

ЧАСТЬ IV

**Реконструкция
аортального клапана**

Хирургическая анатомия и физиология аортального клапана

Аортальный клапан является одним из компонентов *корня аорты*. Клапан соединяет отточный отдел левого желудочка с восходящим отделом аорты. В норме через корень аорты постоянно течет большой объем крови: в одном направлении, с минимальным сопротивлением, без турбулентности (ламинарный поток). Функция корня аорты также заключается в обеспечении оптимального кровотока в коронарных артериях. Во время этих процессов происходят сложные динамические взаимодействия между анатомическими структурами, на которые могут влиять различные поражения.

КОРЕНЬ АОРТЫ

Корень аорты расположен глубоко в основании сердца, между лежащим спереди корнем легочного ствола и расположенными сзади корня аорты митральным и трикуспидальным клапанами. Между атриовентрикулярными клапанами и корнем аорты находятся два фиброзных треугольника, которые образуют фиброзный скелет сердца (**рис. 20.1**) [1].

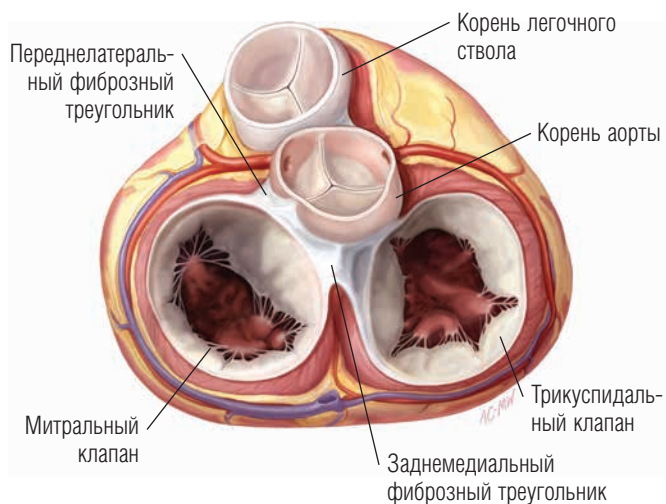


Рис. 20.1 Топография корня аорты.

Корень аорты ограничен дистально синотубулярным соединением и проксимально — отточным отделом левого желудочка (**рис. 20.2**). Корень аорты состоит из трех компонентов: синусов Вальсальвы, фиброзного кольца и створок. Опишем их анатомию последовательно (как хирург видит эти компоненты после поперечной аортотомии над синотубулярным соединением) (**рис. 20.3**).

Синотубулярное соединение представляет собой небольшое утолщение из поперечных пучков коллагена и эластина, расположенных на уровне оснований синусов Вальсальвы и комиссур (**рис. 20.4**). Соотношение между окружностью синотубулярного соединения и окружностью фиброзного кольца варьирует в зависимости от массы тела пациента [2] и его возраста. У молодых пациентов это соотношение составляет приблизительно 0,9, у пожилых пациентов синотубулярное соединение имеет тенденцию к расширению, в результате соотношение ≥ 1 .

Синусы Вальсальвы — пазухообразные выбухания ткани створок, простирающиеся от синотубулярного соединения до фиброзного кольца аортального клапана. Толщина стенки аорты в синусах Вальсальвы по мере приближения к фиброзному кольцу постепенно уменьшается. Изучение конфигурации синусов Вальсальвы после заполнения их под физиологическим давлением жидким воском и его отвердевания (**рис. 20.5**) [3] показало, что размер и форма синусов у каждого человека индивидуальны [4].

После измерения расстояния между комиссурами и высоты синусов было установлено, что левый коронарный синус обычно меньше правого коронарного синуса и некоронарного синуса (**табл. 20.1**) [3, 5]. Окружность корня аорты на уровне синусов в систолу примерно на 50% больше, чем окружность синотубулярного соединения (с большими индивидуальными различиями). Устья правой и левой коронарных артерий расположены соответственно в правом

