

Здравоохранение и профилактическая медицина / Public Health and Preventive Medicine

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-1-1383](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1383)EDN: [NXYCCE](https://www.edn.ru/entry/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1383)

УДК 611.08, 611.12-611.13



Морфометрический анализ бифуркаций венечных артерий сердца человека в норме по данным рентгенологического обследования лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста

А.В. Дмитриев¹, А.А. Сергиенко², И.С. Милтых³, О.К. Зенин²¹Институт неотложной и восстановительной хирургии
им. В.К. Гусака, Донецк, Российская Федерация²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
Пенза, Российская Федерация³Университет Палермо, Палермо, Италия

Аннотация

Обоснование. Соотношение внутренних диаметров артериальных сегментов (АС) составляющих артериальные бифуркации (АБ) венечных артерий сердца человека (ВАСЧ) используют для классификации поражений АБ и разработки стандартного протокола оперативного вмешательства по устранению сужений просвета АС. Однако, вопрос количественной нормы строения АБ ВАСЧ остается открытым.

Цель. Установить морфометрические закономерности соотношений внутренних диаметров АС составляющих АБ в норме путем ретроспективного анализа рентгенограмм ВАСЧ лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный морфометрический анализ рентгенограммах ВАСЧ (лиц 2-го периода зрелого возраста – 48 шт. и пожилого возраста – 14 шт.; лиц мужского пола – 31 шт. и женского – 31 шт.; левой венечной артерии – 62 шт. и правой венечной артерии 60 шт) без видимых стенотических поражений. ВАСЧ рассматривали как систему, состоящую из АБ, в состав которой входят проксимальный АС (D) и два дистальных АС ($d_{\max}$ и $d_{\min}$). Рассчитывали: g, коэффициент асимметрии дочерних ветвей: $g=(d_{\min}/d_{\max})^2$; h, коэффициент ветвления: $h=(d_{\max}^2+d_{\min}^2)/D^2$. Для анализа использовали статистический пакет R (версия 4.1).

Результаты. Установлено: величины внутреннего диаметра D и $d_{\max}$ АС составляющих АБ входящих в состав ВАСЧ лиц мужского пола значимо больше,

чем у лиц женского пола; величины D , $d_{\max}$ и $d_{\min}$ AC составляющих AB входящих в состав ВАСЧ лиц 2-го периода зрелого возраста значимо больше, чем у лиц пожилого возраста; значения D , $d_{\max}$, $d_{\min}$, g и h заметно больше у AC левой венечной артерии, чем правой; AB входящие в состав левой венечной артерии сердца более «симметричны», чем составляющие правую венечную артерию.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейших морфометрических исследований ВАСЧ, ревизии закона Murray C.D. и разработки универсальной объединяющей теории строения и функционирования AB.

Ключевые слова: венечные артерии сердца; рентгенограммы; морфометрия; бифуркации; закон Murray C.D.

Для цитирования. Дмитриев, А. В., Сергиенко, А. А., Милтых, И. С., & Зенин, О. К. (2026). Морфометрический анализ бифуркаций венечных артерий сердца человека в норме по данным рентгенологического обследования лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 315–333. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1383>

Morphometric analysis of coronary artery bifurcations in normal human hearts based on X-ray examination in individuals of different sexes in the second period of mature and elderly age

A.V. Dmitriev¹, A.A. Sergienko², I.S. Miltykh³, O.K. Zenin²

¹V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery,
Donetsk, Russian Federation

²Penza State University, Penza, Russian Federation

³University of Palermo, Palermo, Italy

Abstract

Background. The ratio of the inner diameters of arterial segments (AS) constituting arterial bifurcations (AB) of the human coronary arteries (HCA) is used to classify AB lesions and develop a standard protocol for surgical intervention to eliminate AS lumen narrowing. However, the question of the quantitative norm of the HCA AB structure remains open.

Purpose. To establish morphometric patterns of the ratios of the inner diameters of AS constituting AB in the norm by retrospective analysis of HCA radiographs in individuals of different sexes, the second period of mature and elderly age.

Materials and methods. A retrospective morphometric analysis of HCA radiographs (individuals of the 2nd period of mature age - 48. and elderly age - 14; males - 31 and females - 31; left coronary artery - 62 and right coronary artery 60) without

visible stenotic lesions was performed. HCA was considered as a system consisting of AB, which includes a proximal AS (D) and two distal AS ($d_{\max}$ and $d_{\min}$). The following were calculated: γ , the asymmetry coefficient of daughter branches: $\gamma = (d_{\min}/d_{\max})^2$; η , branching coefficient: $\eta = (d_{\max}^2 + d_{\min}^2)/D^2$. The statistical package R (version 4.1) was used for analysis.

Results. It was found that: the values of the inner diameter D and $d_{\max}$ of AS constituting AB included in the HCA of males are significantly larger than those of females; the values of D, $d_{\max}$ and $d_{\min}$ of AS constituting AB included in the HCA of individuals of the 2nd period of mature age are significantly larger than those of elderly individuals; the values of D, $d_{\max}$, $d_{\min}$, γ and η are noticeably larger in the AS of the left coronary artery than in the right; AB included in the left coronary artery of the heart are more “symmetrical” than those constituting the right coronary artery.

Conclusion. The obtained data indicates the need for further morphometric studies of HCA, revision of Murray C.D.’s law, and development of a universal unifying theory of the structure and functioning of AB.

Keywords: coronary arteries of the heart; radiographs; morphometry; bifurcations; Murray C.D. law

For citation. Dmitriev, A. V., Sergienko, A. A., Milykh, I. S., & Zenin, O. K. (2026). Morphometric analysis of coronary artery bifurcations in normal human hearts based on X-ray examination in individuals of different sexes in the second period of mature and elderly age. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 315–333. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1383>

Введение

Венечные артерии сердца человека (ВАСЧ) являются основными поставщиками крови к стенке сердца, обеспечивают адекватное кровоснабжение этого органа для поддержания его работы. Любые нарушения структуры или функции ВАСЧ могут привести к серьезным заболеваниям таким как ишемическая болезнь сердца или инфаркт миокарда [18]. Атеросклеротические поражения участков артериальных бифуркаций (АБ) ВАСЧ составляют 15–20% всех случаев данной патологии [6, 25, 10]. Трудности, связанные с коррекцией этих повреждений [15] проблемы оценки их физиологической значимости и высокий риск развития рестеноза [7] вызывают живой интерес к морфологическому исследованию этих участков ВАСЧ [10].

