



УДК 611.126

DOI 10.17802/2306-1278-2025-14-1-91-102

ХИРУРГИЧЕСКАЯ АНАТОМИЯ КОРНЯ АОРТЫ В АСПЕКТЕ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

В.К. Ногинов^{1,2}, Р.Н. Комаров³, Г.О. Багатурия¹, А.Н. Дзюндзя³, М. Ленковец³

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Литовская, 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194100; ² Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница», пр. Луначарского, 45, к. 2, литер А, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194291; ³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119991

Основные положения

- Представлены анатомо-топографические особенности корня аорты, знание которых необходимо для его успешной реконструкции.

Резюме

Цель настоящего литературного обзора включала изучение и определение анатомических особенностей строения, структур и топографии корня аорты в перспективе реконструктивного хирургического подхода в лечении проксимального отдела грудной аорты. Проанализированы анатомия и топография корня аорты у неоперированных пациентов, у лиц без признаков дилатации с использованием лучевых, функциональных методов диагностики, а также исследования, проведенные на препаратах сердца, полученных от пациентов, умерших от внесердечных причин. Рассмотрены хирургические особенности выполнения реконструктивных вмешательств на корне аорты с учетом его анатомии. Область корня аорты анатомически изменчива, зависит от антропометрических данных, расовой принадлежности, пола и др. Для успешного выполнения реконструкции корня аорты необходимо достичь определенных индексированных значений между его структурами. Абсолютные знания и понимание хирургической анатомии корня аорты необходимы для успешного выполнения его реконструкции.

Ключевые слова

Корень аорты • Хирургическая анатомия • Клапаносохраняющая замена корня аорты • Аортальный клапан

Поступила в редакцию: 13.09.2024; поступила после доработки: 19.10.2024; принята к печати: 05.11.2024

SURGICAL ANATOMY OF THE AORTIC ROOT IN THE ASPECT OF ITS RECONSTRUCTION

V.K. Noginov^{1,2}, R.N. Komarov³, G.O. Bagaturiya¹, A.N. Dzyundzya³, M. Lenkovecz³

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Pediatric Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2, Litovskaya St., St. Petersburg, Russian Federation, 194100; ² State Budgetary Healthcare Institution Leningrad Regional Clinical Hospital, 45 k. 2A, Lunacharsky Ave., St. Petersburg, Russian Federation, 194291; ³ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "I.M. Sechenov First Moscow State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 8-2, Trubetskaya St., Moscow, Russian Federation, 119991

Highlights

- The presented literature review contains anatomical and topographic features of the aortic root, knowledge of which is necessary for its successful reconstruction.

Для корреспонденции: Владимир Константинович Ногинов, mrnoginov@mail.ru; адрес: ул. Литовская, 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 194100

Corresponding author: Vladimir K. Noginov, mrnoginov@mail.ru; address: 2, Litovskaya St., St. Petersburg, Russian Federation, 194100

Abstract

The purpose of this literature review is to study and determine the anatomical features of the structures and topography of the aortic root in the perspective of a reconstructive surgical approach in the treatment of the proximal thoracic aorta. A review was conducted on the anatomy and topography of the aortic root in non-operated patients, without signs of its dilation using radiation, functional diagnostic methods, as well as on heart preparations obtained from patients who died from non-cardiac causes. The surgical features of performing reconstructive interventions on the aortic root, taking into account the peculiarities of its anatomy, are also considered. The area of the aortic root is anatomically variable, depending on anthropometric data, race, gender, etc. To successfully perform the reconstruction of the aortic root, it is necessary to achieve certain indexed values between its structures. Absolute knowledge and understanding of the surgical anatomy of the aortic root are necessary for the successful implementation of its reconstruction.

Keywords

Aortic root • Surgical anatomy • Valve-sparing aortic root replacement • Aortic valve

Received: 13.09.2024; received in revised form: 19.10.2024; accepted: 05.11.2024

Список сокращений

АК – аортальный клапан	ЛКС – левая коронарная створка
БАК – бикуспидальный аортальный клапан	НКС – некоронарная створка
БК – базальное кольцо	ПКС – правая коронарная створка
ВАС – вентрикуло-аортальное соединение	СВ – синус Вальсальвы
КА – корень аорты	СТС – синотубулярное соединение

Введение

Корень аорты (КА) – анатомическая область грудной аорты, распространяющаяся от вентрикуло-аортального (ВАС) до синотубулярного соединения (СТС), включающая в себя вышесказанные образования, а также базальное кольцо (БК), синусы Вальсальвы (СВ), полулунные створки, треугольники Генле и устья коронарных артерий.

Раздел кардиохирургии, посвященный вмешательствам на КА, является одним из наиболее сложных и интересных. Учитывая постоянное прогрессирование методов хирургической коррекции, анатомо-топографическую сложность и вариативность анатомо-морфологических особенностей КА, существует необходимость безусловных знаний анатомии и физиологии КА для успешного выполнения реконструктивных вмешательств при патологии рассматриваемой области.

Топография КА

КА занимает центральное положение по отношению к другим структурам сердца и со своей внутренней и наружной поверхностями связан со всеми четырьмя камерами сердца [1]. При визуализации в саггитальной плоскости КА расположен позади и справа от выходного тракта правого желудочка. В связи с наклоном плоскости аортального клапана (АК) влево от горизонтальной линии на 30° наиболее верхнее положение занимает левый коронарный синус и левая коронарная створка (ЛКС). Угол между КА и выходным трактом правого желудочка

составляет приблизительно 40–60° [2]. Угол наклона между плоскостью БК и СТС – 5,5–11° [3].

При рассмотрении взаимного расположения структур КА на уровне БК удобно ориентироваться, представляя отверстие АК в виде циферблата часов, принимая комиссуру между ЛКС и правой коронарной створкой (ПКС) за 12 ч (рис. 1). В некоторых работах анатомические структуры и их взаимоотношения рассмотрены в виде шестиугольника, состоящего из двух противоположно направленных и наложенных друг на друга треугольников [4].

Представляется интересным разделение КА на два описанных Е. Lansac и коллегами [5] отдела. Первый отдел расположен под створками АК и включает линию крепления створок в виде короны, также называемую фиброзным кольцом, межстворчатые треугольники Генле и комиссуры. Все структуры первого отдела КА связаны с гемодинамикой левого желудочка. Второй отдел аортальный, расположенный над створками АК, включающий СТС и восходящую аорту, которые связаны с гемодинамикой аортального и коронарного кровотоков.

Мнения о различных индексированных по площади поверхности тела размерах КА между полами противоречивы. N. Koshkelashvili и коллеги не наблюдали значимых статистических различий между полами [6], однако авторы из Китая обнаружили, что индексированные размеры КА больше у женщин, чем у мужчин [7].

КА – динамичная структура, которая отвечает за поддержание оптимального коронарного кровотока,

участвует в сохранении функции левого желудочка, сердечного выброса, а также обеспечивает долговечность работы АК за счет оптимизации нагрузки на компоненты клапанного аппарата аорты, что в итоге приводит к улучшению трансклапанной гемодинамики и уменьшению напряжения на створках [8, 9]. Описана непосредственная близость некоронарного синуса и овального окна, при закрытии дефекта в этой области есть риск повреждения стенки аорты, особенно при увеличении КА [10].

Кольца аорты

КА имеет сложную трехмерную форму (рис. 2). G. El Khoury и коллеги ввели понятие функционального кольца аорты, включающее БК, полулунную линию прикрепления створок АК с соответствующими треугольниками Генле и СТС [11].

Фиброзное кольцо называют еще и хирургическим кольцом по причине того, что оно богато эластическими волокнами, очень прочное и именно к этому кольцу происходит имплантация протеза АК [12].

БК – виртуальная округлая линия, проведенная через надкрышки створок АК и располагающаяся в выходном тракте левого желудочка [13]. БК не является анатомической областью. Данное понятие было

введено для определения размера для транскатетерной имплантации протеза АК при аортальном стенозе. Передняя часть БК состоит из участков миокарда желудочков в виде полумесяца, находящихся в горизонтальной плоскости, а остальная часть состоит из фиброзной ткани (рис. 1) [14]. Эти миокардиальные полумесяцы, по некоторым данным, могут быть центром возникновения большинства идиопатических желудочковых аритмий при иссечении соответствующих СВ [15].

Средняя толщина КА в области БК составляет $3,2 \pm 0,6$ мм. Также надо отметить, что зона КА, расположенная в области комиссуры между ЛКС и ПКС, ПКС с переходом на некоронарную створку (НКС) с мышечным включением, является утолщенной и в среднем составляет $6,2 \pm 1,2$ мм, что важно учитывать при выполнении аннулопластики [16]. В норме средний нормальный диаметр БК составляет до 13 мм/м². Согласно данным метаанализа, размеры БК аорты у женщин меньше, чем у мужчин [17, 18].

