

Клапан легочного ствола: спорные вопросы терминологии и анатомии

А.А. Якимов^{1,2}

¹ Уральский государственный медицинский университет Минздрава России
620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3

² Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Резюме

Данные об анатомии клапанов сердца человека актуальны в связи с развитием кардиохирургии, лучевой и ультразвуковой диагностики, аддитивных технологий в биоинженерии. Из четырех клапанов сердца клапан легочного ствола изучен в наименьшей степени. Настоящая статья представляет собой обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных спорным вопросам терминологии, макро- и микроскопического строения, проекционной и внутриорганной топографии клапана легочного ствола в условиях нормы. В статье уточнено соотношение понятий «pulmonary valve» и «pulmonary root», проанализированы имеющиеся в анатомии и кардиологии представления о компонентном составе клапанного комплекса. Согласно большинству современных публикаций, в состав клапана легочного ствола целесообразно включать межзаслоночные треугольники и комиссуры, эти понятия следует различать. Отмечена необоснованность использования термина «фиброзное кольцо» по отношению к входу в легочный ствол. Представлены морфометрические данные о периметре, диаметрах клапана, размерах полулунных заслонок, синусов, зависимости этих размеров от антропометрических параметров. Описаны достоинства и недостатки подходов, используемых при описании синусов и заслонок легочного ствола. Обобщены данные литературы о фиброархитектонике и цитоархитектонике клапана легочного ствола, о его анатомии в плодном периоде. Отмечена необходимость выработки единства подходов к описанию нормальной анатомии легочного ствола для развития доказательной морфологии.

Ключевые слова: нормальная анатомия человека, анатомическая терминология, сердце, клапаны сердца, легочный ствол, легочная артерия.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Автор для переписки. Якимов А.А., e-mail: ayakimov07@mail.ru

Для цитирования: Якимов А.А. Клапан легочного ствола: спорные вопросы терминологии и анатомии. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2020; 40 (6): 44–57. doi: 10.15372/SSMJ20200605

Pulmonary valve: contradictions in terminology and anatomy

A.A. Yakimov^{1,2}

¹ Ural State Medical University of Minzdrav of Russia
620028, Yekaterinburg, Repin str., 3

² Ural Federal University n.a. the First President of Russia B.N. Yeltsin
620002, Yekaterinburg, Mira str., 19

Abstract

Data on the anatomy of human heart valves is of a great importance for cardiac surgery, X-ray and ultrasound diagnostics, and additive technologies in bioengineering. This review analyzed Russian and English-written papers and presented contradictions of terminology, macroscopic and microscopic structure, topography of the normal pulmonary valve. The article compared such terms as «pulmonary valve» and «pulmonary root», the approaches of different scientific sources for naming the sinuses and leaflets and analyzed constituents of the pulmonary valve complex. Pulmonary root appeared

us to be a distinct structure that includes the distal part of right ventricular outlet and proximal part of the pulmonary trunk. Interleaflet triangles and valvular commissures as well as semilunar leaflets and sinuses of Valsalva are thought to be parts of pulmonary valve complex. According to modern concepts, interleaflet triangles and valvular commissures are not the same and should be distinguished. The mouth of the pulmonary root is not surrounded with planar fibrous ring which anybody could reveal by dissection or histology technics, so the “fibrous ring” of the pulmonary artery is nothing more than an anatomical myth. The paper cited morphometrical data on the perimeter, valve diameters, sizes of semilunar leaflets and sinuses, revealed various models of regression and correlation between the size of the valve and body parameters. We summarized data on cell and fiber architectonics of the valve. Terminological and morphometric consensus in heart valves anatomy is the mandatory step on the way to the evidence-based morphology.

Key words: gross anatomy, anatomical terminology, heart anatomy, heart valves, pulmonary valve, pulmonary artery.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Correspondence author: Iakimov A.A., e-mail: aykimov07@mail.ru

Citation: Iakimov A. A. Pulmonary valve: contradictions in terminology and anatomy. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2020; 40 (6): 44–57. [In Russian]. doi: 10.15372/SSMJ20200605

Введение

Интерес морфологов к строению сердца и его структур обусловлен стабильно высоким уровнем сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности. В частности, болезни клапанов сердца ежегодно приводят к смерти примерно 20 000 людей по всему миру. Врожденные пороки клапанов регистрируются примерно у одного ребенка из ста родившихся живыми [1]. При врожденных пороках клапанов сердца чаще других поражается клапан легочного ствола (ЛС). С 2014 по 2017 г. только в США детям выполнили 3488 операций по реконструкции тракта оттока правого желудочка (ПЖ) [2]. Точная диагностика и оперативное лечение этой, как и, впрочем, любой другой патологии, будут успешны лишь при четком представлении о типовой и вариантной анатомии, об эталонных, нормативных анатомических характеристиках клапана. Практическая значимость анатомических исследований клапанного аппарата обусловлена не только запросами лучевой, ультразвуковой диагностики и кардиохирургии – особую актуальность такие исследования приобретают в последние годы в связи с развитием аддитивных технологий в биоинженерии сердца [2–4].

Определение предмета и задач исследований невозможно без анализа, систематизации и обобщения накопленных в науке сведений. Нами проведен поиск обзоров, опубликованных и проиндексированных за 2010–2020 гг. в Scopus и e-library. В Scopus по выражению (TITLE «pulmonary valve» AND KEY «heart valve» OR KEY «cardiac valve») найден 41 обзор, из них лишь один [5] посвящен анатомии ЛС. В e-library

в названии, аннотации и ключевых словах журнальных статей в результате поиска по словам «клапан легочной артерии» нашли 390 статей, по словам «клапан легочного ствола» – 101¹. Дальнейший визуальный анализ названий и аннотаций этих 491 публикации обнаружил лишь одну обзорную статью по анатомии сердца [6], обзоров по нормальной морфологии клапана ЛС не найдено. Таким образом, обобщающие работы, в которых были бы проанализированы спорные вопросы строения, топографии и терминологии клапана ЛС, в современной литературе отсутствуют, что и определило цель настоящей работы.

Спорные вопросы терминологии

Как называть этот клапан? В сердце выделяют два вида клапанов: предсердно-желудочковые и клапаны присердечных артерий, аорты и ЛС. Последние нередко называют артериальными или желудочково-артериальными [7, 8]. Как правило, в клинических публикациях клапаны аорты и ЛС носят название полулунных. Между тем, очевидно, что использование термина «полулунный» оправдано лишь в отношении клапанных заслонок, но никак не в отношении всего клапана как функционального объединения анатомических структур, препятствующих возврату крови из аорты или ЛС в соответствующий желудочек. В отличие от аорты, клапан которой обозначают корректным термином «аортальный клапан» («aortic valve»), для именованного клапа-

¹ Поисковые выражения вводили в окно «что искать» без кавычек. Результаты поиска приведены по состоянию на 01.06.2020.

на ЛС в большинстве англоязычных источников используют термин «pulmonary valve» [9–13], который вошел в новую редакцию официальной терминологии [14]. По нашему мнению, русский эквивалент данного термина не должен быть дословным переводом с иностранного языка («легочный клапан» [15, 16]), он должен звучать как «клапан ЛС», тем самым недвусмысленно отражая точную топографию этой структуры.

Что входит в состав клапана легочного ствола? В кардиоморфологии накоплено достаточно данных, которые позволяют усомниться в справедливости традиционных представлений о компонентном составе клапана ЛС и делают обоснованным их частичный пересмотр. Традиционно принято считать, что в состав клапана ЛС входят полулунные заслонки, синусы и фиброзное кольцо.