Сегодня уже недостаточно простое словесное (качественное) описание анатомических структур, теория и практика медицины требуют их количественного (цифрового) представления. Особый интерес у исследовате-

лей вызывает соотношение внутренних диаметров артериальных сегментов (АС) составляющих АБ ВАСЧ [22]. Предлагается использовать это соотношение для классификации поражений АБ и разработки стандартного протокола оперативного вмешательства по устранению данной патологии. Последние исследования подтверждают, что такие соотношения, в особенности индекс Финэ (Finet's ratio - отношение диаметра основного ствола к сумме диаметров дочерних ветвей), являются ключевыми детерминантами локальной гемодинамики и распределения эндотелиального напряжения сдвига (ESS). Так, значение индекса Финэ $<0,8$ коррелирует с развитием зон низкого и осциллирующего напряжения сдвига вдоль латеральных стенок бифуркации, где преимущественно формируются атеросклеротические бляшки. Математические модели, основанные на данных КТ-ангиографии 127 пациентов без стенозов (2025 г.), продемонстрировали статистически значимую корреляцию ($p < 0,001$) между индексом Финэ и площадью поверхности сосуда, подверженной патологически низким значениям ESS ($<0,5$ Па) – ключевым триггером эндотелиальной дисфункции и атерогенеза [11].

Гемодинамические особенности бифуркаций также напрямую связаны с их морфометрией. Зоны низкого и осциллирующего напряжения сдвига (ESS $<0,5$ Па) преимущественно формируются вдоль латеральных стенок бифуркаций, что гистологически коррелирует с локализацией фиброатером и кальцинированных бляшек [11].

Несмотря на такой повышенный интерес к данной проблеме [12] фактических сведений о морфометрических характеристиках «нормальных» (без атеросклеротических и иных поражений) АБ ВАСЧ явно недостаточно.

Вышесказанное определило цель настоящего исследования.

Цель исследования – установить морфометрические закономерности соотношений внутренних диаметров АС составляющих АБ в норме путем ретроспективного анализа рентгенограмм ВАСЧ лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста.

Материал и методы

Данное исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующих поправках. Заключение биоэтического комитета было получено на заседании Координационного совета Института неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака (ДНР) от 10.12.2021 г., протокол №3. Ретроспективно изучались цифровые рентгенограммы ВАСЧ лиц, проходивших обследование в отделении рентген-эндоваскулярной хирургии Института неот-

ложной и восстановительной хирургии (ИНВХ) им. В. К. Гусака МЗ ДНР 2015-2022 г.г.

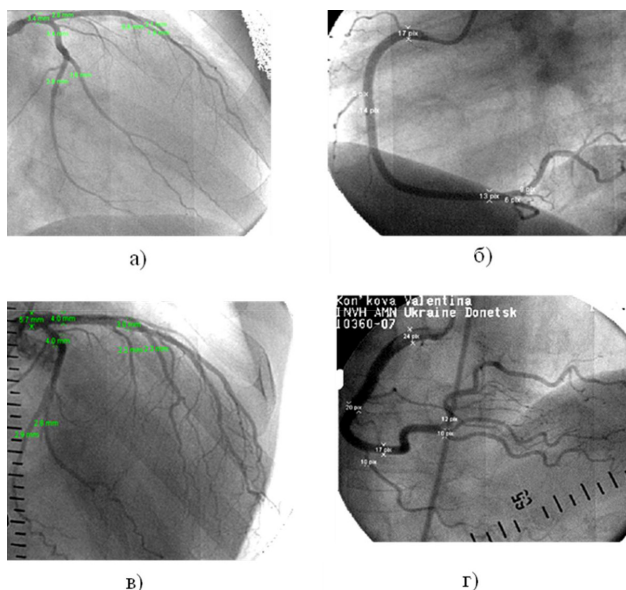


Рис. 1. Рентгенограммы ВАСЧ лиц без окклюзионно-стенотических поражений венечных артерий: а) рентгенограмма левой венечной артерии сердца, Г., пол женский 37 года; б) рентгенограмма правой венечной артерии сердца, К., пол мужской, 51 год; в) рентгенограмма левой венечной артерии сердца, Г., пол мужской, 65 лет; г) рентгенограмма правой венечной артерии сердца, Ж., пол женский, 70 лет.

Fig. 1. Radiographs of the coronary arteries in individuals without occlusive-stenotic lesions of the coronary arteries: a) radiograph of the left coronary artery, G., female, 37 years old; b) radiograph of the right coronary artery, K., male, 51 years old; c) X-ray of the left coronary artery, G., male, 65 years old; d) X-ray of the right coronary artery, Zh., female, 70 years old.

Ретроспективно были исследованы рентгенограммы ВАСЧ лиц 2-го периода зрелого возраста – 48 шт. (мужчины - от 36 до 60 года, женщины - от 36 до 55 лет) и пожилого возраста – 14 шт. (мужчины - от 61 до 75 года, женщины - от 56 до 75 лет); лиц мужского пола – 31 шт. и женского – 31 шт.; левой венечной артерии – 62 шт. и правой венечной артерии 60 шт. (рис. 1).

Критерии включения: наличие добровольного согласия; возраст от 36 до 74 лет; отсутствие сердечно-сосудистой патологии в анамнезе; отсутствие видимых окклюзионно-стенотических повреждений ВАСЧ. Крите-

рии исключения: отсутствие добровольного согласия; возраст меньше 36 и больше 74 лет; наличие в анамнезе заболевания, вызывающие повреждение ВАСЧ; визуально при обследовании обнаруженные деформации и аномалии ВАСЧ.