Расширение кольца аорты, как и раскрытие АК, происходит в течение первой трети сердечного выброса [5]. По некоторым данным, увеличение площади БК в систолу может составлять от 4 до 28% [19]. Учитывая тот факт, что форма кольца аорты

зависит от фазы сердечного цикла и может быть как круглой, так и эллипсоидной, S. Mori и соавт. доказали, что измерение диаметра БК необходимо проводить через центр кольца, делящего его пополам, в трех измерениях [20]. В некоторых центрах введено обязательное измерение КА с использованием трехмерной эхокардиографии или компьютерной томографии по причине недостоверных размеров, полученных с помощью двухмерной эхокардиографии (рис. 3) [12].

ВАС является определенным анатомическим местом без четкой границы, где происходит анатомическое разделение миокарда выходного тракта левого желудочка и фиброэластических структур аорты [1]. ВАС расположено между БК и той частью левого желудочка, которая ограничена передней створкой митрального клапана [4]. ВАС

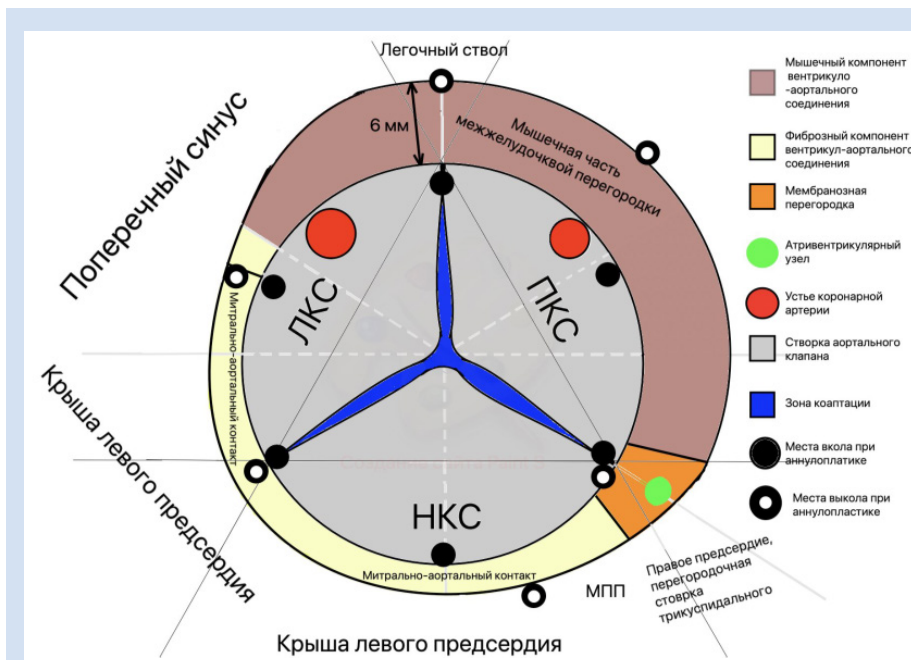


Рисунок 1. Схема топографии корня аорты

Примечание: ЛКС – левая коронарная створка; МПП – межпредсердная перегородка; НКС – некоронарная створка; ПКС – правая коронарная створка.

Figure 1. Diagram of the aortic root topography

Note: LAS – interatrial septum; LCC – left coronary cusp; NCC – non-coronary cusp; RCC – right coronary cusp.

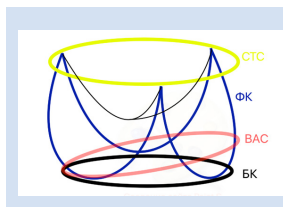


Рисунок 2. Трехмерная модель корня аорты

Примечание: БК – базальное кольцо; ВАС – вентрикулоаортальное соединение; СТС – синотубулярное соединение; ФК – фиброзное кольцо.

Figure 2. Three-dimensional model of the aortic root

Note: BR – basal ring; FR – fibrous ring; STJ – sinotubular junction; VAJ – ventriculoaortic junction.

не является плоским кругом строго над БК. ВАС в области комиссуры ЛКС/ПКС на 4,6 мм выше БК, а в области ПКС выше на 2,4 мм [16]. Мышечный компонент ВАС простирается несколько выше надгрудки ПКС и прилежащим к ней половине надгрудки ЛКС и треугольникам Генле. Остальная часть полукруглости КА лишена соприкосновения с мышечными волокнами. Мышечная ткань от всего ВАС составляет около 45%, фиброзный компонент – 55%, включая аортально-митральный контакт и мембранозную перегородку [2] (рис. 1).

БК располагается под надгрудками всех створок, а ВАС – выше или более краниально относительно БК. Надо отметить, что расстояние между БК и ВАС больше у пациентов с бicuspidальным аортальным клапаном (БАК), чем у пациентов с трехстворчатым аортальным клапаном (ТАК) [21].

СТС – участок перехода дистального отдела СВ в трубчатую часть восходящей аорты. СТС – кольцо, состоящее из циркулярно расположенных волокнисто-эластических пластинок [2]. В норме у здорового взрослого составляет примерно 75% от максимального диаметра в области СВ, а по отношению к диаметру БК – 1,2–1,3 [1, 22, 23].

Между центром нижнего края мембранозной и вершиной межжелудочковой перегородки выходит пучок Гиса, поэтому при наложении швов под надгрудкой НКС слишком низко возможно повредить проводящие пути. При выполнении аннулопластики АК и имплантации сосудистого протеза при операции David необходимо избегать наложения швов в область мембранозной перегородки. Ширина мембранозной перегородки составляет до 1 мм, а длина – до 6 мм [24]. Большая длина мембранозной перегородки указывает на большее расстояние между кольцом аорты и пучком Гиса. Также A. Randhawa и соавт. отметили, что в 60% случаев мембранозная перегородка не распространялась на КА, а располагалась в проекции треугольников Генле между правым коронарным и некоронарным синусом и в проекции некоронарного синуса глубоко до НКС АК. 72% длины окружности некоронарного и 42% левого коронарного синусов граничат с

передней створкой митрального клапана, составляя МАК [12].

Синусы Вальсальвы, комиссуры

СВ играют, возможно, решающую роль в гемодинамике КА и во взаимодействии створок клапана и потока крови [25]. СВ представляют собой расширенные пространства КА, окружающие створки АК. В поперечном сечении КА в области СВ представляется в виде клевера с наибольшим диаметром на уровне середины синусов. Как упоминалось ранее, миокард левого желудочка окутывает стенки КА, в частности СВ, частично левый коронарный и полностью правый коронарный синус. Некоронарный синус не окружен миокардом, а его базальная часть состоит из МАК. Миокард желудочков как бы встроены в основания коронарных СВ [14]. Зачастую наибольшим размером обладает некоронарный синус, наименьшим – левый коронарный синус, что можно объяснить дугообразным расположением КА и восходящей аорты, огибающих легочный ствол [4].

Комиссура АК – область контакта смежных створок АК, располагающаяся по периферической линии соприкосновения на внутренней поверхности КА, распространяющаяся от треугольников Генле до СТС. Большой высотой обладает комиссура между ЛКС и НКС, далее следует комиссура между ПКС и НКС и между ЛКС и ПКС [16]. Комиссура между ПКС и НКС залегает глубоко до передне-перегородочной комиссуры трикуспидального клапана. Комиссура между ПКС и ЛКС располагается напротив правой задней комиссуры клапана легочной артерии. Комиссура между ЛКС и НКС расположена спереди и приблизительно на середине передней створки митрального клапана [4].

Устья коронарных артерий

Варианты расположения устьев коронарных артерий включают: в области коронарного СВ, над СТС, в области СТС. В работе A. Randhawa и коллег [24] устье правой коронарной артерии находилось на уровне СТС в 33,3% случаев, а устье левой коронарной артерии – в 56,7% случаев, в других случаях устья находились ниже СТС на 1,5–2,0 мм. По данным A.Y. Nasr и коллег [26], устье правой коронарной артерии находилось ниже СТС в 80% случаев, выше СТС в 3,3% случаев, устье левой коронарной артерии – в 73,3 и 6,7% случаев соответственно. В работе R. Agrawal и коллег [27] устье правой коронарной артерии располагалось ниже СТС в 78% случаев, устье левой коронарной артерии – в 68% случаев.