Как называть синусы и заслонки? В отечественной анатомии распространен традиционный подход, согласно которому у клапана ЛС имеется три синуса: передний, правый и левый [17]. Название того или иного синуса ЛС всегда совпадает с названием ограничивающей его полулунной заслонки. Синусы ЛС также называли передним, правым задним и левым задним [5, 18] либо правым передним, левым передним и задним [12] в силу их отношения к передней стенке грудной клетки и к грудино-реберной (передней) поверхности сердца. Однако терминология, основанная на таком подходе, уже не удовлетворяет клиницистов. Развитие лучевой диагностики, интервенционной кардиологии и кардиохирургии побудило использовать другой подход, согласно которому в названии синусов и заслонок ЛС должна быть отражена их внутриорганный топография, а именно соотношение с клапаном аорты [8]. Более 30 лет назад группа кардиоморфологов из Лейдена отметила, что клапаны аорты и ЛС расположены по отношению друг к другу, словно «лицом к лицу», и для именовании синусов предложила термины «лицевой» (обращенный к соседнему сосуду, в случае с ЛС – к аорте) и «нелицевой». По официальной номенклатуре нелицевой синус соответствовал переднему, 1-й лицевой – левому, 2-й лицевой – правому [12]. Это обозначение синусов аорты и ЛС вошло в науку как лейденская терминология [9, 10, 15]. В последней, третьей редакции Международной анатомической терминологии полулунные заслонки клапана ЛС обозначены как правая смежная, левая смежная и несмежная (с аортой. – А.Я.). Эти термины точны, но несколько громоздки, что, по справедливому замечанию [14], нарушает принцип максимально возможной простоты и удобства терминологии.

Фиброзное кольцо легочного ствола: факт или миф? Если принадлежность полулунных заслонок и синусов ЛС, под которыми понимают пространства между заслонками и стенкой сосуда, его клапану общепризнана, то вопрос о существовании фиброзного кольца ЛС является дискуссионным. С одной стороны, есть сведения о том, что «на 16 неделе в полулунных клапанах четко дифференцируются фиброзные кольца» [19], у взрослых заслонки ЛС окружены жестким фиброзным кольцом («tough, fibrous annular ring») [11], но морфологические доказательства, на основании которых сделаны эти выводы, в вышеупомянутых источниках отсутствуют. Термин «базальное кольцо» использует Д.А. Старчик, но не уточняет, является ли это «кольцо» реальной анатомической структурой округлой формы («ring») или под ним следует понимать условную окружность («annulus») [20]. Кольцом ЛС называют «фиброзную структуру в артериальном корне, к которой прикрепляются полулунные заслонки» [9]. В диссертационном исследовании [21] получены сведения о размерах ветвей фиброзного кольца ЛС, но не раскрыто содержание этих понятий.

С другой стороны, получены убедительные доказательства отсутствия фиброзного кольца в составе клапана ЛС [18, 22, 23]. Ни классическое препарирование, ни изучение серийных срезов [10], ни мультисрезовая КТ с последующей трехмерной реконструкцией и виртуальным препарированием [18, 22] не обнаружили реальную анатомическую структуру из соединительной ткани, которая соединяла бы самые проксимальные пункты синусов ЛС, имея при этом форму замкнутого кольца, все точки которого лежат в одной евклидовой плоскости. То, что обычно называют кольцом ЛС, – не более чем отверстие, расположенное в плоскости, проходящей через самые проксимальные пункты полулунных заслонок. Для обозначения границ этого отверстия в лучевой и ультразвуковой диагностике предложены термины «эхокардиографическое кольцо», «виртуальное базальное кольцо» «imaging annulus» [7, 13]. В сердце человека, как и других млекопитающих, синусы и заслонки клапана ЛС опираются не на фиброзную структуру, а поддерживаются «рукавом» миокарда отдела оттока ПЖ² [6, 24, 25]. При этом миокард внедряется в базальные отделы всех трех синусов, в результате чего желудочково-артериальное соединение, как и в корне аорты, по отношению

² Для обозначения части миокарда правого желудочка, поддерживающего ЛС, в англоязычной литературе очень распространен термин «subpulmonary infundibulum».

к входу в клапан ЛС оказывается смещенным дистально.

Граница циркулярной формы между миокардом ПЖ и стенкой ЛС, на вскрытом ЛС имеющая вид почти прямой линии, получила название «анатомическое желудочково-артериальное соединение» [8, 10]. Недавнее исследование фиброзного скелета сердца показало, что скопление соединительной ткани по линии этого соединения слишком тонко, чтобы называться кольцом, которое можно было бы отпрепарировать, резецировать или рассматривать как опору при наложении швов во время операции [13]. Иногда термин «кольцо [аорты или ЛС]» используют для совокупного обозначения места прикрепления трех заслонок ЛС. Эта линия имеет форму трех последовательно соединенных между собой парабол и называется гемодинамическим желудочково-артериальным соединением. Участок клапана ЛС, расположенный выше этой линии, гемодинамически принадлежит ЛС, а расположенный ниже (проксимальнее) относится к ПЖ. После иссечения стенок синусов по этой линии основание клапана ЛС, как и клапана аорты, приобретает форму трехзубцовой короны (cogon-shaped, crown-like) [8]. Ни форма, ни тканевой состав не дают оснований рассматривать это соединение как фиброзное кольцо.

В 1995 г. J.P. Sutton III и соавт. опубликовали обзор, в котором впервые за много десятилетий обратили внимание кардиоморфологов на незаслуженно забытые анатомические структуры – межзаслоночные треугольники [26]. Впрочем, обзор касался лишь корня аорты. Публикаций, которые содержали бы характеристику типовой и вариантной анатомии этих треугольников в ЛС, не обнаружено. Межзаслоночный треугольник – это «треугольная часть артериальной стенки между двумя синусами с основанием на желудочковом миокарде, тянущаяся до комиссур» [9]. Согласно [10], это «участки артериальной стенки проксимально от [линии] прикрепления заслонок, которые ввиду полулунной формы прикрепления внедряются в полость желудочка». Действительно, треугольники по бокам ограничены прикреплениями полулунных заслонок, т.е. гемодинамическим желудочково-артериальным соединением, поэтому называть их «межкомиссуральными», как это сделали [27], неверно. В ЛС, в отличие от аорты, межзаслоночные треугольники образованы миокардом, а не соединительнотканной стенкой сосуда [18], следовательно, они располагаются проксимально по отношению к обеим желудочково-артериальным границам: и анатомической, и гемодинамической. В этой свя-

зи причисление межзаслоночных треугольников к артериальной стенке, допущенное [9, 10], является некорректным. Эти структуры гистологически построены из миокарда отдела оттока, но с функциональных и топографо-анатомических позиций их правильнее относить к корню ЛС. По мнению F. Saremi et al., межзаслоночные треугольники – компоненты клапана ЛС [13].

Межзаслоночные треугольники часто ошибочно называют комиссурами клапана. Разграничению этих понятий посвящены работы [7, 8, 28]. «Комиссуры – это места артериальной стенки, где встречаются клапанные заслонки» [9] или периферические участки зон сопоставления (apposition) заслонок в местах их прикрепления к синотубулярному соединению (СТС) [7, 29]. Есть мнение, что комиссуры простираются до середины клапанного отверстия и не ограничиваются периферическим прикреплением свободного края створки к СТС [10]. В обоснование понятия «комиссура» можно привести три аргумента, а именно: а) семантический: термин «comissura» переводится как «спайка», т.е. нераздельное соединение чего-либо; б) анатомический – мобильные участки контакта створок или заслонок известны как зоны сопоставления, наложения или коаптации; в) хирургический – при комиссуротомии рассекают сросшиеся между собой участки заслонок, но никак не межзаслоночные треугольники, формирующие стенку корня ЛС. Структурно-функциональное единство комиссур и заслонок делает обоснованным их включение в состав клапанного аппарата [8]. Комиссуры и межзаслоночные треугольники ЛС называют передним, правым и левым [30] либо «право-левым», «право-несмежным» и «лево-несмежным» [31]. Достоинство первого подхода – простота и удобство, достоинство второго – топографо-анатомическая точность. Однако единая терминология этих структур, которая учитывала бы анатомические варианты и удовлетворяла как анатомов, так и клиницистов, отсутствует.

Клапан и корень легочного ствола: соотношение понятий. Для обозначения начального отдела ЛС по аналогии с аортой иногда употребляют термин «корень ЛС» («pulmonary root»). Имеющиеся в литературе определения этого понятия единичны и при этом весьма противоречивы. Первое противоречие состоит в отсутствии единства в оценке принадлежности «корня ЛС» сосуду или желудочку. Так, согласно R.V. Hokken et al., корень ЛС («pulmonary root») – это «первая часть ЛС [т.е. часть сосуда; выделено нами. – А.Я.] от прикрепления легочного кольца к миокарду ПЖ». Отнесение корня ЛС к легочному

стволу вполне логично и согласуется с описанием этой структуры [18]. В то же время С. Stamm et al. определили корень ЛС как «часть тракта оттока ПЖ, которая поддерживает заслонки легочного клапана» [10], тем самым фактически включив его в состав ПЖ. Взаимоисключающие утверждения обнаружены в статье R.H. Pignatelli et al., авторы которой, вслед за [10], отнесли корень ЛС к тракту оттока ПЖ, но тут же указали, что корень ЛС расположен «от полулунных прикреплений заслонок до СТС» [5].

