

нарушения исследуемых показателей в основном нормализуются, за исключением достоверного падения жизнеспособности зрелых половых клеток при 60-дневной и числа гранулоцитов при 90-дневной экспозиции.

## EFFECTS OF LONG-TERM ELECTROMAGNETIC RADIATION OF MOBILE PHONES (1745 MHZ) ON BLOOD AND REPRODUCTIVE SYSTEM OF MALE RATS

G.G. VERESCHAKO, N.V. CHUESHOVA, V.I. SHALATONIN, D.V. SUCHAREVA

### Abstract

The article presents data of research on the long-term exposure (two or three months) effect of mobile phone EMF (1745 MHz) in the immediate (1st day) and remote (30th day) period on the number of leukocytes and leukocyte blood elements and indices of the reproductive system of male rats. It was established that on the 1st day after EMF exposure from mobile phones (1745 MHz) notes some deviations hematological parameters of control, particularly important for the number of granulocytes after 3 months of exposure, observed disturbance spermatogenesis, as well as reducing the number of epididymal spermatozoa and drop their viability. By the 30th day revealed changes in the parameters studied mostly normalized, with the exception of significant fall viability of mature germ cells at 60-day and the number of granulocytes in the 90-day exposure.

*Keywords:* electromagnetic field, male rats, blood, leukocytes, spermatogenesis, epididymal sperm.

### Список литературы

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические, проблемы, прогноз опасности. М., 2013.
2. Якименко И.Л., Сидорик Е.П., Цибулин О.С. // Укр. біохім. журн. 2011. Т. 83, № 2. С. 20–28.
3. Верещако Г.Г. Электромагнитное излучение диапазона мобильной связи и его влияние на мужскую репродуктивную систему и потомство. Минск, 2015.
4. Григорьев Ю.Г. // Радиационная биология. Радиозэкология. 2005. Т. 45, № 4. С. 442–450.
5. Suresh R., Aravindan G.R., Moudgal N.R. // J. Biosci. 1992. Vol. 17, № 4. P. 413–419.
6. Евдокимов В.В. // Бюл. эксп. биол. и мед. 1997. Т. 123, № 5. С. 524–527.
7. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. Geneva, 2010.
8. Evenson D.P., Larson K.L., Jost L.K. // Andrology. 2002. Vol. 23, № 1. P. 25–43.

УДК 004.942

## ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА СОННОЙ АРТЕРИИ ПРИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Е.Д. ВИТКОВСКИЙ, И.Ю. БАЗИК, Д.А. БАЛЮК, Н.С. ДАВЫДОВА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в 22 ноября 2016

Проведено моделирование кровотока внутренней сонной артерии с различными типами аневризм. На основе данных, полученных при помощи компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии, были построены трехмерные модели участка сонной артерии с различными типами аневризм. Опираясь на 3D модели, при помощи

программного пакета ANSYS было проведено гидродинамическое моделирование и получены данные о скорости крови в различных участках артерии и касательном напряжении на стенки сосуда. Результаты представлены в графическом виде. Данный метод моделирования может использоваться для исследования развития и роста аневризм сосудов человеческого тела.

*Ключевые слова:* аневризма, гидродинамические исследования, внутренняя сонная артерия.

### Введение

Заболевания, связанные с сердечно-сосудистой системой, широко распространены и несут за собой тяжелые последствия для здоровья человека. Одним из таких заболеваний является аневризма. Наиболее часто встречаются артериальные аневризмы общей и внутренней сонных артерий. Аневризма – местное увеличение просвета артерии из-за изменения или повреждения ее стенки. Под действием повышенного артериального давления патологический участок сосуда расширяется и выпячивается; постепенно аневризма увеличивается и в момент физической или эмоциональной нагрузки разрывается. Стенки аневризмы представлены только соединительной тканью, эластичная мембрана и мышечный слой отсутствуют [1]. По форме аневризмы делятся на веретеновидную, мешковидную, мешковидную и веретеновидную, псевдоаневризму. Современное развитие компьютерных технологий позволяет проводить гидродинамические расчеты при помощи приближенных численных методов. Подробно данная методика рассмотрена в [2]. В данной статье также использованы методы моделирования, описанные в [3, 4].

Целью данной работы является исследование потока крови во внутренней сонной артерии при наличии различных типов аневризм аневризм.

### Методика исследования

Методика моделирования гидродинамических и гемодинамических процессов условно делится на 3 этапа: создание и оптимизация трехмерной модели и ее сетки, задание граничных условий и параметров среды, моделирование гидродинамического процесса, вывод результатов [5–7]. Построение трехмерных геометрических моделей внутренней сонной артерий с различными типами аневризм происходило на основе данных компьютерной томограммы и данных с МРТ. Для построения использовался специализированный пакет SolidWorks 2016 (SolidWorks corporation). Построенные 3D модели сонной артерии с различным видом аневризм представлены на рис. 1.