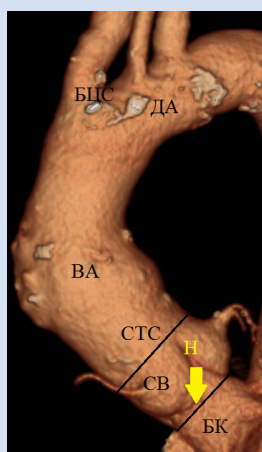
Анатомические различия в расположении устьев коронарных артерий могут вызывать ишемические изменения с последующим возникновением аритмии, стенокардии, инфаркта миокарда и внезапной смерти [26]. Устье левой коронарной ар-

Рисунок 3. 3D-визуализация компьютерной томографии аортографии

Примечание: БК – базальное кольцо; БЦС – брахиоцефальный ствол; ВА – восходящая аорта; ДА – дуга аорты; СВ – синус Вальсальвы; СТС – синотубулярное соединение; Н – область надгрудки створки.

Figure 3. 3D visualization of computed tomography of aortography

Note: Aa – aortic arch; AA – ascending aorta; BCT – brachiocephalic trunk; BR – basal ring; H – leaf area nadir; STJ – sinotubular junction; SV – sinuses of Valsalva.



терии может различно располагаться в продольном направлении, а устье правой коронарной артерии – в горизонтальном направлении [12]. Устье правой коронарной артерии часто может располагаться высоко, в восходящей аорте [12], устье левой коронарной артерии чаще всего расположено значительно ниже, чем устье правой [14].

Средний внутренний диаметр устьев коронарных артерий отличается в среднем на 1 мм, составляя у левой артерии почти 4,5 мм, у правой почти 3,5 мм, с небольшой разницей между мужчинами и женщинами (около 0,1 мм) [26]. Устья коронарных артерий в случаях БАК часто располагаются вблизи комиссур. Аномальное расположение устьев наблюдается в 1% случаев [28, 29], наиболее часто встречается раздельное отхождение устьев передней межжелудочковой артерии и огибающей артерии, а также огибающей артерии от правой коронарной [29]. Наличие множественных устьев коронарных артерий может вызвать сердечные аномалии, такие как гипертрофическая кардиомиопатия [26].

Реконструкцию КА и реимплантацию устьев коронарных артерий необходимо выполнять строго в естественную позицию для избежания перекута и стеноза коронарных артерий. При выделении и формировании устья правой коронарной артерии на площадке следует соблюдать особую осторожность для избежания повреждения артерии синусового узла.

Створки клапана

В норме АК состоит из трех створок полулунной формы, имеющих две поверхности: первую, наиболее гладкую, обращенную в полость левого желудочка, и вторую, несколько неровную, обращенную в сторону восходящей аорты. Створка АК состоит из трех слоев и покрыта эндотелием с обеих сторон: вентрикулярная оболочка – на желудочковой стороне, фиброзная оболочка – на аортальной стороне, губчатая прослойка – между ними. Фиброзная оболочка – слой плотных коллагеновых волокон, распространяющиеся от свободного края к основанию створки и далее сливающиеся с мышечным и эластическим слоем синуса. В таком случае створку и соответствующий синус можно рассматривать как анатомическую и функциональную единицу. Вентрикулярная оболочка в основном состоит из эластических волокон, взаимодействует с фиброзной оболочкой, растягиваются в диастолу и сжимается в систолу. Губчатая прослойка содержит небольшое количество эластических и коллагеновых волокон и богата внеклеточным матриксом, включая гликопротеины, различные типы клеток, нервные волокна и капилляры. Ее роль заключается в постоянной регенерации и обновлении тканей створок [2].

Иногда с возрастом на створках образуются специфические образования – коллагеновые и эластические волокна, покрытые эндотелием, называ-

емые наростами Ламбла, которые располагаются на коаптационной поверхности створки. Образования появляются в результате маленьких фибриновых отложений или отложений тромбов на эндокардиальной поверхности как результат микротравм и повреждений контактных поверхностей [2].

Общая площадь створок АК примерно на 40% больше, чем общая площадь поперечного сечения КА [1]. Зачастую наибольший размер у НКС, наименьший – у ЛКС. Линия крепления основания створки больше длины свободного края створки, нормальное среднее соотношение длины СКС к линии крепления основания створки составляет 0,88 [30]. Наибольшим размером свободного края створки обладает ПКС по сравнению с НКС и ЛКС [31].

Геометрическая высота створки – это расстояние, измеренное от середины надира створки до середины ее свободного края. Геометрическая высота может быть измерена с использованием неинвазивных методов диагностики – эхокардиографии и компьютерной томографии, а также интраоперационно специальным клиппером. Однако интраоперационный размер геометрической высоты створки больше, чем при использовании неинвазивных методов диагностики [32]. По данным различных исследований, геометрическая высота створки в среднем составляет от 18 до 20 мм (рис. 4) [31, 33]. Р.-J. Schäfers и коллеги [34] указали на то, что наибольшей геометрической высотой створки обладает НКС, это же отмечали авторы из Японии [30].

Эффективная высота створки – это расстояние (перпендикуляр) от середины СКС до плоскости, проведенной между надиром, или до БК. При измерении данного показателя с использованием методов эхокардиографии и компьютерной томографии высота рассчитывается как перпендикуляр от наивысшей точки коаптации до плоскости БК. Эффективная высота створок АК в норме должна составлять 8–10 мм. При значении данного показателя < 8 мм и при наличии нормальной величины геометрической высоты створки можно говорить о пролапсе створки.

Наименьшую геометрическую и эффективную высоту ПКС можно объяснить анатомически. Чуть ниже места крепления ПКС располагается мышечный выступ. Именно по причине наименьшей ге-

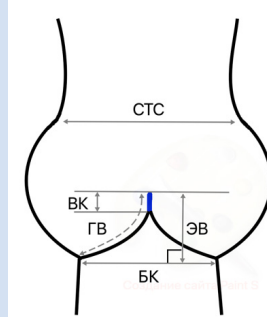


Рисунок 4. Измерения корня аорты

Примечание: БК – базальное кольцо; ВК – высота коаптации; ГВ – геометрическая высота; СТС – синотубулярное соединение; ЭВ – эффективная высота.

Figure 4. Measurements of the aortic root

Note: BR – basal ring; cH – coaptation height; eH – effective height; gH – geometric height; STJ – sinotubular junction.

ометрической высоты и наибольшей длины СКС ПКС является наиболее тонкой, по сравнению с другими створками, что может объяснять наиболее частую причину пролапса ПКС при аортальной регургитации [35]. Несмотря на наибольший размер правого коронарного синуса геометрическая высота ПКС была нередко наименьшей, однако это не влияет на достижение ей той же эффективной высоты при наибольшем размере СКС [23].

Высота коаптации, или длина коаптации, – это вертикальное расстояние соприкосновения створок клапана при его закрытии. Коаптационная поверхность створки клапана составляет примерно 41% общей площади поверхности створки, варьируя от 31 до 49%. Причем высота латеральной коаптации (максимальная высота по середине расстояния от узелка Аранция (до комиссуры) больше центральной коаптации (по середине створки на уровне узелка) [31]. Зона узелок Аранция является зоной наименьшего напряжения в отличие от участков, близких к комиссурам створок

Надир ЛКС располагается впереди от левой комиссуры митрального клапана. Надир ПКС расположен в непосредственной близости и спереди от верхнего компонента проводящей системы атриовентрикулярного узла и кзади от надира правой полулунной створки клапана легочной артерии, отделенной от него межжелудочковой перегородкой и стенкой правого желудочка. Надир НКС расположен кпереди от правой комиссуры митрального клапана [4].

Геометрическая высота и длина СКС положительно коррелируют со всеми измерениями КА, в частности длина СКС положительно связана с диаметром СВ, увеличиваясь параллельно расстоянию между спайками для благоприятной коаптации створок. Эффективная высота положительно коррелирует с размерами СВ и СТС, но не коррелирует с величиной БК. Высота коаптации демонстрирует слабую отрицательную корреляцию с величиной БК и отсутствие корреляции с величиной СВ и СТС. Четкая прямая положительная взаимосвязь прослеживается между размерами геометрической высоты створки и высоты коаптации [23].

Использование 3D-эхокардиографии для анализа состояния створок АК и измерение их размеров необходимы для оценки возможности реконструкции АК [36].

