

Антропоморфометрические закономерности конструкции и соразмерности створок аортального клапана в аспекте реконструктивной хирургии

Для корреспонденции:

Сания Наилевна Одинокова,
saniya_odinokova@mail.ru

Поступила в редакцию 9 сентября 2020 г.

Исправлена 10 сентября 2021 г.

Принята к печати 29 июня 2022 г.

Цитировать: Одинокова С.Н., Комаров Р.Н., Николенко В.Н., Севергина Л.О., Студенникова В.В., Белхароева Р.Х. Антропоморфометрические закономерности конструкции и соразмерности створок аортального клапана в аспекте реконструктивной хирургии. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2022;26(3):73-84. <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2022-3-73-84>

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этическое утверждение

Исследование одобрено локальным этическим комитетом Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (протокол № 03-19 от 13.02.2019 г.).

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: Р.Н. Комаров, В.Н. Николенко, С.Н. Одинокова

Сбор и анализ данных: С.Н. Одинокова, В.В. Студенникова, Л.О. Севергина

Статистическая обработка данных: С.Н. Одинокова

Написание статьи: С.Н. Одинокова, Р.Х. Белхароева

Исправление статьи: Р.Н. Комаров, В.Н. Николенко

Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID ID

С.Н. Одинокова,

<https://orcid.org/0000-0002-5403-8456>

Р.Н. Комаров,

<https://orcid.org/0000-0002-3904-6415>

С.Н. Одинокова¹, Р.Н. Комаров¹, В.Н. Николенко^{1,2},
Л.О. Севергина¹, В.В. Студенникова¹, Р.Х. Белхароева¹

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Хирургическое восстановление аортального клапана зависит прежде всего от дизайна створок. Неточная реконструкция клапана может привести к недостаточности или стенозу в послеоперационном периоде.

Цель. Анализ средних размеров створок нормального клапана аорты, оценка взаимосвязи различных параметров нормального аортального клапана и морфологических характеристик человека.

Методы. Изучили морфометрические характеристики корня аорты на 54 препаратах сердца взрослых людей без патологии клапанного аппарата сердца. Измерили длину окружности вентрикулоаортального (кольца аортального клапана) и синотубулярного соединений. Отдельно для каждой створки аортального клапана — правой коронарной, некоронарной и левой коронарной — измерили: межкомиссуральное расстояние; длину свободного края; длину прикрепления к фиброзному кольцу; высоту. Выявили наличие или отсутствие корреляционной связи между морфометрическими характеристиками корня аорты, створок аортального клапана и возрастом, ростом, весом человека.

Результаты. По средним показателям левая коронарная створка имеет наименьшую длину свободного края и прикрепления к фиброзному кольцу. Высота левой коронарной створки максимальна по сравнению с правой коронарной и некоронарной, но различия между створками минимальны (до 0,2 мм), что характеризует левую коронарную как наименьшую. После применения статистических методов не выявили значимых межгрупповых различий между створками. Для всех размеров створок $p > 0,05$ (межкомиссуральное расстояние $p = 0,083$, длина свободного края $p = 0,331$, длина прикрепления к фиброзному кольцу $p = 0,056$, высота $p = 0,518$). Обнаружили значимые корреляции между всеми размерами створок аортального клапана и вентрикулоаортальным и синотубулярным соединениями. Более слабую корреляцию установили между всеми размерами створок и ростом человека.

В.Н. Николенко, <https://orcid.org/0000-0001-9532-9957>

Л.О. Севергина, <https://orcid.org/0000-0002-4393-8707>

В.В. Студенникова, <https://orcid.org/0000-0001-7909-7631>

Р.Х. Белхароева, <https://orcid.org/0000-0003-4142-4574>

© Одинокова С.Н., Комаров Р.Н., Николенко В.Н., Севергина Л.О., Студенникова В.В., Белхароева Р.Х., 2022



Заключение. Использование научных результатов может оптимизировать реконструкцию створок и улучшить функцию аортальных клапанов.

Ключевые слова: аортальный клапан; высота створки; корень аорты; морфометрия; реконструкция клапана

Введение

Согласно исследованиям, проведенным в западных странах, 3–4 % взрослого населения страдает от умеренной или тяжелой патологии аортального клапана, причем распространенность стеноза и недостаточности увеличивается с возрастом [1; 2].

За два последних десятилетия клапаносохраняющие и реконструктивные операции на аортальном клапане стали распространенными альтернативами замене клапана биологическим или механическим протезом.

Под влиянием патологического процесса створки уменьшаются в размерах, что приводит к их ретракции и формированию аортального порока. Это может происходить как вследствие склеродегенеративных, так и воспалительных изменений. Идеальной замены нативного аортального клапана нет. Механические клапаны требуют пожизненной антикоагулянтной терапии в связи с увеличением риска тромбоэмболических осложнений. Биологические клапаны подвержены более быстрой деградаци и кальцификации, поэтому спустя время требуют реоперации. Несмотря на значительный прогресс в разработке и производстве, биопротезы не сопоставимы с нативными аортальными клапанами по гемодинамическим характеристикам [3]. Методики реконструкции аортального клапана из пластических материалов, таких как ксеноперикард и обработанный глутаровым альдегидом аутоперикард, являются субъективными и зависят от опыта хирурга. Обнаружение геометрической связи между створками и корнем аорты в нормальном аортальном клапане привело к осознанию, что для оптимального функционального результата восстановления необходимо соблюдать эти закономерности в реконструированном клапане [4; 5].

Определение анатомически нормальных размеров створок клапана имеет клиническое значение. Их применение на практике делает вероятным до-

стижение нормальной конфигурации и оптимального функционирования аортального клапана.