Морфометрию цифровых рентгенограмм ВАСЧ проводили при помощи лицензионной компьютерной программы Quantcor на ангиографическом аппарате «Infinix VC-i» (заводской номер E6B1392019) фирмы Toshiba, в соответствии с прилагаемыми к аппарату инструкциями. Измеряли диаметры АС составляющих АБ ВАСЧ (рис. 2). Полученные данные заносились в специальные таблицы (Microsoft Office Excel): номер протокола; возрастная группа (1 - второй период зрелого возраста, 2 - пожилой возраст); пол (1 - мужской, 2 - женский); венечная артерия (1 - левая, 2 - правая); D диаметр материнского (проксимального) АС (мм); $d_{\max}$ диаметр большего дочернего (дистального) АС (мм); $d_{\min}$ диаметр меньшего дочернего (дистального) АС (мм).

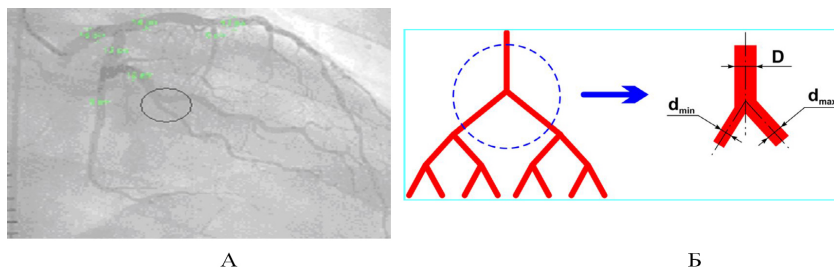


Рис. 2. А – рентгенограмма ВАСЧ, Б – схематичное представление ВАСЧ в виде взаимосвязанных АБ; на рентгенограмме (А) выделена АБ; D – диаметр материнского (проксимального) АС; $d_{\max}$ – диаметр большего дочернего (дистального) АС, $d_{\min}$ – диаметр меньшего дочернего (дистального) АС.

Fig. 2. А – X-ray image of the VASCH; Б – schematic representation of the VASCH as interconnected ABs: AB is highlighted in the X-ray image (A); D – diameter of the parent (proximal) AS; $d_{\max}$ – diameter of the larger daughter (distal) AS; $d_{\min}$ – diameter of the smaller daughter (distal) AS.

В последующем ВАСЧ рассматривали как конструкцию, состоящую из взаимосвязанных между собой АБ [17]. Для характеристики такой конструкции на основании данных морфометрии определяли величины следующих показателей: g , коэффициент асимметрии, $g=(d_{\min}/d_{\max})^2$; h , коэффициент ветвления, $h=(d_{\max}^2+d_{\min}^2)/D^2$ [3].

Статистический анализ данных включал: расчёт медианных значений, доверительных интервалов, минимальных и максимальных наблюдаемых

величин; наличие или отсутствие значимых связей между величинами исследуемых показателей полом, возрастной группой, левая или правая венечная артерия; наличие или отсутствие корреляционных связей между значениями исследуемых показателей. Для оценки характера распределения величин исследуемых показателей применялся критерий Колмогорова–Смирнова. В зависимости от характера распределения использовались либо параметрические, либо непараметрические методы анализа. Все расчёты выполнялись с применением статистического пакета R (версия 4.1).

Результаты исследования

Результаты представлены в табл. 1. Общее число измеренных АБ составило 380 шт., лиц 2-го периода зрелого возраста – 184 шт. и пожилого возраста – 196 шт.; мужчин - 289 шт. и женщин – 91 шт.; левой венечной артерии – 251 шт. и правой венечной артерии 129 шт. Проверка гипотезы на соответствие распределения величин изучаемых показателей нормальному закону распределения показала, что распределение значений D , $d_{\max}$, $d_{\min}$, h и g отличаются от нормального закона распределения.

Таблица 1.

Значения изучаемых показателей АБ ВАСЧ, по результатам морфометрии рентгенограмм

Table 1. Values of the studied indicators of AB VASCH, based on the results of X-ray morphometry

Пере- менная	Кол- во	Ме- диана	I квар- тиль	III квар- тиль	Мин.	Макс.	Лев. (95% ДИ)	Прав. (95% ДИ)
D	380	3,5	3,1	4,1	1,4	6,5	3,4	3,6
$d_{\max}$	380	3	2,5	3,6	0,8	5,5	2,9	3,1
$d_{\min}$	380	2	1,5	2,5	0,4	4,6	1,9	2,1
g	380	0,49	0,30	0,70	0,01	1	0,44	0,56
h	380	1,05	0,90	1,23	0,39	1,9	1,01	1,08

Примечание: D, диаметр материнского АС (мм); $d_{\max}$, диаметр большего дочернего АС (мм); $d_{\min}$, диаметр меньшего дочернего АС (мм); g, коэффициент асимметрии дочерних ветвей: $g=(d_{\min}/d_{\max})^2$; h, коэффициент ветвления: $h=(d_{\max}^2+d_{\min}^2)/D^2$.

Параметр D характеризует диаметры материнских артериальных сегментов (табл. 1). Максимальное его значение 6,5 мм, минимальное – 1,4 мм, медиана 3,5 мм. Выражено смещение распределения величин диаметров в сторону меньших значений. Параметр $d_{\max}$ характеризует диаметры дочерних АС, имеющих большую величину внутреннего диаметра. Максимальное его значение 5,5 мм, минимальное – 0,8 мм, медиана - 3,0 мм. Выражено смещение распределения величин диаметров в сторону

меньших значений. Параметр $d_{\min}$ характеризует диаметры дочерних АС имеющих меньшую величину внутреннего диаметра. Максимальное его значение 4,6 мм, минимальное – 0,4 мм, медиана - 2 мм. Выражено смещение распределения величин диаметров в сторону меньших значений. Анализируя величины параметров g и h , можно отметить, что их распределение смещается в сторону малых значений.