Межстворчатые треугольники Генле

Треугольники Генле – фиброзное образование, располагающееся на внутренней поверхности КА, где вершиной треугольника является проксимальная часть комиссуры АК, основание – БК, а сторонами треугольника – линия крепления основания створки. Передний треугольник Генле, наиболее острый, расположенный между правым коронар-

ным и некоронарным синусами, совместно с мембранозной перегородкой называются центральным фиброзным телом, которое содержит прочную волокнистую ткань в центре между аортальным, митральным и трикуспидальным клапанами [12]. Наибольшую ширину правый треугольник Генле имеет между левым коронарным и некоронарным синусами, измеренный от двух надиров соответствующих створок и являющийся наиболее тупым. Промежуточный размер имеет левый треугольник Генле, расположенный между левым и правым коронарным синусами [12]. В случае расширения кольца аорты прибегают к аортотомии по правому треугольнику Генле.

Особенности БАК

В отличие от ТАК БАК имеет наиболее круглую форму кольца аортального клапана, особенно БАК тип 0 по Sievers по данным предоперационной компьютерной томографии [37]. Однако эти данные являются противоречивыми.

Различные конфигурации БАК приводят к изменению структуры потока крови, деформации стенки аорты, напряжению сдвига, которые могут по-разному повлиять на целостность стенки аорты [38, 39]. В частности, БАК первого типа со слиянием ПКС и ЛКС ассоциирован с более высоким риском дилатации и темпом роста восходящей аорты [40], а БАК первого типа со слиянием ПКС и НКС ассоциирован с изолированной дилатацией КА или диффузной дилатацией всей восходящей и дуги аорты [41]. По данным W.K.F. Kong и коллег [38], истинный БАК, без шва на створках или БАК тип 0, чаще наблюдается у европейского по сравнению с азиатским населением, когда как БАК первого типа со швом между ПКС и НКС наоборот. Также авторы отметили значительно большую распространенность значимой аортальной регургитации и диффузной дилатации аорты, называемой аортопатией, среди европейского населения по сравнению с азиатским. Однако не у всех пациентов с одинаковым фенотипом БАК наблюдается одинаковая картина аортопатии, примерно у 1/3 больных ее вовсе нет [42].

На сегодняшний день не существует единой классификации БАК-связанных аортопатий, лишенной недостатков, каждая из рассмотренных классификаций подразумевает некоторую потерю данных (таблица) [42].

Изменения КА при его дилатации

При диаметре БК более 25 мм и диаметре СТС более чем 30 мм можно говорить о функциональной дилатации. Расширение кольца увеличивает расстояние оснований треугольников Генле, уменьшая высоту комиссур и увеличивая напряжение на створках клапана, что впоследствии приводит к изменению клеточных структур, жесткости и формы

створок, их растяжимости и нарушению их коаптации [46]. В случае отсутствия достаточного роста створки в связи с дилатацией КА наблюдается уменьшение эффективной высоты створки и, как следствие, снижение высоты коаптации с возникновением аортальной регургитации [47]. Известно, что СВ имеют различный объем, при дилатации и аневризме КА непропорционально увеличивается асимметрия объемов синусов [48].

Анатомо-топографические особенности клапансохраняющих операций на КА

При выполнении аннулопластики или наложении швов на выходной тракт левого желудочка при операции Дэвида субкомиссуральные швы накладываются легче всего. Напротив, надирные швы имеют большее расстояние для прохождения от точки входа до точки выхода, следовательно, их не-

много сложнее разместить [4]. Наиболее важными являются швы, накладываемые через фиброзную часть, в связи с типичным местом расширения и дилатации КА [49]. После выполнения реимплантации (операции Дэвида) или ремоделирования КА (операция Якуба) с аннулопластикой все типы клапанов, БАК и ТАК, принимают округлую форму, что связано со стабилизацией кольца аорты [37]. При добавлении аннулопластики к ремоделированию КА разница в диаметре ВАС между группой пациентов с ремоделированием с аннулопластикой и группой с реимплантацией исчезла [50].

Во время протезирования КА и нормализации размеров кольца аорты и СТС может возникать пролапс одной или более створок АК по причине их ранее увеличенной длины СКС в связи с дилатацией КА. В связи с чем прибегают к методам пластики АК, а именно центральной пликации ство-

Типы аортопатий при синдроме бicuspidального аортального клапана Types of aortopathies in bicuspid aortic valve syndrome				
Участок аорты	Тип БАК по классификации Sievers / Type of BAV by Sievers classification	Ответственный ген / Responsible gene	Встречаемость аортопатии / Occurrence of aortopathy	Классификация аортопатий / Classification of aortopathies
Дилатация на уровне СВ или всего КА / Dilation at the level of the SV or the entire AR	Тип 0 / Type 0	GATA5 (R-N)	N-форма / N-shape (Shaefer) [43] – 26% [41]	N-форма / N-shape (Shaefer) [43]
	Тип 1 / Type 1 (R-L)		Тип III / Type III (Park) [44] – 7% [41]	Тип II / Type II + Восходящая аорта / Ascending aorta (Park) [44]
	Тип 1 / Type 1 (R-N)		Корневой фенотип / Root phenotype (Della Corte) [42] – 14% [41]	Тип III / Type III (Park) [44]
			I тип / Type I (Fazel) [45] – 30% [41]	Корневой фенотип / Root phenotype (Della Corte) [42] Тип I / Type I (Fazel) [45]
Дилатация СТС / Dilation of the STJ			Е форма / E shape (Shaefer) [43] – 14% [41]	Е форма / E shape (Shaefer) [43] Корневой фенотип / Root phenotype (Della Corte) [42]
Дилатация ВА / Dilation of the AA	Тип 1 / Type 1 (R-L) Тип 1 / Type 1 (R-N)	GATA 6 (R-L) GATA 5 (R-N)	А форма / A shape (Shaefer) [43] – 60% [41]	А форма / A shape (Shaefer) [43]
			Тип I / Type I (Park) [44] – 45% [41]	Тип I / Type I (Park) [44]
			Тип II / Type II + корень/ root (Park) [44] – 13% [41]	Тип II / Type II + корень/root (Park) [44]
			Восходящий фенотип / Ascending phenotype (Della Corte) [42] – 60% [41] Тип II / Type II (Fazel) [45] – 47% [41]	Восходящий фенотип / Ascending phenotype (Della Corte) [42] Тип II / Type II (Fazel) [45]
Дилатация дуги аорты / Dilation of the aortic arch	Тип 1 / Type I (R-N)		Тип III / Type III [45] (Fazel) – 23% [41]	Тип III / Type III + Восходящая аорта / Ascending aorta (Fazel) [45]
Коарктация аорты / Aortic coarctation	Тип 1 / Type I (R-L)	SMAD6 15q22.31		
Примечание: БАК – бicuspidальный аортальный клапан; ВА – восходящая аорта; КА – корень аорты; СВ – синусы Вальсальвы; СТС – синотубулярное соединение. Note: AA – ascending aorta; AR – aortic root; BAV – bicuspid aortic valve; STJ – sinotubular junction; SV – sinuses of Valsalva.				

рок для ее укорочения или укрепления СКС нитью Gore-Tex. В отношении пластики БАК наилучшие результаты демонстрируют наиболее простые виды пластики, такие как центральная пликация, резекция шва, укорочение свободного края створки [40].

Заключение

Описаны анатомо-топографические особенности структур АК, кольца аорты, синуса Вальсальвы, а также взаимные индексированные размеры структур КА. Обоснована необходимость знания нормальных размеров структур аортального клапана для достижения успешной реконструкции корня аорты при его дилатации. Безупречные знания хирургической анатомии и топографии КА являются

обязательным требованием для успешного овладения реконструктивными операциями на КА и минимизации осложнений.

