн в крупных артериях. Прямая волна, генерируемая сокращением левого желудочка, и обратная отраженная волна формируют центральное аортальное давление. По мере увеличения жесткости артерий увеличиваются скорости как прямой, так и обратной волн, что приводит к более раннему приходу отраженной волны и увеличению САД. Эти изменения выражаются в повышении значения АИ, который представляет собой процентное соотношение от ПД [13]. АИ характеризует вклад отраженной волны в увеличение ПД и определяется соотношением

$$AI = \frac{P_A}{P_{PV}} 100 \%,$$

где $P_A = (P_2 - P_1)$ – давление аугментации, P_1 и P_2 определяются на основе контурного анализа ПВ, согласно рис. 2; $P_{PV} = P_1$ – амплитуда ПВ.

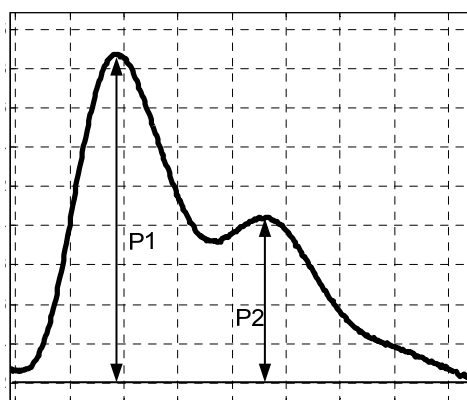


Рис. 2. Форма пульсовой волны

Для ПВ, зарегистрированных в плечевой артерии, в норме АИ величина отрицательная. Величина АИ может стать положительной в тех случаях, когда повышены жесткость артерий и амплитуда отраженной волны.

Незначительное изменение АИ у пациентов с ИБС может стать более критичным после резкого повышения САД или увеличения периферического сосудистого сопротивления, приводящим к изменению скорости прямой и обратной волн.

Анализ осциллометрических сигналов и выявление факторов, влияющих на форму ПВ

Расширить функциональные возможности осциллометрических устройств за счет применения контурного анализа ПВ позволяет применение гидроманжетной технологии [9, 10, 12, 14–16].

Повышение качества регистрируемых при использовании гидроманжеты ПВ позволяет осуществлять контурный анализ сигналов, полученных на основе гидроманжетной технологии в процессе измерения АД.

Осциллометрический сигнал, зарегистрированный с использованием гидроманжеты, представлен на рис. 3.

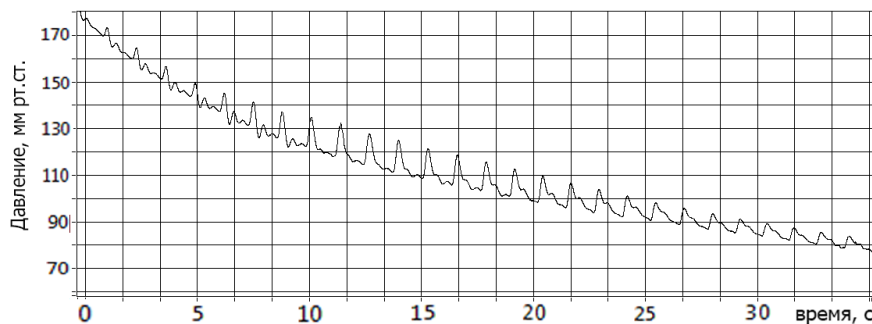


Рис. 3. Осциллометрический сигнал, зарегистрированный с применением гидроманжеты для оценки уровня АД

Экспериментальные исследования показали, что форма ПВ, регистрируемых осциллометрическим методом, не постоянна в процессе измерения, а меняется с уменьшением внешнего давления. Так, величина АИ в процессе декомпрессии может измениться примерно в 10 раз (рис. 4).



Рис. 4. Изменение значения АИ в процессе декомпрессии гидроманжеты при осциллометрическом измерении АД

Предполагается, что степень изменчивости формы ПВ в зависимости от внешнего давления является информативным параметром, зависящим от свойств артерий.