Второе противоречие – в неоднозначности представлений о компонентном составе корня ЛС, в отсутствии единого мнения о том, что именно следует к нему относить. В состав корня ЛС включают полулунные заслонки, межзаслоночные треугольники [7, 9, 10], синусы ЛС целиком [10, 18] или только стенки синусов [9]. Кроме того, сюда относят комиссуры [9], СТС [9, 18], а также, каким бы странным, на первый взгляд, это ни казалось, – дистальные участки миокарда отдела оттока ПЖ («подлегочный инфундибулум»), расположенные выше плоскости, проходящей через самые проксимальные точки синусов. Из вышеизложенного представляется возможным сделать два важных вывода. Во-первых, корень ЛС не является частью ни ЛС, ни ПЖ. Оба желудочково-артериальных соединения – анатомическое и гемодинамическое – проходят не по проксимальной или дистальной границе корня, а через него. Следовательно, корень ЛС – самостоятельное топографо-анатомическое объединение структур, от устья ЛС (от виртуального базального кольца) до СТС [7]. Во-вторых, корень и клапан ЛС – не синонимы. Помимо общепризнанных элементов клапанного аппарата, в состав корня ЛС следует включать межзаслоночные треугольники и, возможно, СТС.

Синотубулярное соединение. Дистальной (верхней) границей корня ЛС является СТС [5, 7, 10, 20, 30]. СТС определили как «пограничную линию между более дистальной артериальной стенкой и более тонкой стенкой синусов» [9]. Это соединение отделяет синусы клапана от трубчатого компонента ЛС и соответствует уровню прикрепления к стенке ЛС периферических участков зон наложения заслонок [10]. Фактически СТС – та структура, которая более чем какая-либо другая в корне ЛС имеет право называться фиброзным кольцом [8]. До сих пор непонятно, можно ли считать СТС у ЛС самостоятельной внутриорганной анатомической структурой, как, например, надклапанный гребень аорты, а если такой гребень удастся обнаружить, то следует ли его относить к корню ЛС и расценивать как вариант нормы.

Спорные вопросы строения и топографии

Голотопия, скелетотопия и синтопия легочного ствола. Сведения о проекционной топографии клапана ЛС в отечественной литературе представлены почти исключительно в трудах оренбургских анатомов и касаются лишь плодотворного периода. У плодов 16–23 нед развития описаны варианты скелетотопических уровней начала и ветвления ЛС, соотношение ЛС с топографическими линиями тела, его морфометрическая синтопия [19, 32, 33]. Проекция клапана ЛС на переднюю грудную стенку всегда приходилась на ее левую половину. Наиболее часто в сагиттальной проекции клапан проецировался между левыми грудинной и окологрудинной линиями (59,1 %), в 22,7 % случаев – по левой окологрудинной линии и в 18,2 % – по левой грудинной линии, частично захватывая левую треть грудины. Скелетотопический уровень начала ЛС варьировал от третьего грудного до верхнего края пятого грудного позвонка [32, 33]. В эти же сроки развития проекция начала ЛС соответствовала второму ребру и второму межреберному промежутку. К 6–7 месяцу сердце приобретало более поперечное положение, в результате в 80 % случаев проекция ЛС соответствовала месту прикрепления третьего левого ребра к груди [34]. У плодов ЛС сверху и спереди сквозь перикард контактировал с тимусом, по бокам к нему прилежали ушки сердца. Левое ушко тесно соприкасалось с ЛС, тогда как правое находилось от него на расстоянии 1,63–1,7 мм [33]. По мере роста сердца изменяются пропорции его камер, в результате чего у взрослых площадь контакта ЛС с ушками сердца уменьшается и правая комиссура ЛС проецируется на линии, соединяющей верхушки ушек сердца [21]. Морфометрия расстояний от центра клапана ЛС до органов средостения, выполненная по поперечным срезам плодов 16–23 нед, не выявила значимых возрастных различий по таким параметрам, как расстояние до грудной части аорты ($4,8 \pm 0,9$ мм) и пищевода ($5,7\text{--}6,1$ мм), но показала уменьшение расстояния от ЛС до левого главного бронха: от $3,9 \pm 0,6$ мм в 16 нед до $2,4 \pm 0,3$ мм в 23 нед ($p < 0,05$) [33]. Исследования, предметом которых было бы установление особенностей и закономерностей проекционной топографии клапана ЛС у детей и взрослых, не обнаружены.

Внутрисердечная топография клапана. Четыре клапанных отверстия сердца находятся в разных плоскостях. При этом клапан ЛС занимает самое переднее и верхнее положение [13, 23, 35, 36]. Как у взрослых [15], так и у плодов ЛС

имеет не строго вертикальный ход, он идет спереди назад снизу вверх и отклоняется чуть влево [32, 33]. В горизонтальной плоскости клапан ЛС лежит на одном уровне с наиболее краниальной точкой корня аорты [37]. По одним данным, клапаны аорты и ЛС расположены косо по отношению друг к другу [18, 37, 38]; угол между их плоскостями составляет 30–35° [35]. В результате наклонного положения этих сосудов плоскость СТС аорты косо пересекает правый синус ЛС, а плоскость СТС ЛС, в свою очередь, косо пересекает левый коронарный синус аорты [25]. По другим данным, ось корня аорты находится почти под прямым углом к оси корня ЛС и правожелудочкового инфундибулума [7], а клапан ЛС располагается почти во фронтальной плоскости по отношению к оси тела, тогда как плоскость аортального клапана проходит в горизонтальной плоскости, скошенной немного вправо и вниз [30]. Следует заметить, что эти утверждения основаны на эмпирических наблюдениях авторов и лишь в единичных случаях [32, 33, 35] представляют собой выводы, сделанные по результатам морфометрических исследований. Кроме того, причиной расхождений может быть неоднозначность понятийного аппарата в сложной стереометрии сердца.

Принято считать, что часть стенок правого и левого синусов ЛС, а также расположенный между ними межзаслоночный треугольник проксимально (внизу) крепятся к выводному отделу межжелудочковой перегородки [9, 24]. Но в действительности корень ЛС находится *над* перегородкой на миокарде выводного отдела ПЖ, наиболее дистальный (верхний) участок которого известен как «свободно стоящий подлегочный инфундибулум» или миокардиальный «рукав» ПЖ. Пересечение этого участка не сопровождается проникновением в полости желудочков, что делает возможным перемещение клапана ЛС в аортальную позицию при операции Росса [5, 25, 27]. Важно подчеркнуть, что, вопреки традиционным представлениям, клапан ЛС никак не связан с фиброзным скелетом сердца [13, 30]. Миокард ПЖ продолжается в межзаслоночные треугольники, и за счет изгибов миокарда на границе с ЛС основания этих треугольников оказываются более дистально, чем нижние точки синусов [9, 12]. Основания заслонок ЛС, за исключением переднего участка левой заслонки, целиком начинаются от мышечных стенок выводного отдела ПЖ [30]. Позади от левого синуса («заднего», по [18]) проходит левая венечная артерия, а снизу – ее первая перегородочная перфорирующая ветвь [8, 18]. При изучении 22 препаратов сердца детей и взрослых установлено, что эта ветвь в 25 %

случаев шла ниже фиброзного кольца ЛС, в 30 % – на одном уровне с ним, но чаще (45 %) – выше него [27]. Переднюю заслонку поддерживает свободная³ стенка «инфундибулума» [8]. Треугольник между правой и передней заслонками является продолжением миокарда передней ветви перегородочно-краевой трабекулы [30], происходящей из желудочково-инфундибулярной (в старой терминологии – бульбовентрикулярной) складки. Эта складка вместе с миокардом выводного отдела ПЖ формирует наджелудочковый гребень, который отделяет ЛС от правого предсердно-желудочкового клапана [8, 18].