Конфликт интересов

В.К. Ногинов заявляет об отсутствии конфликта интересов. Р.Н. Комаров заявляет об отсутствии конфликта интересов. Г.О. Багатурия заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.Н. Дзюндзя заявляет об отсутствии конфликта интересов. М. Ленковец заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Информация об авторах

Ногинов Владимир Константинович, ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии имени проф. Ф.И. Валькера федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация; врач – сердечно-сосудистый хирург кардиохирургического отделения государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Ленинградская областная клиническая больница», Санкт-Петербург, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0476-2120

Комаров Роман Николаевич, доктор медицинских наук, профессор заведующий кафедрой факультетской хирургии № 1 Института клинической медицины им. Н. В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-3904-6415

Багатурия Георгий Отарович, доктор медицинских наук, профессор заведующий кафедрой оперативной хирургии и топографической анатомии имени проф. Ф.И. Валькера федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-5311-1802

Дзюндзя Андрей Николаевич, врач – сердечно-сосудистый хирург федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1564-9182

Ленковец Марина, врач – сердечно-сосудистый хирург, аспирант кафедры факультетской хирургии №1 Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-9671-9524

Author Information Form

Noginov Vladimir K., Assistant Professor at the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy named after Professor F. I. Walker of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Pediatric Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation; cardiovascular surgeon at the Cardiac Surgery Department of the State Budgetary Healthcare Institution "Leningrad Regional Clinical Hospital hospital", Saint Petersburg, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0476-2120

Komarov Roman N., PhD, MD, Professor, Head of the Department of Faculty Surgery No. 1 of the N. V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "I.M. Sechenov First Moscow State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-3904-6415

Bagaturia Georgy O., PhD, MD, Professor, Head of the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy named after Prof. F. I. Walker Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State Pediatric Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-5311-1802

Dzyunja Andrey N., Cardiovascular Surgeon, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "I.M. Sechenov First Moscow State Medical University", Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1564-9182

Marina Lenkovets, Cardiovascular surgeon, Postgraduate student at the Department of Faculty Surgery No. 1 of the N. V. Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-9671-9524

Вклад авторов в статью

НВГ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КРН – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

БГО – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ДАН – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ЛМ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение и анализ данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

NVG – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

KRN – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

BGO – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

DAN – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

LM – contribution to the concept and design of the study, data collection and analysis, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- De Paulis R., Salica A. Surgical anatomy of the aortic valve and root-implications for valve repair. *Annals of cardiothoracic surgery*. 2019 May;8(3):313-321. doi: 10.21037/acs.2019.04.16. PMID: 31240175
- Paioocchi V.L., Faletta F.F., Ferrari E., Schlossbauer S.A., Leo L.A., Maisano F. Multimodality imaging of the anatomy of the aortic root. *Journal of cardiovascular development and disease*. 2021 May 4;8(5):51. PMID: 34064421. doi: 10.3390/jcdd8050051
- Irace F.G., Chirichilli L., Salica A., D'Aleo S., Wolf L.G., Garufi L., De Paulis R.. Aortic root anatomy after aortic valve reimplantation. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2021 Apr 16;S0022-5223(21)00695-4. PMID: 33985805. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2021.03.115.
- Almoosawy. S.A., Lucka P., Cummine R., Buchan K.. The aortic root hexagon as an aide memoire to the important surgical landmarks. *Clinical anatomy*. 2020 Nov;33(8):1228-1234. PMID: 31983068. DOI: 10.1002/ca.23571
- Lansac E., Lim H-S., Shomura Y., Lim K.H., Rice N.T., Di Centa I., Youssefi P., Goetz W., Doran C.M.G.. Aortic valve opening and closure: the clover dynamics. *Annals of cardiothoracic surgery*. 2019 May;8(3):351-361. PMID: 31240179. DOI: 10.21037/acs.2019.05.03.
- Koshkelashvili N., Bucay M.J., Goykhman I., Pressman G.S.. Aortic root and valve proportions: an example of the golden ratio? *Monaldi archives for chest disease*. 2019 Jul 15;89(2). PMID: 31315350. DOI: 10.4081/monaldi.2019.1022.
- Wang X., Ren X-S., An Y-Q., Hou Z-H., Yu Y-T., Lu B., Wang F.. A specific assessment of the normal anatomy of the aortic root in relation to age and gender. *International journal of general medicine*. 2021 Jun 25;14:2827-2837. PMID: 34234516. DOI: 10.2147/IJGM.S312439
- Petersen J., Voigtlander L., Schofer N., Neumann N., von Kodolitsch Y., Reichenspurner H., Girdauskas E.. Geometric changes in the aortic valve annulus during the cardiac cycle: impact on aortic valve repair. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2018 Sep 1;54(3):441-445. PMID: 29514226. DOI: 10.1093/ejcts/ezy099
- Yacoub M.H., Aguib H., Gamrah M.A., Shehata N., Nagy M., Donia M., Aguib Y., Saad H., Romeih S., Torii R., Afifi A., Lee S-L.. Aortic root dynamism, geometry, and function after the remodeling operation: Clinical relevance. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2018 Sep;156(3):951-962.e2. PMID: 29884493. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.03.157.
- O'Brien, B.; Zafar, H.; De Freitas, S.; Sharif, F. Transseptal Puncture—Review of Anatomy, Techniques, Complications and Challenges. *International journal of cardiology*. 2017 Apr 15;233:12-22. PMID: 28202256. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.02.009
- El Khoury G., Glineur D., Rubay J., Verhelst R., d'Udekem d'Acoz Y., Poncelet A., Astarci P., Noirhomme Ph., van Dyck M.. Functional classification of aortic root/valve abnormalities and their correlation with etiologies and surgical procedures. *Current opinion in cardiology*. 2005 Mar;20(2):115-21. PMID: 15711197. doi: 10.1097/01.hco.0000153951.31887.a6
- Kunihara T. Anatomy of the aortic root: implications for aortic root reconstruction. *General thoracic and cardiovascular surgery*. 2017 Sep;65(9):488-499. PMID: 28656518. DOI: 10.1007/s11748-017-0792-y
- Mori S., Izawa Y., Shimoyama S., Tretter J.T.. Three-Dimensional Understanding of Complexity of the Aortic Root Anatomy as the Basis of Routine Two-Dimensional Echocardiographic Measurements. *Circulation journal*. 2019 Oct 25;83(11):2320-2323. PMID: 31511440. DOI: 10.1253/circj.CJ-19-0652
- Toh H., Mori S., Tretter J.T., Izawa Y., Shimoyama S., Suzuki M., Takahashi Y., Tsuda D., Toba T., Fujiwara S., Hirata K., Anderson R.H.. Living Anatomy of the Ventricular Myocardial Crescents Supporting the Coronary Aortic Sinuses. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery*. 2020 Summer;32(2):230-241. PMID: 31954834. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.01.001
- Yamada T, Lau YR, Litovsky SH, et al: Prevalence and clinical, electrocardiographic, and electrophysiologic characteristics of ventricular arrhythmias originating from the noncoronary sinus of Valsalva. *Heart Rhythm* 2010;16:1605–1612, 2013
- De Kerchove L., Jashari R., Boodhwani M., Duy K.T., Lengele B., Gianello P., Nezhad Z.M., Astarci P., Noirhomme P., El Khoury G.. Surgical anatomy of the aortic root: Implication for valve-sparing reimplantation and aortic valve annuloplasty. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2015 Feb;149(2):425-33. PMID: 25439782. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.09.042
- O'Connor S.A., Morice M.C., Gilard M., Leon M.B., Webb J.G., Dvir D., Rodés-Cabau J., Tamburino C., Capodanno D., D'Ascenzo F., Garot P., Chevalier B., Mikhail G.W., Ludman P.F.. Revisiting sex equality with transcatheter aortic valve replacement outcomes: a collaborative, patient-level meta-analysis of 11,310 patients. *Journal of the American College of Cardiology*. 2015 Jul 21;66(3):221-228. PMID: 26184614. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.05.024.
- Du F., Liu X., Zhu Q., He Y., Jiang J., Napawan T., Jaiswal S., Chen Z., Wang J.. Sex-specific aortic root anatomy in patients with bicuspid aortic valve undergoing TAVR in a Chinese cohort. *Herz*. 2020 Jun;45(4):375-381. PMID: 30483815. DOI: 10.1007/s00059-018-4740-0
- Contino M., Mangini A., Lemma M.G., Romagnoni C., Zerbi P., Gelpi G., Antona C.. A geometric approach to aortic root surgical anatomy. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2016 Jan;49(1):93-100. PMID: 25724903. DOI: 10.1093/ejcts/ezv059.
- Mori S, Anderson RH, Tahara N, et al. The differences between bisecting and off-center cuts of the aortic root: the three-

dimensional anatomy of the aortic root reconstructed from the living heart. *Echocardiography*. 2017 Mar;34(3):453-461. doi: 10.1111/echo.13468. PMID: 28160343.

21. Federspiel J.M., Ehrlich T., Abeln K., Schäfers H.-J.. Aortic annuloplasty: Subcommissural, intra-annular suture techniques, external and internal rings. *JTCVS Techniques*. 2021 Jun; 7: 98–102. PMID: 34318215. doi: 10.1016/j.jtc.2020.12.044

22. Youssefi P., Lansac E.. Aortic annulus and the importance of annuloplasty. *Indian journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2020 Jan;36(Suppl 1):88-96. PMID: 33061189. doi: 10.1007/s12055-019-00852-9

23. Izawa Y., Mori S., Tretter J.T., Quintessenza J.A., Toh H., Toba T., Watanabe Y., Kono A.K., Okada K., Hirata K.-I.. Normative aortic valvar measurements in adults using cardiac computed tomography - a potential guide to further sophisticate aortic valve-sparing surgery. *Circulation journal*. 2021 Jun 25;85(7):1059-1067. PMID: 33408304. DOI: 10.1253/circj.CJ-20-0938.