Данных о размерах створок аортального клапана человека в норме мало, в большей степени их публикуют в англоязычных изданиях. Так, в печати представлены три исследования на небольшом количестве аортальных клапанов, недостаточных для статистической достоверности [6–8]. Н.-J. Schäfers и соавт. определяли только высоту створки и не проводили другие измерения створок [9]. Также осуществили три исследования на фиксированных в формалине сердцах, полученных при аутопсии [6; 10; 11]. Артефакты фиксации формалином, такие как обезвоживание, уплотнение, деформация, сжатие и асимметрия створки, исказили истинные размеры аортального клапана и снизили научно-практическую значимость и достоверность полученных данных. Кроме того, в этих работах не производили точного определения всех параметров створки, а также влияния на размер створок конституциональных особенностей человека. Мы исключили отмеченные недостатки. В проспективном исследовании мы измерили межкомиссуральное расстояние, длину свободного края створки, длину прикрепления створки к фиброзному кольцу, высоту створки, для того чтобы определить нормальные значения, характерные для трехстворчатого аортального клапана, и проанализировали данные на предмет возможных корреляций с ростом, весом и возрастом человека.

Методы

Для оценки анатомических взаимосвязей структур корня аорты в норме мы проводили морфометрический анализ неизменного корня аорты на препаратах сердца, взятых от 54 трупов взрослых людей, погибших от причин, не связанных с заболеваниями сердца, и поступивших с февраля по декабрь 2018 г. в отделение патологической анатомии

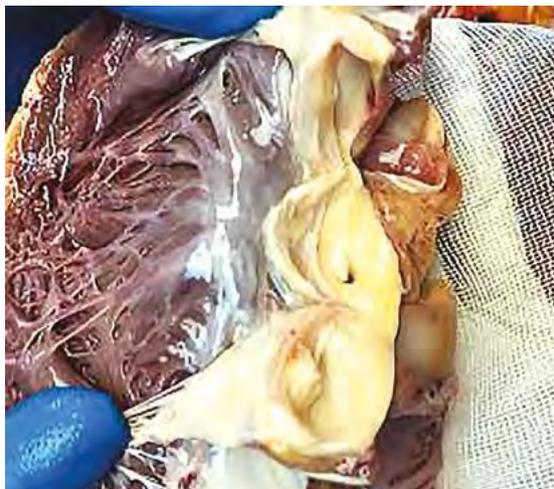


Рис. 1. Рассеченный левый желудочек и корень аорты



Рис. 2. Препарат корня аорты

Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, а также в отделение патологической анатомии Городской клинической больницы им. А.К. Ерамишанцева (Москва, Россия). Исследование одобрил локальный этический комитет Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (протокол № 03-19 от 13.02.2019 г.).

Основным критерием отбора трупов являлось отсутствие патологических изменений корня аорты вообще и аортального клапана в частности. По данным эхокардиографии, выполненной пациентам в больнице незадолго до смерти, функция клапанов сердца не страдала.

Извлечение сердца провели по стандартной методике. Затем рассекли корень аорты по линии,

проходящей по комиссуре между правой и левой коронарными створками (рис. 1, 2).

Повреждение структур сердца являлось критерием исключения из исследования. Измерили длину окружности венстрикулоаортального (кольца аортального клапана) и синотубулярного соединений. Для каждой створки аортального клапана в отдельности — правой коронарной (ПКС), некоронарной (НКС) и левой коронарной (ЛКС) — определили: межкомиссуральное расстояние; длину свободного края; длину прикрепления к фиброзному кольцу; высоту (рис. 3). Морфометрию провели с помощью циркуля с точностью до 1 мм и методики точного моделирования нити по конфигурации структуры сердца с последующим измерением длины линейкой.

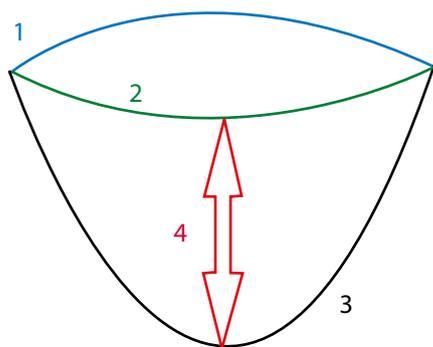


Рис. 3. Измеряемые параметры створки:
1 — межкомиссуральное расстояние;
2 — длина свободного края;
3 — длина прикрепления к фиброзному кольцу;
4 — высота

Статистический анализ

Полученная информация послужила материалом для создания компьютерной базы данных. Статистический анализ выполнили с использованием программы IBM SPSS STATISTICS.

Сравнили несколько групп данных с помощью анализа repeated measures ANOVA. Хотя часть данных являлась непараметрическими показателями, использовали параметрические тесты для дополнительного анализа из-за достаточно большого размера выборки и близкого к нормальному распределения. Оценили корреляции с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Достоверность определили значением $p < 0,01$,

Табл. 1. Основные характеристики кадавров

Параметр	Среднее значение
Возраст, лет	65,0 ± 13,7
Рост, см	167,50 ± 8,79
Вес, кг	74,2 ± 18,0
Площадь поверхности тела, м ²	1,83 ± 0,23
Индекс массы тела, кг/м ²	25,74 ± 5,68

Примечание. Данные представлены как М ± SD.

скорректированным с поправкой Бонферрони для учета множественных сравнений.