При описании топографии структурных элементов клапана ЛС в литературе подчас встречаются противоречивые и даже взаимоисключающие утверждения. Так, синус ЛС, именуемый в официальной терминологии передним (он же – нелицевой, несмежный), Н. Muresian назвал левым передним, правый – правым передним, левый – задним [12]. При этом Г.Э. Фальковский утверждал, что «правая створка [клапана ЛС] обращена к аорте, левая – наиболее передняя, а задняя лежит непосредственно в плоскости выводного отдела ПЖ» [30]. Эта терминологическая путаница отчасти обусловлена разным пониманием переднезадних и праволевых ориентиров при изучении эвисцерированного препарата и прижизненной анатомии сердца *in situ* [28, 36], а также, по нашему мнению, отражает ошибочное представление об анатомической норме как о наиболее часто встречающемся анатомическом паттерне, а не как о диапазоне анатомических вариантов. Три формы положения полулунных заслонок и синусов ЛС выделены в диссертационном исследовании [21]. Наиболее типичным был вариант, при котором стенки двух синусов были обращены к корню аорты, а третий синус, несмежный с аортой, занимал переднее положение. В 31,7 % случаев два синуса располагались спереди и только один был смежным с аортой, в 16,8 % стенка одного синуса была обращена вперед, стенка другого – назад, к аорте, и стенка третьего – вправо [21]. Варибельность проекции комиссур ЛС на корень аорты выявлена уже у плодов 6–7 мес. развития [34]. В постнатальном онтогенезе задняя комиссура ЛС «проецировалась в заднеправой четверти клапанного кольца», соприкасалась с аортой, и была ограничена переходными листками перикарда. При первой форме положения створок левая комиссура была смещена кпереди от фронтального диаметра на

³ Термин принят в кардиоморфологии как антоним термина «перегородочная стенка».

2–5 мм, при второй – кзади на 2–5 мм и при третьей находилась во фронтальной плоскости [21]. Используя метод распилов по Н.И. Пирогову, изучили взаимное расположение передней комиссуры клапана аорты и задней комиссуры ЛС. В 17 случаях из 55 эти комиссуры находились на одном уровне, в 11 передняя комиссура клапана аорты располагалась на 0,3–0,7 см правее задней комиссуры клапана ЛС [38]. Левый синус ЛС почти всегда был обращен к передней трети левого коронарного синуса аорты, тогда как правый синус ЛС и задний межзаслоночный треугольник примерно с одинаковой частотой были обращены к правому коронарному синусу либо к переднему межзаслоночному треугольнику и соответствующей комиссуре клапана аорты [35]⁴.

Доказано, что клапан ЛС вместе с «подлегочным инфундибулумом» отделены от расположенного сзади корня аорты скоплением рыхлой соединительной ткани, пучки волокон которой иногда ошибочно называют связкой инфундибулума [7, 22, 39]. При препарировании ни в одном из пяти сердец младенцев не нашли плотных оформленных фиброзных пучков между ЛС и аортой, которые можно было бы назвать связкой, но в трех из шести сердец взрослых эти пучки были четко видны, они соединяли между собой вершины смежных межзаслоночных треугольников аорты и ЛС и брали начало из адвентиции этих сосудов [25]. Таким образом, при описании взаимного положения клапанов ЛС и аорты корректно говорить о *проекции* тех или иных клапанных элементов, но не об их непосредственном соприкосновении.

Макроанатомия клапана: размеры, возрастная динамика и взаимосвязи. Нормативные морфометрические характеристики клапана ЛС, содержащиеся в 19 работах, опубликованных в XX в., проанализированы и обобщены коллективом авторов из НЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева. Авторы отметили достоинства и ограничения этих исследований, однако уделили внимание лишь двум параметрам: длине окружности (периметру) и диаметру, и не уточнили содержание этих понятий и уровни измерения [16]. Как утверждают S. Jonas et al., клапан ЛС в сравнении с клапаном аорты немного больше по размеру и имеет более тонкую стенку, у мужчин он крупнее, чем у женщин, но морфометрических доказательств авторы не приводят [11]. Средний диаметр ЛС на полимерно-бальзамированных препаратах составил 18,0 мм, на персонифицированных трехмерных моделях – 17,67 мм [40]. До-

казано, что диаметры клапана ЛС на разных его уровнях неодинаковы: максимальный диаметр клапан имел на уровне наиболее выступающих в стороны точек синусов, минимальный – на уровне «базального кольца» [20, 21, 41]. При изучении препаратов, фиксированных под физиологическим давлением, показано, что продольный размер устья ЛС на 17–28 % превышал поперечный; сделан вывод, что форма отверстия меняется от круглой до овальной в зависимости от функционального состояния клапана. В течение жизни «кольцо» ЛС увеличивалось в 4,04 раза, наибольшие темпы роста характерны для раннего детства и подросткового возраста [42].

Диаметр ЛС на уровне верхнего края синусов у детей до года равен 0,7–1,1 см, в возрасте 1–6 лет – 1,2–1,7 см, у подростков – 1,8–2,5 см [21]. На слепках клапана взрослого человека диаметр ЛС в самом широком месте составлял $26,4 \pm 0,1$ мм, варьируя от 21 до 31 мм [20], тогда как на влажных препаратах он равнялся $35 \pm 0,05$ мм [43] и мог достигать 37 мм [21, 41]. Есть данные, что диаметр ЛС в узких сердцах меньше, чем в широких, и, в отличие от объема клапана, является конституционально зависимым признаком [20, 41]. Длина клапана ЛС находилась в интервале от 14 до 24 мм, могла достигать 27 мм и, как и диаметр, зависела от соматотипа [20]. Расхождения результатов морфометрии отчасти связаны с использованием разных методик, но в то же время отражают индивидуальную, ассоциированную с типом телосложения, и половую изменчивость: если в исследование [20] вошли только препараты сердец женщин, то данные [21, 42, 43] получены при измерении клапанов лиц обоего пола.

На 160 фиксированных в формалине препаратах сердца людей 16–83 лет измерили длину окружности клапана ЛС, сопоставили ее с площадью поверхности тела, но не выявили зависимости между этими параметрами [44]. Однако ранее исследовательская группа [45], изучив также фиксированные препараты, но применив логарифмическое преобразование, нашла сильные корреляционные связи между величинами окружностей клапана аорты, ЛС и площадью поверхности тела. Это заключение нашло подтверждение в масштабном исследовании, выполненном на нефиксированных препаратах [46]. S.V. Carrs et al. изучили клапаны 6801 сердца людей от новорожденности до 59 лет (медиана 32 года) без болезней клапанов; для измерения диаметра клапана ЛС оказались пригодными 5480 препаратов. Средний диаметр клапана ЛС у взрослых мужчин составил $26,2 \pm 2,3$ мм и превышал аналогичный параметр у женщин в среднем в 1,1 раза. При

⁴ В работах [21, 34, 35, 38] комиссурами ошибочно именуется межзаслоночные треугольники.

сопоставлении диаметра ЛС с антропометрическими параметрами самой слабой была регрессионная связь с индексом массы тела у женщин (коэффициент регрессии r^2 23 %), самой сильной – с массой и площадью поверхности тела у мужчин (84 %) [46].

Результаты морфометрии полулунных заслонок и синусов ЛС представлены в работах [21, 27, 41–43, 47]. Показана зависимость ширины заслонок клапана ЛС от вариантов его разворота по отношению к корню аорты [21]. Высота синусов ЛС была в 1,27–1,73 раза меньше его диаметра [42]. Высота заслонок составила 0,4–1,2 см у детей до 6 лет, 1–1,5 см в 7–12 лет, 1,2–1,6 см у подростков и 1,4–2,5 см у взрослых [21]. Ширина заслонок превышала ширину соответствующих им синусов как у детей (на 2–5 мм), так и у взрослых (на 4–8 мм). Ширина синусов ЛС с возрастом также увеличивалась, наиболее интенсивно – в грудном и подростковом возрасте, при этом чем больше была высота заслонки, тем меньше ее ширина. Увеличение высоты и ширины заслонок клапанов присердечных сосудов, отмеченное отечественными исследователями [21, 42], нашло свое подтверждение в работе [29]. D. van Geemen et al. обратили внимание на то, что по сравнению с клапаном аорты размеры заслонок клапана ЛС с возрастом увеличивались несколько быстрее. Кроме того, выявлены возрастные особенности толщины разных участков заслонок. У детей все участки заслонок имели одинаковую толщину, но у взрослых и юношей их комиссуральная зона была тоньше, чем центральная [29]. Наоборот, по данным [10], полученным при изучении серийных гистологических срезов пяти нормальных препаратов клапана ЛС, полулунные заслонки были толще у места прикрепления вблизи комиссур, нежели в центре. В монографии К.И. Кульчицкого с соавт. обращено внимание на разную площадь полулунных заслонок ЛС. Наименьшую площадь имела правая заслонка, наибольшую – левая; суммарная площадь заслонок составила $7,05 \pm 0,15 \text{ см}^2$ [43].