24. Randhawa A., Gupta T., Singh P., Aggarwal A., Sahni D.. Description of the aortic root anatomy in relation to transcatheter aortic valve implantation. *Cardiovascular pathology*. 2019 May-Jun;40:19-23. PMID: 30772639. DOI: 10.1016/j.carpath.2019.01.005

25. Kheradvar A., Vannan M.A., Lakshmi P.D., Pedrizzetti G.. The effect of aortic root anatomy vortex flow induced shear stress on the aortic valve leaflets. *European heart journal. Cardiovascular Imaging*. 2021 Aug 14;22(9):995-997. PMID: 33758910. DOI: 10.1093/ehjci/jeab031.

26. Nasr A.Y., Tahlawi M.E.. Anatomical and radiological angiographic study of the coronary ostia in the adult human hearts and their clinical significance. *Anatomy & cell biology*. 2018 Sep;51(3):164-173. PMID: 30310708. DOI: 10.5115/acb.2018.51.3.164.

27. Agrawal R.. Anatomical study of coronary ostia in cadaveric human heart. *Global Journal For Research Analysis*. 2018 Mar; 7(3): 23-25.

28. Smettei O.A., Sayed S., Abazid R.M.. The prevalence of coronary artery anomalies in Qassim Province detected by cardiac computed tomography angiography. *Journal of the Saudi Heart Association*. 2017 Apr;29(2):84-89. PMID: 28373781. DOI: 10.1016/j.jsha.2016.07.006.

29. Villa A.D., Sammut E., Nair A., Rajani R., Bonamini R., Chiribiri A.. Coronary artery anomalies overview: the normal and the abnormal. *World J Radiol*. 2016;8:537–55.

30. Fujiyoshi T., Matsumoto R., Kamiya K., Ogino H.. Inter-operative determination of the aortic root and cusp geometry associated with the aortic regurgitation grade. *Surgery today*. 2021 Mar;51(3):384-390. PMID: 32776293

31. De Kerchove L., Momeni M., Aphram G., Watremez C., Bollen X., Jashari R., Boodhwani M., Astarci P., Noirhomme P., El Khoury G.. Free margin length and coaptation surface area in normal tricuspid aortic valve: an anatomical study. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2018 May 1;53(5):1040-1048. PMID: 29253123. DOI: 10.1093/ejcts/ezx456

32. Komiya T., Shimamoto T., Nonaka M., Matsuo T.. Is small cusp size a limitation for aortic valve repair? *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2019 Sep 1;56(3):497-502. PMID: 30824918. DOI: 10.1093/ejcts/ezz053.

33. Khelil N., Sleilaty G., Palladino M., Fouda M., Escande R., Debauchez M., Di Centa I., Lansac E.. Surgical anatomy of the aortic annulus: landmarks for external annuloplasty in aortic valve repair. *The Annals of thoracic surgery*. 2015 Apr;99(4):1220-6. PMID: 25728963. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2014.12.034.

34. Schäfers P.-J., Schmied W., Marom G., Aicher D.. Cusp height in aortic valves. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2013 Aug;146(2):269-74. PMID: 22853942. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2012.06.053.

35. Yang T., Wen H., El-Hamamsy I., Ni Q., Sun Y., Zhu D.. Relationship between leaflets and root in normal aortic valve based on computed tomography imaging: implication for aortic valve repair. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2021 Nov 22;8:731440. PMID: 34881298. DOI: 10.3389/fcvm.2021.731440.

36. Abeln K.B., Giebels C., Ehrlich T., Federspiel J.M., Schäfers H.-J.. Which Aortic Valve Can Be Surgically Reconstructed? *Current cardiology reports*. 2021 Jul 2;23(8):108. PMID: 34213661. DOI: 10.1007/s11886-021-01525-z.

37. Chirichilli I., Irace F., Weltert L., Tsuda K., Scaffa R., Salica

A., Galea N., De Paulis R.. Morphological modification of the aortic annulus in tricuspid and bicuspid valves after valve reimplantation: an electrocardiography-gated computed tomography study. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2019 Oct 1;56(4):778-784. PMID: 30859210. DOI: 10.1093/ejcts/ezz065.

38. Kong W.K.F., Regeer M.V., Poh K.K., Yip J.W., van Rosendael P.J., Yeo T.C., Tay E., Kamperidis V., van der Velde E.T., Mertens B., Marsan N.A., Delgado V., Bax J.J.. Inter-ethnic differences in valve morphology, valvular dysfunction, and aortopathy between Asian and European patients with bicuspid aortic valve. *European heart journal*. 2018 Apr 14;39(15):1308-1313. PMID: 29029058. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx562

39. Rodríguez-Palomares J.F., Dux-Santoy L., Guala A., Kale R., Maldonado G., Teixidó-Turà G., Galian L., Huguet M., Valente F., Gutiérrez L., González-Alujas T., Johnson M.K., Wieben O., García-Dorado D., Evangelista A.. Journal of cardiothoracic magnetic resonance. 2018 Apr 26;20(1):28. PMID: 29695249. DOI: 10.1186/s12968-018-0451-1.

40. Комаров Р.Н., Ногинов В.К. Варианты клапаносохраняющего хирургического лечения синдрома двусторчатого аортального клапана. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2022;26(2):9-16. <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2022-2-9-16>.

41. Mahadevia R., Barker A.J., Schnell S., Entezari P., Kansal P., Fedak P.W., Malaisrie S.C., McCarthy P., Collins J., Carr J., Markl M.. Bicuspid aortic cusp fusion morphology alters aortic three-dimensional outflow patterns, wall shear stress, and expression of aortopathy. *Circulation*. 2014 Feb 11;129(6):673-82. PMID: 24345403. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003026.

42. Della Corte A., Bancone C., Dialecto G., Covino F.E., Manduca S., Montibello M.V., De Feo M., Buonocore M., Nappi G.. The ascending aorta with bicuspid aortic valve: a phenotypic classification with potential prognostic significance. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2014 Aug;46(2):240-7. PMID: 24431175. DOI: 10.1093/ejcts/ezt621

43. Shaefer B.M., Lewin M.B., Stout K.K., Gill E., Prueitt A., Byers P.H., Otto C.M.. The bicuspid aortic valve: an integrated phenotypic classification of leaflet morphology and aortic root shape. *Heart*. 2008 Dec;94(12):1634-8. PMID: 18308868. DOI: 10.1136/hrt.2007.132092.

44. Park C.B., Greason K.L., Suri R.M., Michelena H.I., Schaff H.V., Sundt 3rd T.M.. Fate of nonreplaced sinuses of Valsalva in bicuspid aortic valve disease. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2011 Aug;142(2):278-84. PMID: 21036368. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.08.055.

45. Fazel S.S., Mallidi H.R., Lee R.S., Sheehan M.P., Liang D., Fleischman D., Herfkens R., Mitchell R.S., Miller D.C.. The aortopathy of bicuspid aortic valve disease has distinctive patterns and usually involves the transverse aortic arch. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2008 Apr;135(4):901-7, 907. e1-2. PMID: 18374778. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2008.01.022.

46. Kim D.H., Handschumacher M.D., Levine R.A., et al. Aortic valve adaptation to aortic root dilatation: insights into the mechanism of functional aortic regurgitation from 3-dimensional cardiac computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014;7(5):828–835

47. Ballocca F., Ruggeri G.M., Roscoe A., Thampinathan B., David T.E., Lang R.M., Meineri M., Tsang W.. Aortic root changes before and after surgery for chronic aortic dilatation: A 3D Echocardiographic study. *Echocardiography*. 2019 Feb;36(2):376-385. PMID: 30556230. DOI: 10.1111/echo.14216

48. Ju M.H., Oh S.Y., Choo S.J., Yang D.H., Kang J.-W., Kim J.B., Shinn S.H., Lee J.W., Lim T.-H.. Three-Dimensional Computed Tomographic Analysis of Normal and Aneurysmal Aortic Roots: Is There a Specific Geometric Pattern in the Aortic Root? *Clinical Anatomy*. 2020 Jan;33(1):117-123. PMID: 31576608. DOI: 10.1002/ca.23482.

49. David T. E.. Additional anatomic information on the aortic root. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2015 Feb;149(2):408-10. PMID: 25457257. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.10.014.

