

КОРРЕЛЯЦИИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУР КОРНЯ АОРТЫ, ИМЕЮЩИЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

¹Одинокова С.Н., ^{1,2}Николенко В.Н., ¹Комаров Р.Н., ¹Винокуров И.А., ¹Мнацакян Г.В., ¹Белхароева Р.Х.

¹Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, ²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: saniya_odinokova@mail.ru

THE CORRELATIONS OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF STRUCTURES OF THE AORTIC ROOT HAVING PRACTICAL SIGNIFICANCE IN THE SURGICAL CORRECTION OF THE AORTIC VALVE

¹Odinokova SN, ^{1,2}Nikolenko VN, ¹Komarov RN, ¹Vinokurov IA, ¹Mnatsakanyan GV, ¹Belkharoeva RKh

¹Sechenov First Moscow State Medical University, ²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, e-mail: saniya_odinokova@mail.ru

Для цитирования:

Одинокова С.Н., Николенко В.Н., Комаров Р.Н., Винокуров И.А., Мнацакян Г.В., Белхароева Р.Х. Корреляции морфометрических параметров структур корня аорты, имеющие практическое значение в хирургической коррекции аортального клапана. *Морфологические ведомости*. 2020;28(1):30-36. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28\(1\):30-36](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28(1):30-36)

For the citation:

Odinokova SN, Nikolenko VN, Komarov RN, Vinokurov IA, Mnatsakanyan GV, Belkharoeva RKh. The correlations of morphometric parameters of structures of the aortic root having practical significance in the surgical correction of the aortic valve. *Morphologicheskies Vedomosti – Morphological Newsletter*. 2020;28(1):30-36. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28\(1\):30-36](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28(1):30-36)

Резюме. Успешная реконструкция клапана аорты требует предварительного создания проектного образа его анатомии, заключающего в себе комплекс параметров створок конкретного клапана. Погрешности в работе на этапе дизайна компонентов клапана чреваты впоследствии его дисфункцией. В настоящем были оценены оптимальные размеры корня аорты и створок клапана аорты, определены наличие и значения корреляционных связей между ними. Выявлены статистически значимые анатомо-функциональные корреляции морфометрических характеристик структур корня аорты для достижения оптимального уровня их соответствия в аутологических трансплантатах при хирургической коррекции клапана аорты. Основные морфометрические параметры корня аорты были проанализированы на примере 54 образцов, полученных посмертно, от пациентов, летальный исход у которых наступил от причин, не связанных с заболеваниями сердца. Препараты с патологией клапана аорты исключались из исследования. Оценивались следующие параметры: длина окружности желудочково-аортального соединения; длина окружности синусов Вальсальвы; длина окружности синотубулярного соединения. В отдельности для каждой из трех створок нативного клапана аорты оценивались: длина свободного края створки (L1); протяженность участка соединения створки и фиброзного кольца клапана аорты (L2); высота створки (A); межкоммиссуральное расстояние (IC). Был проведен поиск корреляционной связи между размерами створок и параметрами длины окружности корня аорты на уровне желудочково-аортального соединения, синусов Вальсальвы и синотубулярного соединения. Достоверное наличие взаимосвязей выявлено между всеми параметрами створок клапана аорты и длиной окружности аорты на уровнях желудочково-аортального соединения, синусов Вальсальвы и синотубулярного соединения ($r > 0,6$ для IC, L1, L2 и $r > 0,5$ для A, при $p < 0,01$). Данные, полученные путём корреляционного анализа, дают возможность стандартизировать дизайн аутоотрансплантата клапана аорты и тем самым обеспечивать наилучшее сопоставление створок и, как следствие, функцию клапана аорты.

Ключевые слова: аортальный клапан, морфометрия, корень аорты, сердце, реконструктивная хирургия

Summary. Successful reconstruction of the aortic valve requires the preliminary creation of the anatomical design of its image, which includes a set of parameters of the valves of a particular valve. Errors in operation at the stage of design of valve components are fraught with subsequent dysfunction. In the present, the optimal sizes of the aortic root and the valves of the aortic valve were evaluated and the presence and values of correlations between them were determined. Statistically significant anatomical and functional correlations of morphometric characteristics of aortic root structures were revealed to achieve the optimal level of their correspondence in autologous grafts during surgical correction of the aortic valve. The main morphometric parameters of the aortic root were analyzed on the example of 54 samples obtained post mortem from patients whose death occurred from causes not associated with heart disease. The cases with aortic valve disease were excluded from the study. The following parameters were evaluated: circumference of the ventriculo-arterial junction; circumference of the sinuses of Valsalva; circumference of the sinotubular junction. Separately, for each of the three cusps of the native aortic valve, were evaluated: the length of the free edge of the cusp (L1); the length of the junction of the leaflet and the fibrous ring of the aortic valve (L2); leaflet height (A); intercommissural distance (IC). A search was made for the correlation between the size of the valves and the parameters of the circumference of the aortic root at the level

