

**Istomin Boris Aleksandrovich**

Penza state university.

E-mail: bob-magni@yandex.ru.

Kommunisticheskaya street, 37-68, 440039, Penza, Russia, Phone: (960)3254416.

Post-graduate student.

**Лавреев Александр Анатольевич**

Московский авиационный институт (государственный технический университет).

E-mail: lavreev@primegroup.ru.

141700, г. Долгопрудный, Личачевский бульвар, д. 13-1, кв. 130, тел.: (925)0100474.

Аспирант.

**Lavreev Aleksandr Anatol'evich**

Moscow aviation institute (the state technical university).

E-mail: lavreev@primegroup.ru.

Lihachevsky highway 13-1,130, 141700, Dolgoprudnyj, Russia, Phone: (925)0100474.

Post-graduate student.

**Шамин Евгений Анатольевич**

Пензенская государственная технологическая академия.

E-mail: pochayashik@mail.ru.

440056, г. Пенза, ул. Кольшлейская, д. 50, кв. 1, тел.: (903)3235451.

Аспирант.

**Shamin Evgeniy Anatol'evich**

Penza state technological academy.

E-mail: pochayashik@mail.ru.

Kolyshleyskaya Street, 50-1, 440056, Penza, Russia, Phone: (903)3235451.

Post-graduate student.

УДК 615.47

**Л.И. Калакутский, А.А. Федотов**

**ДИАГНОСТИКА ДИСФУНКЦИИ СОСУДИСТОГО ЭНДОТЕЛИЯ  
МЕТОДОМ КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ**

*Рассматривается метод обработки сигнала периферической артериальной пульсации для определения показателей функции сосудистого эндотелия. Разработана модель состояния сосудистого русла, позволяющая описать изменения эластических свойств при разных патологических состояниях. Определена зависимость изменения показателей эластичности магистральных сосудов при возрастном тренде, совпадающая с клиническими наблюдениями и физиологическими данными.*

*Пульсовая волна; дисфункция эндотелия; показатель эластичности.*

**L.I. Kalakutskiy, A.A. Fedotov**

**DIAGNOSTICS OF ENDOTHELIAL DYSFUNCTION BY THE METHOD OF  
CONTOUR ANALYSIS OF PULSE WAVE**

*Method of signal processing peripheral arterial pulsation to determine the performance of vascular endothelial function is considered. Model of the vascular bed, allowing to describe the change of elastic properties under different pathological conditions is developed. The dependence*

*of changes in arterial stiffness of larger vessels at the age trend, which agree with clinical observations and physiological data is described.*

*Pulse wave; endothelial dysfunction; elasticity index.*

Одной из самых распространенных и опасных патологий сердечно-сосудистой системы является дисфункция эндотелия, приводящая к возникновению таких заболеваний, как атеросклероз, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, инсульт и инфаркт [1].

Для определения показателей функции сосудистого эндотелия используются методики оценки эластических свойств магистральных сосудов на фоне проведения функциональных проб. [2]. Эластические свойства магистральных сосудов могут быть определены методом контурного анализа периферической пульсовой волны. Контур периферической пульсовой волны формируется в результате взаимодействия между левым желудочком и сосудами большого круга кровообращения. Таким образом, пальцевая фотоплетизмограмма отражает слияние двух пульсовых волн.

Первая волна образуется за счет систолической прямой волны, формируемой объемом крови, передающимся в систолу напрямую от левого желудочка к пальцам верхних конечностей. Вторая волна, отстоящая от первой на время отражения волны, образуется за счет отражения объема крови, проходящего по аорте и крупным магистральным артериям к нижним конечностям, и поступающего обратно в восходящий отдел аорты и далее к пальцам верхних конечностей [2].

Контур периферической пульсовой волны определяется главным образом характеристиками большого круга кровообращения, скоростью распространения волны давления в аорте и крупных эластических артериях, а также тономом мелких артерий от которого зависит отражение.

Для определения эластичности сосудов используются следующие индексы, определяемые в результате контурного анализа пульсовой волны [3]:

1) индекс отражения (ИО), представляющий собой отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде прямой волны;

2) индекс жесткости (ИЖ), как отношение роста обследуемого ко времени отражения пульсовой волны.

