

**Н.Г. Кокодий<sup>1,2</sup>, А.В. Шапошникова<sup>1</sup>,  
М.В. Кайдаш<sup>2</sup>, В.А. Тиманюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина, г. Харьков, Украина

<sup>2</sup>Национальный фармацевтический университет, г. Харьков, Украина

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СФИГМОГРАММЫ**

*Диагностика функционального состояния сердечно-сосудистой системы занимает одно из главных мест в медицине. Наглядным и доступным методом анализа состояния сердечно-сосудистой системы является сфигмография — инструментальный метод исследования артериального пульса, основанный на регистрации расширения участка артерии во время прохождения по нему пульсовой волны.*

*Анализ сфигмограммы включает временной анализ отдельных элементов сфигмограммы и описание формы кривой, которая бывает весьма характерна при некоторых заболеваниях.*

*С помощью пары светодиод-фотодиод получен сигнал сфигмограммы, который наряду с сигналами электрокардиограммы и кардиоинтервалограммы дает информацию о физическом состоянии исследуемого объекта и его биологическом возрасте.*

*Компьютерный метод обработки сигналов сфигмограммы, основанный на измерении геометрических характеристик импульса, был применен для получения информации о состоянии сердечно-сосудистой системы двух человек.*

*Пульсовая волна 1-го типа, регистрируемая на верхней конечности у молодых людей, характеризуется быстрым подъемом, довольно острой вершиной и наличием одного или нескольких дополнительных максимумов на нисходящей части кривой. Временной интервал между прямой и отраженной волной равен 0,3-0,4 с, амплитуда отраженной волны составляет менее 50% от амплитуды прямой волны.*

*В старших возрастных группах людей кривая сфигмограммы отличается медленным подъемом с закругленной вершиной (пульсовая волна 2-го типа) и аркообразной формой вершины (пульсовая волна 3-го типа). На нисходящей части сфигмограммы наблюдается сглаженность или отсутствие дикротической волны. Ее максимум располагается в верхней или средней части кривой, тогда как у молодых людей (пульсовая волна 1-го типа) — обычно в нижней трети. В пульсовой волне 4-го типа отраженная волна практически сливается с прямой волной из-за большой жесткости стенок аорты.*

*Достоинствами метода является простота его аппаратного обеспечения и математического аппарата обработки при большом объеме получаемой информации.*

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система, диагностика, сфигмография, компьютерный метод обработки сигналов.

### **Введение**

Сердечно-сосудистая система выполняет важную роль в организме. Диагностика функционирования ее состояния занимает одно из главных мест в медицине. Широко распространенным методом контроля является анализ электрокардиограммы — измерения и регистрации электрического потенциала сердца. Анализ электрокардиограммы может дать важную информацию о состоянии системы, однако современные методы не всегда могут ее однозначно интерпретировать. Поэтому одной из задач диагностики сердечно-сосудистой системы является построение математической модели распространения в ней пульсовой волны, выявление зависимости ее параметров от возраста и пола, обоснование выбора дополнительных параметров, которые наряду с пульсовой волной

должны использоваться при диагностике, чтобы определить биологический возраст человека.

В широком понимании биологический возраст представляет собой степень возрастных изменений биологических возможностей всех систем организма. Сердечно-сосудистая система является связующим звеном этих систем. Поэтому возрастные изменения так или иначе отражаются на ее состоянии.

Наиболее существенные возрастные изменения появляются в организме в 50–60 лет. Сокращается сила сердечной мышцы, понижается эластичность стенок сосудов, изменяется скорость течения крови в сосудах. Если крупные сосуды теряют свою эластичность и одновременно увеличивается периферическое сопротивление мелких сосудов, то повышается артериальное давление.

Частота сердечных сокращений несколько уменьшается.

Наглядным и доступным методом анализа состояния сердечно-сосудистой системы является сфигмография — инструментальный метод исследования артериального пульса, основанный на регистрации расширения участка артерии во время прохождения по нему пульсовой волны. В настоящее время получила распространение фотоэлектрическая сфигмография — графическая регистрация пульсовых колебаний сосудов с помощью оптико-электрической пары светодиод-фотодиод [3, 5], установленной на участках тела с отчетливо выраженной пульсацией артерий. Сигнал формируется благодаря изменению объема крови в месте индикации, которое сопровождается изменением оптической плотности измеряемого участка. Оптический сенсор обычно работает в красной и ближней инфракрасной области спектра — полосе прозрачности биологической ткани. Наиболее удобное место для расположения датчика — палец руки (рис. 1).

Форма пульсовой волны (рис. 2), которую регистрирует оптический датчик, определяется сократительной способностью левого желудочка сердца и вязко-эластичными свойствами крупных артерий [5, 6]. Максимальное влияние на формирование сигнала оказывают эластичные свойства аорты [7, 8].