Результаты

Исследование включало 54 кадавра, из которых 30 (56 %) мужчин и 24 (44 %) женщины. Возраст от 38 до 85 лет (средний 65,0 ± 13,7; медиана 66,0), рост от 150 до 185 см (средний 167,50 ± 8,79; медиана 167,0), вес от 40 до 120 кг (средний 74,2 ± 18,0; медиана 70,0), площадь поверхности тела от 1,37 до 2,26 м² (средняя 1,83 ± 0,23; медиана 1,8), индекс массы тела от 12,2 до 43,5 кг/м² (средний 25,74 ± 5,68; медиана 24,6) (табл. 1). В большинстве случаев причиной смерти пациентов были онкологические заболевания, которые наблюдались у 16 пациентов (29,6 %), на втором месте были острые нарушения мозгового кровообращения ишемического, геморрагического и травматического генезов — 12 случаев (22,2 %). У 10 (18,5 %) больных диагностировали острые воспалительные заболевания, такие как перитонит, пиелонефрит, пневмония, сепсис и другие. От различных проявлений ишемической болезни сердца умерли 9 больных (16,7 %). Тромбоэмбо-

лию легочных артерий зарегистрировали причиной смерти в 3 случаях (3,7 %). От хронической обструктивной болезни легких умерли 2 человека (3,7 %). По 1 пациенту (1,9 %) скончались от отравления алкоголем и желудочно-кишечного кровотечения.

Для НКС:

- 1) длина свободного края от 25 до 46 мм (медиана 35);
- 2) длина прикрепления к фиброзному кольцу от 36 до 65 мм (медиана 48);
- 3) высота от 16 до 26 мм (медиана 21);
- 4) межкомиссуральное расстояние от 19 до 40 мм (медиана 28).

Для ПКС:

- 1) длина свободного края от 27 до 50 мм (медиана 36);
- 2) длина прикрепления к фиброзному кольцу от 40 до 65 мм (медиана 50);
- 3) высота от 15 до 23 мм (медиана 20);
- 4) межкомиссуральное расстояние от 20 до 36 мм (медиана 30).

Для ЛКС:

- 1) длина свободного края от 27 до 46 мм (медиана 34);
- 2) длина прикрепления к фиброзному кольцу от 40 до 60 мм (медиана 46);
- 3) высота от 15 до 24 мм (медиана 19);
- 4) межкомиссуральное расстояние от 23 до 36 мм (медиана 27).

Средние значения полученных данных для каждой створки в отдельности с поправкой на стандартное отклонение представлены в табл. 2.

Табл. 2. Размеры створок аортального клапана

Морфометрические параметры	Створка аортального клапана, мм			
	некоронарная	правая коронарная	левая коронарная	среднее значение
Межкомиссуральное расстояние	28,44 ± 4,17	28,93 ± 3,72	27,81 ± 3,39	28,40 ± 3,92
Длина свободного края	35,87 ± 4,91	36,44 ± 5,46	35,09 ± 4,85	35,80 ± 5,22
Длина прикрепления к фиброзному кольцу	50,15 ± 6,13	49,91 ± 6,36	47,83 ± 4,88	49,16 ± 6,09
Высота	19,24 ± 2,32	19,46 ± 1,72	19,48 ± 1,89	19,39 ± 0,63

Примечание. Данные представлены как М ± SD.

Табл. 3. Коэффициент корреляции Пирсона между характеристиками человека и межкомиссуральным расстоянием

Переменная	Коэффициент линейной регрессии для однофакторного анализа	p	Коэффициент линейной регрессии для многофакторного анализа	p
Возраст	0,099	0,476	0,190	0,071
Рост	0,356 *	0,008	-0,090	0,884
Площадь поверхности тела	0,188	0,174	0,420	0,677
Индекс массы тела	0,118	0,398	0,169	0,295
Длина окружности кольца аортального клапана	0,697 *	< 0,001	0,120	0,437
Длина окружности синотубулярного соединения	0,793 *	< 0,001	0,581	< 0,001

Примечание. * Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Табл. 4. Коэффициент корреляции Пирсона между характеристиками человека и длиной свободного края створки

Переменная	Коэффициент линейной регрессии для однофакторного анализа	p	Коэффициент линейной регрессии для многофакторного анализа	p
Возраст	0,059	0,672	0,162	0,166
Рост	0,320 ¹	0,018	0,315	0,652
Площадь поверхности тела	0,178	0,198	-0,143	0,946
Индекс массы тела	0,240	0,081	0,208	0,252
Длина окружности кольца аортального клапана	0,208	0,134	-0,071	0,679
Длина окружности синотубулярного соединения	0,671 ²	< 0,001	0,559	< 0,001

Примечание. ¹ Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя), ² корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Согласно средним результатам, ЛКС отличалась наименьшими длиной свободного края и длиной прикрепления к фиброзному кольцу. Высота ЛКС максимальна по сравнению с ПКС и НКС, но различия минимальны (до 0,2 мм), что с практической точки зрения характеризовало ЛКС как наименьшую.

В результате сравнения характеристик (межкомиссуральное расстояние, длина свободного края створки, длина прикрепления створки к фиброзному кольцу и высота створки) НКС, ПКС и ЛКС с использованием repeated measures ANOVA не выявили статистически значимых межгрупповых различий. Для всех размеров створок $p > 0,05$ (межкомиссуральное расстояние $p = 0,083$, высота комиссуры $p = 0,059$, длина свободного края $p = 0,331$, длина прикрепления к фиброзному кольцу $p = 0,056$, высота $p = 0,518$).