50. Sasaki K., Kunihara T., Kasegawa H., Seki M., Seki H., Takada J., Sasuga S., Kumazawa R., Umezumi M., Iwasaki K.. Aortic root geometry following valve-sparing root replacement with reimplantation or remodeling: experimental investigation under static continuous pressure. *Journal of artificial organs*. 2021 Jun;24(2):245-253. PMID: 33484362. DOI: 10.1007/s10047-020-01242-4

REFERENCES

1. De Paulis R., Salica A. Surgical anatomy of the aortic valve and root-implications for valve repair. *Annals of cardiothoracic surgery*. 2019 May;8(3):313-321. doi: 10.21037/acs.2019.04.16. PMID: 31240175
2. Paiocchi V.L., Faletta F.F., Ferrari E., Schlossbauer S.A., Leo L.A., Maisano F. Multimodality imaging of the anatomy of the aortic root. *Journal of cardiovascular development and disease*. 2021 May 4;8(5):51. PMID: 34064421. doi: 10.3390/jcdd8050051
3. Irace F.G., Chirichilli I., Salica A., D'Aleo S., Wolf L.G., Garufi L., De Paulis R. Aortic root anatomy after aortic valve reimplantation. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2021 Apr 16;S0022-5223(21)00695-4. PMID: 33985805. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2021.03.115.
4. Almoosawy. S.A., Lucka P., Cummine R., Buchan K.. The aortic root hexagon as an aide memoire to the important surgical landmarks. *Clinical anatomy*. 2020 Nov;33(8):1228-1234. PMID: 31983068. DOI: 10.1002/ca.23571
5. Lansac E., Lim H-S., Shomura Y., Lim K.H., Rice N.T., Di Centa I., Youssefi P., Goetz W., Doran C.M.G.. Aortic valve opening and closure: the clover dynamics. *Annals of cardiothoracic surgery*. 2019 May;8(3):351-361. PMID: 31240179. DOI: 10.21037/acs.2019.05.03.
6. Koshkelashvili N., Bucay M.J., Goykhman I., Pressman G.S.. Aortic root and valve proportions: an example of the golden ratio? *Monaldi archives for chest disease*. 2019 Jul 15;89(2). PMID: 31315350. DOI: 10.4081/monaldi.2019.1022.
7. Wang X., Ren X-S., An Y-Q., Hou Z-H., Yu Y-T., Lu B., Wang F.. A specific assessment of the normal anatomy of the aortic root in relation to age and gender. *International journal of general medicine*. 2021 Jun 25;14:2827-2837. PMID: 34234516. DOI: 10.2147/IJGM.S312439
8. Petersen J., Voigtlander L., Schofer N., Neumann N., von Kodolitsch Y., Reichenspurner H., Girdauskas E.. Geometric changes in the aortic valve annulus during the cardiac cycle: impact on aortic valve repair. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2018 Sep 1;54(3):441-445. PMID: 29514226. DOI: 10.1093/ejcts/ezy099
9. Yacoub M.H., Aguib H., Gamrah M.A., Shehata N., Nagy M., Donia M., Aguib Y., Saad H., Romeih S., Torii R., Afifi A., Lee. S-L.. Aortic root dynamism, geometry, and function after the remodeling operation: Clinical relevance. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2018 Sep;156(3):951-962.e2. PMID: 29884493. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.03.157.
10. O'Brien, B.; Zafar, H.; De Freitas, S.; Sharif, F. Transseptal Puncture—Review of Anatomy, Techniques, Complications and Challenges. *International journal of cardiology*. 2017 Apr 15;233:12-22. PMID: 28202256. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.02.009
11. El Khoury G., Glineur D., Rubay J., Verhelst R., d'Udekem d'Acoz Y., Poncelet A., Astarci P., Noirhomme Ph., van Dyck M.. Functional classification of aortic root/valve abnormalities and their correlation with etiologies and surgical procedures. *Current opinion in cardiology*. 2005 Mar;20(2):115-21. PMID: 15711197. doi: 10.1097/01.hco.0000153951.31887.a6
12. Kuniyara T. Anatomy of the aortic root: implications for aortic root reconstruction. *General thoracic and cardiovascular surgery*. 2017 Sep;65(9):488-499. PMID: 28656518. DOI: 10.1007/s11748-017-0792-y
13. Mori S., Izawa Y., Shimoyama S., Tretter J.T.. Three-Dimensional Understanding of Complexity of the Aortic Root Anatomy as the Basis of Routine Two-Dimensional Echocardiographic Measurements. *Circulation journal*. 2019 Oct 25;83(11):2320-2323. PMID: 31511440. DOI: 10.1253/circj.CJ-19-0652
14. Toh H., Mori S., Tretter J.T., Izawa Y., Shimoyama S., Suzuki M., Takahashi Y., Tsuda D., Toba T., Fujiwara S., Hirata K., Anderson R.H.. Living Anatomy of the Ventricular Myocardial Crescents Supporting the Coronary Aortic Sinuses. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery*. 2020 Summer;32(2):230-241. PMID: 31954834. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2020.01.001
15. Yamada T, Lau YR, Litovsky SH, et al: Prevalence and clinical, electrocar-diographic, and electrophysiologic characteristics of ventricular arrhyth- mias originating from the noncoronary sinus of Valsalva. *Heart Rhythm* 10:1605–1612, 2013
16. De Kerchove L., Jashari R., Boodhwani M., Duy K.T., Lengele B., Gianello P., Nezhad Z.M., Astarci P., Noirhomme P., El Khoury G.. Surgical anatomy of the aortic root: Implication for valve-sparing reimplantation and aortic valve annuloplasty. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2015 Feb;149(2):425-33. PMID: 25439782. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.09.042
17. O'Connor S.A., Morice M.C., Gilard M., Leon M.B., Webb J.G., Dvir D., Rodés-Cabau J., Tamburino C., Capodanno D., D'Ascenzo F., Garot P., Chevalier B., Mikhail G.W., Ludman P.F.. Revisiting sex equality with transcatheter aortic valve replacement outcomes: a collaborative, patient-level meta-analysis of 11,310 patients. *Journal of the American College of Cardiology*. 2015 Jul 21;66(3):221-228. PMID: 26184614. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.05.024.
18. Du F., Liu X., Zhu Q., He Y., Jiang J., Napawan T., Jaiswal S., Chen Z., Wang J.. Sex-specific aortic root anatomy in patients with bicuspid aortic valve undergoing TAVR in a Chinese cohort. *Herz*. 2020 Jun;45(4):375-381. PMID: 30483815. DOI: 10.1007/s00059-018-4740-0
19. Contino M., Mangini A., Lemma M.G., Romagnoni C., Zerbi P., Gelpi G., Antona C.. A geometric approach to aortic root surgical anatomy. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2016 Jan;49(1):93-100. PMID: 25724903. DOI: 10.1093/ejcts/ezv059.
20. Mori S, Anderson RH, Tahara N, et al. The differences between bisecting and off-center cuts of the aortic root: the three-dimensional anatomy of the aortic root reconstructed from the living heart. *Echocardiography* 2017 Mar;34(3):453-461.doi: 10.1111/echo.13468. PMID: 28160343.
21. Federspiel J.M., Ehrlich T., Abeln K., Schäfers H-J.. Aortic annuloplasty: Subcommissural, intra-annular suture techniques, external and internal rings. *JTCVS Techniques*. 2021. Jun; 7: 98–102. PMID: 34318215. doi: 10.1016/j.xjte.2020.12.044
22. Youssefi P., Lansac E.. Aortic annulus and the importance of annuloplasty. *Indian journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2020 Jan;36(Suppl 1):88-96. PMID: 33061189. doi: 10.1007/s12055-019-00852-9
23. Izawa Y., Mori S., Tretter J.T., Quintessenza J.A., Toh H., Toba T., Watanabe Y., Kono A.K., Okada K., Hirata K-I.. Normative aortic valvar measurements in adults using cardiac computed tomography - a potential guide to further sophisticated aortic valve-sparing surgery. *Circulation journal*. 2021 Jun 25;85(7):1059-1067. PMID: 33408304. DOI: 10.1253/circj.CJ-20-0938.
24. Randhawa A., Gupta T., Singh P., Aggarwal A., Sahni D.. Description of the aortic root anatomy in relation to transcatheter aortic valve implantation. *Cardiovascular pathology*. 2019 May-Jun;40:19-23. PMID: 30772639. DOI: 10.1016/j.carpath.2019.01.005
25. Kheradvar A., Vannan M.A., Lakshmi P.D., Pedrizzetti G.. The effect of aortic root anatomy vortex flow induced shear stress on the aortic valve leaflets. *European heart journal. Cardiovascular Imaging*. 2021 Aug 14;22(9):995-997. PMID: 33758910. DOI: 10.1093/ehjci/jeab031.
26. Nasr A.Y., Tahlawi M.E.. Anatomical and radiological angiographic study of the coronary ostia in the adult human hearts and their clinical significance. *Anatomy & cell biology*. 2018 Sep;51(3):164-173. PMID: 30310708. DOI: 10.5115/acb.2018.51.3.164.
27. Agrawal R. Anatomical study of coronary ostia in cadaveric hu man heart. *Global Journal For Research Analysis*. 2018 Mar; 7(3): 23-25.
28. Smettei O.A., Sayed S., Abazid R.M.. The prevalence of coronary artery anomalies in Qassim Province detected by cardiac computed tomography angiography. *Journal of the Saudi Heart Association*. 2017 Apr;29(2):84-89. PMID: 28373781. DOI: 10.1016/j.jsha.2016.07.006.
29. Villa A.D., Sammut E., Nair A., Rajani R., Bonamini R., Chiribiri A.. Coronary artery anomalies overview: the normal and the abnormal. *World J Radiol*. 2016;8:537–55.
30. Fujiyoshi T., Matsumoto R., Kamiya K., Ogino H.. Inter-operative determination of the aortic root and cusp geometry

associated with the aortic regurgitation grade. *Surgery today*. 2021 Mar;51(3):384-390. PMID: 32776293