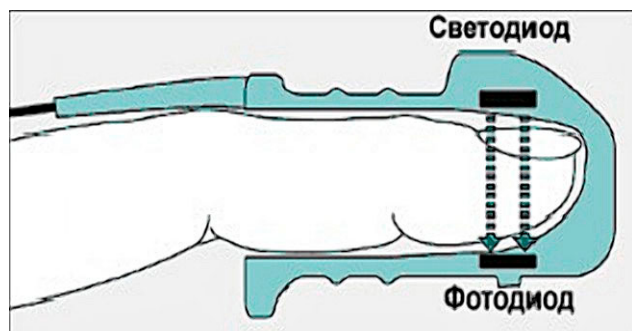


Рис. 1. Схема расположения пальца в оптическом датчике

Артериальное дерево представляет сложную ветвящуюся линию, на входе которой возникает и далее движется пульсовая волна давления, за которой движется кровь, но уже с более низкой скоростью. Скорость пульсовой волны составляет от 5 до 20 м/с, средняя скорость движения крови — 0,2 м/с.

Импульсная сердечная нагрузка и наличие точек ветвления сосудов (бифуркаций) обуславливают специфику внутрисосудистой гемодинамики. В точках бифуркации скачкообразно изменяется гидравлическое сопротивление сосудов, и формируются отраженные волны, которые накладываются на прямую волну. На рис. 3 представлена схема суперпозиции прямой и отраженной волн для

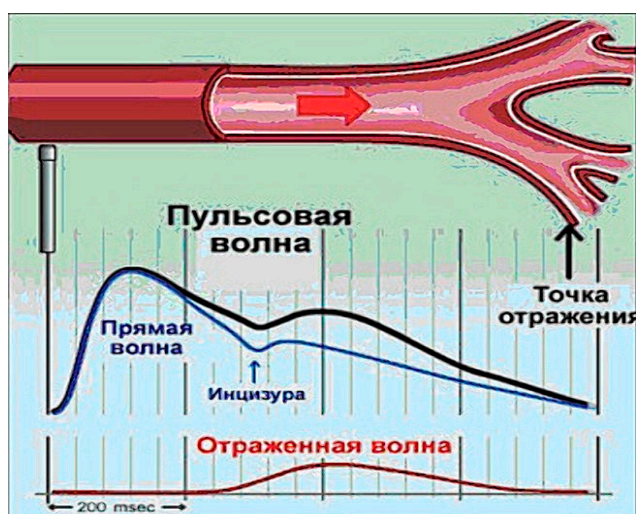


Рис. 2. Схема формирования пульсовой волны

эластичных артерий, а на рис. 4 — для ригидных артерий (со сниженной эластичностью стенок). В последнем случае систолическое артериальное давление, сформированное левым желудочком, получает дополнительную прибавку (аугментацию), которая ярко проявляется у лиц пожилого возраста [1, 4].

Появление систолической прибавки увеличивает нагрузку на левый желудочек и, кроме того, снижает кровенаполнение левой и правой коронарных артерий в диастолу. На рис. 4 видно, как уменьшается амплитуда диастолической компоненты пульсовой волны. Возникает совокупный эффект, который ухудшает системную гемодинамику и способствует повышению внутрисердечного давления.

Типичная сфигмограмма сонной артерии (рис. 5) начинается с небольшой пресистолической волны 1, обусловленной выдвиганием створок аортального клапана в просвет аорты во время фазы сокращения желудочков, и быстрым повышением в это время давления внутри желудочка. Основная систолическая волна начинается с крутого подъема — анакроты 2, обусловленной быстрым поступлением крови из левого желудочка в аорту и повышением артериального давления. Вершина систолической волны 3 соответствует моменту достижения максимального давления в аорте. В конце систолы желудочка, когда давление в нем начинает падать, происходит спад пульсовой кривой — катакрота 4. В тот момент, когда желудочек начинает расслабляться и давление в его полости становится ниже, чем в аорте, кровь, выброшенная в артериальную систему, устремляется назад к желудочку, давление в артериях резко падает, и на пульсовой кривой крупных артерий появляется выемка — инцизура 5. В норме инцизура располагается примерно на высоте 2/3 амплитуды сфигмограммы.