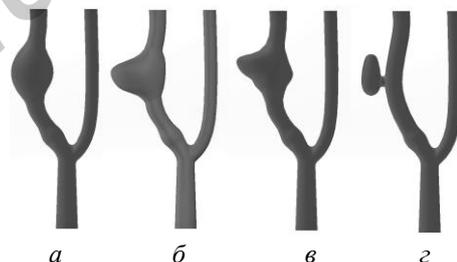


Рис. 1. 3D-модели сонной артерии: *а* – веретеновидная аневризма; *б* – мешковидная аневризма; *в* – мешковидная и веретеновидная аневризма; *г* – псевдоаневризма

В современной практике для решения задач по гидродинамическому моделированию и гемодинамике чаще всего используются такие пакеты, как ANSYS, ADINA, ABAQUS, COMSOL. Для моделирования потоков жидкостей используется алгоритм FSI (FluidSolid Interaction), позволяющий учитывать силы, действующие на твердое тело со стороны жидкости, и деформации твердого тела, действующие, в свою очередь, на жидкость. Для моделирования гидродинамических процессов в данной работе использовался пакет ANSYS (ANSYS inc.), так как данный пакет предоставляет полный набор инструментов для реализации

поставленной задачи и обладает высокой скоростью работы вычислительных алгоритмов. Для описания жидкой среды использовались параметры крови, приведенные в таблице [7, 8].

Параметры крови

Параметр	Значение
Температура, К	310,5
Давление, Па	13332
Плотность, кг/см <sup>3</sup>	1050
Молекулярный вес, а.е.м	66,8
Молекулярная вязкость, Па/с	0,003
Скорость течения на входе, м/с	0,5

Изменение скорости потока крови на входе участка артерии отобразено на рис. 2

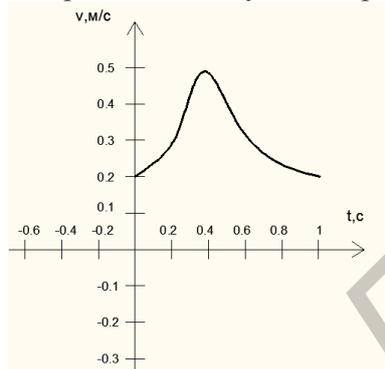


Рис. 2. Зависимость скорости крови на входе от времени

### Результаты моделирования

В результате моделирования были получены данные о скорости течения крови на различных участках артерии, а также данные о касательном напряжении на стенке. Графическое отображение полученных данных представлено на рис. 3 и 4. На рисунках видно, что на участках артерии с веретеновидной и мешковидной аневризмами происходит снижение скорости кровотока в связи с увеличением поперечного сечения артерии. Однако в некоторых участках аневризм, в связи с измененной геометрией наблюдается локальное увеличение скорости кровотока. Максимальная скорость для веретеновидной, мешковидной и веретеновидной и мешковидной аневризм составляет 0,42 м/с, 0,4 м/с и 0,41 м/с соответственно. Также наблюдается изменение характера потока крови из ламинарного в турбулентный и повышенное давление на стенки аневризмы. Для псевдоаневризмы характерно застаивание крови в полости аневризмы (максимальная скорость составляет 0,09 м/с) и высокое давление на стенки «шейки».

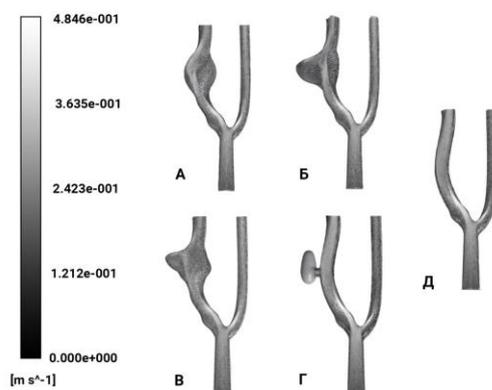


Рис. 3. Скорость крови в продольном сечении артерий с различными видами аневризм: а – веретеновидная аневризма; б – мешковидная аневризма; в – мешковидная и веретеновидная аневризма; г – псевдоаневризма ; д – участок артерии без патологий

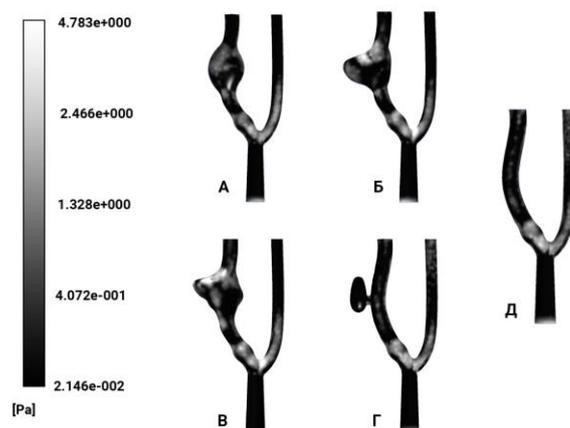


Рис. 4. Касательное напряжение на стенках артерий с различными видами аневризм: а – веретенновидная аневризма; б – мешковидная аневризма; в – мешковидная и веретенновидная аневризма; г – псевдоаневризма; д – участок артерии без патологий