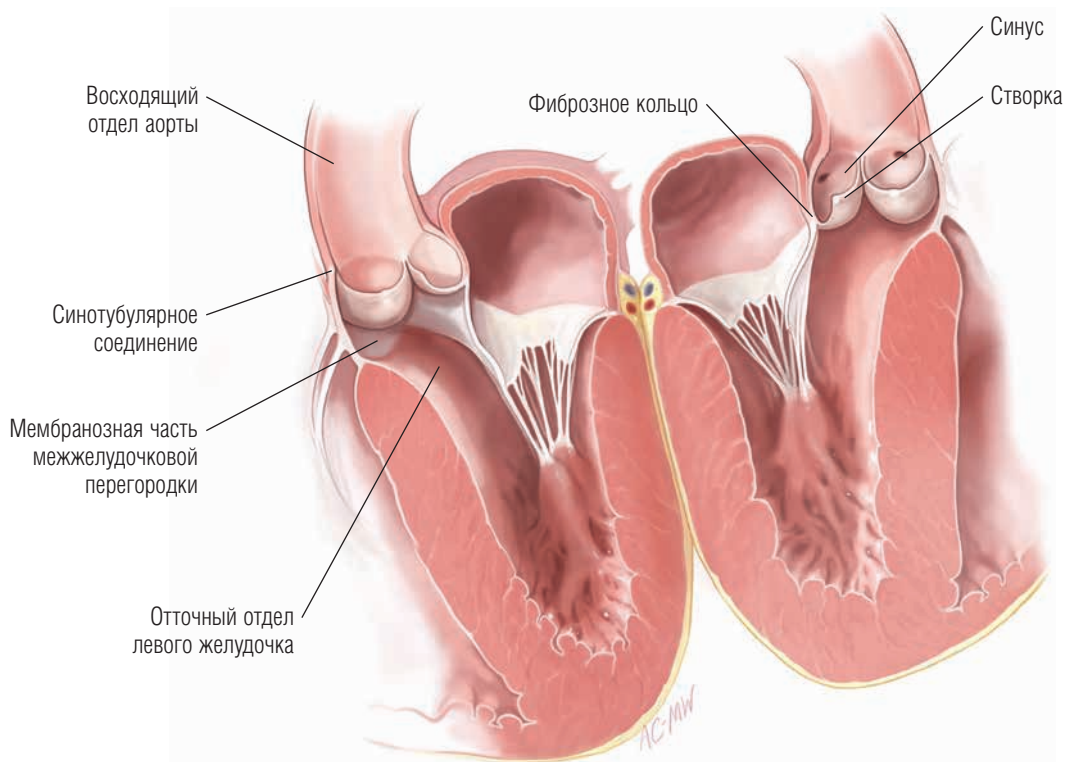


Рис. 20.2 Анатомия корня аорты и рядом расположенные структуры.

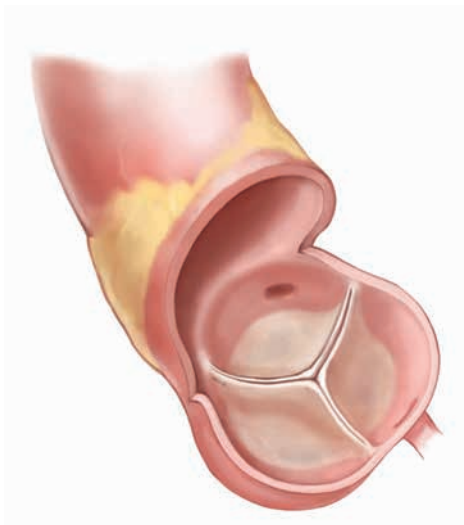


Рис. 20.3 Корень аорты после поперечной аортотомии (как его видит хирург).

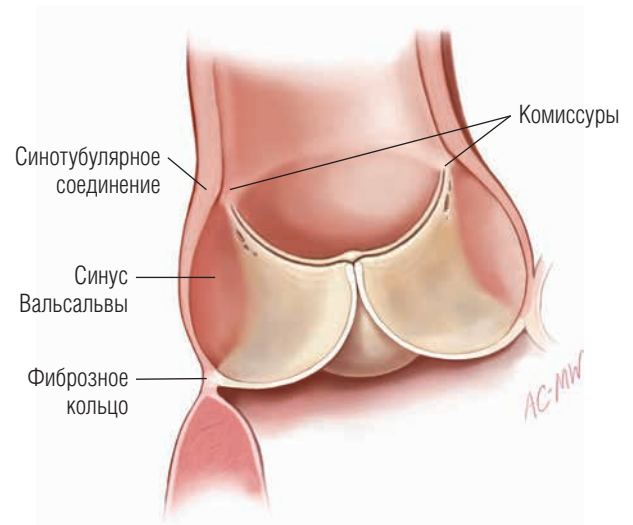


Рис. 20.4 Анатомия корня аорты.

и левом синусах на разных уровнях (**рис. 20.6**): устье правой коронарной артерии обычно выше (может быть скрыто синотубулярным соединением).

Фиброзное кольцо представляет собой фестончатую структуру (**рис. 20.7**), прочно прикрепленную к треугольной формы участкам стенки аорты между синусами, фиброному контакту между аортальным и митральным клапанами и

мембранозной части межжелудочковой перегородки.

Надир¹ некоронарного синуса обычно находится на более низком уровне, чем надирь других синусов. Плоскость, проходящая через надирь всех трех синусов (плоскость фиброзного кольца аортального клапана), в норме располо-

¹ Самая низкая проксимальная точка синуса. — Прим. науч. ред. перев.