Фетальная анатомия клапана. Нормальная анатомия клапана ЛС у плода человека явилась предметом исследований [32, 48–51]. Изучение анатомических препаратов показало, что длина окружности фиброзного кольца клапана ЛС в сроки от 16 до 22 нед развития плода увеличилась от $7,71 \pm 0,21$ до $11,58 \pm 0,24$ мм [19], от 20 до 36 нед – с 11–12,0 до 18–20 мм (D. Schulz, D. Giordano, цит. по [16]). С 16 до 22 нед толщина стенки клапана ЛС возросла от 0,32 до 0,47 мм, переднезадний размер клапана ЛС – от 2,52 до 3,88 мм, поперечный диаметр – в 1,58 раза [32]. По данным E.H. Castillo et al., внешний диаметр

ЛС у плодов 13–20 нед варьировал в интервале 2,2–4,2 мм и почти не отличался от диаметра его клапана [50]. Клапаны аорты и ЛС до 16 нед развития одинаковы по диаметру, но затем диаметр ЛС превышал диаметр восходящего отдела аорты, что сохранялось в течение всего пренатального периода [52]. От 8 до 40 нед длина заслонок ЛС возросла в среднем в 16 раз, высота – в 12 раз, кроме того, наблюдалось существенное увеличение площади клапана ЛС [34].

Выявлена логарифмическая зависимость окружностей и диаметров клапанов этих сосудов от массы плода. Так, при увеличении диаметра клапана ЛС на 3,8 мм логарифм массы тела плода возрастал на 1 кг [53]. Возрастная динамика объема, длины и диаметра ЛС, а также отсутствие половых различий значений этих параметров показаны при исследовании 128 препаратов плодов 15–34 нед, инъецированных латексом под давлением 50–60 мм рт. ст. У плодов 15 нед диаметр устья ЛС был равен $1,5 \pm 0,24$ мм и к 34 нед линейно увеличился в 3,53 раза. Длина ЛС также возрастала линейно, тогда как объем ЛС изменялся по квадратичной функции [51]. Измерения, выполненные при УЗИ, показали, что диаметр ЛС в 10 нед развития был равен 0,8 мм, в 17 нед достигал 2,9 мм [49]. Вышеприведенные значения отличаются в меньшую сторону от значений диаметра устья ЛС, принятых в НИЦ сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева в качестве референсных. Не обнаружено значимых различий между величиной диаметра клапана ЛС в систолу и диастолу. Эхоскопически оценив этот параметр у 338 плодов 14–42 нед в разные фазы сокращения желудочков, M. Cartier et al. установили, что результаты измерений в систолу и диастолу сильно коррелировали между собой ($r = 0,994$), а различия не превышали 0,37 мм (4,3 %) [48].

Макромикроскопическая анатомия клапана. Под макромикроскопическим уровнем изучения понимают объемное изучение структур при помощи бинокулярной лупы или стереоскопического микроскопа с увеличением до 50-кратного. Такие исследования создают основу для микрохирургии [54], кроме того, их актуальность растет по мере развития аддитивных технологий в биоинженерии клапанов [4]. Между тем работ, предметом которых была бы макромикроскопическая анатомия клапана ЛС, не обнаружено. Есть лишь краткое упоминание о том, что на поверхностях заслонок, обращенных к стенкам ЛС, как и в заслонках клапана аорты, имеются поперечно расположенные утолщения из плотной оформленной соединительной ткани, придающие заслонкам ребристый вид [43]. При помощи разволокнения под бинокулярной лупой на просветленных

препаратах изучена архитектура волоконных структур заслонок, описаны следующие пучки: «в области луночек – краевой и луночковый, на границе луночек и основания – пучки линии смыкания, в области основания – от 7 до 12 пучков основания. От этих основных фиброзных пучков отходят волокна в виде косых и горизонтальных ветвей». Разные участки заслонок (зона перекрытия, зона смыкания, линия смыкания и «центральная точка») «противостоят неодинаковым деформациям и поэтому армированы фиброзными волокнами различно» [42].

Микроскопическая анатомия клапана.

При описании микроскопического строения полулунных заслонок большинство авторов едины в том, что для заслонок характерна стратификация [29, 43, 55–58]. Традиционно полагают, что они состоят из двух слоев соединительной ткани: плотного фиброзного и более рыхлого губчатого (спонгиозного) [43, 59, 60]. Губчатый слой расположен на желудочковой стороне полулунных заслонок, а фиброзный – на противоположной [60]. Согласно другой точке зрения, внеклеточный матрикс полулунных заслонок имеет трехслойное строение: помимо фиброзного и губчатого слоев, существует желудочковая зона, представленная эластическими волокнами [1, 57, 61]. Примечательно, что слои эластических волокон этой зоны не обнаруживались при окраске орсеином, но были выявлены иммуногистохимическим методом [29]. Показано, что степень растяжимости створок обусловлена морфологическими особенностями волокон желудочковой зоны [61].

В современной кардиоморфологии принято считать, что каждая полулунная заслонка состоит из фиброзного «ядра», покрытого субэндотелиальными слоями волокон соединительной ткани: артериальным, обращенным в синусы, и желудочковым. В свою очередь, «ядро» состоит из двух компонентов: фиброзного и губчатого. Губчатый компонент богат протеогликанами, фиброзный может содержать эластические волокна, но в основном представлен коллагеновыми волокнами, состоящими преимущественно из коллагена I типа [1, 29, 57]. Структурная организация волокон фиброзного компонента является определяющим фактором жесткости заслонок [1, 61]. При импрегнации серебром в межклеточном веществе обнаружено большое количество аргирофильных волокон [43]. Кроме того, во всех компонентах заслонок имеется коллаген III типа [29]. Волокна фиброзного компонента «ядра» ориентированы в основном циркулярно и, в меньшей степени, радиально [57]. В сердцах свиней показано, что эти волокна организованы в виде тубулярной ячеистой трехмерной сети. Такая особенность делает

использование термина «зона» или «компонент» по сравнению с термином «слой» более предпочтительной.

Фиброархитектура клапана. Согласно результатам изучения клапанов сердца людей от периода новорожденности до старческого возраста, умерших от причин, не связанных с болезнями сердца, количество эластических волокон субэндотелиальной «фиброэластической» ткани, расположенной в створках и заслонках проксимальнее по току крови, превышает таковое в той же ткани с дистальной стороны. Исследователи обнаружили сходство структурной организации соединительной ткани в створках предсердно-желудочковых клапанов со стороны предсердий и в желудочковой поверхности полулунных заслонок. При этом «фиброэластическая» ткань желудочковой поверхности предсердно-желудочковых створок напоминала субэндотелий полулунных заслонок, находящийся со стороны синусов аорты и ЛС [62]. В электронно-микроскопических исследованиях также показано, что соединительнотканые элементы располагались более рыхло со стороны предсердной поверхности створок предсердно-желудочковых клапанов и у желудочковой поверхности клапанов аорты и ЛС [59]. Распределение соединительной ткани в стенках синусов и в межзаслоночных треугольниках различалось. Во внутренних слоях стенки ЛС у вершин этих треугольников, в центре выступов их вершин в просвет сосуда, соответствовавших самым дистальным местам комиссур, а также по линиям прикрепления заслонок преобладали коллагеновые волокна, тогда как внутренние слои стенок синусов состояли преимущественно из концентрических эластических пластинок. Между тем по мере удаления от ПЖ как в стенках синусов, так и в межзаслоночных треугольниках доля эластической ткани уменьшалась, а доля коллагена увеличивалась [9].