Далее была проведена проверка гипотезы о равенстве средних двух независимых выборок исследуемых показателей по данным морфометрии рентгенограмм ВАСЧ (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты проверки гипотезы о равенстве средних двух независимых выборок изучаемых показателей по данным морфометрии рентгенограмм ВАСЧ.

Table 2. Results of the test of the hypothesis that the means of two independent samples of the studied indicators, based on X-ray morphometry data of the VASCH, are equal.

Показатель	Значение исследуемого показателя АБ ВАСЧ Ме (95% ДИ)								
	Пол			Возраст			Венечная артерия		
	муж.	жен.	p	Зрелый	Пожилой	p	Левая	Правая	p
D (мм)	3,7 (3,6; 4)	3,4 (3,3; 3,6)	0,001	3,8 (3,7; 4)	3,2 (3,1; 3,3)	0,0001	3,8 (3,7; 4)	3,2 (3,1; 3,3)	0,0001
$d_{\max}$ (мм)	3,2 (3,1; 3,4)	2,9 (2,8; 3)	0,0001	3,2 (3,1; 3,4)	2,5 (2,4; 2,8)	0,001	3,2 (3,1; 3,4)	2,5 (2,4; 2,8)	0,0001
$d_{\min}$ (мм)	2,1 (2,1; 2,4)	2 (2; 2,1)	0,148	2,2 (2,1; 2,4)	1,6 (1,5; 1,8)	0,013	2,2 (2,1; 2,4)	1,6 (1,5; 1,8)	0,0001
g	0,49 (0,41; 0,58)	0,51 (0,47; 0,59)	0,497	0,50 (0,44; 0,58)	0,49 (0,37; 0,6)	0,818	0,54 (0,48; 0,6)	0,41 (0,36; 0,54)	0,034
h	1,07 (1,02; 1,11)	1,03 (1; 1,08)	0,429	1,09 (1,05; 1,14)	0,98 (0,94; 1,04)	0,801	1,09 (1,05; 1,14)	0,98 (0,94; 1,04)	0,0001

Примечание: D, диаметр материнского АС (мм); $d_{\max}$, диаметр большего дочернего АС (мм); $d_{\min}$, диаметр меньшего дочернего АС (мм); g , коэффициент асимметрии дочерних ветвей: $g=(d_{\min}/d_{\max})^2$; h , коэффициент ветвления: $h=(d_{\max}^2+d_{\min}^2)/D^2$; n, количество рентгенограмм; Ме, медиана; m, ошибка медианы; p, уровень значимости (Mann-Whitney U Test).

Установлено: величины (Ме (95% ДИ)) внутреннего диаметра D (D = 3,7 (3,6; 4) мм) и $d_{\max}$ ($d_{\max} = 3,2$ (3,1; 3,4) мм) АС составляющих АБ входящих в состав ВАСЧ лиц мужского пола значимо ($p \leq 0,001$, p – значимость отличий, здесь и далее по тексту) больше, чем у лиц женского пола: D = 3,4 (3,3; 3,6) мм и $d_{\max} = 2,9$ (2,8; 3) мм. Для значений других исследуемых показателей ($d_{\min}$, h , g) АБ ВАСЧ, принадлежащих лицам разного пола, значимых отличий обнаружено не было. Также обнаружено: величины (Ме

(95% ДИ)) D ($D = 3,8 (3,7; 4)$ мм), $d_{\max}$ ($d_{\max} = 3,2 (3,1; 3,4)$ мм) и $d_{\min}$ ($d_{\min} = 2,2 (2,1; 2,4)$ мм) АС составляющих АБ входящих в состав ВАСЧ лиц 2-го периода зрелого возраста значимо ($p \leq 0,013$) больше, чем у лиц пожилого возраста: $D = 3,2 (3,1; 3,3)$ мм, $d_{\max} = 2,5 (2,4; 2,8)$ мм и $d_{\min} = 1,6 (1,5; 1,8)$ мм. Для значений других исследуемых показателей (g и h) АБ ВАСЧ, принадлежащих лицам разных возрастных групп, значимых отличий обнаружено не было. Установлено наличие значимых ($p \leq 0,034$) отличий между величинами исследуемых показателей АС входящих в состав ВАСЧ левой и правой венечных артерий. Значения D , $d_{\max}$, $d_{\min}$, g и h заметно больше у АС составляющих левую венечную артерию сердца человека. Величина коэффициента асимметрии дочерних ветвей свидетельствует о том, что АБ входящие в состав левой венечной артерии сердца более «симметричны», чем в состав правой венечной артерии.

Обсуждение

Морфометрия ВАСЧ является важным направлением современной теоретической и практической кардиологии, т.к. она позволяет лучше понять патогенез ишемической болезни сердца. По данным автора работы [2] получено максимальное значение $D - 5$ мм, минимальное – $0,1$ мм. Наиболее часто встречающейся величиной диаметра является 1 мм, что отличается от среднего значения $0,05$ мм. Значения медианы $g=0,48$ и $h=1,05$. Имеется смещение распределения величин диаметров в сторону меньших значений. Приведенные в настоящей работе результаты морфометрии подтверждают ранее установленные закономерности и могут являться свидетельством правильности выбранной методики проведения исследования.

Одним из ключевых аспектов исследования АБ ВАСЧ является анализ половых и возрастных особенностей т.к. эти параметры оказывают значительное влияние на структуру и возможно функциональные характеристики венечных артерий, что может быть использовано для улучшения персонализированных подходов к диагностике и лечению ишемической болезни сердца [14; 20].