Для моделирования эластических свойств сосудистого русла необходимо рассмотреть процессы гемодинамики в магистральных сосудах на основе моделирования распространения пульсовых волн по сосудистому руслу.

В качестве модели гемодинамических процессов используется описание распространения электрических колебаний по линии передачи с распределенными параметрами (длинная линия). Данная модель представляет собой однородную электрическую линию передач конечной длины. На одном конце находится источник электрического колебания, другой конец линии замкнут на обобщенное сопротивление [4].

В данной модели генератор сигнала исполняет роль левого желудочка, сокращающегося во время систолы, и выбрасывающего кровь в аорту. В качестве входного сигнала может быть выбран импульс с экспоненциальными фронтами, как наиболее близкий к наблюдаемой форме сердечного толчка.

Модель позволяет получить зависимость изменения амплитуды пульсовой волны от времени при изменении эластичности артерий [5]. На рис. 1 приведена зависимость изменения контура пульсовой волны от времени при изменении эластичности артерий.

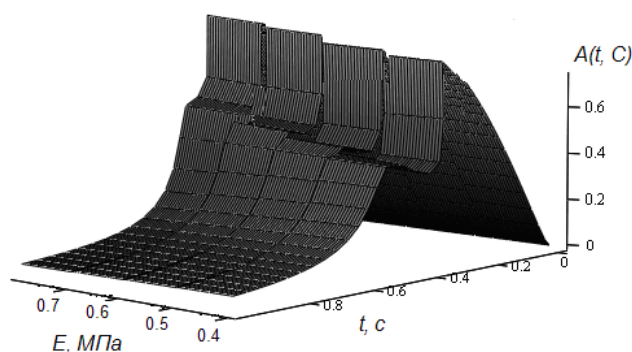


Рис. 1. Зависимость изменения контура пульсовой волны от времени при изменении эластичности артерий ( $E$  – модуль Юнга сосудистой стенки, МПа)

С увеличением эластичности время отражения волны увеличивается, а амплитуда отраженной волны уменьшается. Предложенная модель учитывает совместное распространение прямой и отраженной волн и позволяет моделировать пульсовые волны адекватные физиологическим биосигналам у пациентов с верифицированным диагнозом.

Зависимости показателей  $ИЖ$  и  $ИО$  от изменения эластичности артерии, полученные на основе уравнений модели, приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

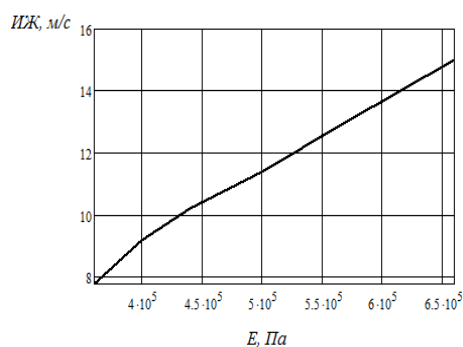


Рис. 2. График зависимости  $ИЖ$  от модуля Юнга

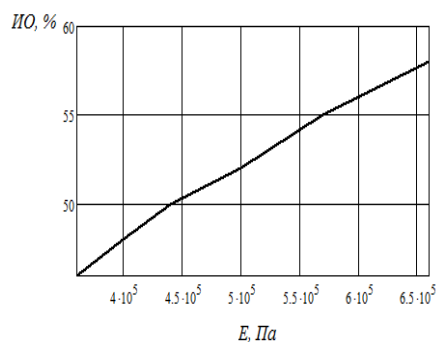


Рис. 3. График зависимости  $ИО$  от модуля Юнга

На рис. 4 приведены пульсовые волны, полученные в результате моделирования при различных состояниях магистральных сосудов, совпадающие по форме с контурами ФПГ сигналов, регистрируемых у здоровых людей и у пациентов с сосудистыми патологиями.

Показатели  $ИЖ$  и  $ИО$  находятся в линейной зависимости от величины модуля Юнга, что делает возможным их использование для диагностической оценки эластических свойств магистральных сосудов. Наибольшей чувствительностью к изменению эластичности артерий обладает показатель  $ИЖ$ , что делает его более предпочтительным для построения диагностических алгоритмов.

Для оценки функции эндотелия разработана модель состояния сосудистого русла, учитывающую возрастные тренды эластичности, а также патологические изменения, приводящие к различным заболеваниям, таким как атеросклероз и ряд других.