Объемная фракция эластических мембран мидии на уровне синусов ЛС составила 0,99 у детей и 0,63 у взрослых [27]. К.И. Кульчицкий и соавт. отметили в полулунных заслонках послойное расположение плотной оформленной и рыхлой соединительной ткани и на основании преобладания тех или иных тканевых компонентов выделили два типа клапанов: фиброзные и фиброэластические. Клапан ЛС у детей до 12 лет отнесли к первому типу (подтип «в»), в таких клапанах имелись как аргирофильные, так и коллагеновые волокна. У подростков и юношей клапан ЛС состоял из плотной оформленной и рыхлой соединительной ткани с меньшим, по сравнению с предыдущим возрастным периодом, количеством клеточного компонента. В связи с появлением в

заслонках эластических волокон такие клапаны обозначили как клапаны фиброэластического типа. У взрослых клапан ЛС отнесли к подтипу «д» клапанов фиброзного типа: в его заслонках преобладали коллагеновые волокна, была окончательно сформирована плотная оформленная соединительная ткань [43].

Клеточный состав элементов клапана.

В клапане ЛС, как и в клапане аорты, имеются два основных типа клеток: интерстициальные и эндотелиальные. Заслонки состоят из интерстициальных клеток, которые имеют признаки как гладких миоцитов, так и фибробластов (так называемые миофибробласты) и окружены сплошным монослоем эндотелиоцитов [1, 59, 61]. Доля клеточного компонента в заслонках невелика, он представлен в основном клетками фибробластического ряда [43]. Относительно большое количество фибробластов, гистиоцитов и макрофагов выявлено в основании заслонок [58]. Фиброциты заслонок имеют много отростков, что, по мнению автора работы [59], свидетельствует об активном обмене веществ в клапанах. Противоречивы сведения о наличии мышечных клеток в клапане ЛС. Гладкие миоциты были выявлены рутинным гистологическим методом во всех типах клапанов в основании заслонок [43] и у вершин межзаслоночных треугольников [9], их объемная фракция варьировала от 0,063 до 0,069 как у детей, так и у взрослых [27]. Однако D. van Geemen et al. обнаружили позитивные по альфа-актину клетки лишь в заслонках клапанов сердца плода и новорожденного ребенка, но не взрослых людей.

Доказано внедрение миокарда подлегочного инфундибулума в стенки каждого из трех синусов ЛС [18]. При изучении трехмерных реконструкций по рутинно окрашенным серийным срезам на уровне анатомического желудочково-артериального соединения обнаружено много пальцевидных выступов коллагена, внедрявшихся в подлежащий миокард [9]. Применив инъекцию тушью на желатине с последующим изготовлением просветленных анатомических препаратов, а также гистологических препаратов со стандартными окрасками, выявили кардиомиоциты и кровеносные сосуды лишь вблизи оснований полулунных заслонок [43]. Данных о наличии кровеносных сосудов в заслонках клапана ЛС в условиях нормы в литературе не обнаружено.

Заключение

Обзор показал отсутствие единства взглядов на компонентный состав клапана и различие подходов к описанию его топографии. В состав клапана ЛС следует включать полулунные заслонки,

синусы, а также межзаслоночные треугольники и комиссуры клапана; последние необходимо различать. Межзаслоночный треугольник – участок стенки корня ЛС между местами прикрепления смежных заслонок к этой стенке. Комиссура – зона соединения краев заслонок между собой и с вершиной соответствующего межзаслоночного треугольника. Синотубулярное соединение ЛС скорее представляет собой условную дистальную границу корня ЛС, нежели самостоятельную внутриорганный структуру, которую можно было бы отнести к клапанному комплексу. На входе в корень ЛС нет плоскостной кольцевидной структуры из соединительнотканых волокон, следовательно, «фиброзное кольцо» клапана ЛС – не более чем устоявшийся анатомический миф. Под термином «кольцо ЛС» нужно понимать виртуальную окружность, соединяющую самые проксимальные точки синусов. На сегодня можно считать доказанной зависимость размеров клапана ЛС от размеров тела. В меньшей степени изучена морфометрическая анатомия, топография, цито- и фиброархитектоника компонентов клапана у взрослого человека. При этом публикации по фетальной анатомии клапана ЛС единичны, а его макро-микроскопическая анатомия практически не изучена.

Список литературы / References

1. Fallahiazouard E., Ahmadipourroudposht M., Idris A., Mohd Yusof N. A review of: Application of synthetic scaffold in tissue engineering heart valves. *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.* 2015; 48: 556–565. doi: 10.1016/j.msec.2014.12.016
2. Huygens S.A., Rutten-van Mólken M.P.M.H., Noruzi A., Etnel J.R.G., Corro Ramos I., Bouten C.V.C., Kluin J., Takkenberg J.J.M. What is the potential of tissue-engineered pulmonary valves in children? *Ann. Thorac. Surg.* 2019; 107 (6): 1845–1853. doi: 10.1016/j.athoracsur.2018.11.066
3. Горбатов Р.О., Романов А.Д. Создание органов и тканей с помощью биопечати. *Вестник ВолгГМУ.* 2017; (3): 3–9. doi: 10.19163/1994-9480-2017-3(63)-3-9
4. Gorbatov R.O., Romanov A.D. Bioprinting of organs and tissues. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Volgograd State Medical University.* 2017; (3): 3–9. [In Russian]. doi:10.19163/1994-9480-2017-3(63)-3-9
5. Vukicevic M., Mosadegh B., Min J.K., Little S.H. Cardiac 3D printing and its future directions. *JACC: Cardiovasc. Imag.* 2017; 10 (2): 171–184. doi: 10.1016/j.icmg.2016.12.001
6. Pignatelli R.H., Noel C., Reddy S.C.B. Imaging of the pulmonary valve in the adults. *Curr*

Opin Cardiol. 2017; 32 (5): 529–540. doi:10.1097/HCO.0000000000000436

6. Шатов Д.В., Гасанова И.Х. Анатомия клапанов сердца. *Крым. журн. эксперим. и клин. медицины.* 2019; 9 (1): 55–60.

Shatov D.V., Gasanova I.Kh. Anatomy of the heart valve. *Krymskiy zhurnal eksperimental'noy i klinicheskoy meditsiny = Crimea Journal of Experimental and Clinical Medicine.* 2019; 9 (1): 55–60. [In Russian].

7. Anderson R.H., Mohun T.J., Spicer D., Bamforth S.D., Brown N.A., Chaudhry B., Henderson D.J. Myths and realities relating to development of the arterial valves. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2014; 1: 177–200. doi:10.3390/jcdd1030177

8. Андерсон Р., Спайсер Д., Хлавачек Э., Кук Э., Бейкер К. Хирургическая анатомия сердца по Уилкоксу. М.: Логосфера, 2015. 456 с.

Anderson R.H., Spicer D., Hlavacek A., Cook A.C., Backer K.L. Wilcox's surgical anatomy of the heart. Moscow: Logoshere, 2015. 456 p. [In Russian].

9. Hokken R.B., Bartelings M.M., Bogers Ad J.J.C., Gittenberger-de Groot A.C. Morphology of the pulmonary and aortic roots with regard to the pulmonary autograft procedure. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1997; 113 (3): 453–461. doi:10.1016/S0022-5223(97)70357-X

10. Stamm C., Anderson R.H., Ho S.Y. Clinical anatomy of the normal pulmonary root compared with that in isolated pulmonary valvular stenosis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1998; 31 (6): 1420–1425. doi: 10.1016/s0735-1097(98)00089-8

11. Jonas S.N., Kligerman S.J., Burke A.P., Frazier A.A., White C.S. Pulmonary valve anatomy and abnormalities. A pictorial essay of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging. *J. Thorac. Imaging.* 2016; 31 (1): W4–W12. doi: 10.1097/RTI.0000000000000182

12. Muresian H. The clinical anatomy of the right ventricle. *Clin. Anat.* 2016; 29 (3): 380–398. doi: 10.1002/ca.22484

13. Saremi F., Sánchez-Quintana D., Mori S., Muresian H., Spicer D.E., Hassani C., Anderson R.H. Fibrous skeleton of the heart: Anatomic overview and evaluation of pathologic conditions with CT and MR imaging. *Radiographics.* 2017; 37 (5): 1330–1351. doi: 10.1148/rg.2017170004

14. Chmielewski P.P. New Terminologia Anatomica highlights the importance of clinical anatomy. *Folia Morphol. (Warsz.).* 2020; 79 (1): 15–20. doi:10.5603/FM.a2019.0048

15. Бокерия Л.А., Беришвили И.И. Хирургическая анатомия сердца. Т. 1. Нормальное сердце и физиология кровообращения. М.: НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2006. 406 с.