### Заключение

Проведено моделирование кровотока внутренней сонной артерии с различными типами аневризм. Для создания 3D-моделей использовался пакет SolidWorks. На основе 3D-моделей было проведено гидродинамическое моделирование в программном пакете ANSYS Fluent. При моделировании решены такие задачи, как построение геометрии сонной артерии и ее патологий, задание физических свойств сред, задание граничных и других условий модели. Полученные данные визуализированы с помощью средств цветной графики. Также проведен анализ изменения скорости кровотока и давления на стенки артерии при различных типах аневризм. Исходя из полученных результатов, установлено, что на участке артерии с аневризмой наблюдается изменение потока крови с ламинарного на турбулентный. Данное явление ведет к увеличению гидродинамического сопротивления участка артерии. Также наблюдается неравномерное распределение давления на стенки сосудов в связи с измененной геометрией артериального русла. Опасность данного явления заключается в возникновении риска разрыва стенки артерии в связи с ее постепенным утончением в местах повышенного давления.

## HEMODYNAMIC ANALYSIS OF THE BLOOD FLOW IN CAROTID ARTERY WITH PATHOLOGICAL GEOMETRY

E.D. VITKOUSKI, I.Y. BAZIK, D.A. BALIUK, N.S. DAVYDOVA

### Abstract

The modeling of blood flow of internal carotid artery with different types of aneurysms is presented. Based on the data obtained from the CT scan and magnetic resonance imaging the 3D models of divisions with different types of aneurysms in carotid artery were made. According to the 3D models' data the flow simulation with the ANSYS software pack was made. That is how the records of blood velocity at different divisions and shearing stress at the vascular walls have been received. This particular method can be used for examination of progression and enlargement of vascular aneurysms of human body.

*Keywords:* aneurysm, hydrodynamic studies, internal carotid artery.

**Список литературы**

1. Аневризма/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: бмэ.org/index.php/АНЕВРИЗМА. – Дата доступа: 22.11.2016.
2. Xu Bai-Nan, Wang Fu-Yu, Liu Lei et. al. // Neurosurgical Review 2011. Vol. 34, Iss. 1. P. 39–47.
3. Blackshear W.M., Phillips D.J., Chikos P.M. et. al. // Stroke. 1980. Vol. 11, № 1. P. 67–71.
4. Antonova N., Tosheva P., Velcheva I. // J. Biomechanics. 2005. Vol. 27, № 3–4. P. 5–10.
5. Introduction to Using ANSYS Fluent in ANSYS Workbench. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fm.energy.lth.se/fileadmin/fm/Education/Courses/CFD/WBTut1.pdf>. – Дата доступа: 22.11.2016.
6. Лазарян Т.Р., Покровский А.В., Владимиров В.Г., Заринская С.А., Перевезенцев И.Ю., Балан А.Н., Коков Л.С., Цыганков В.Н. Способ оценки в эксперименте гемодинамики экстракраниального отдела внутренней сонной артерии человека и устройство для реализации способа / Патент РФ № 2408935.
7. Павлова О.Е. // Тез. докл. VII Всерос. шк.-семинара. «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете». Ростов-на-Дону, 2012. С. 98.
8. Kural M.H., Cai M., Tang D. et. al. // J. Biomech. 2012. Vol. 45. P. 790–798.

УДК 612.843.366:616.831:616.1

**ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
СОСУДОВ СКЛЕРЫ ГЛАЗА**

В.А. ФИРАГО, А.А. АНИСИМОВ\*, И.И. ВОЛКОВА

*Белорусский государственный университет  
пр. Независимости, Минск, 4220030, Беларусь*

*\*Белорусский государственный медицинский университет  
пр. Дзержинского, 83, Минск, 220116, Беларусь*

*Поступила в редакцию 22 ноября 2016*

Описаны методика и аппаратура для получения контрастных цифровых изображений конъюнктивальных сосудов глаз при использовании импульсной светодиодной подсветки. Показана возможность применения предлагаемого подхода для изучения *in vivo* реакции сосудов на различные воздействия.

*Ключевые слова:* цифровое видеоизображение, конъюнктивальный сосуд, исследования *in vivo* малых сосудов.

**Введение**

Поиск неинвазивных способов, позволяющих *in vivo* диагностировать сосудистые заболевания на ранней стадии, должен вестись на основе синтеза различных методов исследования состояния сосудов, гемодинамики и функций органов и тканей [1–5]. Все большую известность приобретает выдвинутая в последние годы концепция патологии малых сосудов, в основе которой лежит представление о системном характере повреждения малых сосудов на доклинических стадиях таких заболеваний как артериальная гипертензия и сахарный диабет [6–8]. Разработка и создание методов одновременной количественной оценки морфометрических параметров сосудов и показателей гемодинамики могли бы существенно улучшить возможности проведения ранней диагностики и лечения сосудистых заболеваний.

Сосуды глазного дна и бульбарной конъюнктивы, являющиеся ветвями внутренней сонной артерии, наиболее доступны для непосредственного наблюдения и оценки их состояния. Ряд корпораций выпускают фундус-камеры для получения цифровых изображений сосудов сетчатки глаза. Обработывая эти изображения можно оценить ее состояние и определить ряд морфологических параметров сосудистой сети сетчатки [9]. Фундус-камеры