Выявили значимые корреляции между всеми размерами створок аортального клапана и длиной окружности кольца аортального клапана, а также длиной окружности синотубулярного соединения: $r = 0,697$ для межкомиссурального расстояния, $r = 0,32$ для длины свободного края, $r = 0,671$ для длины прикрепления к фиброзному кольцу и $r = 0,556$ для высоты при $p < 0,01$; $r = 0,793$ для межкомиссурального расстояния, $r = 0,673$ для длины свободного края, $r = 0,72$ для длины прикрепления к фиброзному кольцу и $r = 0,591$ для высоты при $p < 0,01$ соответственно. Обнаружили значимую, но более слабую корреляционную связь между всеми размерами створок и ростом пациентов: $r = 0,365$ для межкомиссурального расстояния при $p < 0,01$, $r = 0,32$ для длины свободного края при $p < 0,05$, $r = 0,397$ для длины прикрепления к фиброзному

Табл. 5. Коэффициент корреляции Пирсона между характеристиками человека и длиной прикрепления створки к фиброзному кольцу

Переменная	Коэффициент линейной регрессии для однофакторного анализа	p	Коэффициент линейной регрессии для многофакторного анализа	p
Возраст	0,028	0,842	0,166	0,084
Рост	0,397 ¹	0,003	0,089	0,877
Площадь поверхности тела	0,264	0,054	0,127	0,942
Индекс массы тела	0,338 ²	0,012	0,260	0,084
Длина окружности кольца аортального клапана	0,228	0,100	0,622	0,126
Длина окружности синотубулярного соединения	0,726 ¹	< 0,001	0,523	< 0,001

Примечание. ¹ Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя), ² корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

Табл. 6. Коэффициент корреляции Пирсона между характеристиками человека и высотой створки

Переменная	Коэффициент линейной регрессии для однофакторного анализа	p	Коэффициент линейной регрессии для многофакторного анализа	p
Возраст	0,129	0,351	-0,012	0,933
Рост	0,404 *	0,002	-0,657	0,444
Площадь поверхности тела	0,144	0,299	2,654	0,312
Индекс массы тела	0,247	0,072	-0,152	0,493
Длина окружности кольца аортального клапана	0,056	0,693	0,033	0,877
Длина окружности синотубулярного соединения	0,556 *	< 0,001	0,183	0,314

Примечание. * Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

кольцу и $r = 0,404$ для высоты при $p < 0,01$. Полученные взаимосвязи отражены в табл. 3–6 и на рис. 4.

При реконструктивных вмешательствах на клапане аорты предпочтительнее формировать три одинаковые неостворки, так как симметричный клапан аорты, характерный для нормального строения корня аорты, вероятно, наиболее устойчив к интенсивным гемодинамическим нагрузкам.

Значимые корреляционные связи между всеми параметрами створок аортального клапана, длиной окружности кольца аортального клапана и синотубулярного соединения можно использовать в дальнейшем для расчета отдельных размеров створок при известных показателях, измеренных на дооперационном этапе.

Взаимосвязь высоты створки и роста пациента отражает морфоконституциональные особенности строения тела человека.

Обсуждение

Анатомически каждая створка аортального клапана состоит из 3 частей: тела, свободного края с утолщенным узелком Аранция и прикрепляющейся к корню аорты части [12]. Тело створок эластично-упругое, тонкое и имеет неравномерную толщину. Поверхность каждой створки, обращенная к аорте, шероховатая, а обращенная к желудочку — гладкая.

Длина свободного края створки больше, чем расстояние по прямой между двумя комиссурами. Эта длина не препятствует потоку крови перемещаться через клапан во время систолы, когда створки по отдельности расходятся от центра отверстия. Функционально эта дополнительная длина во время диастолы позволяет створкам расширяться до центра отверстия клапана, где они контактируют друг с другом, образуя зону коаптации, которая распространяется по всему свобод-