31. De Kerchove L., Momeni M., Aphram G., Watremez C., Bollen X., Jashari R., Boodhwani M., Astarci P., Noirhomme P., El Khoury G.. Free margin length and coaptation surface area in normal tricuspid aortic valve: an anatomical study. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2018 May 1;53(5):1040-1048. PMID: 29253123. DOI: 10.1093/ejcts/ezx456

32. Komiya T., Shimamoto T., Nonaka M., Matsuo T.. Is small cusp size a limitation for aortic valve repair? *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2019 Sep 1;56(3):497-502. PMID: 30824918. DOI: 10.1093/ejcts/ezz053.

33. Khelil N., Sleilaty G., Palladino M., Fouda M., Escande R., Debauchez M., Di Centa I., Lansac E.. Surgical anatomy of the aortic annulus: landmarks for external annuloplasty in aortic valve repair. *The Annals of thoracic surgery*. 2015 Apr;99(4):1220-6. PMID: 25728963. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2014.12.034.

34. Schäfers P.-J., Schmied W., Marom G., Aicher D.. Cusp height in aortic valves. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2013 Aug;146(2):269-74. PMID: 22853942. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2012.06.053.

35. Yang T., Wen H., El-Hamamsy I., Ni Q., Sun Y., Zhu D.. Relationship between leaflets and root in normal aortic valve based on computed tomography imaging: implication for aortic valve repair. *Frontiers in cardiovascular medicine*. 2021 Nov 22;8:731440. PMID: 34881298. DOI: 10.3389/fcvm.2021.731440.

36. Abeln K.B., Giebels C., Ehrlich T., Federspiel J.M., Schäfers H.-J.. Which Aortic Valve Can Be Surgically Reconstructed? *Current cardiology reports*. 2021 Jul 2;23(8):108. PMID: 34213661. DOI: 10.1007/s11886-021-01525-z.

37. Chirichilli I., Irace F., Weltert L., Tsuda K., Scaffa R., Salica A., Galea N., De Paulis R.. Morphological modification of the aortic annulus in tricuspid and bicuspid valves after valve reimplantation: an electrocardiography-gated computed tomography study. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2019 Oct 1;56(4):778-784. PMID: 30859210. DOI: 10.1093/ejcts/ezz065.

38. Kong W.K.F., Regeer M.V., Poh K.K., Yip J.W., van Rosendaal P.J., Yeo T.C., Tay E., Kamperidis V., van der Velde E.T., Mertens B., Marsan N.A., Delgado V., Bax J.J.. Inter-ethnic differences in valve morphology, valvular dysfunction, and aortopathy between Asian and European patients with bicuspid aortic valve. *European heart journal*. 2018 Apr 14;39(15):1308-1313. PMID: 29029058. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx562

39. Rodríguez-Palomares J.F., Dux-Santoy L., Guala A., Kale R., Maldonado G., Teixidó-Turà G., Galian L., Huguet M., Valente F., Gutiérrez L., González-Alujas T., Johnson M.K., Wieben O., García-Dorado D., Evangelista A.. *Journal of cardiothoracic magnetic resonance*. 2018 Apr 26;20(1):28. PMID: 29695249. DOI: 10.1186/s12968-018-0451-1.

40. Komarov R.N., Noginov V.K. The possibilities of valve-sparing surgical treatment of bicuspid aortic valve syndrome. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2022;26(2):9-16. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2022-2-9-16>.

41. Mahadevia R., Barker A.J., Schnell S., Entezari P., Kansal P.,

Fedak P.W., Malaisrie S.C., McCarthy P., Collins J., Carr J., Markl M.. Bicuspid aortic cusp fusion morphology alters aortic three-dimensional outflow patterns, wall shear stress, and expression of aortopathy. *Circulation* 2014 Feb 11;129(6):673-82. PMID: 24345403. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003026.

42. Della Corte A., Bancone C., Dialecto G., Covino F.E., Manduca S., Montibello M.V., De Feo M., Buonocore M., Nappi G.. The ascending aorta with bicuspid aortic valve: a phenotypic classification with potential prognostic significance. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2014 Aug;46(2):240-7. PMID: 24431175. DOI: 10.1093/ejcts/ezt621

43. Shaefer B.M., Lewin M.B., Stout K.K., Gill E., Prueitt A., Byers P.H., Otto C.M.. The bicuspid aortic valve: an integrated phenotypic classification of leaflet morphology and aortic root shape. *Heart*. 2008 Dec;94(12):1634-8. PMID: 18308868. DOI: 10.1136/hrt.2007.132092.

44. Park C.B., Greason K.L., Suri R.M., Michelena H.I., Schaff H.V., Sundt 3rd T.M.. Fate of nonreplaced sinuses of Valsalva in bicuspid aortic valve disease. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2011 Aug;142(2):278-84. PMID: 21036368. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.08.055.

45. Fazel S.S., Mallidi H.R., Lee R.S., Sheehan M.P., Liang D., Fleischman D., Herfkens R., Mitchell R.S., Miller D.C.. The aortopathy of bicuspid aortic valve disease has distinctive patterns and usually involves the transverse aortic arch. *The journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2008 Apr;135(4):901-7, 907. e1-2. PMID: 18374778. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2008.01.022.

46. Kim D.H., Handschumacher M.D., Levine R.A., et al. Aortic valve adaptation to aortic root dilatation: insights into the mechanism of functional aortic regurgitation from 3-dimensional cardiac computed tomography. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014;7(5):828-835

47. Ballocca F., Ruggeri G.M., Roscoe A., Thampinathan B., David T.E., Lang R.M., Meineri M., Tsang W.. Aortic root changes before and after surgery for chronic aortic dilatation: A 3D Echocardiographic study. *Echocardiography*. 2019 Feb;36(2):376-385. PMID: 30556230. DOI: 10.1111/echo.14216

48. Ju M.H., Oh S.Y., Choo S.J., Yang D.H., Kang J.-W., Kim J.B., Shinn S.H., Lee J.W., Lim T.-H.. Three-Dimensional Computed Tomographic Analysis of Normal and Aneurysmal Aortic Roots: Is There a Specific Geometric Pattern in the Aortic Root? *Clinical Anatomy*. 2020 Jan;33(1):117-123. PMID: 31576608. DOI: 10.1002/ca.23482.

49. David T. E.. Additional anatomic information on the aortic root. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2015 Feb;149(2):408-10. PMID: 25457257. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.10.014.

50. Sasaki K., Kuniyama T., Kasegawa H., Seki M., Seki H., Takada J., Sasuga S., Kumazawa R., Umezumi M., Iwasaki K.. Aortic root geometry following valve-sparing root replacement with reimplantation or remodeling: experimental investigation under static continuous pressure. *Journal of artificial organs*. 2021 Jun;24(2):245-253. PMID: 33484362. DOI: 10.1007/s10047-020-01242-4

Для цитирования: Ногинов В.К., Комаров Р.Н., Багатурия Г.О., Дзюндзя А.Н., Ленковец М. Хирургическая анатомия корня аорты в аспекте его реконструкции. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2025;14(1): 91-102. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-1-91-102

To cite: Noginov V.K., Komarov R.N., Bagaturiya G.O., Dzyundzia A.N., Lenkovecz M. Surgical anatomy of the aortic root in the aspect of its reconstruction. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2025;14(1): 91-102. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-1-91-102