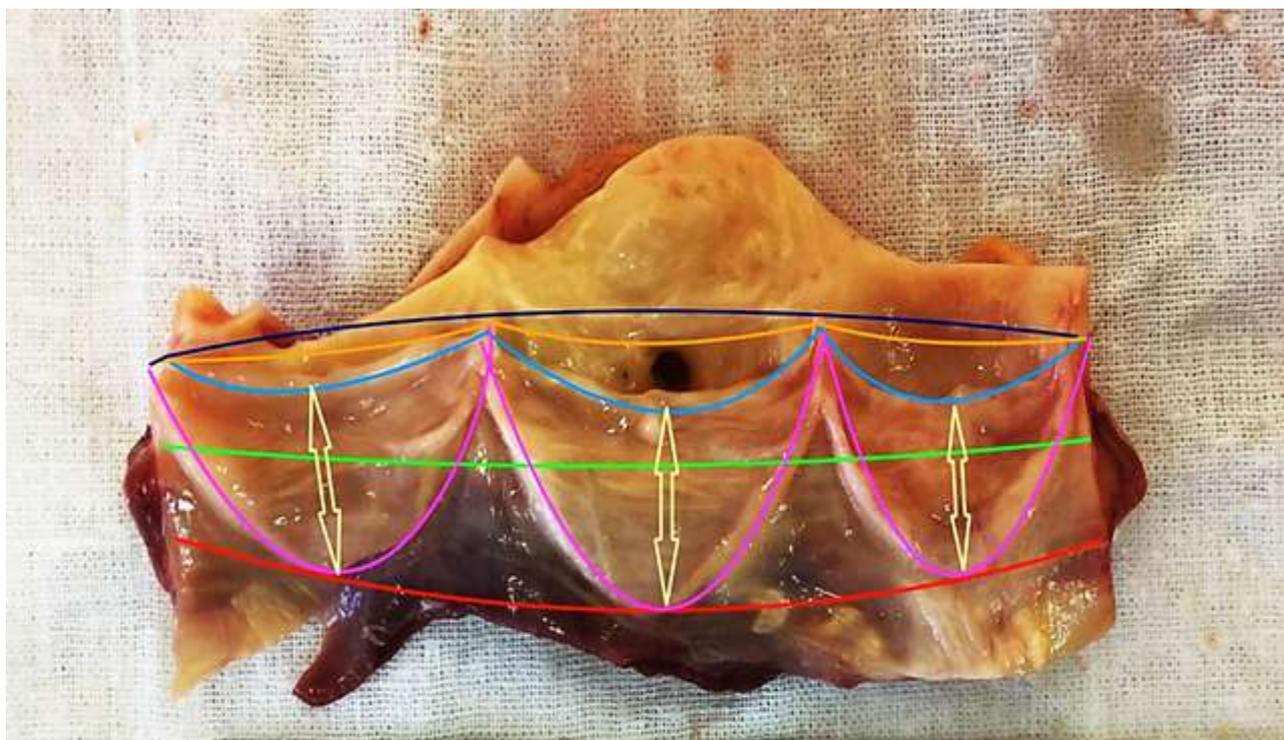
of the ventriculo-arterial junction, of the sinuses of Valsalva and of sinutubular junction. A significant presence of a correlations was found between all parameters of the aortic valve cusps and the length of the aortic circumference at the level of the ventriculo-arterial junction, of the sinuses of Valsalva and sinutubular junction ($r > 0.6$ for IC, L1, L2 and $r > 0.5$ for A at $p < 0,01$). The data obtained by correlation analysis make it possible to standardize the design of the autograft of the aortic valve, thereby ensuring the best coaptation of the valves and, as a result, the function of the aortic valve.

