



Исследования и практика в медицине 2019, т.6, №1, с. 99-105

ОБМЕН ОПЫТОМ

DOI: 10.17709/2409-2231-2019-6-1-10

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА ПРИ ЭНДОВАСКУЛЯРНОМ ЛЕЧЕНИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ АОРТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОЛОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕНТОВ

М.А.Чернявский, Б.С.Артюшин, А.В.Чернов, Д.В.Чернова, Н.Н.Жердев, Ю.А.Кудаев

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197341, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2

Резюме

Цель исследования. Оценить возможности математического анализа характеристик кровотока в аневризматически измененной аорте до и после имплантации в ее просвет голометаллического стента.

Материалы и методы. С помощью ряда данных, полученных при изучении результатов компьютерной томографии, выполненной 15 пациентам, находившимся на лечении по поводу аневризм (12) и диссекций (3) брюшного отдела аорты, а также на основании результатов ультразвукового исследования гемодинамики у этих больных создан ряд математических моделей кровотока в аорте. При построении математической модели аорты использована прикладная программа SolidWorks. Работа с программой состояла из 2 этапов: введение условий геометрических примитивов; формирование из них модели брюшного отдела аорты. В процессе исследования оценивались гемодинамические показатели аневризмы на прямолинейном и криволинейном сегментах сосуда. Ряд параметров носил переменный характер: диаметр, толщина стенки аневризмы, ее протяженность, модуль упругости.

Результаты. Осуществлена оценка корреляции экстремальных напряжений в стенке аневризмы аорты при ее локализации на прямолинейном и криволинейном участках сосуда с толщиной аневризматического мешка. Оценены возможности коррекции патологических изменений кровотока при имплантации голометаллического стента в просвет аневризматически измененной аорты: при введении в параметры математического моделирования условия наличия голометаллического стента в просвете аневризмы показатели кровотока в сосуде становились практически идентичны его стандартным характеристикам. Полученные сведения позволяют рассчитывать на успех при эндоваскулярном лечении пациентов с различными заболеваниями аорты с применением голометаллических стентов.

Заключение. Создание математических моделей аорты и крупных артерий при их аневризматической трансформации на догоспитальном этапе и после хирургического лечения будет эффективным инструментом в контроле качества оказания медицинской помощи больным сосудистого профиля.

Ключевые слова:

компьютерное моделирование, кровотоки, аорта, аневризма, диссекция, атеросклероз, сосудистая хирургия

Оформление ссылки для цитирования статьи

Чернявский М.А., Артюшин Б.С., Чернов А.В., Чернова Д.В., Жердев Н.Н., Кудаев Ю.А. Возможности применения математического анализа характеристик кровотока при эндоваскулярном лечении заболеваний аорты с использованием голометаллических стентов. Исследования и практика в медицине. 2019; 6(1): 99-105. DOI: 10.17709/2409-2231-2019-6-1-10

Для корреспонденции

Артюшин Борис Сергеевич, к.м.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А.Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Адрес: 197341, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2
E-mail: artyushin_boris@mail.ru

Информация о финансировании. Не сообщалось.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 31.10.2018 г., принята к печати 11.03.2019 г.

POSSIBILITIES OF APPLYING MATHEMATICAL ANALYSIS OF BLOOD FLOW CHARACTERISTICS IN ENDOVASCULAR TREATMENT OF AORTIC DISEASES USING HOLOMETALLIC STENTS

M.A.Chernyavskiy, B.S.Artyushin, A.V.Chernov, D.V.Chernova, N.N.Zherdev, Yu.A.Kudaev

Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova str., St. Petersburg 197341, Russian Federation

Abstract

Purpose. The purpose of the article is to access possibilities of blood flow mathematical analysis in aortic aneurysm before and after bare metal stent implantation.