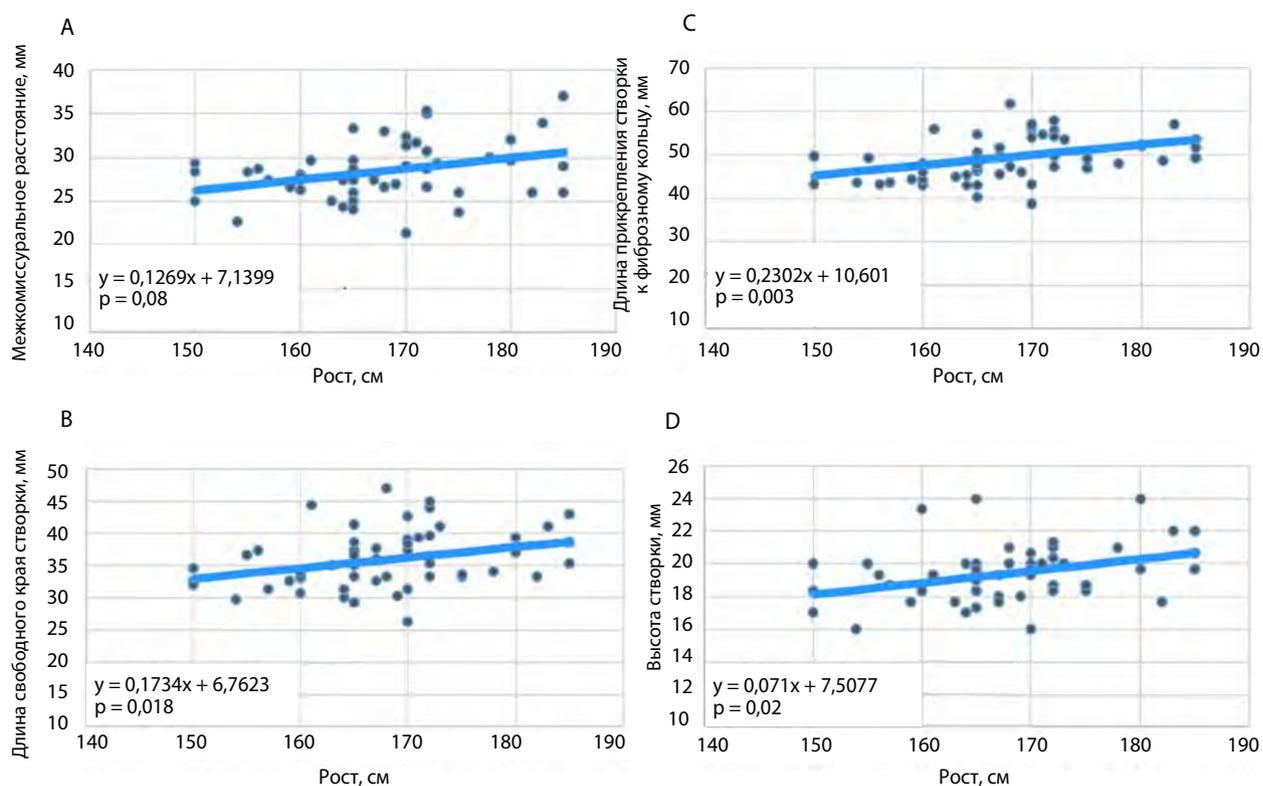


Рис. 4. Линейные модели зависимости роста человека и размеров створок аортального клапана: межкомиссурального расстояния (А); длины свободного края (В); длины прикрепления к фиброзному кольцу (С); высоты (D)

ному краю створки и на несколько миллиметров в глубину [13]. Степень перекрытия между смежными закрытыми створками создает эффективное уплотнение во время диастолы. Эту морфобиомеханическую закономерность важно учитывать при реконструкции клапана.

С возрастом и при патологии створки становятся толще и жестче. Склероз, дистрофический кальциноз или спайки комиссур могут привести к стенозу, недостаточности клапана, а также их сочетанию.

Длительное время разработка неостворок в значительной степени была субъективной и зависела от оперирующего хирурга. Отсутствие точного представления о размерах новой створки во время операции влечет за собой неоптимальные реконструкцию и функционирование клапана, а также необходимость нескольких вмешательств и протезирования аортального клапана. Также отсутствие стандартизированных критериев разработки трансплантата створки, как правило, негативно влияет на воспроизводимость хирургической манипуляции.

В этом исследовании мы получили средние значения размеров правой, левой коронарных и некоронарной створок аортального клапана, статистически значимо не различающиеся. Это свидетельствует о том, что в большинстве наблюдений створки трехстворчатого клапана симметричны.

H.-J. Schäfers и соавт. провели исследование на 615 корнях аорты пациентов с недостаточностью аортального клапана. Интраоперационно оценили только высоту створок дву- и трехстворчатого клапанов в отдельности [9]. Высота створок трехстворчатого клапана составляла от 12 до 28 мм, причем высота НКС была статистически значимо больше. Между правой и левой коронарными створками не выявили различий.

J.S. Rankin и соавт. в исследовании с использованием компьютерной томографии 10 нормальных корней аорты взрослого человека показали, что нормальный аортальный клапан имеет эллиптическую структуру и три межкомиссуральных расстояния имеют приблизительно равную длину [14].

Авторы использовали эти данные для проектирования створок клапанов у двух взрослых пациентов с аортальным стенозом и аортальной недостаточностью и показали удовлетворительные результаты двухлетнего наблюдения [15].

Целью исследования М. Contino и соавт. был анализ геометрических связей между различными структурами, составляющими корень аорты [6]. Особое внимание авторы уделили межстворчатым треугольникам Генле, вентрикулоаортальному соединению и функциональному кольцу аорты. Работу проводили на 16 фиксированных формалином сердцах. Среднее значение межкомиссурального расстояния составило 25 мм, причем статистически значимых различий между правым, левым и коронарным расстоянием не выявили.

F.E. Vollebergh и A.E. Becker проанализировали 200 нормальных сердец и 16 с изолированным аортальным стенозом, полученных во время аутопсии [16]. Авторы не указали, как препарировали сердца и в каких условиях проводили измерения. Во всех случаях оценивали ширину и высоту створки. При отсутствии патологии клапана среднее межкомиссуральное расстояние составляло 25,5 мм, средняя высота 14,0 мм для всех трех створок. В случае стеноза среднее межкомиссуральное расстояние было 25,7 мм, причем ЛКС была наименьшей, высота створки 13,8 мм при наименьшей НКС. Авторы пришли к выводу, что изначальное неравенство в размерах створок трехстворчатого аортального клапана приводит к неравномерной механической нагрузке на структуры, что затем может играть роль в патогенезе стеноза, ускоряя деградацию клапана.

M.A. Silver и W.C. Roberts изучили размеры створок аортального клапана на 100 фиксированных в формалине сердцах, полученных от людей, которые умерли от причин, не связанных с кардиальной патологией [10]. Они проанализировали связь между массой сердца и параметрами створок, но не между размером створки и антропометрическими клинически значимыми параметрами: полом, ростом и весом.

Полученные в нашем исследовании средние величины высоты створок были примерно схожими с данными H.-J. Schäfers и соавт. и J.S. Rankin и соавт., но были большими, чем в опубликованных ранее исследованиях других авторов [8; 10; 16]. Вероятнее всего, это связано с тем, что мы проводили морфометрическое исследование на трупах людей через 1–3 часа после смерти, H.-J. Schäfers и соавт. — интраоперационно при хирургическом вмешательстве

на сердце [9], J.S. Rankin и соавт. анализировали результаты компьютерной томографии живых пациентов [14]. Важно отметить, что при фиксации формалином либо спустя время при отсутствии нормального физиологического давления происходит ретракция створок, что приводит к недооценке их истинных размеров.

Российские ученые также исследовали анатомию и размеры створок клапана аорты [17; 18]. Л.А. Бокерия и соавт. изучили 50 корней аорты, фиксированных в слабом растворе формалина способом, подобным нашему [17]. В большинстве случаев створки не являлись равными и самой крупной была НКС, за которой следуют правая и левая коронарные створки. Применив математические методы, авторы доказали, что форма створки практически полностью соответствовала 1/4 поверхности сферы.

