

УДК 616—073; 53.080(076)

Корреляция критериев, полученных методом сфигмографии, путём визуализации пульсовой волны с физиологическими параметрами

Л.Л. Попов¹, А.А. Шинов¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

Современное электронное оборудование позволяет реанимировать такие древние методы, как аюрведическая диагностика по пульсу, известная ещё в древней Индии в V–VI веках [1]. В России пульсовую диагностику по классической тибетской методике XVI–XVII веков использовали земские врачи в XIX веке. Данный вид диагностики позволял получить организма объективную оценку состояния органов, но требовал от врача уникальных способностей, вырабатываемых напряжёнными упорными тренировками (врач должен был различать несколько сотен типов пульса). В то время как современный прибор с электронным датчиком давления способен выводить на монитор изображение пульса в реальном времени и с любым разрешением.

Разработанная на кафедре прикладной механики приставка (ВПВ – визуализатор пульсовой волны [2]) к стандартному сфигмоманометру позволяет не только измерять артериальное давление и частоту сердечных сокращений (ЧСС), но и визуализировать пульсовую волну. Её параметры позволяют оценивать состояние сердечно-сосудистой системы – пульсовая волна возникает при выбросе крови в аорту во время систолы, когда кинетическая энергия левого желудочка (при выбросе порции крови) переходит в потенциальную энергию, аккумулируемую стенками аорты при их упругой деформации. Деформация стенок кровеносных сосудов, распространяющаяся по их длине, и есть пульсовая волна (ПВ), которая распространяется со скоростью 4–12 м/с, что значительно быстрее скорости кровотока 0,5 м/с. Достигнув места бифуркации артерии, ПВ отражается от её стенок и за время диастолы возвращается к аорте. Следует отметить, что такой важный феномен, как влияние отраженной ПВ на гемодинамику был обнаружен только в последнее время. Он характеризуется такими параметрами, как: индекс аугментации AI_x – приращение артериального давления при систоле, индекс ригидности сосуда RI (оба эти индекса взаимосвязаны и в конечном итоге характеризуют эластичность сосудов) и относительная скорость пульсовой волны (СПВ) SI (м/с) [3, 4].

На приведённой сфигмограмме (рис. 1) возрастание давления (восходящая кривая) соответствует открытию аортального клапана левого желудочка (анакрота), а спадающая катакрота соответствует окончанию систолы, она имеет изгиб (колени), соответствующий дикротической волне. Эта картинка, полученная при измерении на ВПВ, позволяет оценивать состояние артериальных стенок кровеносных сосудов по СПВ и её индексам, где $AI_x = [(P_1 - P_2)/P_1] * 100\%$, $SI = \text{рост пациента}/T$, а также косвенный ударный объём сердца (по методу Вецлера – Бегера) [5]. Чем ригиднее $RI = (P_2/P_1) * 100\%$ или толще кровеносный сосуд, тем быстрее распространяется по нему ПВ. Пульсовые колебания кровотока и давления можно описывать с помощью гармонического анализа (по Фурье), которые с достаточной точностью описываются 5–6 гармониками, тогда импеданс сердечно-сосудистых сокращений описывается соотношением спектра частот кривых давления и кровотока. То есть, гидродинамическое сопротивление равно отношению среднего градиента давления к средней объёмной скорости кровотока. Для первой гармоники известно $P_1 = P_0 e^{-ax} \sin w(t - x/v)$, где P_0 - амплитуда пульсовых колебаний, t - время, x - расстояние от сердца до плечевой артерии (находится из анатомического справочника по росту пациента), w - циклическая (круговая) частота сердечных сокращений, v - скорость распространения пульсовой волны, a - коэффициент затухания, определяемый характеристиками сосудистой системы.

Как видно из схемы приставки ВПВ (рис. 2) максимально проста, что обеспечивает дешевизну устройству. Программное обеспечение ВПВ выполнено в Windows XP, исполняемый файл обеспечивает считывание данных с АЦП и определение времени, а также вывод на экран амплитуды ПВ в отсчётах АЦП в реальном масштабе времени и запись полученных данных в текстовый файл, имеющий расширение .dat. Данные внутри файла хранятся в формате множества строк вида ключ-значение с пробелом в качестве разделителя. В качестве ключа в данном случае

выступает время в миллисекундах, а значения - показатель давления в заданный момент времени. Такой файл пригоден для обработки стандартными графическими пакетами и программным кодом на большинстве современных языков программирования. Например, для языка программирования Python с модулем numpy для анализа данных файл легко считывается в массив функцией genfromtxt.