В работе [27] приведены результаты исследования 167 русел ВАСЧ: 109 мужчин $60,61 \pm 10,85$ лет и 58 женщин $64,28 \pm 10,19$ лет. Обнаружили, что средние диаметры венечных артерий (левой и правой) составили $2,87 \pm 0,37$ мм; $4,12 \pm 0,68$ мм – левой венечной; $2,26 \pm 0,41$ мм – левой нисходящей; $2,14 \pm 0,43$ мм – левой огибающей; $2,95 \pm 0,60$ мм – правой венечной артерии. Для мужчин эти значения составили $2,88 \pm 0,37$ мм – венечные артерии (левая и правая); $4,11 \pm 0,71$ мм - левой венечной; $2,30 \pm 0,42$ мм - левой

нисходящей; $2,13 \pm 0,44$ мм – левой огибающей; $2,96 \pm 0,60$ мм - правой венечной артерии. А для женщин эти значения составили $2,86 \pm 0,37$ мм – венечные артерии (левая и правая); $4,14 \pm 0,63$ мм - левой венечной; $2,19 \pm 0,39$ мм – левой нисходящей; $2,18 \pm 0,42$ мм – левой огибающей; $2,93 \pm 0,60$ мм - правой венечной артерии. Не было обнаружено значимых различий в среднем общем диаметре и средних диаметрах отдельных венечных артерий между мужчинами и женщинами.

В работе [9] приведены несколько иные данные. На основании морфометрии 83 ангиограмм (60 мужчин и 10 женщин) определено, что внутренний диаметр левой венечной артерии равен $4,5 \pm 0,5$ мм, передней нисходящей – $3,7 \pm 0,4$ мм, правой венечной артерии - от $3,9 \pm 0,6$ до $2,8 \pm 0,5$ мм, левой огибающей – от $3,4 \pm 0,5$ до $4,2 \pm 0,6$ мм. У женщин диаметр эпикардиальных артерий был меньше, чем у мужчин. Установлена связь между величиной начального диаметра и общей длиной артерии. Значение диаметра просвета не связано с возрастом или извилистости артерии, но значительно увеличивается среди мужчин с гипертрофией левого желудочка или дилатационной кардиомиопатией.

Пол является важным фактором, влияющим на морфометрию коронарных артерий. Исследования показывают, что мужчины имеют больший диаметр коронарных артерий по сравнению с женщинами. Например, средний диаметр левой передней нисходящей артерии составил $1,81 \pm 0,28$ мм для мужчин и $1,70 \pm 0,26$ мм для женщин ($p < 0,0001$) [23]. Аналогичные различия наблюдались и для других венечных артерий, таких как огибающая артерия и правая коронарная артерия. Эти данные согласуются с гипотезой о том, что величина площади поверхности тела связана с размерами сосудов: у мужчин площадь поверхности тела значимо ($p < 0,0001$) больше ($1,9 \pm 0,2$ м²) чем у женщин $1,7 \pm 0,3$ м². Однако, эти гендерные различия исчезают у пациентов старше 65 лет, что указывает на изменение характера поражений ВАСЧ с возрастом [26]. Приведенные данные согласуются с полученными нами результатами морфометрии ВАСЧ.

Авторами работы [21] были проанализированы результаты морфометрии 18 венечных артерий, включая левую переднюю нисходящую ($n = 19$) у 7 пациентов, левую огибающую ($n = 8$) у 3 пациентов и правую венечную артерию ($n = 23$) у 8 пациентов. Установлено, что в месте отхождения венечных артерий их внутренний диаметр составлял $3,08 \pm 0,43$ мм.

В работе [1] показано, что для правой венечной артерии в начальном и среднем отделе величины внутреннего диаметра варьируют от 5 до 4 мм; для задней межжелудочковой - от 3,2 до 1,8 мм; для левой венечной - от

5,1 до 3,8 мм; для передней межжелудочковой - от 4,2 до 2,5 мм; для огибающей - от 3,2 до 2,5 мм; для латеральной - от 2,3 до 2,6 мм. Статистически значимые различия присущи показателям большинства изученных сосудов в таких сериях исследования, как возраст, форма сердца, форма телосложения. Сравнительная характеристика внутреннего диаметра для каждой из исследованных артерий свидетельствует о том, что в сравниваемых группах отдельных серий существенных различий нет.

В фундаментальной работе Лежниной О.Ю. [5] выявлена выраженная возрастная изменчивость коронарного русла с преимущественным уменьшением значений общего просвета, доли суммарного продольного сечения и коэффициента расширения у пожилых людей по сравнению со вторым периодом зрелого возраста. Установлена вариабельность коронарного русла при различных вариантах ветвлений венечных артерий в норме, проявляющаяся в превышении общего просвета ветвей правой венечной артерии при правовенечном варианте в обоих возрастных периодах, левой венечной артерии – у людей второго периода зрелого возраста при левовенечном варианте, а в пожилом возрасте – на сердцах с равномерным вариантов ветвления.

Накопленный фактический материал нуждается в теоретическом осмыслении. В этом смысле, большинство научных работ посвященных объяснению морфометрических закономерностей АБ ВАСЧ основаны на фундаментальном принципе биологии, описанном в 1926 году (закон Муггау С.Д.) и связывающим морфологию и функцию АБ [17]. В его основе лежит принцип «минимальной работы», необходимой для обеспечения оптимальной циркуляции крови – минимальных затрат энергии необходимой для преодоления вязкого трения при движении через АБ и материала для ее построения. Исследователи считали, что данный закон справедлив для системы ВАСЧ (эпикардальных и трансмуральных), структурным элементом, которых является АБ. Считается, что основной задачей АБ является транспорт крови [8]. Однако, это утверждение, по всей видимости, верное для проксимальных сегментов ВАСЧ, контрастирует с перфузирующими сосудами дистального отдела, где быстрое увеличение площади поперечного сечения (т.е. показателя увеличения общего диаметра, суммы диаметров всех АС одного уровня (поколения)) способствует замедлению кровотока и эффективному субстратному обмену [13; 16].