Key words: *aortic valve, morphometry, aortic root, heart, reconstructive surgery*

Введение. Болезни сердечно-сосудистой системы занимают лидирующее положение в структуре заболеваемости и смертности во всем мире. По распространенности кальцинированный аортальный стеноз занимает третье место после гипертонии и ишемической болезни сердца. С клинической точки зрения, течение пороков клапана аорты отличается относительно длительным бессимптомным периодом. Прогрессирование заболевания проявляется обмороками, стенокардией и признаками сердечной недостаточности [1]. Каждый второй человек с тяжелым аортальным стенозом умирает в течение 2-х лет после начала заболевания [2]. Основным методом лечения данной патологии является хирургическая коррекция порока, позволяющая восстановить нормальные гемодинамические параметры в организме человека. Хирургия клапана аорты начала развиваться еще в 1910 году в эпоху до появления искусственного кровообращения, с момента выполнения закрытой комиссуротомии пациенту с декомпенсированным пороком [3]. За прошедший век методы лечения патологии совершенствовались и модифицировались: появились искусственные клапаны, начали использоваться в практике гомотрансплантаты и аутоотрансплантаты, адаптировались к применению рентгено-эндоваскулярные методы замены клапана. Длительное время золотым стандартом являлось протезирование клапана аорты, а при наличии аневризмы корня аорты – выполнение операции Бенталла и де Боно (H. Bentall and A. De Bono, 1968). Однако снижение качества жизни, связанное с необходимостью приема антикоагулянтов, и ассоциированные с этим осложнения требуют продолжения поиска альтернативных методов лечения этой патологии [4-6]. Современной тенденцией в лечении больных кардиохирургического профиля является выполнение реконструктивных операций с целью воссоздания нативной анатомии сердечных структур. В связи с этим необходимо понимание детализированных размеров корня аорты, величины створок, а также их соотношений между собой.

Цель исследования - проанализировать морфометрические характеристики анатомически нормальных препаратов сердец, оценить наличие или отсутствие и силу корреляционных связей между различными параметрами корня аорты.

Материалы и методы исследования. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова (Москва, Россия). Основные морфометрические данные корня аорты были проанализированы на 54 анатомических препаратах сердца, полученных из трупов людей, летальный исход которых наступил от причин, не связанных с заболеванием сердца (56% мужчин и 44% женщин). Препараты с патологией корня аорты исключались из исследования. Средний возраст случаев составил $72 \pm 14,5$ ($M \pm \sigma$) лет. На препаратах корня аорты, извлеченного из грудной клетки сердца и рассеченного по линии комиссуры между правой и левой створками клапана аорты, измерялись следующие характеристики: длина окружности желудочко-аортального соединения - C-va; длина окружности синотубулярного соединения - C-sts; длина окружности аорты на уровне синусов Вальсальвы - C-sv на середине расстояния между C-va и C-sts (рис. 1). Отдельно для каждой из 3-х створок нативного клапана аорты оценивались длина свободного края створки (L1), длина участка соединения створки и фиброзного кольца клапана аорты (L2), высота створки (A). Полученные при измерении параметры корня аорты протестированы на нормальность распределения. С учетом достаточно большого объема выборки и того факта, что распределение было близко к нормальному виду, для оценки наличия связи между показателями был использован параметрический коэффициент корреляции Пирсона и корреляционно-регрессионный анализ. Статистическая значимость результатов оценивали на уровне $p < 0,01$.



- Длина окружности сино-тубулярного соединения
- Длина окружности на уровне синусов Вальсальвы
- Длина окружности вентрикуло-аортального соединения
- Межкомиссуральное расстояние
- Длина свободного края створки
- Длина прикрепления створки к фиброзному кольцу
- Высота створки

Рис. 1. Препарат корня аорты. Измеряемые параметры.

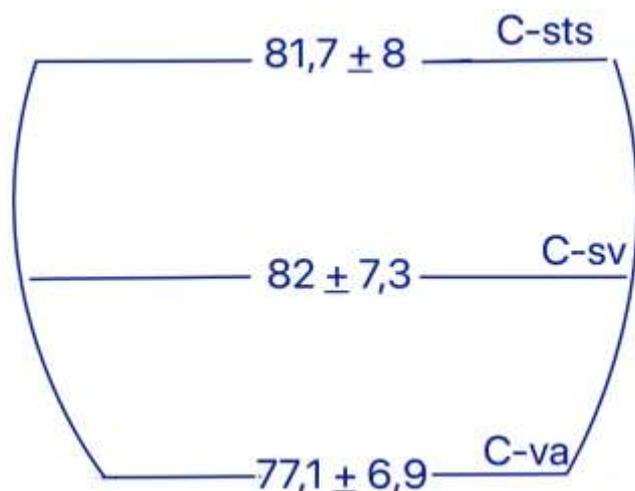


Рис. 2. Средние размеры (M±σ) длины окружности аорты на трех уровнях: C-va – на уровне желудочково-аортального соединения; C-sv – на уровне синусов Вальсальвы; C-sts – на уровне синотубулярного соединения.