Materials and methods. Mathematical models of aortic blood flow were based on data received at studying 15 CT-scans of patients with abdominal aorta aneurysms (12) and dissections (3) and their duplex ultra-sound hemodynamic data. At constructing mathematical model the program SolidWorks was used. Working with the program consisted of two stages: establishment of conditions for geometric objects; forming of abdominal aorta model from these objects. In the study hemodynamic aneurysm indexes was evaluated on rectilinear and curvilinear segments. Some of characteristics were variable: diameter, aneurysm wall thickness, its length, elasticity.

Results. Correlation of extreme tension into aneurysm wall on rectilinear and curvilinear segments according to aneurysm wall thickness was assessed. Possibilities of pathological blood flow changes correction at bare metal stent implantation into aortic aneurysm were estimated: if presence of bare metal stent were introduced into mathematical parameters blood flow characteristics became almost as standard characteristics. Received data can enhance successful endovascular treatment of aortic diseases with using of bare metal stents.

Conclusion. Mathematical models of aortic and vascular aneurysms before and after surgery can be an effective tool in bettering quality of medical help for vascular patients.

Keywords:

mathematical models, aortic blood flow, aortic dissection, aortic aneurysm, computer modelling, vascular surgery

For citation

Chernyavskiy M.A., Artyushin B.S., Chernov A.V., Chernova D.V., Zherdev N.N., Kudaev Yu.A. Possibilities of applying mathematical analysis of blood flow characteristics in endovascular treatment of aortic diseases using holometallic stents. Research'n Practical Medicine Journal (Issled. prakt. med.). 2019; 6(1): 99-105. DOI: 10.17709/2409-2231-2019-6-1-10

For correspondence

Boris S. Artyushin, MD, PhD, senior researcher of the research laboratory of vascular and hybrid surgery, Almazov National Medical Research Centre
Address: 2 Akkuratova str., St. Petersburg 197341, Russian Federation,
E-mail: artyushin_boris@mail.ru

Information about funding. Not reported.

Conflict of interest. Authors report no conflict of interest.

The article was received 31.10.2018, accepted for publication 11.03.2019

Патология сердца и сосудов остается основной причиной инвалидизации и смертности населения России [1]. Удельный вес заболеваний аорты (аневризма, диссекция, атеросклеротическое поражение) в общей структуре болезней системы кровообращения превышает 20% [2, 3]. Основным способом лечения патологических изменений аорты и артериальных сосудов до настоящего времени остается хирургический [4, 5]. Вместе с тем за последние 20 лет широкое распространение получили так называемые «мини-инвазивные» (эндоваскулярные) технологии диагностики и лечения сосудистых заболеваний. Решающее значение в определении тактики оказания медицинской помощи играют степень и объем патологических изменений в сосудистой стенке. Принятие решения о выборе метода хирургического лечения зачастую носит эмпирический характер и определяется сугубо личным опытом оперирующего хирурга. Существующие алгоритмы выбора тактики лечения больных с заболеваниями аорты и периферических артерий громоздки и неудобны для использования в практике [6]. Вместе с тем современная информатизация здравоохранения с помощью различных прикладных компьютерных программ позволяет не только осуществлять точную диагностику патологических состояний сосудистого русла, но и прогнозировать течение и исход заболевания [5, 7]. Создание математических моделей кровотока в аорте и крупных артериальных сосудах до и после хирургического лечения обеспечит возможность контроля показателей кровотока с оценкой скорости увеличения диссекции сосудистой стенки или аневризматического расширения с расчетом риска его разрыва.

Указанные исследования позволят аргументированно осуществлять выбор того или иного метода хирургического лечения заболеваний аорты и крупных артериальных сосудов, что имеет важное значение для медицинской науки и практики [8].

Цель исследования: оценить возможности математического анализа характеристик кровотока в аневризматически измененной аорте до и после имплантации в ее просвет голометаллического стента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разработки математической модели выбрана геометрия брюшного отдела аорты. В связи с высокой сложностью структур сосудистой стенки допущен ряд упрощений. В отличие от физиологического состояния, в математической модели сосудистая стенка жестко фиксирована, ее внутренняя поверхность, контактирующая с текучей средой (неньютоновской жидкостью), идеально изолирована; характер тока жидкости — ламинарный, его скорость — 0,4 м/с; артериальное давление в аорте 10 000 Па.