Связь между диаметром корня аорты и размерами створок определили K.S. Kunzelman и соавт. в исследовании 10 криоконсервированных образцов неизмененного корня и клапана аорты [8]. Средние размеры створок представлены как часть от диаметра корня аорты на уровне синусов Вальсальвы.

S. Subramanian и соавт. на 50 детских фиксированных формалином сердцах провели оценку взаимосвязей структур корня аорты и выявили сильную прямую корреляцию между межкомиссуральным расстоянием и остальными параметрами створок [11]. Однако не продемонстрировали средних размеров створок аортального клапана. Сравнение данных российских и зарубежных исследователей с нашими результатами представили на рис. 5.

В данном исследовании мы выявили связь между размерами створок и одной из основных антропометрических характеристик человека — ростом. Это дополняет представления о морфофункциональных закономерностях конструкции тела человека и согласуется с исследованиями, в которых обнаружили подобную связь с размерами корня аорты [19; 20]. В этих работах с помощью эхокардиографии анализировали анатомию корня аорты и оценили зависимость между диаметрами корня аорты на разных уровнях и полом, возрастом, ростом, весом, физической активностью человека и другими характеристиками. H.-J. Schäfers и соавт. указали на прямую корреляционную связь между высотой створки и ростом, весом, площадью поверхности тела и диаметром вентрикулоаортального соединения [9]. Обнаружили значимую, хотя и более слабую, отрицательную корреляцию между высотой створки и возрастом человека.

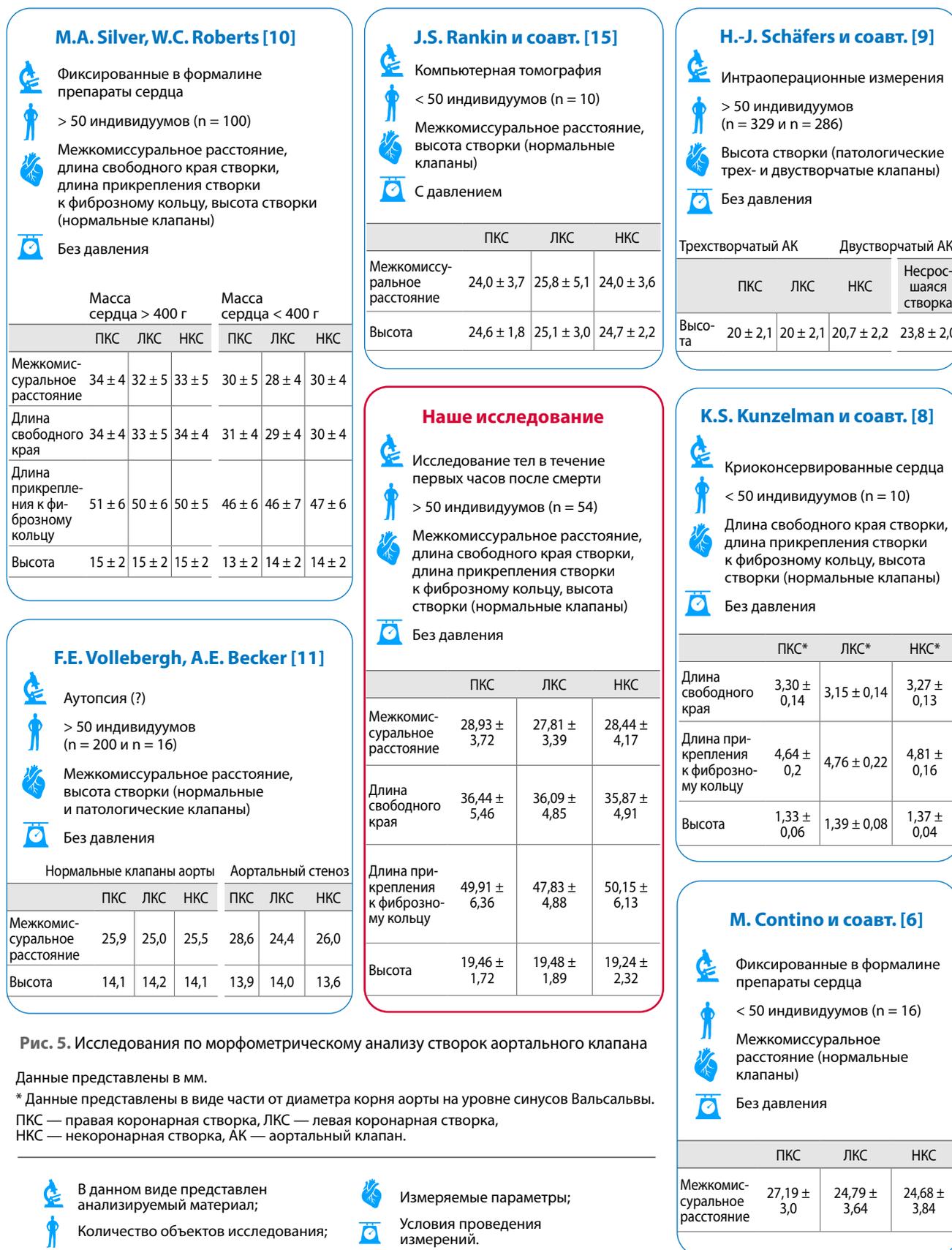


Рис. 5. Исследования по морфометрическому анализу створок аортального клапана

Данные представлены в мм.

* Данные представлены в виде части от диаметра корня аорты на уровне синусов Вальсальвы.

ПКС — правая коронарная створка, ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, АК — аортальный клапан.



В данном виде представлен анализируемый материал;



Количество объектов исследования;



Измеряемые параметры;



Условия проведения измерений.

Ограничения

Мы определяли средние значения размеров створок в нормальном сердце, которые могут не соответствовать значениям при патологии корня аорты, то есть при дилатации стенок корня аорты длина и ширина створок аортального клапана могут быть недостаточными или избыточными.