желудочково-аортального соединения – 77,1±6,9 мм. Длина окружности на уровне синотубулярного соединения составила 81,7±8 мм, а на уровне синусов Вальсальвы 82±7,3 мм.

Результаты и обсуждение.

Полученные размеры створок были протестированы с помощью «ONE-WAY ANOVA» на наличие межгруппового неравенства, по данным которого не было выявлено статистически значимых различий между не-коронарной, правой и левой коронарными створками (p>0,05). Учитывая данный факт, следующие этапы выполнялись с использованием средних арифметических значений размеров трех створок.

Средние размеры корня аорты на разных уровнях представлены на рис. 2. Наименьшем значением представлена длина окружности

Статистически значимая, но меньшая по величине корреляционная связь выявлена между высотой створок и длиной окружности корня аорты на трех, указанных выше уровнях ($r > 0,5$, $p < 0,01$; см. таблицу 1).

Таблица 1

Коэффициент корреляции Пирсона между размерами створок и параметрами корня аорты

Уровень измерения корня аорты	Коэффициент корреляции Пирсона							
	IC	p<	L1	p<	L2	p<	A	p<
C-va	,697**	0,000	,671**	0,000	,726**	0,000	,556**	0,000
C-sv	,731**	0,000	,625**	0,000	,716**	0,000	,580**	0,000
C-sts	,793**	0,000	,673**	0,000	,720**	0,000	,591**	0,000

Примечание: ** - двусторонняя корреляция значима на уровне 0,01

При выполнении протезирования клапана аорты по ходу операции для подбора искусственного клапана подходящего размера выполняется измерение диаметра желудочково-аортального соединения. Для определения длины свободного края и высоты новой створки при формировании трехстворчатого симметричного клапана также необходимо знать величину данного показателя. Известно, что длину окружности можно вычислить по известному диаметру по формуле: $C = \pi d$, в которой C – длина окружности желудочково-аортального соединения; d – диаметр окружности на уровне желудочково-аортального соединения. Как видно из результатов регрессионного анализа, представленного на рисунке 3, среднестатистическая L1 составляет 0,45 от известного значения C-va, а значение A связано формулой: $0,14 * C-va + 9$.

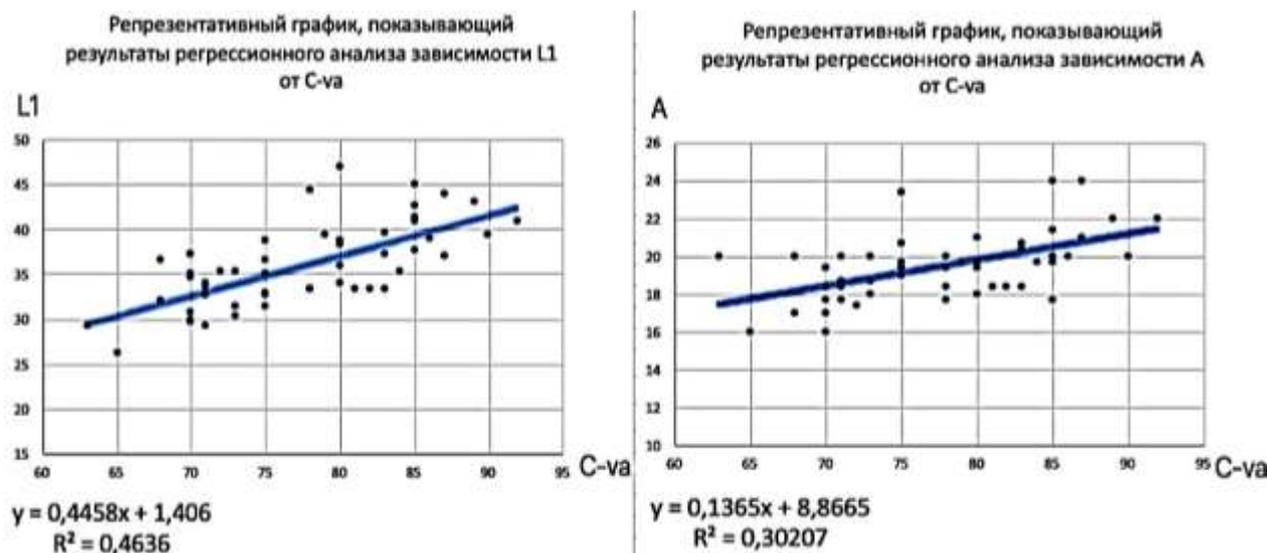


Рис. 3. Диаграммы графиков и уравнения линий регрессии между размерами створок клапана аорты и длиной окружности желудочково-аортального соединения.