При построении математической модели аорты использована прикладная программа SolidWorks. Работа с программой состояла из 2 этапов: введение условий геометрических примитивов; формирование из них модели брюшного отдела аорты (рис. 1).

Для расчета напряжений в стенках аневризм брюшного отдела аорты (АА) также была необходимость ввести несколько условий: АА — трехмерное тело; структура стенки аневризматического мешка

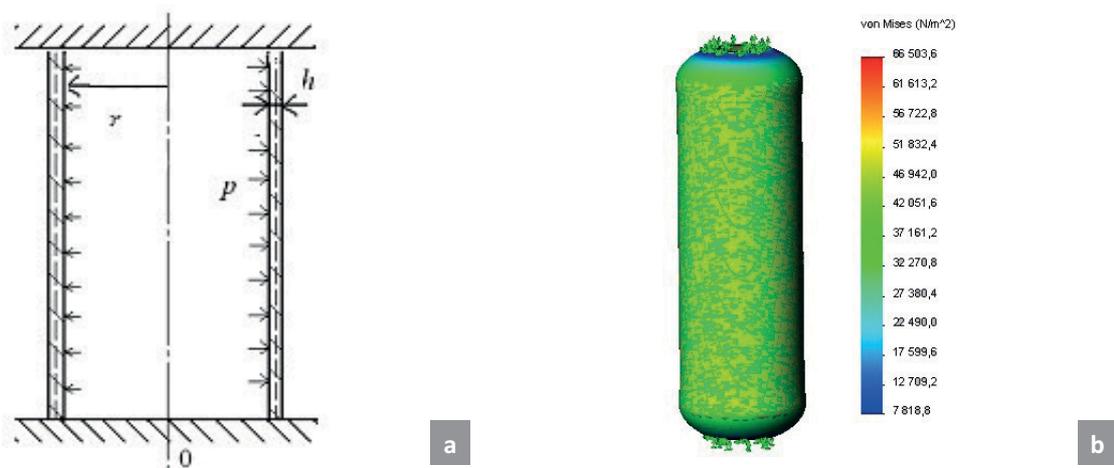


Рис. 1. Математическая модель сегмента аорты: а – схема; б – распределение напряжений на схеме трехмерного тела.

Fig. 1. Mathematical model of aortic segment: a – scheme, b – stress distribution on the scheme of a three-dimensional body.

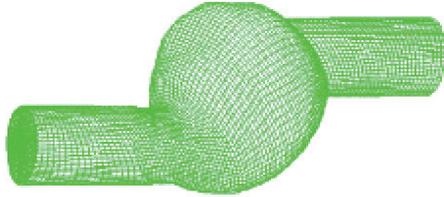


Рис. 2. Математическая модель АА, построенная с помощью метода КЭ.

Fig. 2. A mathematical model of AA constructed using the finite element method.

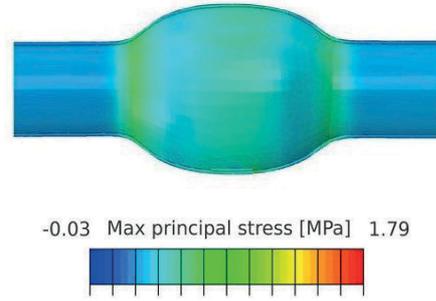


Рис. 3. Напряжения σ в АА на прямолинейном сегменте: $L_a = 19$ мм; $N_a = 16$ мм; $h_a = 2,0$ мм; $E_{Ao} = 1,0$ МПа; $E_a = 0,46$ МПа; $p = 1,5 \times 10^4$ Па.

Fig. 3. Voltages σ in AA on a straight segment: $L_a = 19$ mm; $N_a = 16$ mm; $h_a = 2.0$ mm; $E_{Ao} = 1.0$ MPa; $E_a = 0.46$ MPa; $p = 1.5 \times 10^4$ Pa.