Проводили анализ на кадаверных сердцах. Аорта у живого человека расширяется под давлением. По данным исследования F.H. Silver и соавт. о податливости аорты, при физиологическом давлении 120–130 мм рт. ст. диаметр корня аорты может увеличиться на 20–25 % [21]. Таким образом, математическое отношение диаметра корня к размерам створок изменяется от давления.

Средний возраст кадавров составил $65,0 \pm 13,7$ года. С возрастом происходит изменение формы корня аорты, расширение синотубулярного соединения, уплотнение створок аортального клапана [10], которое иногда сложно дифференцировать от нормальной ткани. Тем не менее пациентам в период госпитализации незадолго до смерти выполняли эхокардиографию, по данным которой все аортальные корни считали нормальными.

М.А. Silver и W.C. Roberts [10] доказали, что масса сердца статистически достоверно влияет на различные параметры створок. В исследовании мы не учитывали массу и размеры сердца трупов, что могло отразиться на результатах исследования.

Заключение

Клапаносохраняющая и реконструктивная хирургия аортального клапана основана на детализированных знаниях анатомии и физиологии корня аорты. Взаимосвязи его элементов имеют первостепенное значение во время процедур по восстановлению или сохранению аортального клапана и могут быть полезны также при эхокардиографическом анализе и компьютерной томографии.

Использование полученных результатов в качестве основы для реконструкции створок будет способствовать оптимизации морфогеометрического проектирования створок, максимальному компенсированию патологических изменений размеров кольца аорты и соразмерной коаптации створок аортального клапана, а в конечном итоге улучшению функции и работы аортального клапана. Создание на этой основе неостворок приближает их функциональное предназначение к гемодинамическим условиям и процессам в здоровом сердце.

Список литературы / References

1. Nkomo V.T., Gardin J.M., Skelton T.N., Gottdiener J.S., Scott C.G., Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet*. 2006;368(9540):1005-1011. PMID: 16980116. [https://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(06\)69208-8](https://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(06)69208-8)
2. Osnabrugge R.L.J., Mylotte D., Head S.J., Van Mieghem N.M., Nkomo V.T., LeReun C.M., Bogers A.J.J.C., Piazza N., Kappetein A.P. Aortic stenosis in the elderly: disease prevalence and number of candidates for transcatheter aortic valve replacement: a meta-analysis and modeling study. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(11):1002-1012. PMID: 23727214. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.015>
3. Ozaki S., Kawase I., Yamashita H., Uchida S., Nozawa Yu., Takatoh M., Hagiwara S. A total of 404 cases of aortic valve reconstruction with glutaraldehyde-treated autologous pericardium. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147(1):301-306. PMID: 23228404. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.11.012>
4. Langer F., Aicher D., Kissinger A., Wendler O., Lausberg H., Fries R., Schäfers H.-J. Aortic valve repair using a differentiated surgical strategy. *Circulation*. 2004;110(11 Suppl 1):I167-I173. PMID: 15364841. <https://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000138383.01283.b8>
5. Boodhwani M., de Kerchove L., Glineur D., Poncelet A., Rubay J., Astarci P., Verhelst R., Noirhomme P., El Khoury G. Repair-oriented classification of aortic insufficiency: Impact on surgical techniques and clinical outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;137(2):286-294. PMID: 19185138. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2008.08.054>
6. Contino M., Mangini A., Lemma M.G., Romagnoni C., Zerbi P., Gelpi G., Antona C. A geometric approach to aortic root surgical anatomy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2016;49(1):93-100. PMID: 25724903. <https://dx.doi.org/10.1093/ejcts/ezv059>
7. Thubrikar M.J., Labrosse M.R., Zehr K.J., Robicsek F., Gong G.G., Fowler B. L. Aortic root dilatation may alter the dimensions of the valve leaflets. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2005;28(6):850-855. PMID: 16275009. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ejcts.2005.09.012>
8. Kunzelman K.S., Grande K.J., David T.E., Cochran R.P., Verrier E.D. Aortic root and valve relationships. Impact on surgical repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1994;107(1):162-170. PMID: 8283879. [https://dx.doi.org/10.1016/s0022-5223\(94\)70465-1](https://dx.doi.org/10.1016/s0022-5223(94)70465-1)
9. Schäfers H.-J., Schmied W., Marom G., Aicher D. Cusp height in aortic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146(2):269-274. PMID: 22853942. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.06.053>
10. Silver M.A., Roberts W.C. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight. *Am J Cardiol*. 1985;55(4):454-461. PMID: 3155899. [https://dx.doi.org/10.1016/0002-9149\(85\)90393-5](https://dx.doi.org/10.1016/0002-9149(85)90393-5)
11. Subramanian S., Tikhomirov V., Bharati S., ElZein C., Roberson D., Ilbawi M.N. Relationship of normal aortic valve cusp dimensions: a tool to optimize cusp reconstruction valvuloplasty. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2016;28(2):521-527. PMID: 28043471. <https://dx.doi.org/10.1053/j.semtcvs.2015.08.005>