Полученные зависимости можно применять при наличии изолированной патологии створок и заменять только пораженную, а также при необходимости выполнения полной

замены створок клапана аорты. Например, при наличии диаметра корня аорты в 23 мм, длина свободного края новой створки составит 32,5 мм, а высота 19 мм.

Корень аорты представляет собой сложную структуру, состоящую из следующих компонентов: кольца аортального клапана, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения [7]. Внутренние структуры включают створки, межстворчатые треугольники и комиссуры [8]. Каждая часть играет важную роль в поддержании нормальной функции корня аорты и эффективного сопоставления или коаптации створок. При наличии патологических изменений в одной структуре, прямо или косвенно происходит повреждение других структур.

Рабочая гипотеза настоящего исследования заключалась в том, что структурная, морфологическая и функциональная взаимозависимость компонентов клапана аорты может быть отражена в соотношениях между ключевыми размерами корня аорты, и что эти размерные отношения могут быть применимы при выполнении реконструктивных операций. Первым этапом нами была изучена взаимосвязь параметров клапана и створок на препаратах неизмененной патологией сердца. Значимые корреляции наблюдались между ключевыми параметрами створки - межкомиссуральным расстоянием (IC), длиной свободного края L1, длиной прикрепления L2, высотой створки A и длиной окружности корня аорты на трех уровнях: желудочково-аортального соединения, синусов Вальсальвы и синотубулярного соединения. При выполнении коррекции аортального порока по ходу операции выполняется измерение диаметра фиброзного кольца клапана аорты, фактически это измерение диаметра корня аорты на уровне желудочково-аортального соединения. Далее в процессе изготовления новой створки клапана аорты из различных материалов, таких как обработанный глутаровым альдегидом аутоперикард или ксеноперикард, при использовании полученных в настоящем исследовании результатов, можно получить новый клапан, по своей морфологии максимально приближающийся к нативному. Выявленные в исследовании взаимосвязи могут быть использованы в клинической практике для повышения эффективности методов реконструкции створок, которая является одним из ключевых компонентов вальвулопластики клапана аорты.

Связь между диаметром корня аорты и размерами створок клапана аорты определил также Kunzelman et al. (1994) в исследовании десяти криоконсервированных образцов человеческого корня аорты и клапана, не измененных патологией [9]. Однако его действия были направлены на поиск оптимального диаметра сосудистого протеза, выбираемого на основании размеров створок, при выполнении операции Дэвида. Subramanian et al. (2016) в своей статье оценивает взаимоотношения между структурами корня аорты на препаратах детских сердец [10]. Полученные ими данные сводятся к сильной корреляционной связи между межкомиссуральным расстоянием и другими размерами для каждой створки в отдельности. Одним из важных недостатков этого исследования является использование препаратов, фиксированных в формалине. Как известно, это может привести к артефактам, таким как сжатие и асимметрия створок, что, в свою очередь, искажает истинные размеры клапана аорты, влияя на величину значений установленных взаимосвязей. В настоящем исследовании были использованы препараты сердца, полученные непосредственно после посмертной аутопсии с сохранностью состояния их естественного напряжения, что позволило корректно оценить анатомические размеры нормальных створок.