Полученный массив калибровался в ТОРах или мм рт.ст. по манометру. Для нахождения параметров ПВ из массива выделялся усреднённый импульс, который сглаживался по заданному алгоритму, после чего по кривой давления брались первая и вторая производные, экстремумы которых позволяли более точно находить особые точки исследуемого импульса.

На рис. 3 приводится для примера анализируемый импульс и первые две производные этого импульса. Данные откалиброваны и сглажены с помощью языка программирования Python и модуля для анализа данных numpy, для построения графика используется модуль matplotlib. По графику на рис. 3 определяются максимумы прямой и обратной пульсовой волны, вычисляются показатели сфигмографии.

В данной работе проведены измерения на ВПВ и последующая обработка полученных импульсов, как показано выше в примере для данных с рис. 3. Результаты сведены в таблицу «Показатели сфигмографии у студентов и сотрудников МФТИ». Измерения проводились для различных категорий людей, которые и по физической тренированности, и по возрастному критерию оказались близки к известным физиологическим параметрам. Между возрастом и показателями сфигмографии наблюдается высокая корреляция (0.6÷0.8).

Таблица 1. Показатели сфигмографии у студентов и сотрудников МФТИ

| Возрастные подгруппы (лет) | Без нагрузки | Нагрузка у не тренированных | Нагрузка у тренированных |
|----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 18÷22 | RI=20-30%, SI=4-5м/с | RI=50-56%, SI=12-14м/с | RI=25-35%,SI=4-6м/с |
| 25÷40 | RI=20-35%, SI=6-8м/с | RI=50-60%, SI=12-15м/с | RI=20-30%,SI=4-5м/с |
| 50÷70 | RI=80-120%,SI~20м/с | | RI=50-70%,SI~14м/с |