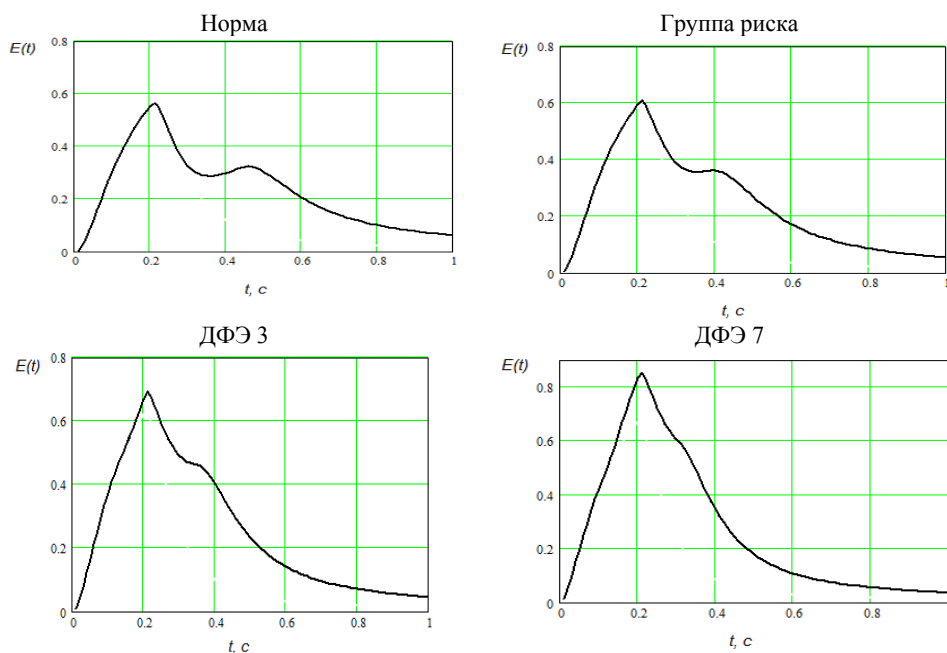


Рис. 4. Контуры пульсовых волн при различных показателях эластичности магистральных сосудов

В табл. 1 приведены результаты расчета параметров модели состояния.

Таблица 1

Модель состояния

Классификация состояния	ИО	ИЖ
Норма	43,7	6,44
Группа риска 1	45	6,97
Группа риска 2	46,3	7,56
ДФЭ 1	47,6	8,25
ДФЭ 2	49,1	9,2
ДФЭ 3	50,8	10,2
ДФЭ 4	52,8	11,7
ДФЭ 5	53,7	12,4
ДФЭ 6	54,8	13,49
ДФЭ 7	56	14,66

ДФЭ – дисфункция эндотелия.

Для оценки показателей функции эндотелия необходимо выделить характерные точки контура пульсовой волны, относящиеся к прямой и отраженной волнами. Анализ контура пульсовой волны с сильно выраженной ригидностью артериальной стенки сопряжено с рядом трудностей, основная из которых – сложность выделения второго максимума и определения его параметров.

Для решения данной проблемы предлагается метод декомпозиции, позволяющий контур пульсовой волны разложить на две составляющие, относящиеся к прямой систолической волне и отраженной волне, с последующим независимым определением максимумов и их параметров у каждой волны в отдельности.

Для проведения декомпозиции необходимо из исходной пульсовой волны реконструировать прямую систолическую волну, затем вычесть ее из пульсовой волны, и получить, таким образом, отраженную волну. Реконструкция систолической волны может осуществляться с помощью параметрической экспоненциальной аппроксимации.

Метод был апробирован на предложенной в работе модели состояния артериального русла. Для пульсовых кривых с различной степенью дисфункции эндотелия, полученных с помощью модели состояния, была проведена аппроксимация, в результате которой путем декомпозиции определены *ИЖ* и *ИО*. Сравнение полученных данных с данными, определенными моделью состояния дают расхождение не более 3-5 %.

Метод декомпозиции пульсовой волны был применен к обработке зарегистрированных фотоплетизмографических (ФПГ) сигналов.

Для этой цели была сформирована группа из лиц, представляющая собой выборку в возрасте от 20 до 60 лет, без явных патологий сердечно-сосудистой системы.