12. Sievers H.-H., Hemmer W., Beyersdorf F., Moritz A., Moosdorf 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. PMID: 22345173. <https://dx.doi.org/10.1093/ejcts/ezr093>
13. El-zein C.E., Polimenakos A.C., Ilbawi M.N. Aortic valve repair in children. In: Kaiser L.R., Kron I.L., Spray T.L., editors. *Mastery of Cardiac Surgery.* 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2013. P. 1099-1109. Chapter 104.
14. Rankin J.S., Bone M.C., Fries P.M., Aicher D., Schäfers H.-J., Crooke P.S. A refined hemispheric model of normal human aortic valve and root geometry. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;146(1):103-108.e1. PMID: 22858429. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.06.043>
15. Rankin J.S., Nöbauer C., Crooke P.S., Schreiber C., Lange R., Mazzitelli D. Techniques of autologous pericardial leaflet replacement for aortic valve reconstruction. *Ann Thorac Surg.* 2014;98(2):743-745. PMID: 25087813. <https://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.11.086>
16. Vollebergh F.E., Becker A.E. Minor congenital variations of cusp size in tricuspid aortic valves. Possible link with isolated aortic stenosis. *Br Heart J.* 1977;39(9):1006-1011. PMID: 907764; PMCID: PMC483360. <https://dx.doi.org/10.1136/hrt.39.9.1006>
17. Бокерия Л.А., Скопин И.И., Сазоненков М.А. К вопросу об анатомии створок аортального клапана. *Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН.* 2008;9(1):5-10.
Bokeriya L.A., Skopin I.I., Sazonenkov M.A. On the question of the anatomy of the aortic valve leaflets. *The Bulletin of Bakoulev Center. Cardiovascular Diseases.* 2008;9(1):5-10. (In Russ.)
18. Константинов Б.А., Прелатов В.А., Иванов В.А., Малиновская Т.Н. *Клапаносберегающие реконструктивные операции в хирургии пороков сердца.* М.: Медицина, 1989. 140 с.
Konstantinov B.A., Prelatov V.A., Ivanov V.A., Malinovskaya T.N. *Valve-sparing reconstructive surgeries in heart disease surgery.* Moscow: Medicina Publ.; 1989. 140 p. (In Russ.)
19. Babaee Bigi M.A., Aslani A. Aortic root size and prevalence of aortic regurgitation in elite strength trained athletes. *Am J Cardiol.* 2007;100(3):528-530. PMID: 17659941. <https://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.02.108>
20. Zhu D., Zhao Q. Dynamic normal aortic root diameters: implications for aortic root reconstruction. *Ann Thorac Surg.* 2011;91(2):485-489. PMID: 21256298. <https://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.10.058>
21. Silver F.H., Christiansen D.L., Buntin C.M. Mechanical properties of the aorta: a review. *Crit Rev Biomed Eng.* 1989;17(4):323-358. PMID: 2676341.

Anthropo-morphometric patterns of design and proportionality of the aortic valve leaflets in light of reconstructive surgery

Saniia N. Odinokova¹, Roman N. Komarov¹, Vladimir N. Nikolenko^{1,2}, Lubov O. Severgina¹,
Valentina V. Studennikova¹, Roza Kh. Belkharoeva¹

¹ Sechenov University, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Corresponding author. Saniia N. Odinokova, saniya_odinokova@mail.ru

Abstract

Background. As long as the design of leaflets is crucial for aortic valve replacement, inaccurate reconstruction can result in failure or stenosis postoperatively.

Aim. To analyze average parameters of normal valve leaflets and to assess the correlation between various parameters of a normal aortic valve and personal morphometrics.

Methods. The morphometrics of the aortic root were assessed on 54 specimens of the adult heart without any valvular abnormality. We measured following parameters: circumference of the ventriculo-aortic junction and the sino-tubular junction; inter-commissural distance, length of free margin, length of cusp attachment, and height for right coronary, non-coronary, and left coronary aortic leaflets.

Results. Based on the average values, the left coronary leaflet is distinguished by the smallest dimensions of the length of free margin and length of cusp attachment. The height of the left coronary leaflet is maximum as compared to the right coronary and non-coronary leaflets, but these differences are minimal (up to 0.2 mm), where the left coronary leaflet is the smallest. Statistically, no significant intergroup difference was found. For all valve sizes, $p > 0.05$ (inter-commissural distance $p = 0.083$, length of free margin $p = 0.331$, length of cusp attachment $p = 0.056$, height of leaflet $p = 0.518$). Significant correlations were found between all aortic valve leaflet sizes and the ventriculo-aortic junction and the sino-tubular junction. A weaker correlation was found between all leaflets sizes and the body height.

Conclusion. The findings can be used to optimize the leaflet reconstruction and improve the aortic valve function.

Keywords: Aortic Valve; Reconstructive Surgical Procedures

Received 9 September 2020. Revised 10 September 2021. Accepted 29 June 2022.

Funding: The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

Ethics approval. The local ethics committee of Sechenov University approved the study (protocol No. 03-19).

Contribution of the authors

Conception and study design: R.N. Komarov, V.N. Nikolenko, S.N. Odinkova

Data collection and analysis: S.N. Odinkova, V.V. Studennikova, L.O. Severgina

Statistical analysis: S.N. Odinkova

Drafting the article: S.N. Odinkova, R.Kh. Belkharoeva

Critical revision of the article: R.N. Komarov, V.N. Nikolenko

Final approval of the version to be published: S.N. Odinkova, R.N. Komarov, V.N. Nikolenko, L.O. Severgina, V.V. Studennikova, R.Kh. Belkharoeva

ORCID ID

S.N. Odinkova, <https://orcid.org/0000-0002-5403-8456>

R.N. Komarov, <https://orcid.org/0000-0002-3904-6415>

V.N. Nikolenko, <https://orcid.org/0000-0001-9532-9957>

L.O. Severgina, <https://orcid.org/0000-0002-4393-8707>

V.V. Studennikova, <https://orcid.org/0000-0001-7909-7631>

R.Kh. Belkharoeva, <https://orcid.org/0000-0003-4142-4574>

Copyright: © 2022 Odinkova et al.

How to cite: Odinkova S.N., Komarov R.N., Nikolenko V.N., Severgina L.O., Studennikova V.V., Belkharoeva R.Kh. Anthropo-morphometric patterns of design and proportionality of the aortic valve leaflets in light of reconstructive surgery.