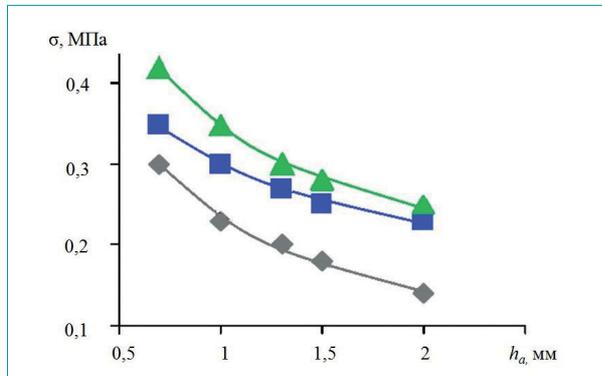


Рис. 4. Зависимости ЭН σ от толщины стенки АА на прямолинейном участке: $E_c = 1,0$ МПа; $p = 1,5 \times 10^4$ Па; $L_a = 19$ мм; $\nu = 0,4$ (E_a : \blacklozenge — 1,0; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 0,25 МПа).

Fig. 4. EN σ dependence of the thickness of the wall of the AA at the straight portion: $E_c = 1.0$ MPa; $p = 1.5 \times 10^4$ Pa; $L_a = 19$ mm; $\nu = 0.4$ (E_a : \blacklozenge — 1,0; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 0.25 MPa).

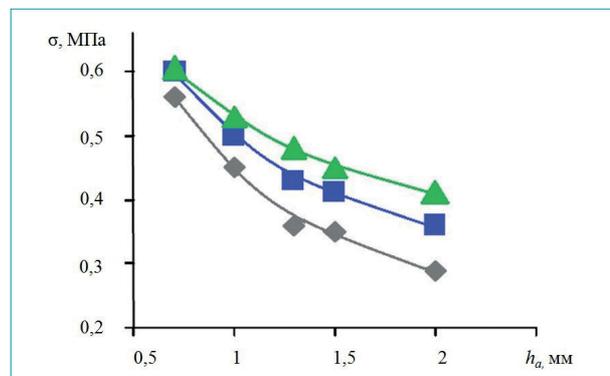


Рис. 5. Корреляция ЭН σ на криволинейном участке аневризматически измененной аорты с толщиной стенки АА: $E_c = 1,0$ МПа; $p = 1,5 \times 10^4$ Па; $L_a = 19$ мм; $\nu = 0,4$ (E_a : \blacklozenge — 1,0; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 0,25 МПа).

Fig. 5. Correlation of EN σ in the curvilinear region of the aneurysmally altered aorta from the wall thickness AA: $E_c = 1.0$ MPa; $p = 1.5 \times 10^4$ Pa; $L_a = 19$ mm; $\nu = 0.4$ (E_a : \blacklozenge — 1,0; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 0.25 MPa).

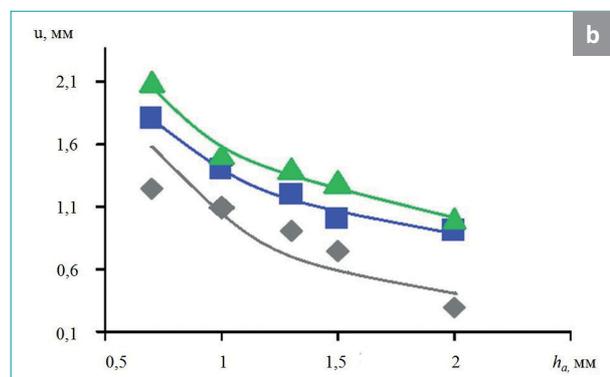
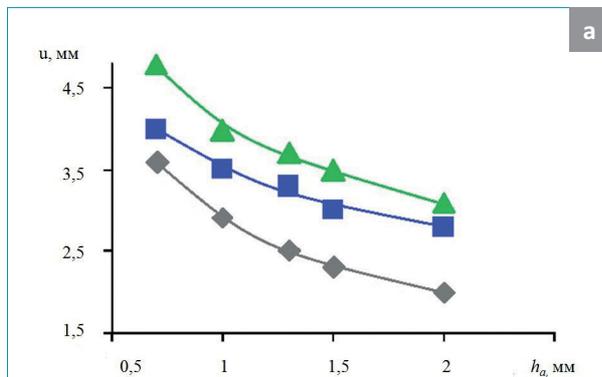