Ограничением настоящего исследования является попытка спроектировать трехмерную параболическую створку из двумерного листа ткани. В настоящее время многими специалистами проводятся работы по измерениям аортального клапана в режиме реального времени в систолу и диастолу с использованием 3D-эхокардиографии, и, есть вероятность, что они могут повысить или, наоборот, понизить точность полученных линейных соотношений. Еще одно ограничение заключается в том, что отношения, определенные в клапане в нормальном сердце, могут не выполняться в аномальных клапанах или клапанах, которые были реконструированы ранее и подверглись определенным изменениям. Несмотря на что настоящее исследование описывает анатомический подход для хирургов, функциональный анализ клапанов,

реконструированных с использованием его результатов, может подтвердить возможность использования в аортальной вальвулопластике для широкого спектра патологии клапана аорты. Средний возраст случаев в настоящем исследовании составил 72+14,5 (M±σ) лет. Как известно, с возрастом происходит изменения формы корня аорты, расширение синотубулярного соединения, уплотнение створок клапана аорты, которые иногда сложно отдифференцировать от явлений индивидуальной анатомической изменчивости [11]. Тем не менее, пациентам в период госпитализации незадолго до смерти выполнялась эхокардиография, по данным которой все аортальные корни были расценены как анатомически не измененные.

Заключение. Органосохраняющая и реконструктивная хирургия клапана аорты должна быть основана на детализированных знаниях анатомии и физиологии корня аорты. Установление взаимоотношений между его элементами имеют чрезвычайно важное значение во время процедур по восстановлению и(или) его сохранению. Данные, полученные в настоящем исследовании путем корреляционного анализа, предоставляют возможность стандартизировать морфометрический дизайн аллотрансплантата клапана аорты, тем самым обеспечивая наилучшую коаптацию створок и, как следствие, его функцию.

Авторы сообщают об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования.

Литература References

1. Iung B, Cachier A, Baron G et al. Decision-making in elderly patients with severe aortic stenosis: why are so many denied surgery? *Eur Heart J*. 2005;26(24):2714-2720. DOI:10.1093/eurheartj/ehi471.
2. Kvidal P. Long-term follow-up of morbidity and mortality after aortic valve replacement with a mechanical valve prosthesis. *Eur Heart J*. 2000;21(13):1099-1111. DOI:10.1053/euhj.2000.1862.
3. Komarov R., Katkov A., Puzenko D., Odinkova S., Nikolenko V. Aortic root and aortic valve surgery: History and modernity. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya*. 2019;23(4):9. DOI:10.21688/1681-3472-2019-4-9-25.
4. Ozaki S, Kawase I, Yamashita H et al. Aortic Valve Reconstruction Using Autologous Pericardium for Aortic Stenosis. *Circulation Journal*. 2015;79(7):1504-1510. DOI:10.1253/circj.cj-14-1092.
5. Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1968;23(4):338-339. DOI:10.1136/thx.23.4.338.
6. Komarov R., Katkov A., Odinkova S. Current anatomical ideas about the aortic root structure from surgical point of view. *Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya*. 2019;12(5):433. DOI:10.17116/kardio201912051433.
7. Zhu D, Zhao Q. Dynamic Normal Aortic Root Diameters: Implications for Aortic Root Reconstruction. *Ann Thorac Surg*. 2011;91(2):485-489. DOI:10.1016/j.athoracsur.2010.10.058.
8. Anderson R. ANATOMY: Clinical anatomy of the aortic root. *Heart*. 2000;84(6):670-673. DOI:10.1136/heart.84.6.670.
9. Kunzelman K, Grande K, David T, Cochran R, Verrier E. Aortic root and valve relationships: Impact on surgical repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1994;107(1):162-170. DOI:10.1016/s0022-5223(94)70465-1.
10. Subramanian S, Tikhomirov V, Bharati S, ElZein C, Roberson D, Ilbawi M. Relationship of Normal Aortic Valve Cusp Dimensions: A Tool to Optimize Cusp Reconstruction Valvuloplasty. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2016;28(2):521-527. DOI:10.1053/j.semtcvs.2015.08.005.
11. Silver M, Roberts W. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight. *Am J Cardiol*. 1985;55(4):454-461. DOI:10.1016/0002-9149(85)90393-5.

Авторская справка

Одинокова Сания Наилевна, аспирант кафедры госпитальной хирургии, ассистент кафедры анатомии человека, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; e-mail: saniya_odinokova@mail.ru

Николенко Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии человека, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова; заведующий кафедрой нормальной и топографической анатомии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: vn.nikolenko@yandex.ru

Комаров Роман Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; e-mail: komarovroman@rambler.ru

Винокуров Иван Андреевич, доктор медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; e-mail: docvin.med@gmail.com

Мнацаканян Геворг Вачикович, аспирант кафедры госпитальной хирургии, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; e-mail: cordestro@yandex.com

Белхароева Роза Хамзатовна, ассистент кафедры анатомии человека, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия; e-mail: molotovna93@mail.ru