Uyilings Н.В.М. в своей статье [24] приводит расчетные данные о том, что величина коэффициент ветвления у «оптимальных» («нормальных») АБ должна находиться в пределах $1,10 \leq \eta \leq 1,26$. Относительное количе-

ство АБ, удовлетворяющих данному критерию «оптимальности», составляет 19% от общего количества исследованных АБ ВАСЧ. Также было установлено, что относительное количество «оптимальных» АБ, в соответствии с критерием Uytings H.B.M., в составе ВАСЧ первой группы - лица мужского пола (20%), второго периода зрелого возраста (20%), русло левой венечной артерии (20%) больше, чем в составе второй группы - лица женского пола (18%), пожилого возраста (16%) и русло правой венечной артерии (16%). Формально получается, что АБ ВАСЧ входящие в состав 1-й группы более «оптимальны», чем АБ ВАСЧ, составляющие 2-ю группу, если следовать закону Murray C.D. Однако, трудно представить себе работу структуры на 76-80% состоящей из «неоптимальных» структурно-функциональных единиц. Это ставит под сомнение универсальность закона Murray C.D.

Действительно авторы работ [3, 4] приводят убедительные свидетельства, того, что АБ кроме проведения крови еще выполняют функции ее распределения и опоры т.е. составляют мягкий скелет органа. Следует также отметить, что в большинстве исследований в качестве морфометрической характеристики АБ рассматривают только соотношения внутренних диаметров АС ее составляющих и не учитывают длины АС. Однако, судить о гемодинамике внутри АБ и других ее вышеперечисленных функциях, не зная длин АС неправильно. Это, в определенной степени, объясняет приведенные в предыдущих исследованиях морфометрические данные.

Заключение

В ходе исследования путем ретроспективного анализа рентгенограмм ВАСЧ лиц разного пола, второго периода зрелого и пожилого возраста установлен ряд морфометрических закономерностей соотношений внутренних диаметров АС составляющих АБ. Представленные данные свидетельствуют о необходимости дальнейших морфометрических исследований ВАСЧ, ревизии закона Murray C.D. и разработки универсальной объединяющей теории строения и функционирования АБ.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данное исследование выполнено при поддержке «Ректорские гранты для молодых кандидатов наук и аспирантов» (грантополучатель: Сергиенко А.А., 2025 г.).

Список литературы

1. Горячева, И. А. (2012). *Вариантная анатомия венечных артерий и их основных ветвей у взрослого человека* [Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук]. Санкт-Петербург. 22 с. EDN: <https://elibrary.ru/QIJCIB>
2. Зенин, О. К. (2005). *Морфофункциональные принципы организации артериального русла большого круга кровообращения* [Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук]. Донецк. 468 с.
3. Зенин, О. К., Оверко, В. С., Дмитриев, А. В., & Милтых, И. С. (2021). Особенности гемодинамики в структурно-различных внутриорганных артериальных бифуркациях сердца человека, выявляемые с помощью численного моделирования. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(2), 11–31. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31>. EDN: <https://elibrary.ru/XXEIBW>
4. Кафаров, Э. С., Дмитриев, А. В., Зенин, О. К., Муйземнек, А. Ю., & Хвастунов, И. С. (2020). Влияние формы различных по структуре типов артериальных дихотомий почки на их биомеханические свойства. *Морфология*, 157(2–3), 96. EDN: <https://elibrary.ru/VVKGPZ>
5. Лежнина, О. Ю. (2020). *Ангиоархитектоника коронарного русла сердца людей второго периода зрелого и пожилого возраста* [Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук]. ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Волгоград. 339 с. EDN: <https://elibrary.ru/XYHWXH>
6. Эралиев, Т. К., Хелимский, Д. А., Бадоян, А. Г., & Крестьянинов, О. В. (2021). Бифуркационные поражения коронарного русла: современные техники эндоваскулярного лечения. *Патология кровообращения и кардиохирургия*, 25(2), 38–49. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2021-2-38-49>. EDN: <https://elibrary.ru/CBOUIL>
7. Arnett, D. K., et al. (2019). ACC/AHA guideline on the primary prevention of cardiovascular disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(10), e177–e232. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000677>
8. Dhungana, A., Buradi, A., Dahal, P., & Bora, B. J. (2023). Impact of bifurcation and bifurcation angle on the hemodynamics of coronary arteries. B S. Bhattacharyya, S. Verma, & A. R. Harikrishnan (Eds.), *Fluid mechanics and fluid power (Vol. 3). FMFP 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (с. 55–64). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6270-7_6
9. Dodge, J. T., Brown, B. G., Bolson, E. L., & Dodge, H. T. (1992). Lumen diameter of normal human coronary arteries: Influence of age, sex, anatomic variation,