Движение крови обратно к сердцу встречает препятствие, так как полулунные клапаны под

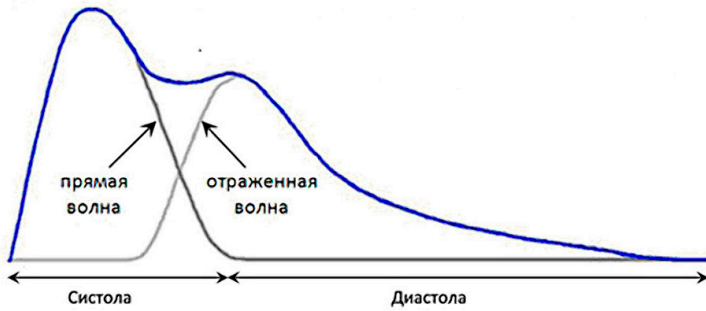


Рис. 3. Суперпозиция прямой и отраженной пульсовых волн при нормальной эластичности артерий



Рис. 4. Суперпозиция прямой и отраженной пульсовых волн при сниженной эластичности артерий — прибавка систолического артериального давления и снижение коронарного кровотока в диастоле

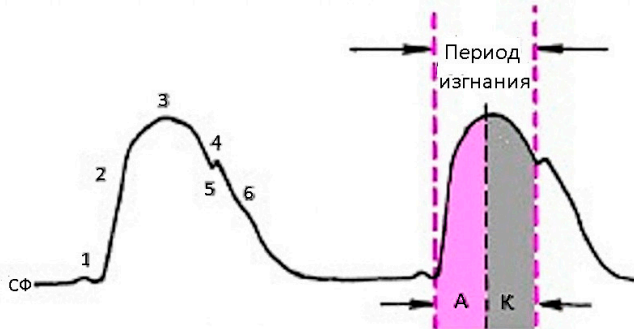


Рис. 5. Сфигмограмма сонной артерии: 1 – пресистолическая волна, 2 – анакрота, 3 – вершина систолической волны, 4 – катакрота, 5 – инцизура, 6 – дикротическая волна; А – анакрота, К – катакрота

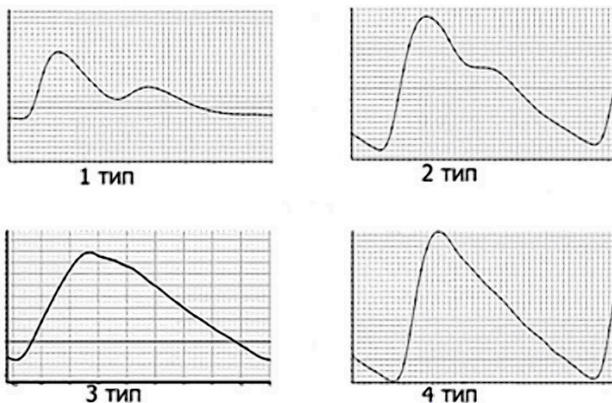


Рис. 6. Типы пульсовых волн

влиянием обратного тока крови закрываются и препятствуют поступлению ее в сердце. Волна крови отражается от клапанов и создает вторичную волну повышения давления, вызывающую вновь растяжение артериальных стенок. В результате на сфигмограмме появляется вторичный, или дикротический, подъем. Диастолическая часть сфигмограммы представлена дикротической волной 6, отражающей постепенный спад давления в аорте.

Анализ сфигмограммы включает временной анализ отдельных элементов сфигмограммы и описание формы кривой, которая бывает весьма характерна при некоторых заболеваниях.

Варианты кривых сфигмограммы можно разделить на 4 типа (рис. 6). В основе классификации заложена величина временного интервала между прямой и отраженной волной.

*Пульсовая волна 1-го типа*, регистрируемая на верхней конечности у молодых людей, характеризуется быстрым подъемом, довольно острой вершиной и наличием одного или нескольких дополнительных максимумов на нисходящей части кривой. Временной интервал между прямой и отраженной волной равен 0,3-0,4 с, амплитуда отраженной волны составляет менее 50% от амплитуды прямой волны.

В старших возрастных группах людей кривая сфигмограммы отличается медленным подъемом с закругленной вершиной (*пульсовая волна 2-го типа*) и аркообразной формой вершины (*пульсовая волна 3-го типа*). На нисходящей части сфигмограммы наблюдается сглаженность или отсутствие дикротической волны. Ее максимум располагается в верхней или средней части кривой, тогда как у молодых людей (*пульсовая волна 1-го типа*) — обычно в нижней трети. В *пульсовой волне 4-го типа* отраженная волна практически сливается с прямой волной из-за большой жесткости стенок аорты.

Эти факторы являются предпосылкой для использования сфигмограмм при определении биологического возраста человека, а также распознавания патологий на основе анализа отличий сфигмограммы обследуемого объекта от нормальной сфигмограммы. Анализ сфигмограммы состоит в определении некоторых численных параметров — индексов, значения которых зависят от количества, положения и величины экстремумов, точек перегиба кривой. В работах [2–4] описаны

некоторые методы, основанные на использовании математических способов анализа функций. Авторы разработали алгоритм обработки импульса сфигмограммы с использованием математических программ **PowerGraph** и **Mathcad**. Он прост и удобен в обращении. Это полуавтоматический метод, то есть он требует наведения курсора на экране монитора на характерные точки импульса сфигмограммы и считывания показаний. Но для квалифицированного программиста не представляет трудностей составить программу и автоматизировать весь процесс измерений, так что метод имеет перспективу для его использования.