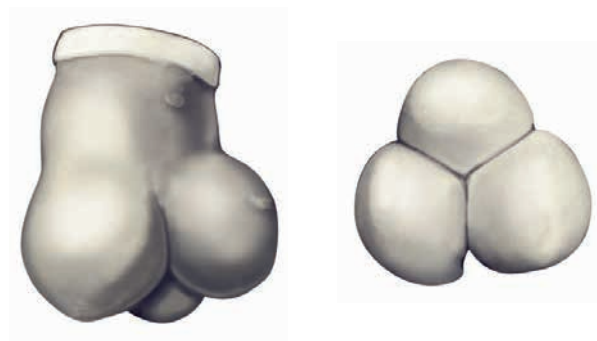


Рис. 20.5 Слепки корня аорты после заполнения синусов Вальсальвы жидким воском и его отвердевания [2].

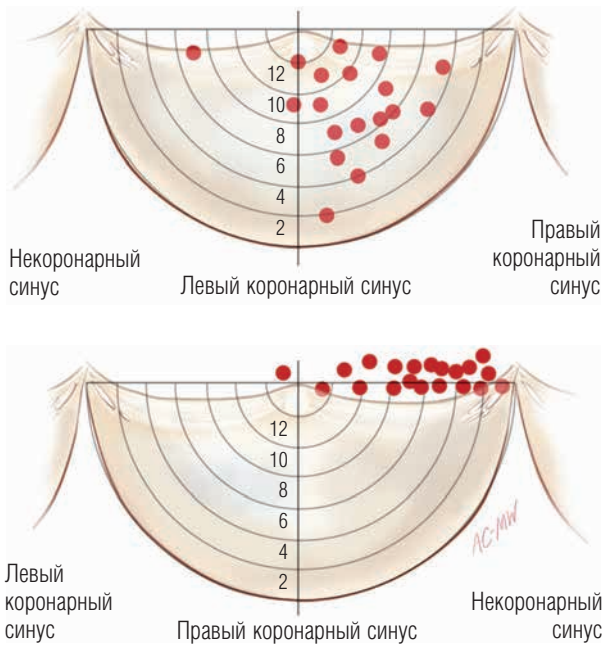


Рис. 20.6 Варианты расположения устьев коронарных артерий (красные точки). Расстояние от вершины синуса до его основания дано в миллиметрах [2].

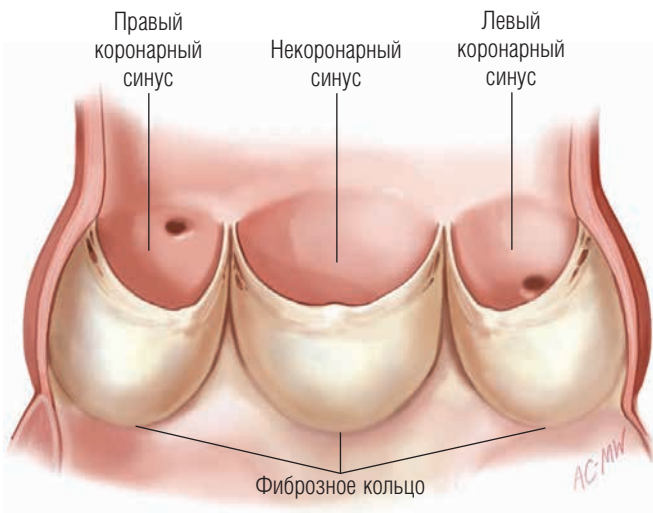


Рис. 20.7 Синусы и фиброзное кольцо аортального клапана.

ТАБЛИЦА 20.1

Размеры синусов Вальсальвы [5]		
Синус	Расстояние между комиссурами (мм) ± SD	Высота синуса (мм) ± SD
Правый коронарный	18,8 (1,8)	19,4 (1,9)
Некоронарный	17,4 (1,9)	17,7 (1,7)
Левый коронарный	15,2 (1,8)	17,4 (1,4)

SD — стандартное отклонение.

жена под углом 120° к плоскости фиброзного кольца митрального клапана (рис. 20.8). Окружность фиброзного кольца примерно на 10% больше окружности синотубулярного соединения. Средняя длина окружности фиброзного кольца составляет 70 ± 7 мм при размере фиброзного кольца приблизительно 22 мм. Линия прикрепления створок к стенке аорты напоминает корону с тремя зубцами (точками соединения створок; эти соединения являются комиссурами аортального клапана).