Для получения численного подтверждения различий между формой ПВ на разных этапах декомпрессии манжеты в процессе измерения АД использована дивергенция Кульбака – Лейблера.

Дивергенция (расстояние, расхождение) Кульбака – Лейблера – статистическая метрика, неотрицательнозначный функционал, являющийся несим-

метричной мерой удаленности друг от друга двух вероятностных распределений, определенных на общем пространстве элементарных событий.

Для выявления степени различия было сформировано две группы ПВ. В первую группу вошли ПВ, находящиеся на уровне внешнего давления, равного САД (рис. 5,а), во вторую – ПВ, находящиеся на уровне ДАД (рис. 5,б).

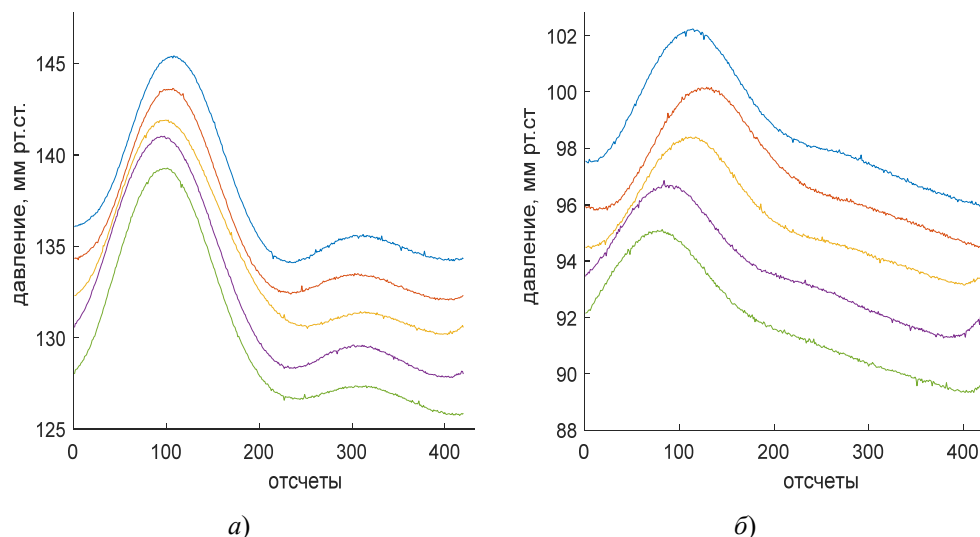


Рис. 5. Пульсовые волны, зарегистрированные при разных уровнях давления манжеты: а – на уровне систолического АД; б – на уровне диастолического АД

Результаты

Расчет дивергенции Кульбака – Лейблера для ПВ, формирующихся в артерии при различных уровнях внешнего давления манжеты, показал низкий уровень расхождений внутри групп (рис. 6) и устойчивый высокий уровень расхождений при сравнении между группами (рис. 7). Среднее значение расхождения при внутригрупповом сравнении в 14 раз ниже, чем среднее значение расхождений между группами.

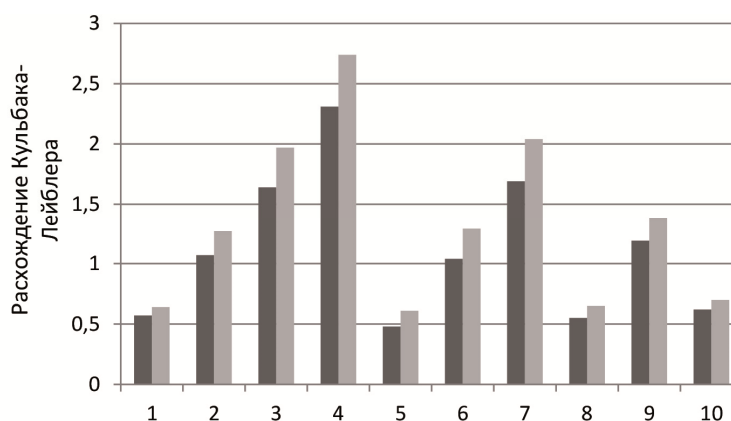


Рис. 6. Значения расхождений Кульбака – Лейблера для пульсовых волн, относящихся к одной группе: темные столбцы – для ПВ уровня САД (см. рис. 5,а), светлые – для ПВ уровня ДАД (см. рис. 5,б)