### Эксперимент и анализ сфигмограммы

В экспериментальной установке реализован классический способ получения сфигмограммы с помощью пары светодиод-фотодиод. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 7. Большой, указательный или средний палец исследуемого объекта помещается между светодиодом СД и фотодиодом ФД.

Глубина проникновения излучения в биологическую ткань играет важную роль. Она увеличивается с увеличением длины волны излучения. Так, глубина проникновения оптического излучения (по уровню 0,1 от начальной интенсивности) от ультрафиолетовой до оранжевой части спектра постепенно растет от 1–20 мкм до 2,5–3 мм, а в красной части спектра она резко увеличивается до 20–30 мм. Инфракрасное излучение с длинами волн от 0,76 мкм до 1,5 мкм мало поглощается биологическими тканями и поэтому проникает в них глубоко (до 3–7 см).

Излучение фиолетовой, синей и зеленой областей почти полностью поглощается в объекте, и сигнал с фотодиода отсутствует. Инфракрасное излучение очень мало поглощается в объекте, так что сигнал фотоприемника мало зависит от изменений в потоке крови.

Поэтому наиболее подходящие для получения сфигмограммы области спектра — оранжевая и красная. Здесь глубина проникновения излучения в ткань — около 10 мм. Излучение проходит

через весь объект. Поглощение его существенное, так что изменения оптической плотности объекта, связанные с изменениями объемной скорости крови, заметно сказываются на интенсивности прошедшего света.

В установке использовался красный светодиод с мощностью излучения около 10 мВт. При такой мощности амплитуда сигнала с фотодиода составляла несколько милливольт. Сигнал регистрировался аналого-цифровым преобразователем **E14-140** (изготовитель — **L-CARD**) и вводился в компьютер.

Общий вид установки показан на рис. 8.

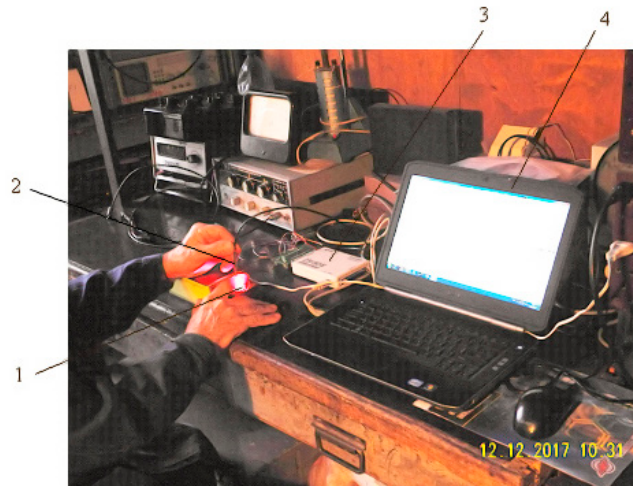


Рис. 8. Экспериментальная установка: 1 – светодиод, 2 – фотодиод, 3 – аналого-цифровой преобразователь, 4 – компьютер

Первичная обработка сигнала проводится с помощью программы **PowerGraph**. Проводятся следующие операции:

- подавление помехи с частотой 50 Гц с помощью фильтра нижних частот;
- вырезание одного из импульсов;
- инверсия импульса — преобразование его импульс положительной полярности;
- сохранение импульса в памяти компьютера в виде текстового файла.

Дальнейшая математическая обработка сигнала проводится с помощью программы **Mathcad**. Последовательность операций следующая:

- загрузка текстового файла матрицы с данными об импульсе сфигмограммы;
- выделение 1-й колонки (время  $t$ ) и 2-й колонки (напряжение сигнала  $u$ );
- интерполяция дискретных данных функцией  $u(t)$ ;
- вычисление производной  $du(t)/dt$ ;
- построение графиков  $u(t)$  и  $du(t)/dt$ ;
- активирование функции.