Субаортальный сегмент, который соединяет корень аорты с отточным отделом левого желудочка, состоит из трех субкомиссуральных (межстворчатых) структур треугольной формы (рис. 20.9). Заднемедиальный фиброзный треугольник (между правым коронарным и некоронарным

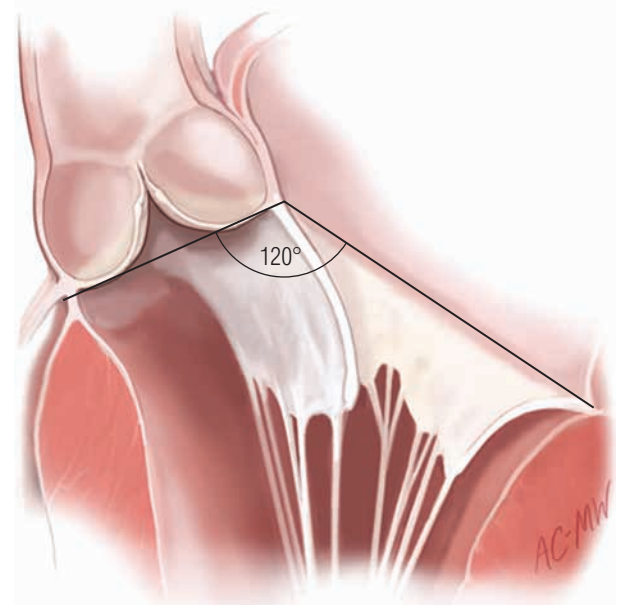


Рис. 20.8 Плоскость, проходящая через надирсы всех трех синусов (плоскость фиброзного кольца аортального клапана), в норме расположена под углом 120° к плоскости фиброзного кольца митрального клапана.

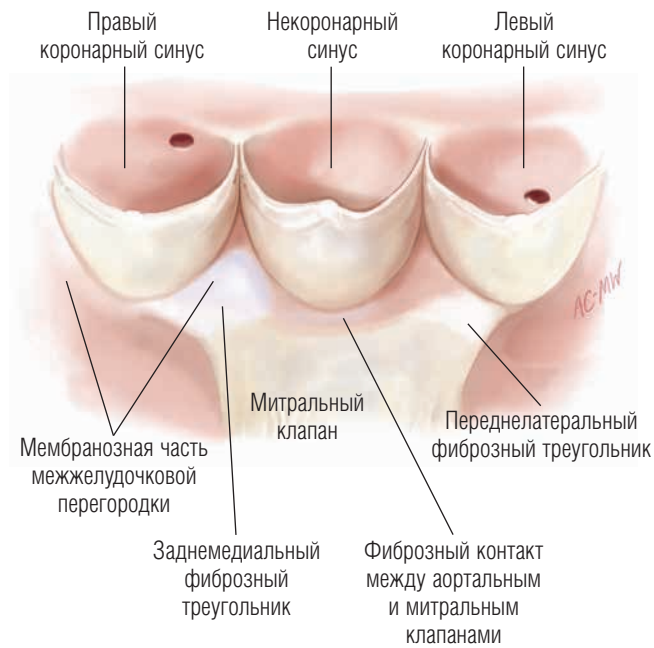


Рис. 20.9 Анатомия субаортального сегмента корня аорты.

синусами) частично переходит на мембранозную часть межжелудочковой перегородки. *Передне-латеральный фиброзный треугольник* (между некоронарным и левым коронарным синусами) является частью фиброзного контакта между аортальным и митральным клапанами. Фиброзный треугольник между правым и левым коронарными синусами, переходящий в межжелудочковую перегородку, состоит из мышечной ткани (у основания фиброзного треугольника) и мембранозной ткани (у вершины фиброзного треугольника). Через аортотомию под фиброз-

ным кольцом аортального клапана видна желудочковая поверхность передней створки митрального клапана и места прикрепления промежуточных сухожильных хорд.

Во время операции на аортальном клапане могут быть повреждены некоторые анатомические структуры (**рис. 20.10**). Самой важной из них является *пучок Гиса*, который обычно проходит по границе между мембранозной и мышечной частями межжелудочковой перегородки в субкомиссуральной области между некоронарной и правой коронарной створками. *Мембранозная часть межжелудочковой перегородки* непрочная и может быть перфорирована во время неадекватного наложения швов. *Тонкая проксимальная стенка синусов Вальсальвы*, прикрепленная к фиброму кольцу, также может быть повреждена, если иглу проводят вокруг фиброзного кольца, а не через него. Наконец, возможно травмирование *левой коронарной артерии* из-за ее близости к субкомиссуральной области между правым и левым коронарными синусами.

СТВОРКИ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

Трехстворчатый аортальный клапан

В норме аортальный клапан имеет три створки, прикрепленные к фиброму кольцу². Створки имеют полулунную форму соответственно изгибам каждой части фиброзного кольца [3–8].

² Линия прикрепления створок к стенке аорты представляет собой не окружность, а корону с тремя зубцами. — Прим. науч. ред. перев.