Bokeriya L.A., Berishvili I.I. Surgical anatomy of the heart. Vol. 1. Normal heart and physiology of haemodynamics. Moscow, 2006. 406 p. [In Russian].

16. Бокерия Л.А., Махачев О.А., Панова М.С., Филиппкина Т.Ю. Нормативные параметры сердца и его структур: справочное пособие. М.: НЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2010. 132 с.

Bokeriya L.A., Makhachev O.A., Panova M.S., Filipkina T.Yu. Standards of the heart and its structures: reference book. Moscow, 2010. 132 p. [In Russian].

17. Международная анатомическая терминология. Ред. Л.Л. Колесников. М.: Медицина, 2003. 424 с.

International anatomical terminology. Ed. L.L. Kolesnikov. Moscow: Meditsina, 2003. 424 p. [In Russian].

18. Mori S., Fukuzawa K., Takaya T., Takamine S., Ito T., Fujiwara S., Nishii T., Kono A.K., Yoshida A., Hirata K.-I. Clinical cardiac structural anatomy reconstructed within the cardiac contour using multidetector-row computed tomography: The arrangement and location of the cardiac valves. *Clin. Anat.* 2016; 29 (3): 364–370. doi: 10.1002/ca.22549

19. Лященко Д.Н., Железнов Л.М., Галеева Э.Н., Спирина Г.А., Шаликова Л.О. Особенности анатомического строения сердца человека в промежуточном плодном периоде онтогенеза. *Морфология.* 2017; 152 (5): 35–39.

Lyashchenko D.N., Zheleznov L.M., Galeeva E.N., Spirina G.A., Shalikova L.O. Peculiarities of the anatomical structure of the human heart in the intermediate fetal period of the ontogenesis. *Morfologiya = Morphology.* 2017; 152 (5): 35–39. [In Russian].

20. Старчик Д.А. Конституциональные особенности клапанов сердца у женщин в зрелом возрасте. *Вестн. хирургии.* 2016; 175 (1): 106–109. doi: 10.24884/0042-4625-2016-175-1-106-109

Starchik D.A. Constitutional features of heart valves in women at a mature age. *Vestnik khirurgii imeni Ivana Ivanovicha Grekova = Grekov's Bulletin of Surgery.* 2016; 175 (1): 106–109. [In Russian]. doi: 10.24884/0042-4625-2016-175-1-106-10

21. Быков О.С. Хирургическая анатомия трехстворчатого клапана и клапана легочного ствола сердца человека: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1970.

Bykov O.S. Surgical anatomy of the tricuspid valve and the valve of pulmonary trunk in human heart: Abstract of thesis ... cand. med. sci. Moscow, 1970. [In Russian].

22. Mori S., Spicer D.E., Anderson R.H. Revisiting the anatomy of the living heart. *Circ. J.* 2016; 80 (1): 24–33. doi: 10.1253/circj.CJ-15-1147

23. Mori S., Tretter J., Spicer D., Bolender D., Anderson R.H. What is the real cardiac anatomy? *Clin. Anat.* 2019; 32 (3): 288–309. doi: 10.1002/ca.23340

24. Webb S., Brown N.A., Anderson R.H. The structure of the mouse heart in late fetal stages. *Anat. Embryol (Berl.).* 1996; 194 (1): 37–47. doi: 10.1007/BF00196313

25. Merrick A.F., Yacoub M.H., Ho S.Y., Anderson R.H. Anatomy of the muscular subpulmonary infundibulum with regard to the Ross procedure. *Ann. Thorac. Surg.* 2000; 69 (2): 556–561. doi:10.1016/S0003-4975(99)01300-4
26. Sutton J.P. 3rd, Ho S.Y., Anderson R.H. The forgotten interleaflet triangles: a review of the surgical anatomy of the aortic valve. *Ann. Thorac. Surg.* 1995; 59 (2): 419–427. doi: 10.1016/0003-4975(94)00893-с
27. Тараян М.В., Иванов А.С., Жидков И.Л., Балоян Г.М., Шереметьева Г.Ф., Иванова А.Г., Лаптий А.В., Кочарян Е.Р., Ситниченко Н.В., Морозова С.А. Анатомо-морфологические, топографические и гемодинамические аспекты строения корня аорты и легочной артерии в свете процедуры Росса. *Клин. физиология кровообращения.* 2007; (1): 44–51. Tarayan M.V., Ivanov A.S., Zhidkov I.L., Baloyan G.M., Sheremet'eva G.F., Ivanova A.G., Laptii A.V., Kocharyan E.R., Sitnichenko N.V., Morozova S.A. Anatomical-morphological, topographical and hemodynamic aspects of the structure of the aortic root and pulmonary artery in the light of the Ross procedure. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya = Clinical Physiology of Circulation.* 2007; (1): 44–51. [In Russian].
28. Sievers H.-H., Hemmer W., Beyersdorf F., Moritz A., Moosdorfe R., Lichtenberg A., Misfeld M., Charitos E.I., Working Group for Aortic Valve Surgery of German Society of Thoracic and Cardiovascular Surgery. The everyday used nomenclature of the aortic root components: the tower of Babel? *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2012; 41 (3): 478–482. doi: 10.1093/ejcts/ezr093
29. Van Geemen D., Soares A.L.F., Oomen P.J.A., Driessen-Mol A., Janssen-van den Broek M.W.J.T., van den Bogaardt A.J., Bogers A.J.J.C., Goumans M.-J.T.H., Baaijens F.P.T., Bouten C.V.C. Age-dependent changes in geometry, tissue composition and mechanical properties of fetal to adult cryopreserved human heart valves. *PLoS One.* 2016; 11 (2): e0149020. doi: 10.1371/journal.pone.0149020
30. Фальковский Г.Э. Строение сердца и анатомические основы его функции. М.: НИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2014. 217 с. Fal'kovskii G.E. Structure of the heart and anatomical bases of its function. Moscow, 2014. 217 p. [In Russian].
31. Richardson R., Eley L., Donald-Wilson C., Davis J., Curley N., Alqahtani A., Murphy L., Anderson R.H., Henderson D.J., Chaudhry B. Development and maturation of the fibrous components of the arterial roots in the mouse heart. *J. Anat.* 2018; 232 (4): 554–567. doi: 10.1111/joa.12713
32. Лященко Д.Н. Анатомия и топография легочного ствола человека в раннем плодном периоде онтогенеза. *Фундам. исследования.* 2012; 10 (2): 254–257. Lyashchenko D.N. Anatomy and topography of the pulmonary trunk of the person in early fetal period of the ontogenesis. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research.* 2012; 10 (2): 254–257. [In Russian].
33. Железнов Л.М., Лященко Д.Н., Шаликова Л.О., Галеева Э.Н. Топография сердца и крупных сосудов средостения в раннем плодном периоде онтогенеза человека. *Морфология.* 2013; 144 (5): 21–24. Zheleznov L.M., Lyashchenko D.N., Shalikova L.O., Galeeva E.N. Topography of the heart and major mediastinal vessels in the early fetal period of human ontogenesis. *Morfologiya = Morphology.* 2013; 144 (5): 21–24. [In Russian].
34. Зурнаджан С.А. Ультраструктура стенки легочного ствола в пренатальном периоде онтогенеза человека. *Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии.* 1989; 96 (2): 39–42. Zurnadzhan S.A. Ultrastructure of the pulmonary trunk wall during the prenatal period of ontogenesis. *Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii = Archive of Anatomy, Histology and Embryology.* 1989; 96 (2): 39–42. [In Russian].
35. Мурач А.М. Хирургическая анатомия аортальных синусов. *Вестн. хирургии.* 1966; 96 (6): 22–28. Murach A.M. Surgical anatomy of the aortic sinuses. *Vestnik khirurgii imeni Ivana Ivanovicha Grekova = Grekov's Bulletin of Surgery.* 1966; 96 (6): 22–28. [In Russian].
36. Anderson R.H., Loukas M. The importance of attitudinally appropriate description of cardiac anatomy. *Clin. Anat.* 2009; 22 (1): 47–51. doi:10.1002/ca.20741
37. Lev M. The conotruncus: its normal inversion and conus absorption: letter to editor. *Circulation.* 1972; 46 (3): 634–635.
38. Хилькин А.М., Худякова М.И. Хирургическая анатомия аортального клапана. *Груд. хирургия.* 1961; (5): 3–7. Khil'kin A.M., Khudyakova M.I. Surgical anatomy of the aortic valve. *Grudnaya khirurgiya = Russian Journal of Thoracic Surgery.* 1961; (5): 3–7. [In Russian].
39. Loukas M., Tubbs R.S., Bright J.L., Fudalej M., Wagner T., Anderson R.H. The anatomy of the tendon of the infundibulum revisited. *Folia Morphol. (Warsz.).* 2007; 66 (1): 33–38.
40. Radzi S., Tan H.K.J., Tan G.J.S., Yeong W.Y., Ferenczi M.A., Low-Beer N., Mogali S.R. Development of a three-dimensional printed heart from computed tomography images of a plastinated specimen for learning anatomy. *Anat. Cell Biol.* 2020; 53 (1): 48–57. doi: 10.5115/acb.19.153
41. Михайлов С.С. Клиническая анатомия сердца. М.: Медицина, 1987. 288 с. Mikhaïlov S.S. Clinical anatomy of the heart. Moscow: Meditsina, 1987. 288 p. [In Russian].
42. Полухина А.В. Строение, возрастные особенности и механические свойства клапанов аор-