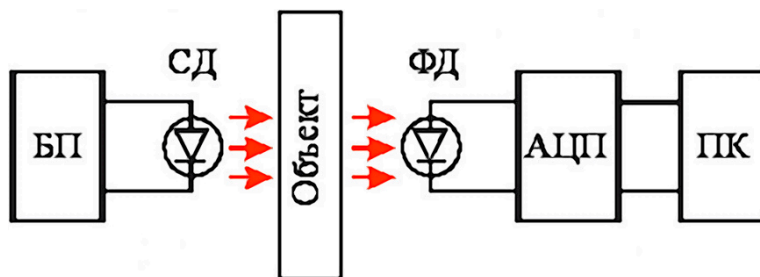


Рис. 7. Блок-схема экспериментальной установки:

СД – светодиод, БП – блок питания светодиода, ФД – фотодиод, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ПК – персональный компьютер

Определение координат характерных точек сфигмограммы и расстояний между этими точками производится с помощью функции **Trace**. На рис. 9 показано окно программы **Mathcad** и перекрестие функции **Trace**, которое находится в одном из максимумов сфигмограммы (верхний график). График производной  $du(t)/dt$  (нижний график) помогает точнее определить положение максимума.

Для тестирования алгоритма был проведен анализ двух объектов — объект 1 — девушка в возрасте 23 года; объект 2 — мужчина в возрасте 77 лет.

На рис. 10 показаны графики этих сфигмограмм и их производных. По оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат — величина сигнала в милливольтах (две клетки — 1 мВ).

Видны характерные качественные различия между графиками. На сфигмограмме объекта 1 сигнал возрастает быстро, максимум острый, есть два вторичных максимума. На сфигмограмме объекта 2 изменения сигнала более медленные. Как было указано выше, это объясняется тем, что с увеличением возраста стенки кровеносных сосудов становятся более жесткими и меньше деформируются под действием давления крови.

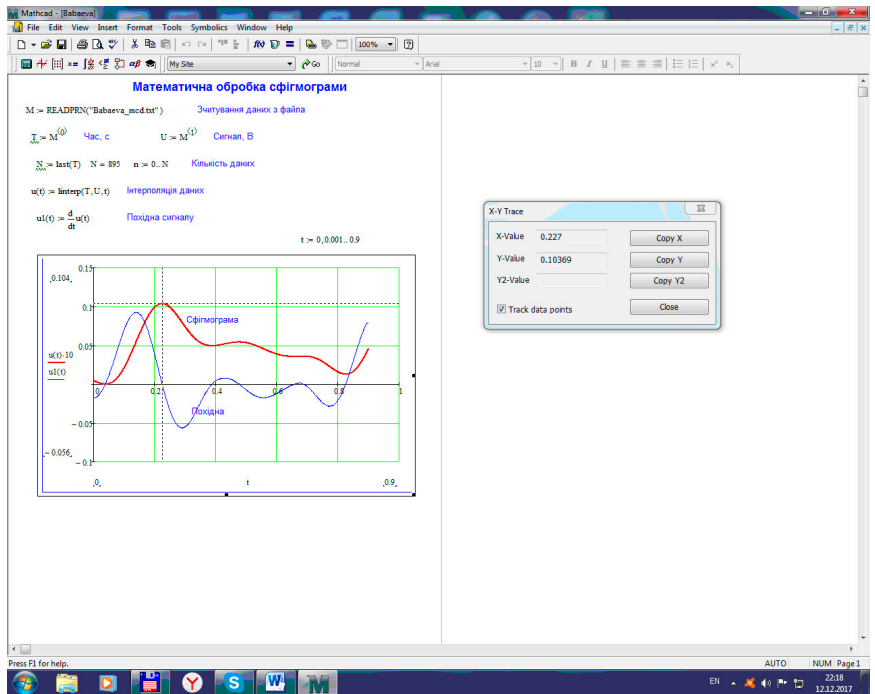


Рис. 9. Окно программы **Mathcad**

При количественном анализе сфигмограммы определяются несколько параметров (индексов), характеризующих состояние исследуемого объекта. В работах [1-8] приведены формулы для вычисления этих индексов и краткие сведения о том, что они означают. Тестирование алгоритма обработки сигналов на этих двух объектах дало возможность оценить правильность полученных результатов.