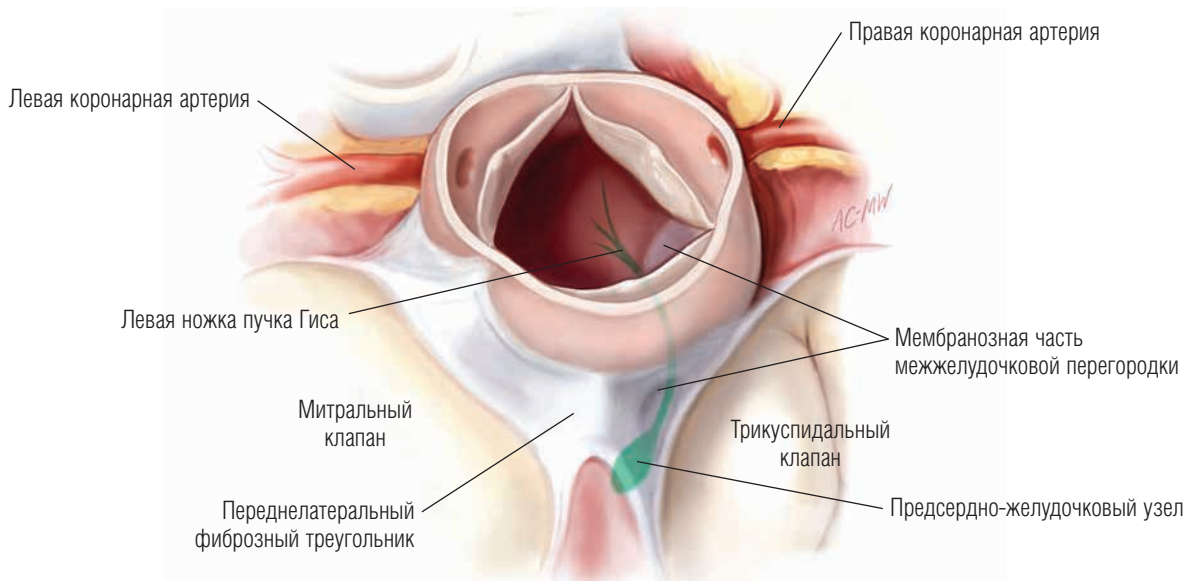


Рис. 20.10 Анатомические структуры около корня аорты, которые могут быть повреждены при вмешательствах на аортальном клапане сердца.

Небольшие перфорации створок аортального клапана вблизи комиссур являются нормальными образованиями, не вызывающими регургитацию.

Все створки состоят из трех четко видимых компонентов: дугообразного места прикрепления, «брюшка» и зоны коаптации (рис. 20.11). «Брюшко» створки представляет собой похожую на парус структуру, которая образует сферическую часть синуса Вальсальвы.

Соприкасающиеся поверхности соседних створок, называемые *лунками* (или *лунулями*³), представляют собой тонкие фиброзные структуры высотой от 2 до 3 мм (рис. 20.12А), которые в норме около комиссур могут быть перфорированными. Эти отверстия не вызывают дисфункцию клапана, если ткань створок не поражена каким-либо патологическим процессом. В середине края каждой створки есть небольшая волокнистая структура, называемая *узлом Аранция*, которая относится к зоне коаптации и обеспечивает состоятельность клапана.

Как и синусы Вальсальвы, створки аортального клапана имеют разные размеры и форму [2]. Тем не менее отношение высоты створки (Н) к длине свободного края створки (L) обычно постоянное: $H = 0,9L$ (см. рис. 20.12Б). Также отмечается постоянное отношение высоты лунки (h) к высоте створки (H): $h = H/4$. Взаимосвязаны между собой длина свободного края створки (L) и длина области прикрепления створки (C): $C = 1,5L$ [9]. Точка соединения трех створок не обязательно находится в центре отверстия аор-

³ *Lupula* (лат.) — полумесяц, серп небольшого размера. — Прим. науч. ред. перев.

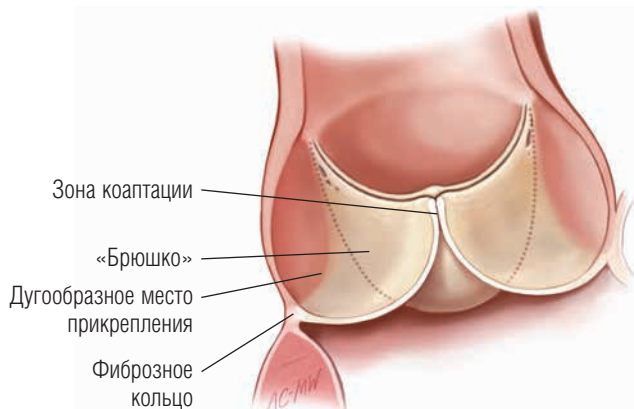


Рис. 20.11 Структуры створок аортального клапана.