Рис. 6. Зависимости перемещений u в АА на прямолинейном (а) и криволинейном (б) участках аорты от толщины стенки АА: $E_c = 1,0$ МПа; $p = 1,5 \times 10^4$ Па; $L_a = 19$ мм; $\nu = 0,4$ (E_a : \blacklozenge — 0,25; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 1,0 МПа).

Fig. 6. The relationship between the displacements of u in AA on the rectilinear (a) and curvilinear (b) sections of the aorta from the wall thickness AA: $E_c = 1.0$ MPa; $p = 1.5 \times 10^4$ Pa; $L_a = 19$ mm; $\nu = 0.4$ (E_a : \blacklozenge — 0,25; \blacksquare — 0,5; \blacktriangle — 1,0 MPa).

однородная, однослойная, с конструктивным модулем упругости E ; купол АА осесимметричный; начальные напряжения в структурах аорты и ее аневризмы отсутствуют. Вычисления осуществлялись методом конечных элементов (КЭ) с разделением структуры АА на тетраэдральные элементы (всего — 80 тысяч) (рис. 2).

При моделировании заложены следующие параметры аорты и аневризматического расширения: диаметр сосуда (D_{Ao}) = 25 мм; толщина стенки аорты (h_{Ao}) = 2 мм; длина ее сегмента (L_{Ao}) = 300 мм; модуль нормальной упругости сосуда (E_{Ao}) = 1,0 МПа; коэффициент Пуассона (ν) = 0,4; критическое напряжение в стенке сосуда ($\sigma_{кр}$) = $0,7 \times 10^6$ Па; коэффициент запаса (k) = 2,5.

В процессе исследования оценивались гемодинамические показатели в АА на прямолинейном и криволинейном сегментах сосуда. Ряд параметров носил переменный характер: диаметр АА (D_a), толщина стенки АА (h_a), ее протяженность (L_a), модуль упругости АА (E_a).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Корреляции показателей экстремальных напряжений (ЭН) и перемещений в сегментах АА с геометрическими параметрами и механическими свойствами при давлении $p = 1,5 \times 10^4$ Па представлены на рис. 3–6.

Зависимость ЭН в стенке АА на прямолинейном сегменте от толщины ее стенки приведена на рис. 4.

На прямолинейном участке констатируется обратная зависимость между толщиной стенки АА и ЭН в ее стенке вне зависимости от значения E_a . При толщине стенки $h_a = 2$ мм при значении $E_a = 1,0$ МПа показатель σ не превышает 0,2 МПа, при значениях E_a 0,5 и 0,25 МПа ЭН составляет 0,28 и 0,3 МПа соот-

ветственно. При любом значении толщины стенки АА в пределах 0,7–1,5 мм и значений E_a в диапазоне от 0,25 до 1,0 МПа ЭН стенки составляет менее 0,5 МПа, то есть не достигает критического напряжения (КН).

Зависимость показателя σ в стенке АА на криволинейном участке сосуда от h_a представлена на рис. 5.

В АА в криволинейном сегменте аорты констатируется корреляция, аналогичная показателям кровотока на прямолинейном участке, однако при $h_a = 1,5$ мм показатели ЭН стенки АА достигают показателей 0,5 МПа, а при уменьшении h_a до 0,7 мм возникает критическое состояние, характеризующееся увеличением ЭН стенки АА до 0,6 МПа с риском ее разрыва.

Зависимости перемещений u в АА на прямолинейном и криволинейном участках аорты от толщины ее стенки h_a приведены на рис. 6.