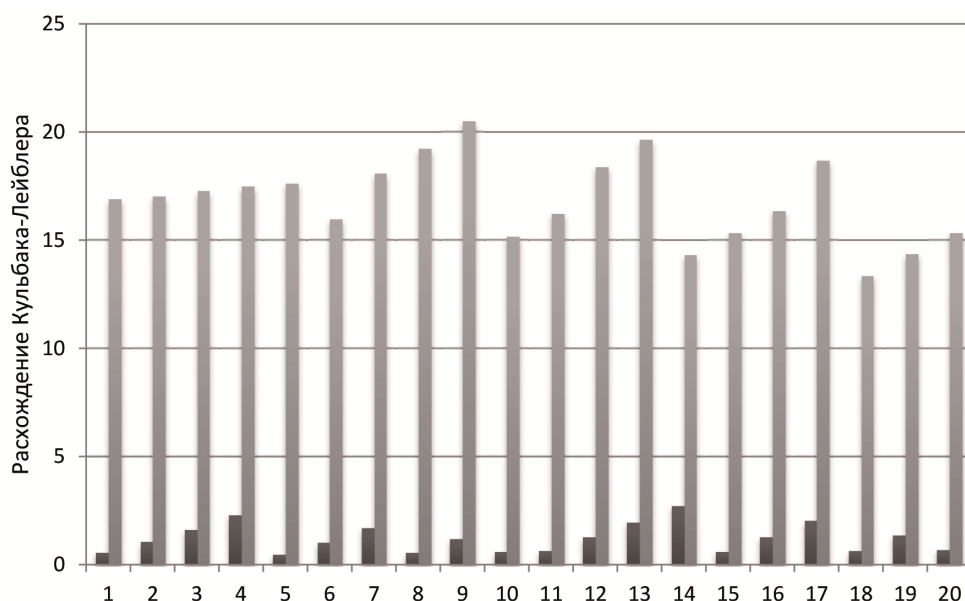


Рис. 7. Значения расхождений Кульбака – Лейблера для пульсовых волн при сравнении между группами: темные столбцы – значения расхождений внутри групп, показанные на рис. 6, светлые – значения расхождений между группами ПВ уровня САД (см. рис. 5,а) и ДАД (см. рис. 5,б)

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости учитывать уровень давления в манжете при проведении контурного анализа ПВ, зарегистрированных осциллометрическим методом.

Предполагается, что оценку гемодинамических параметров при осциллометрическом методе следует осуществлять при внешнем давлении в манжете на уровне ДАД.

Библиографический список

1. Рекомендации по диагностике и лечению артериальной гипертензии // Артериальная гипертензия – 2004. – № 2, т. 10.
2. Gerashchenko, M. S. Application of the hydrocuff technology for blood pressure evaluation / M. S. Gerashchenko, S. M. Gerashchenko, S. I. Gerashchenko, N. N. Yankina // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Т. 11, № 4. – С. 2271–2274.
3. Орлова, Я. А. Жесткость магистральных сосудов при ИБС: связь с атеросклерозом коронарных артерий, прогностическая значимость, возможности выявления и коррекции в амбулаторной практике : дис. ... д-ра мед. наук / Орлова Я. А. – М., 2010.
4. Драпкина, О. М. Жесткость сосудов и диастолическая сердечная недостаточность / О. М. Драпкина, А. Н. Кабурова // Терапевтический архив. – 2013. – 85(11). – С. 75–81.
5. Согласованное мнение российских экспертов по оценке артериальной жесткости в клинической практике : конгресс РКО, 2015 / Ю. А. Васюк, А. С. Галявич, С. В. Иванова, Ж. Д. Кобалава, А. О. Конради, Ю. В. Котовская, Ю. М. Лопатин,