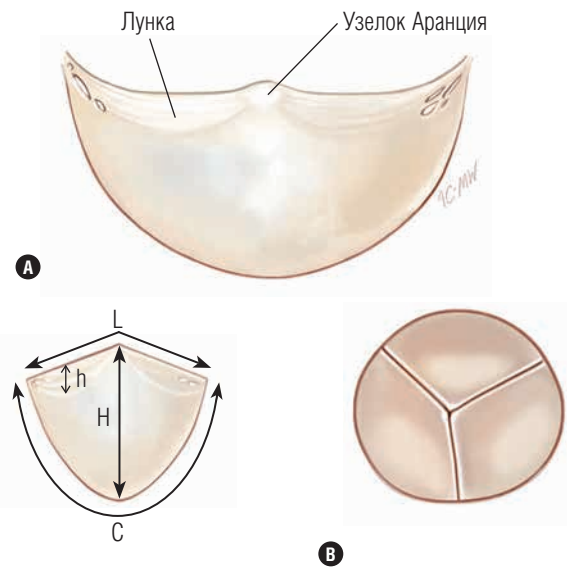


Рис. 20.12 Строение и размеры створок аортального клапана. (А) Зона коаптации. (Б) Размеры створки. (В) Аортальный клапан закрыт. Точка соединения трех створок не находится в центре отверстия аортального клапана. С — длина области прикрепления створки; h — высота лунки; H — высота створки; L — длина свободного края створки.

тального клапана (см. рис. 20.12В). Для обеспечения состоятельности клапана необходимо, чтобы поверхности зон коаптации двух смежных створок были идентичны. Хирург должен знать эти геометрические особенности створок, чтобы адекватно выполнить их реконструкцию.

Двухстворчатый аортальный клапан

В 1–2% случаев при аутопсии аортальный клапан имел две створки без «шва» (рис. 20.13А) или со «швом» (см. рис. 20.13Б, В), который указывает на место сращения двух соседних створок [10]. Створки без «шва» могут иметь одинаковый размер, при этом отверстие клапана расположено в центре. Створки со «швом», как правило, разного размера, а отверстие клапана расположено эксцентрично. Створки со «швом» описывают как *правая* и *левая* (см. рис. 20.13Б) или *передняя* и *задняя* (см. рис. 20.13В). Двухстворчатый аортальный клапан, как правило, состоятельный и лишь слегка стенотический, пока нет кальцификации в области «шва». В 70% случаев у пациентов в возрасте 70 лет степень стеноза двухстворчатого клапана увеличивается настолько, что необходимо хирургическое вмешательство [12]. Двухстворчатый аортальный клапан часто ассоциируется с расширением восходящего отдела аорты со средней скоростью от 0,4 до 0,7 мм в год [12, 13].

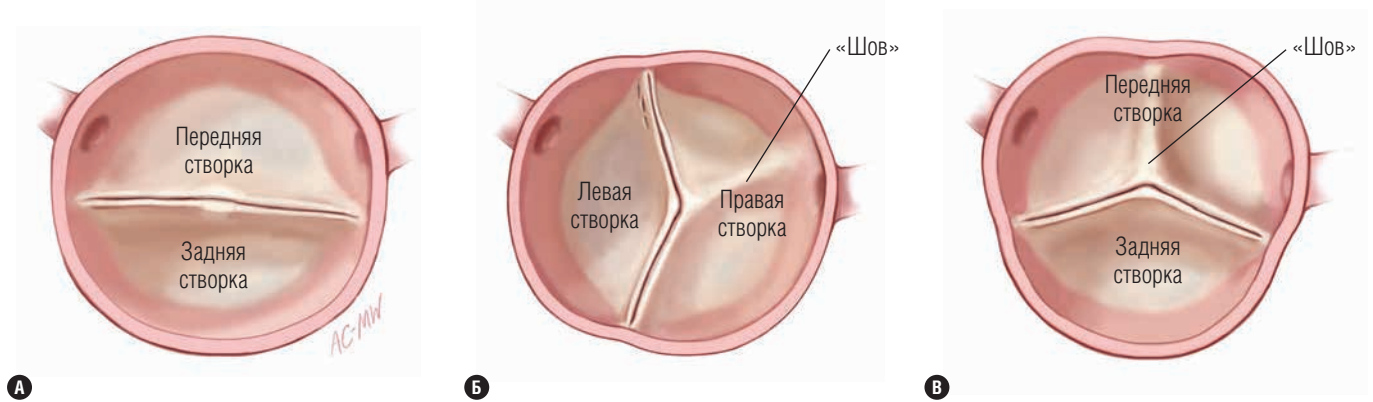


Рис. 20.13 Морфологические разновидности двухстворчатого аортального клапана. (А) Передняя и задняя створки без «шва». (Б) Правая створка со «швом» и левая створка. (В) Передняя створка со «швом» и задняя створка.