В АА на прямолинейном участке аорты при значениях E_a 0,5–1,0 МПа КН возникает при уменьшении h_a от 2 до 0,5 мм, при $E_a = 0,25$ МПа КН возникает при $h_a < 1$ мм. При локализации АА на криволинейном сегменте КН возникает во всем диапазоне рассмотренных параметров. При параметрах $L_a = 20$ мм; $h_a = 0,7$ мм; $E_c = 1,0$ МПа; $\nu = 0,4$ и изменении D_a от 10 до 20 мм КН в АА на прямолинейном участке при значениях $E_a = 0,25 \div 1,0$ МПа не возникает. При АА на криволинейном участке КН возникает во всем диапазоне рассмотренных параметров.

Методика конечных элементов позволяет разрабатывать прототипы стентов, которые могут быть использованы в качестве матрицы для производства голометаллических стентов. Также возможно моделирование кровотока в аорте после выполнения эндоваскулярной коррекции (рис. 7).

При введении в параметры математического моделирования условия наличия голометаллического стента в просвете АА показатели кровотока в аорте становились практически идентичными его стандартным характеристикам в неизменном сосуде. Параметры ЭН в области АА приближались к показателям, приведенным на рис. 4, то есть фактически напряжения стенки аорты оставались в пределах физиологической нормы. Указанное обстоятельство свидетельствовало о положительном влиянии имплантации даже непокрытого стента на ход патологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования выявления критических состояний АА демонстрируют необходимость предоперационного анализа сведений с использованием современных компьютерных технологий, а до-

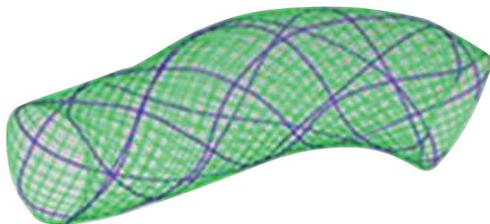


Рис. 7. Математическая модель голометаллического стента, построенная с помощью метода КЭ.

Fig. 7. A mathematical model of a holometallic stent constructed using the finite element method.

пускаемые погрешности вычислений — возможность предоперационного прогнозирования возможных результатов эндоваскулярных операций на аорте.

Предлагаемая технология оценки состояния артериальной стенки до и после операции представляется перспективной в плане деятельности сосудистых хирургов. Патологические изменения в стенке аорты не только нарушают показатели гемодинамики в сосуде и могут привести к ее разрыву, но и нередко обуславливают дефицит

кровоснабжения смежных сосудистых бассейнов. Применение современных компьютерных технологий себя оправдывает. Сосудистые хирурги нуждаются в программном продукте, использование которого позволило бы автоматически прогнозировать результаты того или иного вида вмешательства. Это самым положительным образом должно сказаться на качестве оказания медицинской помощи пациентам с заболеваниями аорты и периферических артерий.

Список литературы

1. Шальнова С. А. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и факторы риска в России. В кн.: Беленков Ю. Н., Оганов Р. Г. (ред). Кардиология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2010, с. 37–52.
2. Карпенко А. А., Стародубцев В. Б., Игнатенко П. В., Золотов Д. Г. Гибридные оперативные вмешательства у пациентов с многоуровневым атеросклеротическим поражением артерий нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2014;20 (2):60–5.
3. Гавриленко А. В., Егоров А. А., Котов А. Э. Хирургическое лечение больных с атеросклеротической окклюзией аорто-подвздошного сегмента в сочетании с поражением дистального русла. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2012;18 (3):101–5.
4. Пшеничный В. Н., Штутин А. А., Иваненко А. А., Воропаев В. В., Ковальчук О. Н., Гаевой В. Л. Эффективность двухуровневых инфраингвинальных реконструкций в лечении хронической критической ишемии нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2012;18 (3):132–7.
5. Национальные рекомендации по ведению пациентов

с заболеваниями артерий нижних конечностей (Российский согласительный документ). М., 2013: 70 с. Доступ по ссылке: http://www.angiolsurgery.org/recommendations/2013/recommendations_LLA.pdf