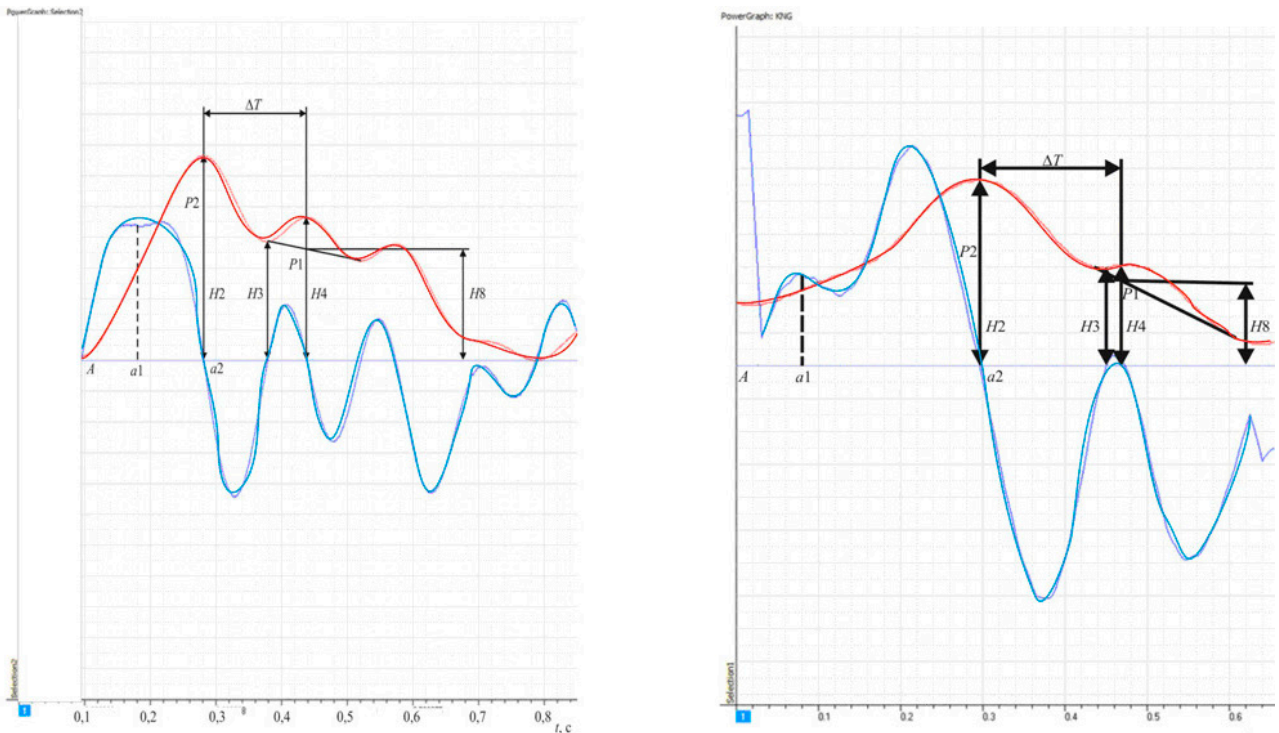


Рис. 10. Сфигмограммы исследуемых объектов: а – объект 1 (возраст 23 года), б – объект 2 (возраст 77 лет)

1. *Контурный анализ сфигмограммы*

**Индекс аугментации** характеризует вклад поздней систолической волны в значение систолического давления. Он вычисляется по формуле [2]:

$$I_{aug} = \frac{P1 - P2}{P2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где P1 и P2 — давление крови в моменты максимумов — первого и второго соответственно.

В норме величина  $I_{aug}$  отрицательна. В случае высокой жесткости стенок артерий или повышенной амплитуды отраженной волны величина  $I_{aug}$  становится положительной. При нормальном значении индекса аугментации амплитуда отраженного сигнала не превышает половины амплитуды прямой волны.

Индекс аугментации у исследуемого объекта 1 (23 года) составил  $I_{aug} = - 28\%$ , у объекта 2 (77 лет) —  $I_{aug} = - 45\%$ . У обоих объектов индекс аугментации отрицательный, то есть соответствует норме. У объекта 1 он меньше, что свидетельствует о большей упругости стенок аорты.

При  $R_{долж} = 7$  м/с и 12 м/с значения  $R_{СПВ}$  получились такими:

объект 1 —  $R_{СПВ} = 3,7$  м/с,  
объект 2 —  $R_{СПВ} = -2,2$  м/с.

Положительное значение индекса  $R_{СПВ}$  свидетельствует о преждевременном старении сосудов, при отрицательном индексе  $R_{СПВ}$  фиксируется факт замедления процесса атеросклероза сосудов относительно календарного возраста пациента.

2. *Энергетические параметры сфигмограммы*

**Острота пульсовой волны** характеризует скорость возрастания давления в желудочке сердца, то есть мощность мышц левого желудочка. Она определяется соотношением  $Aa1/Aa2$ . У объекта 1 (возраст 23 года)  $Aa1/Aa2 = 0,44$ . Это меньше, чем у объекта 2 (возраст 75 лет), где  $Aa1/Aa2 = 0,57$ , хотя должно быть наоборот. Такое явление свидетельствует об отступлении от нормы у одного из объектов или у обоих. Для выяснения причин этого необходимы дальнейшие исследования.