Таблица 2

**Значения показателей *ИЖ* у групп лиц разного возраста, определенные с помощью метода декомпозиции пульсовой волны**

Группа, лет	<i>ИЖ</i> , м/с
20±3	6,82±0,35
30±2	7,9±0,4
40±2	8,9±0,22
50±4	9,4±0,38
60±3	10,4±0,4

Показатель *ИЖ* стабильно увеличивается с возрастом, что соответствует клиническим наблюдениям и физиологическим данным [6].

Ценность использования предложенного метода анализа контура пульсовой волны заключается в возможности проведения скрининг-диагностики биологического возраста сосудистой системы обследуемых, что может служить действенным и эффективным методом выявления патологий сердечно-сосудистой системы на ранних стадиях развития заболеваний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ольбинская Л.И.* Общность патогенеза АГ и ХСН [Текст]/Л.И. Ольбинская// Сердечная недостаточность. – 2002. – №1. – С. 17.
2. *Калакутский Л.И.* Фотоплетизмограмма в оценке ремоделирования и реактивности артерий у больных с гипертонической болезнью [Текст]/С.П. Власова, П.И. Лебедев, Л.И. Калакутский//Конгресс ассоциации кардиологов стран СНГ «Фундаментальные исследования и прогресс в кардиологии». – СПб., 2003. – С. 164.
3. Новые возможности оценки артериальной ригидности – раннего маркера развития сердечно-сосудистых заболеваний [Текст]/Материалы симпозиума. – М.: Издательский дом "Русский врач", 2007. – 48 с.
4. *John L.R.* Forward Electrical transmission line model of the human arterial system [Текст]/L.R. John//Medical & Biological Engineering & Computing. – 2004. – Vol. 42. – P. 312-320.
5. *Федотов А.А.* Моделирование процессов распространения пульсовых волн в магистральных сосудах [Текст]/А.А. Федотов// XXI Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов. Биотехнические, медицинские и

- экологические системы и комплексы: Сб. трудов: Рязанский государственный радиотехнический университет. – Рязань, 2008. – С. 217-223.
6. Kelly R.P. Non-invasive determination of age-related changes in the human arterial pulse [Текст]/R.P. Kelly, M.F. O'Rourke//Circulation. – 2003. – Vol. 80. – P. 1652-1659.

**Калакуцкий Лев Иванович**

Самарский аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева.

E-mail: bme@ssau.ru.

443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, тел.: (846)2674549.

Профессор, д.т.н.

**Kalakutsky Lev Ivanovich**

Samara State Aerospace University.

E-mail: bme@ssau.ru.

34 Moscow highway, Samara, 443086, Russia, Phone: (846)2674549.

Professor, Doct. Eng. Sci.

**Федотов Александр Александрович**

Самарский аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева.

E-mail: fedoaleks@yandex.ru.

443114, г. Самара, пр-т Кирова, 303-11, тел.: (846)9277668.

Инженер, аспирант.

**Fedotov Aleksandr Aleksandrovich**

Samara State Aerospace University.

E-mail: fedoaleks@yandex.ru.

303-11, Kirova avenue, Samara, 443114, Russia, Phone: (846)9277668.

Engineer, Post graduate.

007:57+007:573

**Д.В. Ковалевская, О.Н. Боблак, С.В. Яблоков, Е.А. Стрельченко,  
И.А. Овчинников**

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА ОСТЕОСИНТЕЗА ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО  
ОТДЕЛА БЕДРА**

*Существующие компьютерные технологии позволяют прогнозировать операции благодаря симбиозу биомеханического компьютерного моделирования и анализу по данным клинических томографических исследований.*

*Остеосинтез; компьютерное моделирование; Mimics; МКЭ.*

**D.V. Kovalevskaya, O.N. Bablak, S.V. Yablokov, E.A. Strelchenko,  
I.A. Ovchoinnikov**

**COMPUTER TECHNOLOGIES FOR BIOMECHANICAL ANALYSIS OF  
OSTEOSYNTHESIS OF PROXIMAL THIGH PART FRACTURE**

*Existing computer technologies allow to predict operations thanks to symbiosis of biomechanical computer modelling and the analysis according to clinical tomographic researches.*

*Osteosynthesis; computer simulation; FEM.*