- В. А. Милягин, В. Э. Олейников, А. Н. Рогоза, О. П. Ротарь, Н. В. Стругацкая, А. Н. Сумин, Е. Л. Школьник.
6. Мельникова, Е. А. Влияние кардиоваскулярной патологии на региональную и локальную сосудистую ригидность с оценкой вазопротективного эффекта аторвастатина и олмесартана медоксомила : дис. ... канд. мед. наук / Мельникова Е. А. – Пенза, 2015.
 7. Комплексная оценка параметров центрального аортального давления и жесткости магистральных артерий у больных ишемической болезнью сердца в зависимости от распространенности атеросклероза / У. И. Низамов, Ф. М. Бекметова, Ш. У. Хошимов, А. Б. Шек, Р. Д. Курбанов // Евразийский кардиологический журнал. – 2016. – С. 45–50.
 8. Пат. 104437 РФ. Тонометр Геращенко / Геращенко М. С. – 2011. – URL: <http://bankpatentov.ru/node/78436> (дата обращения 05.05.2016).
 9. Пат. 2652070 РФ. Электронный тонометр / Геращенко С. И., Геращенко М. С. – Заявл. 16.05.2017. – Оpubл. 24.04.2018, Бюл. № 12. – 2017.
 10. К вопросу о реализации неинвазивных методов измерения параметров пульсовой волны автономными портативными приборами / М. А. Писарев, Б. В. Чувывкин, С. И. Геращенко, М. С. Геращенко, Н. А. Волкова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 1 (15). – С. 89–94.
 11. Геращенко, М. С. Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров с повышенной точностью / М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 3 (39). – С. 114–123.
 12. Констант, Дж. Клиническая диагностика заболеваний сердца (кардиолог у постели больного) / Дж. Констант ; пер. с англ. – М. : Бином-Пресс, 2004. – 448 с.
 13. Геращенко, С. М. Разработка запястной гидроманжетной системы прогнозирования инфаркта миокарда / С. М. Геращенко, М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, М. А. Писарев // Вестник Пензенского государственного университета. – 2016. – № 1 (13). – С. 47–50.
 14. Геращенко, М. С. Разработка гидроманжетного прибора для мониторинга гемодинамических параметров / М. С. Геращенко, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 112–117.
 15. Геращенко, М. С. Оценка погрешности гидроманжетного тонометра / М. С. Геращенко, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 106–111.
 16. Данилина, О. С. Комплекс суточного мониторинга гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы человека / О. С. Данилина, А. А. Мнацаканян, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 3 (11). – С. 114–117.

Геращенко Михаил Сергеевич

ассистент,
кафедра медицинской кибернетики
и информатики,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: mpo@list.ru

Gerashchenko Mikhail Sergeevich

assistant,
sub-department of medical cybernetics
and informatics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Митрохина Наталья Юрьевна
кандидат технических наук, доцент,
кафедра теоретической
и прикладной механики и графики,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: natenal@yandex.ru

Mitrokhina Natal'ya Yur'evna
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of theoretical
and applied mechanics and graphics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Волкова Наталья Александровна
инженер,
ООО «ЭнергоПрофМонтаж»
(Россия, г. Москва, ул. 2-я Брестская, 32)
E-mail: witchys@inbox.ru

Volkova Natal'ya Aleksandrovna
engineer,
LLC "EnergoProfMontazh"
(32 2-ya Brestskaya street, Moscow,
Russia)

Геращенко Сергей Михайлович
доктор технических наук, профессор,
кафедра медицинской кибернетики
и информатики,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: gsm@pnzgu.ru

Gerashchenko Sergey Mikhaylovich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of medical cybernetics
and informatics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 681.2.08:57.087

Геращенко, М. С.

Контурный анализа пульсовых волн на основе гидроманжетной технологии / М. С. Геращенко, Н. Ю. Митрохина, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 2 (26). – С. 130–137.