6. Gerhard-Herman MD, Gornik HL, Barrett C, Barshes NR, Corriere MA, Drachman DE, et al. AHA/ACC Lower Extremity PAD Guideline: Executive Summary. *Circulation*. 2017 Mar 21;135 (12): e686-e725. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000470
7. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, Björck M, Brodmann M, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J*. 2018 Mar 1;39 (9):763–816. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx095
8. Бондаренко М. А., Лебедева Е. А., Артюшин Б. С. Биомеханический метод исследования влияния атеросклеротических поражений на гемодинамику в артериях нижних конечностей. *Известия Санкт-Петербургского Государственного электротехнического университета ЛЭТИ*. 2015;9:85–9.

References

1. Shal'nova SA. Epidemiologiya serdechno-sosudistyx zabolevanii i faktory riska v Rossii. [Epidemiology of cardiovascular diseases and risk factors in Russia]. In: Belenkov YuN, Oganov RG. (eds). *Kardiologiya [Cardiology]*. Moscow: «GEOTAR-Media» Publ.; 2010, pp. 37–52. (In Russian).
2. Karpenko AA, Starodubtsev VB, Ignatenko PV, Zoloev DG. Hybrid operative interventions in patients with multi-level atherosclerotic lesions of lower-limb arteries. *Angiology and Vascular Surgery*. 2014;20 (2):60–5. (In Russian).
3. Gavrilenko AV, Egorov AA, Kotov AE, Mamukhov AS, Molokopoi SN. Surgical treatment of patients with atherosclerotic occlusion of the aortoiliac segment combined with distal-bed lesions. *Angiology and Vascular Surgery*. 2012;18 (3):101–5. (In Russian).
4. Pshenichny VN, Shtutin AA, Ivanenko AA, Voropaev VV, Kovalchuk ON, Gaevoi VL. Efficacy of two-level infrainguinal reconstructions in treatment of chronic critical lower limb ischaemia. *Angiology and Vascular Surgery*. 2012;18 (3):132–7. (In Russian).

5. National guidelines for the management of patients with lower limb artery disease (Russian conciliation document). Moscow, 2013: 70 p. Available at: http://www.angiolsurgery.org/recommendations/2013/recommendations_LLA.pdf (In Russian).
6. Gerhard-Herman MD, Gornik HL, Barrett C, Barshes NR, Corriere MA, Drachman DE, et al. AHA/ACC Lower Extremity PAD Guideline: Executive Summary. *Circulation*. 2017 Mar 21;135 (12): e686-e725. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000470
7. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, Björck M, Brodmann M, et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J*. 2018 Mar 1;39 (9):763–816. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx095
8. Bondarenko MA, Lebedeva EA, Artyushin BS. Biomechanical method of research of influence of atherosclerotic defeats on the movement of blood in arteries of the lower extremities. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*. 2015;9:85–9. (In Russian).

Информация об авторах:

Чернявский Михаил Александрович, д. м.н., главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела сосудистой и интервенционной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Артюшин Борис Сергеевич, к. м.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Чернов Артемий Владимирович, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Чернова Дарья Викторовна, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Жердев Николай Николаевич, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сосудистой и гибридной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кудаев Юрий Анатольевич, врач-кардиолог отделения сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Information about authors:

Mikhail A. Chernyavskiy, MD, PhD, DSc, chief researcher of the research Department of vascular and interventional surgery, Almazov National Medical Research Centre

Boris S. Artyushin, MD, PhD, senior researcher of the research laboratory of vascular and hybrid surgery, Almazov National Medical Research Centre

Artemiy V. Chernov, head of the Department of cardiovascular surgery, Almazov National Medical Research Centre

Dar'ya V. Chernova, junior researcher of the research laboratory of vascular and hybrid surgery, Almazov National Medical Research Centre

Nikolai N. Zherdev, junior researcher of the research laboratory of vascular and hybrid surgery, Almazov National Medical Research Centre

Yurii A. Kudaev, cardiologist of the Department of cardiovascular surgery, Almazov National Medical Research Centre