- and left ventricular hypertrophy or dilation. *Circulation*, 86, 232–246. <https://doi.org/10.1161/01.cir.86.1.232>
10. Fuenzalida, J. J. V., et al. (2024). Anatomical variants of the origin of the coronary arteries: A systematic review and meta-analysis of prevalence. *Diagnostics*, 14, 1458. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131458>. EDN: <https://elibrary.ru/WPKJII>
 11. Gharleghi, R., et al. (2025). Assessing left main bifurcation anatomy and haemodynamics as a potential surrogate for disease risk in suspected coronary artery disease without stenosis. *Scientific Reports*, 15(1), 254. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73490-w>. EDN: <https://elibrary.ru/PCGTOL>
 12. Gitmez, M., & Mumcu, A. (2024). Quantitative analysis of right coronary artery morphology by digital subtraction angiography. *Medicine Science*, 13(1), 159–164. <https://doi.org/10.5455/medscience.2023.12.239>. EDN: <https://elibrary.ru/LYIBNP>
 13. Kassab, G. S. (2005). Functional hierarchy of coronary circulation: Direct evidence of a structure-function relation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 289(6), H2559–H2565. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00561.2005>
 14. Lima Dos Santos, C. C., et al. (2023). The influence of sex, age, and race on coronary artery disease: A narrative review. *Cureus*, 15(10), e47799. <https://doi.org/10.7759/cureus.47799>. EDN: <https://elibrary.ru/VFTNGL>
 15. Malik, T. F., & Tivakaran, V. S. (2022). *Percutaneous transluminal coronary angioplasty: An overview*. StatPearls Publishing. PMID: 30571038.
 16. Menon, K., et al. (2024). Personalized coronary and myocardial blood flow models incorporating CT perfusion imaging and synthetic vascular trees. *npj Imaging*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1038/s44303-024-00014-6>. EDN: <https://elibrary.ru/IJMNSW>
 17. Murray, C. D. (1926). The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. *The Journal of General Physiology*, 9(6), 835–841. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
 18. Namani, R., Lanir, Y., Lee, L. C., & Kassab, G. S. (2020). Overview of mathematical modeling of myocardial blood flow regulation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 318(4), H966–H975. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00563.2019>. EDN: <https://elibrary.ru/SWKCPB>
 19. Neumann, F. J., et al. (2019). ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*, 40(2), 87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>. EDN: <https://elibrary.ru/FJGHSH>
 20. Nouraei, H., et al. (2025). Variations of the extent of obstructive coronary artery disease among Canadian immigrants. *Journal of the American Heart Association*, 14(9), e037534. <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.037534>. EDN: <https://elibrary.ru/ZWYYPV>
 21. Sinha, A.-M., et al. (2006). Multidetector-row computed tomography vs. angiography and intravascular ultrasound for the evaluation of the diameter of proximal

- coronary arteries. *International Journal of Cardiology*, 110(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2005.07.011>
22. Taylor, D. J., et al. (2024). A systematic review and meta-analysis of Murray's Law in the coronary arterial circulation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 327(1), H182–H190. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00142.2024>. EDN: <https://elibrary.ru/IFGHNH>
23. Urbanowicz, T., et al. (2021). Gender differences in coronary artery diameters and survival results after off-pump coronary artery bypass (OPCAB) procedures. *Journal of Thoracic Disease*, 13(5), 2867–2873. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-3356>. EDN: <https://elibrary.ru/XJNUCC>
24. Uylings, H. B. M. (1977). Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures. *Bulletin of Mathematical Biology*, 39(5), 509–520. <https://doi.org/10.1007/BF02461198>
25. Vidhale, D., et al. (2024). Variation in the branching pattern of the coronary artery: A systematic review on anatomical branching variation. *Research in Cardiovascular Medicine*, 13(3), 67–74. https://doi.org/10.4103/rcm.rcm_30_22. EDN: <https://elibrary.ru/SAMRDZ>
26. Wong, J. J., Hong, R., Teo, L. L. Y., Tan, R. S., & Koh, A. S. (2024). Atherosclerotic cardiovascular disease in aging and the role of advanced cardiovascular imaging. *npj Cardiovascular Health*, 1, 11. <https://doi.org/10.1038/s44325-024-00012-y>. EDN: <https://elibrary.ru/KFOSJL>
27. Zhou, F.-F., et al. (2017). Coronary artery diameter is inversely associated with the severity of coronary lesions in patients undergoing coronary angiography. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 43, 1247–1257. <https://doi.org/10.1159/000481765>

References

1. Goryacheva, I. A. (2012). *Variant anatomy of the coronary arteries and their main branches in adults* [Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences]. Saint Petersburg. 22 p. EDN: <https://elibrary.ru/QIJCIB>
2. Zenin, O. K. (2005). *Morphofunctional principles of the organization of the arterial bed of the systemic circulation* [Dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences]. Donetsk. 468 p.
3. Zenin, O. K., Overko, V. S., Dmitriev, A. V., & Milykh, I. S. (2021). Features of hemodynamics in structurally different intraorgan arterial bifurcations of the human heart detected by numerical modeling. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(2), 11–31. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31>. EDN: <https://elibrary.ru/XXEIBW>
4. Kafarov, E. S., Dmitriev, A. V., Zenin, O. K., Muizemnek, A. Yu., & Khvastunov, I. S. (2020). The influence of the shape of structurally different types of arterial di-

- chotomies of the kidney on their biomechanical properties. *Morphology*, 157(2–3), 96. EDN: <https://elibrary.ru/VVKGPZ>
5. Lezhnina, O. Yu. (2020). *Angioarchitectonics of the coronary bed of the heart in people of the second period of adulthood and old age* [Dissertation for the degree of Doctor of Medical Sciences]. Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. Volgograd. 339 p. EDN: <https://elibrary.ru/XYHWXH>
 6. Eraliev, T. K., Khelimsky, D. A., Badoian, A. G., & Krestyaninov, O. V. (2021). Bifurcation lesions of the coronary bed: Modern techniques of endovascular treatment. *Pathology of Blood Circulation and Cardiac Surgery*, 25(2), 38–49. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2021-2-38-49>. EDN: <https://elibrary.ru/CBOUIL>
 7. Arnett, D. K., et al. (2019). ACC/AHA guideline on the primary prevention of cardiovascular disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(10), e177–e232. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000677>
 8. Dhungana, A., Buradi, A., Dahal, P., & Bora, B. J. (2023). Impact of bifurcation and bifurcation angle on the hemodynamics of coronary arteries. In S. Bhattacharyya, S. Verma, & A. R. Harikrishnan (Eds.), *Fluid mechanics and fluid power (Vol. 3). FMFP 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 55–64). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6270-7_6
 9. Dodge, J. T., Brown, B. G., Bolson, E. L., & Dodge, H. T. (1992). Lumen diameter of normal human coronary arteries: Influence of age, sex, anatomic variation, and left ventricular hypertrophy or dilation. *Circulation*, 86, 232–246. <https://doi.org/10.1161/01.cir.86.1.232>
 10. Fuenzalida, J. J. V., et al. (2024). Anatomical variants of the origin of the coronary arteries: A systematic review and meta-analysis of prevalence. *Diagnostics*, 14, 1458. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131458>. EDN: <https://elibrary.ru/WPKJII>
 11. Gharlegghi, R., et al. (2025). Assessing left main bifurcation anatomy and haemodynamics as a potential surrogate for disease risk in suspected coronary artery disease without stenosis. *Scientific Reports*, 15(1), 254. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73490-w>. EDN: <https://elibrary.ru/PCGTOL>
 12. Gitmez, M., & Mumcu, A. (2024). Quantitative analysis of right coronary artery morphology by digital subtraction angiography. *Medicine Science*, 13(1), 159–164. <https://doi.org/10.5455/medscience.2023.12.239>. EDN: <https://elibrary.ru/LYIBNP>
 13. Kassab, G. S. (2005). Functional hierarchy of coronary circulation: Direct evidence of a structure-function relation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 289(6), H2559–H2565. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00561.2005>