Гистологическое строение

Створки аортального клапана состоят из трех слоев соединительной ткани: *ventriculosa* — на желудочковой стороне, *fibrosa* — на аортальной стороне и *spongiosa* — между ними (рис. 20.14). *Fibrosa* в основном состоит из коллагеновых волокон, а *ventriculosa* — из эластических волокон [1]. Расположенная между ними *spongiosa* содержит мукополисахаридное гелеобразное вещество, которое облегчает движение *ventriculosa* и *fibrosa*. *Ventriculosa* с преобладающей радиальной ориентацией эластических волокон обуславливает оптимальное соотношение размеров и формы створок. Соединительнотканые клетки этих слоев обеспечивают метаболизм ткани створок. Доказано, что соединительнотканые

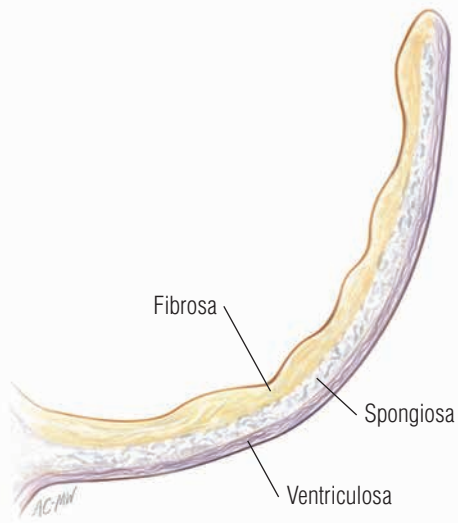


Рис. 20.14 Гистологическое строение створки аортального клапана.

клетки сокращаются под воздействием некоторых фармакологических агентов [14].

ФУНКЦИЯ АОРТАЛЬНОГО КЛАПАНА

Различные компоненты корня аорты синхронно изменяют свою форму и размер в течение сердечного цикла, чтобы обеспечить скорость кровотока до 15 л/мин с минимальной потерей энергии (рис. 20.15) [14–16].

В начале систолы происходит смещение фиброзного кольца аортального клапана вниз, вызванное изоволюмическим сокращением левого желудочка, что инициирует открытие аортального клапана. В конце систолы в результате сокращения левого желудочка окружность фиброзного кольца начинает уменьшаться, в то время как окружность синотубулярного соединения вследствие повышения давления в аорте увеличивается. Изменения формы различных частей фиброзного кольца неодинаковы: части левого и правого коронарных синусов сокращаются интенсивнее, чем часть некоронарного синуса [17]. Во время диастолы аортальный клапан закрывается, а окружность фиброзного кольца увеличивается в результате обратного движения крови в коронарные синусы. Они расширяются, а комиссуры смещаются внутрь из-за упругости стенки аорты и нагрузки на створки аортального клапана.

Завихрения потока крови в синусах Вальсальвы играют важную роль в коаптации створок аортального клапана, которую впервые отметил Леонардо да Винчи. В дальнейшем было установлено, что эти завихрения также обеспечивают коронарное кровообращение в систолу и диастолу.