ты и легочного ствола сердца человека: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1979.

Polukhina A.V. Structure, age peculiarities and mechanical features of the aortal and pulmonary valves in human heart: abstract of thesis ... cand. med. sci. Moscow, 1979. [In Russian].

43. Кульчицкий К.И., Соколов В.В., Марущенко Г.Н. Клапаны сердца. Киев: Здоров'я, 1990. 84 с.

Kul'chitsky K.I., Sokolov V.V., Marushchenko G.N. Valves of the heart. Kiev: Zdorov'ya, 1990. 184 p. [In Russian].

44. Westaby S., Karp R.B., Blackstone E.H., Bishop S.P. Adult human valve dimensions and their surgical significance. *Am. J. Cardiol.* 1984; 53 (4): 552–556. doi: 10.1016/0002-9149(84)90029-8

45. Rowlatt U.F., Rimoldi H.J.A., Lev M. The quantitative anatomy of the normal child's heart. *Pediatr. Clin. North Am.* 1963; 10: 499–588. doi: 10.1016/S0031-3955(16)31414-6

46. Capps S.B., Elkins R.C., Fronk D.M. Body surface area as a predictor of aortic and pulmonary valve diameter. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2000; 119 (5): 975–982. doi: 10.1016/S0022-5223(00)70092-4

47. Иванов В.А. Особенности строения сердца и его отдельных структур у практически здоровых лиц в зависимости от их половой принадлежности. *Астрах. мед. журн.* 2015; 10 (2): 51–56.

Ivanov V.A. Gender-oriented approach to the study of the anatomy of a healthy heart and its particular elements. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal = Astrakhan Medical Journal.* 2015; 10 (2): 51–56. [In Russian].

48. Cartier M., Davidoff A., Warneke L.A., Hirsh M.P., Bannon S., Sutton M.S., Doubilet P.M. The normal diameter of the fetal aorta and pulmonary artery: Echocardiographic evaluation *in utero*. *Am. J. Roentgenol.* 1987; 149 (5): 1003–1007. doi: 10.2214/ajr.149.5.1003

49. Gembruch U., Shi C., Smrcek J.M. Biometry of the fetal heart between 10 and 17 weeks of gestation. *Fetal Diagn. Ther.* 2000; 15 (1): 20–31. doi: 10.1159/000020970

50. Castillo E.H., Arteaga-Martínez M., Garcia-Peláez I., Villasis-Keever M.A., Aguirre O.M., Moran V., Alarcón A.V. Morphometric study of the human fetal heart: arterial segment. *Clin. Anat.* 2005; 18 (4): 260–268. doi:10.1002/ca.20095

51. Szpinda M. The normal growth of the pulmonary trunk in human fetuses. *Folia Morphol. (Warsz.)* 2007; 66 (2): 126–130.

52. Батаева Р.С. Скрининговое исследование сердца плода во II триместре беременности. На примере школы Великобритании. *Ультразвук и функц. диагностика.* 2012; (4): 30–52.

Bataeva R.S. Assessment of fetal cardiac structures during screening in the second trimester of pregnancy (Based on the Guideline of fetal medicine in United

Kingdom). *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika = Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2012; (4): 30–52. [In Russian].

53. Alvarez L., Aránega A., Saucedo R., Contreras J. The quantitative anatomy of the normal human heart in fetal and perinatal life. *Int. J. Cardiol.* 1987; 17 (1): 57–72. doi: 10/1016/0167-5273(87)90033-7

54. Каган И.И. Современные аспекты клинической анатомии. Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2012. 108 с.

Kagan I.I. Modern aspects in clinical anatomy. Orenburg, 2012. 108 p. [In Russian].

55. Doehring T.C., Kahelin M., Vesely I. Mesostuctures of the aortic valve. *J. Heart Valve Dis.* 2005; 14 (5): 679–686.

56. Aikawa E., Whittaker P., Farber M., Mendelson K., Padera R.F., Aikawa M., Schoen F.J. Human semilunar cardiac valve remodeling by activated cells from fetus to adult: implications for postnatal adaptation, pathology, and tissue engineering. *Circulation.* 2006; 113 (10): 1344–1352. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.591768

57. Ho S.Y. Structure and anatomy of the aortic root. *Eur. J. Echocardiogr.* 2009; 10 (1): i3–i10. doi: 10.1093/ejehocardi/jen243

58. Козловская А.А. Морфофункциональные особенности строения и развития клапанов аорты и легочного ствола в онтогенезе. *Вестн. пробл. биол. и мед.* 2014; (1): 251–255.

Kozlovskaya A.A. Morphofunctional structural features and development of aortic and pulmonary valves in ontogenesis. *Visnik problem biologii i meditsini = Bulletin of Problems in Biology and Medicine.* 2014; (1): 251–255. [In Russian].

59. Kühnel W. Elektronenmikroskopische Untersuchungen über den unterschiedlichen Bau der Herzklappen. II. Mitteilung Tricuspidalis und Pulmonalklappe. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.* 1966; 72 (4): 462–474.

Kühnel W. Electronmicroscopic studies on the different structure of heart valves. II. Tricuspid and pulmonary valve. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie = Journal of Cellular Research and Microscopic Anatomy.* 1966; 72 (4): 462–474. [In German].

60. Hurlle J.M., Colvee E. Changes in the endothelial morphology of the developing semilunar heart valves. A TEM and SEM study in the chick. *Anat. Embryol. (Berl.)* 1983; 167 (1): 67–83. doi: 10.1007/BF00304601

61. Jana S., Tefft B.J., Spoon D.B., Simari R.D. Scaffolds for tissue engineering of cardiac valves. *Acta Biomater.* 2014; 10 (7): 2877–2893. doi: 10.1016/j.actbio.2014.03.014

62. Otto S., Baum T., Keller F. Sex-dependence of the relative number of elastic fibers in human heart valves. *Ann. Anat.* 2006; 188 (2): 153–158. doi: 10.1016/j.aanat.2005.08.017

Сведения об авторе:

Андрей Аркадьевич Якимов, к.м.н., ORCID: 0000-0001-8267-2895, e-mail: ayakimov07@mail.ru

Information about author:

Andrei A. Yakimov, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0001-8267-2895, e-mail: ayakimov07@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2020

Принята к публикации 27.07.2020

Received

15.06.2020

Accepted

27.07.2020