**Показатель периферического сопротивления**  $H3/H2$  характеризует сопротивление сосудистой системы оттоку из нее крови. У обоих

Таблица 1

Нормальные значения индекса отражения, м/с

Среднее артериальное давление, мм рт. ст.	Возраст, лет		
	21...40	41...54	55...69
67...86	6,7±0,4	7,3±1,	9,7±2,1
87...95	7,0±0,9	8,1±1,6	10,0±1,4
96...117	7,2±1,3	8,7±1,4	10,4±1,8

**Индекс отражения** определяется по формуле [1]:

$$R = H/\Delta T, \quad (2)$$

где H — рост обследуемого человека, м,  $\Delta T$  — интервал между максимумами амплитуд прямой и отраженной волн, с.

Его величина коррелирует со скоростью распространения пульсовой волны и связана с жесткостью стенок (ригидностью) аорты. В свою очередь ригидность аорты зависит от возраста испытуемого и его артериального давления. Оба эти фактора увеличиваются с возрастом человека.

Результаты измерений при росте объектов 163 см и 176 см получились такими:

объект 1 —  $R = 10,7$  м/с,  
объект 2 —  $R = 9,8$  м/с.

Дополнительно был рассчитан **индекс скорости пульсовой волны**  $R_{СПВ}$  как разность между измеренным индексом отражения  $R_{изм}$  и нормальным значением  $R_{долж}$  соответствующим возрастной норме, взятым из табл. 1 [3].

объектов он примерно одинаков:

объект 1 —  $H3/H2 = 0,58$ ,  
объект 2 —  $H3/H2 = 0,54$ .

**Относительная величина дикротической волны**  $(H4-H8)/H2$  — это параметр, характеризующий диастолический кровоток в периферических артериях и капиллярах:

у объекта 1 —  $(H4-H8)/H2 = 0,15$ ,  
у объекта 2 —  $(H4-H8)/H2 = 0,10$ .

Значения параметра, отражающего сопротивление сосудов течению крови, примерно одинаковы.

**Выводы**

1. С помощью пары светодиод-фотодиод получен сигнал сфигмограммы, который наряду с сигналами электрокардиограммы и кардиоинтервалограммы дает информацию о физическом состоянии исследуемого объекта и его биологическом возрасте.

2. Разработан алгоритм обработки сигналов сфигмограммы, основанный на измерении

геометрических характеристик импульса. Для реализации алгоритма использованы программы **PowerGraph** и **Mathcad**. Работоспособность алгоритма проверена на анализе сфигмограм двух человек.

3. Достоинствами метода является простота его аппаратного обеспечения и математического аппарата обработки при большом объеме получаемой информации.

### Литература

1. Моисеев В.С. АРГУС. Артериальная гипертензия у лиц старших возрастных групп / В.С.Моисеев, Ж.Д.Кобалава. – М.: Медицинское информационное агентство, 2002. – 448 с.
2. Парфенов А.С. Ранняя диагностика сердечно-сосудистых заболеваний с использованием аппаратно-программного комплекса «Ангиоскан-01» // Поліклініка. – 2012. – №2. – С. 1-5.
3. Парфенов А.С. Экспресс-диагностика сердечно-сосудистых заболеваний // Мир измерений. – 2008. – №6. – С. 74-82.
4. Фролов Ф.В. Прямая и отраженная пульсовые волны: методы исследования / Ф.В.Фролов, Г.И.Сидоренко, А.П.Воробьев и соавт. // Кардиология в Беларуси. – 2009. – №5. – С. 99-108.
5. Hayward C.S. Assessment of endothelial function using peripheral waveform analysis: a clinical application / C.S.Hayward, M.Kraidly, C.M.Webb et al. // J. Amer. Coll. Cardiol. – 2002. – Vol. 40. – P. 521–528.
6. Kuvin J.T. Clinical utility of endothelial function testing: ready for prime time? / J.T.Kuvin, R.H.Karas // Circulation. – 2003. – Vol. 107. – P. 3243–3247.
7. Millasseau S.C. Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis / S.C.Millasseau, R.P.Kelly, J.M.Ritter et al. // Clin. Sci. (Lond). – 2002. – Vol. 103. – P. 371–377.
8. Nichols W.W. Clinical measurement of arterial stiffness obtained from non-invasive pressure waveforms // Amer. J. Hypertens. – 2005. – Vol.18. – P. 3–10.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кокодий Николай Григорьевич** — д-р. физ.-мат. наук, проф. кафедры квантовой радиофизики Харьковского национального университета имени В.Н.Каразина. Адрес: майдан Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина; тел.: +38 (057) 707-51-57.

**Шапошникова Анастасия Вячеславовна** — студентка Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Адрес: майдан Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина; тел.: +38 (057) 707-51-57.

**Кайдаш Марина Валерьевна** — канд. физ.-мат. наук, доцент Национального фармацевтического университета. Адрес: ул. Пушкинская, 53, г. Харьков, 61002, Украина.