14. Lima Dos Santos, C. C., et al. (2023). The influence of sex, age, and race on coronary artery disease: A narrative review. *Cureus*, 15(10), e47799. <https://doi.org/10.7759/cureus.47799>. EDN: <https://elibrary.ru/VFTNGL>
15. Malik, T. F., & Tivakaran, V. S. (2022). *Percutaneous transluminal coronary angioplasty: An overview*. StatPearls Publishing. PMID: 30571038.
16. Menon, K., et al. (2024). Personalized coronary and myocardial blood flow models incorporating CT perfusion imaging and synthetic vascular trees. *npj Imaging*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1038/s44303-024-00014-6>. EDN: <https://elibrary.ru/IJMNSW>
17. Murray, C. D. (1926). The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. *The Journal of General Physiology*, 9(6), 835–841. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
18. Namani, R., Lanir, Y., Lee, L. C., & Kassab, G. S. (2020). Overview of mathematical modeling of myocardial blood flow regulation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 318(4), H966–H975. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00563.2019>. EDN: <https://elibrary.ru/SWKCPB>
19. Neumann, F. J., et al. (2019). ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *European Heart Journal*, 40(2), 87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>. EDN: <https://elibrary.ru/FJGHSH>
20. Nouraei, H., et al. (2025). Variations of the extent of obstructive coronary artery disease among Canadian immigrants. *Journal of the American Heart Association*, 14(9), e037534. <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.037534>. EDN: <https://elibrary.ru/ZWYYPV>
21. Sinha, A.-M., et al. (2006). Multidetector-row computed tomography vs. angiography and intravascular ultrasound for the evaluation of the diameter of proximal coronary arteries. *International Journal of Cardiology*, 110(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2005.07.011>
22. Taylor, D. J., et al. (2024). A systematic review and meta-analysis of Murray's Law in the coronary arterial circulation. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 327(1), H182–H190. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00142.2024>. EDN: <https://elibrary.ru/IFGHNH>
23. Urbanowicz, T., et al. (2021). Gender differences in coronary artery diameters and survival results after off-pump coronary artery bypass (OPCAB) procedures. *Journal of Thoracic Disease*, 13(5), 2867–2873. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-3356>. EDN: <https://elibrary.ru/XJNUCC>
24. Uyilings, H. B. M. (1977). Optimization of diameters and bifurcation angles in lung and vascular tree structures. *Bulletin of Mathematical Biology*, 39(5), 509–520. <https://doi.org/10.1007/BF02461198>
25. Vidhale, D., et al. (2024). Variation in the branching pattern of the coronary artery: A systematic review on anatomical branching variation. *Research in Cardiovascu-*

- lar Medicine*, 13(3), 67–74. https://doi.org/10.4103/rcm.rcm_30_22. EDN: <https://elibrary.ru/SAMRDZ>
26. Wong, J. J., Hong, R., Teo, L. L. Y., Tan, R. S., & Koh, A. S. (2024). Atherosclerotic cardiovascular disease in aging and the role of advanced cardiovascular imaging. *npj Cardiovascular Health*, 1, 11. <https://doi.org/10.1038/s44325-024-00012-y>. EDN: <https://elibrary.ru/KFOSJL>
27. Zhou, F.-F., et al. (2017). Coronary artery diameter is inversely associated with the severity of coronary lesions in patients undergoing coronary angiography. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 43, 1247–1257. <https://doi.org/10.1159/000481765>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дмитриев Андрей Викторович, д-р мед. наук, заведующий отделением рентгенэндоваскулярной хирургии

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В.К. Гусака»

Российская Федерация

пр. Ленинский, 47, г. Донецк, ДНР, 283045, Российская Федерация

info@iursdn.ru

Сергиенко Анна Альбертовна, аспирант кафедры «Анатомия человека»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация

anya.gurieva00@mail.ru

Милтых Илья Сергеевич, магистрант

Университет Палермо (Università degli Studi di Palermo)

Палермо, Италия

contact@miltykh.com

Зенин Олег Константинович, д-р мед. наук, профессор кафедры «Анатомия человека»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация

zen.oleg@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Dmitriev, Dr. Sc. (Medicine), Head of the Department of Endovascular Surgery

V.K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery

47, Leninskiy pr., Donetsk, 283045, Russian Federation

info@iursdn.ru

SPIN-code: 2999-1326

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0753-7586>

Scopus Author ID: 57299237600

Anna A. Sergienko, Postgraduate

Penza State University

40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation

anya.gurieva00@mail.ru

SPIN-code: 9391-0899

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1380-8767>

Ilia S. Miltykh, Graduate student

University of Palermo

Palermo, Italy

contact@miltykh.com

SPIN-code: 9363-6873

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9130-3255>

ResearcherID: AFO-0934-2022

Scopus Author ID: 57299786900

Oleg K. Zenin, Dr. Sc. (Medicine), Professor of Human anatomy

Penza State University

40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation

SPIN-code: 3159-1346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5447-1989>

ResearcherID: O-7965-2015

Scopus Author ID: 57198085128

Поступила 06.06.2025

После рецензирования 01.09.2025

Принята 07.09.2025

Received 06.06.2025

Revised 01.09.2025

Accepted 07.09.2025