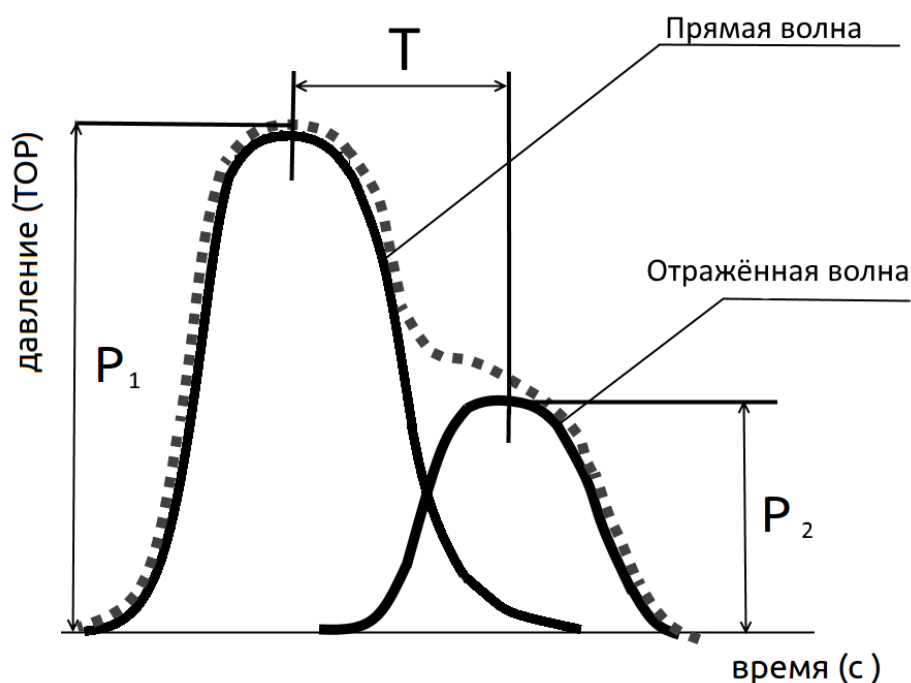


Рис. 1. Сфигмограмма

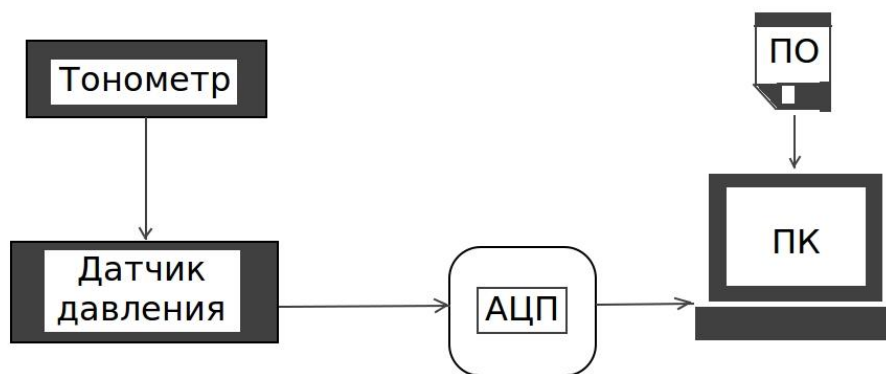


Рис. 2. Схема приставки ПВП

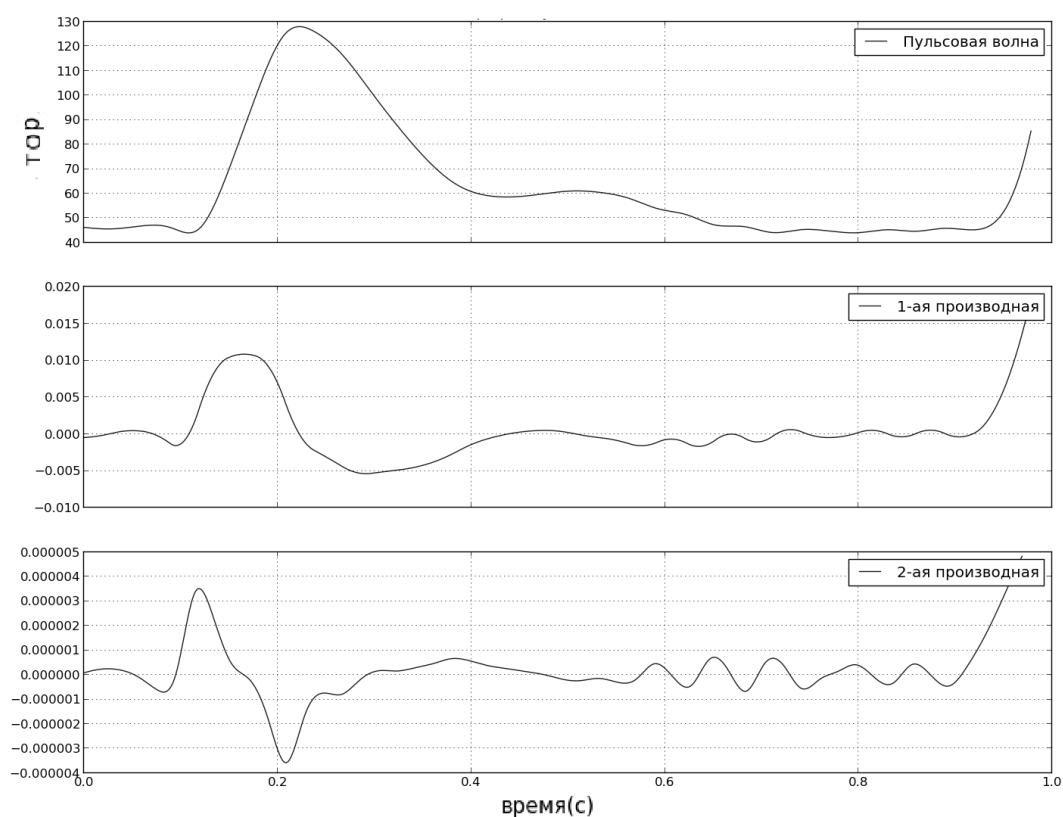


Рис. 3. Пример анализируемого импульса

Литература

1. *Васант Лад*. Диагностика по пульсу: Саттва. 2004.
2. *Попов Л.Л., Титаров С.И., Негодяев С.С.* Оценка состояния сердечно-сосудистой системы методом пульсовой волны: Учебно-методическое пособие. Моск. физ.-техн. ин-т.— М., 2016. — С. 17.
3. Патент РФ №2281686, «Способ диагностики состояния артериального русла при помощи компьютерной сфигмографии». 2006.
4. *Милягин В.А., Милягина И.В., Грекова М.В.* и др. Новый автоматизированный метод определения скорости распространения пульсовой волны. Функциональная диагностика. 2004; 1: 33-39.

5. *Степанян И.В., Явелов И.С., Меклер А.А., Савельев А.В., До О Хан.* Анализ динамических характеристик пульсовой волны человека // Биомедицинская радиоэлектроника. —2016, №5. — С. 39–43.