**Тиманюк Владимир Александрович** — канд. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой физики Национального фармацевтического университета. Адрес: ул. Пушкинская, 53, г. Харьков, 61002, Украина; тел.: +38 (057) 771-81-59; e-mail: kokodiyng@gmail.com.

**М.Г. Кокодій<sup>1,2</sup>, А.В. Шапошнікова<sup>1</sup>, М.В. Кайдаш<sup>2</sup>, В.О. Тіманюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний фармацевтичний університет, м. Харків, Україна

### МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СФІГМОГРАМИ

Діагностика функціонального стану серцево-судинної системи займає одне з головних місць в медицині. Наочним і доступним методом аналізу стану серцево-судинної системи є сфінгографія — інструментальний метод дослідження артеріального пульсу, заснований на реєстрації розширення ділянки артерії під час проходження по ньому пульсової хвилі.

Аналіз сфінгограми включає часовий аналіз окремих елементів сфінгограми і опис форми кривої, яка буває дуже характерною при деяких захворюваннях.

За допомогою пари світлодіод-фотодіод отримується сигнал сфінгограми, який наряду з сигналами електрокардіограми і кардіоінтервалограми дає інформацію про фізичний стан досліджуваного об'єкта та його біологічний вік.

Комп'ютерний метод обробки сигналів сфінгограми, заснований на вимірюванні геометричних характеристик імпульсу, був застосований для отримання інформації про стан серцево-судинної системи двох чоловіків.

Пульсова хвиля 1-го типу, що реєструється на верхній кінцівці у молодих людей, характеризується швидким підйомом, гострою вершиною і наявністю одного або декількох додаткових максимумів на спадаючій частині кривої. Часовий інтервал між прямою і відбитою хвилею дорівнює 0,3–0,4 с, амплітуда відбитої хвилі становить менше 50% від амплітуди прямої хвилі.

У старших вікових групах людей крива сфінгограми відрізняється повільним підйомом, закругленою вершиною (пульсова хвиля 2-го типу) і аркообразною формою вершини (пульсова хвиля 3-го типу). На спадаючій частині сфінгограми спостерігається згладження або відсутність дикротичної хвилі. Її максимум розташовується у верхній або середній частині кривої, тоді як у молодих людей (пульсова

хвиля 1-го типу) – в нижній третині. У пульсовій хвилі 4-го типу відбита хвиля практично зливається з прямою хвилею через велику жорсткість стінок аорти.

Перевагами методу є простота його апаратного забезпечення і математичної обробки при великому обсязі одержуваної інформації.

**Ключові слова:** серцево-судинна система, діагностика, сфїгмографія, комп'ютерний метод обробки сигналів.

**N.G. Kokodii<sup>1,2</sup>, A.V. Shaposhnikova<sup>1</sup>, M.V. Kaydash<sup>2</sup>, V.A. Timanyuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Karazin Kharkov National University, Kharkov, Ukraine,

<sup>2</sup>National University of Pharmacy, Kharkov, Ukraine

### **MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE SPHYGMOGRAM**

Diagnosis of the functional state of the cardiovascular system occupies one of the main places in medicine. A clear and accessible method for analyzing the state of the cardiovascular system is sphygmography - an instrumental method for studying the arterial pulse, based on recording the widening of the artery during the passage of the pulse wave along it.

Analysis of the sphygmogram includes a time analysis of individual elements of the sphygmogram and a description of the shape of the curve, which is very common in certain diseases.

With the help of a pair of LED-photodiode, a signal of a sphygmogram was obtained, which along with the electrocardiogram signals and cardiointervalograms gives information about the physical state of the object under study and its biological age.

A computer method for processing sphygmogram signals based on measuring the geometric characteristics of the pulse was used to obtain information on the state of the cardiovascular system of two people.

A pulse wave of the 1st type, recorded on the upper limb in young people, is characterized by a rapid ascent, a rather sharp peak and the presence of one or more additional maxima on the descending part of the curve. The time interval between the straight line and the reflected wave is 0.3-0.4 s, the amplitude of the reflected wave is less than 50% of the amplitude of the direct wave.

In older people, the curve of the sphygmogram is characterized by a slow rise with a rounded apex (pulse wave of the 2th type) and an arcuate shape of the apex (pulse wave of the 3th type). On the descending part of the sphygmogram, a dither or no dicrotic wave is observed. Its maximum is located in the upper or middle part of the curve, whereas in young people (pulse wave type 1) - usually in the lower third. In a pulse wave of the 4th type, the reflected wave practically merges with the straight wave because of the great stiffness of the aortic walls.

Advantages of the method is the simplicity of its hardware support and the mathematical processing with a large volume of information received.

**Key words:** cardiovascular system, diagnostics, sphygmography, computer signal processing method.