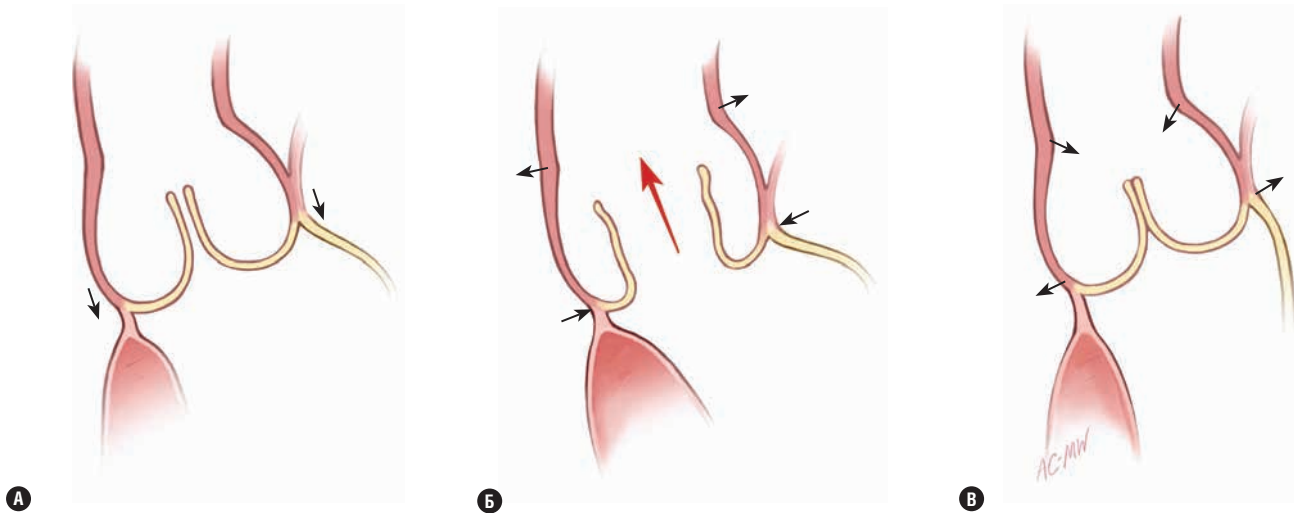


Рис. 20.15 Изменение формы и размера корня аорты в течение сердечного цикла: начало систолы (А), конец систолы (Б) и диастолы (В). Черные стрелки указывают направления смещения компонентов корня аорты, красная стрелка — направление кровотока.

ЛИТЕРАТУРА

- Louis Gross M, Kugel MA. Topographic anatomy and histology of the valves in the human heart, *Am J Pathol* 7(5): 445–474, 1931.
- Carpentier A. Traitement des lésions valvulaires aortiques par des greffes hétéroplastiques. *Etude biologique et technique. Premiers résultats cliniques*. Paris, 1966, These de Doctorat en Médecine, University of Paris.
- Silver MA, Roberts WC. Detailed anatomy of the normally functioning aortic valve in hearts of normal and increased weight, *Am J Cardiol* 55(4):454–461, 1985.
- Reid K. The anatomy of the sinus of Valsalva, *Thorax* 25(1): 79–85, 1970.
- Berdajs D, Lajos P, Turina M. The anatomy of the aortic root, *Cardiovasc Surg* 10(4):320–327, 2002.
- Sutton JP 3rd, Ho SY, Anderson RH. The forgotten inter-leaflet triangles: a review of the surgical anatomy of the aortic valve, *Ann Thorac Surg* 59(2):419–427, 1995.
- Anderson RH. Clinical anatomy of the aortic root, *Heart* 84(6):670–673, 2000.
- Mercer JL, Benedicty M, Bahnson HT. The geometry and construction of the aortic leaflet, *J Thorac Cardiovasc Surg* 65(4):511–518, 1973.
- David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta, *J Thorac Cardiovasc Surg* 103(4):617–622, 1992.
- Roberts WC. The congenitally bicuspid aortic valve. A study of 85 autopsy cases, *Am J Cardiol* 26(1):72–83, 1970.
- Fenoglio JJ Jr, McAllister HA Jr, DeCastro CM, et al. Congenital bicuspid aortic valve after age 20, *Am J Cardiol* 39(2):164–169, 1977.
- Ceccconi M, Manfrin M, Moraca A, et al. Aortic dimensions in patients with bicuspid aortic valve without significant valve dysfunction, *Am J Cardiol* 95(2):292–294, 2005.
- Warren AE, Boyd ML, O'Connell C, et al. Dilatation of the ascending aorta in pediatric patients with bicuspid aortic valve: frequency, rate of progression and risk factors, *Heart* 92(10):1496–1500, 2006.
- Yacoub MH, Kilner PJ, Birks EJ, et al. The aortic outflow and root: a tale of dynamism and crosstalk, *Ann Thorac Surg* 68(Suppl 3):S37–43, 1999.
- Bellhouse BJ, Bellhouse FH. Fluid mechanics of a model normal and stenosed aortic valves, *Circulation Research* 25: 693–704, 1969.
- Thubrikar M, Nolan SP, Boshier LP, et al. Cyclic changes and structure of the base of the aortic valve, *Am Heart J* 99(2):217–224, 1980.
- Dagum P, Green GR, Nistal FJ, et al. Deformational dynamics of the aortic root: modes and physiologic determinants, *Circulation* 100(Suppl 19):II54–II62, 1999.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дэвид Адамс: Чтобы разработать первые биологические протезы клапанов сердца, вы тщательно изучили аортальные клапаны свиней и телят. Насколько отличается анатомия аортального клапана человека от анатомии клапанов этих животных?

Ален Карпантье: Это может показаться удивительным, но анатомическое сходство аортальных клапанов свиньи, телят и человека гораздо больше, чем сходство строения их тел! Основное различие заключается в том, что у животных межжелудочковая перегородка представлена мышцей. Кроме того, в фиброзном скелете сердца животных, в частности у телят и лосей, есть кость. Такие анатомические отличия значительно усложнили создание свиных биологических протезов с каркасом в виде стента. В связи с этим я предпочитаю биологические протезы из перикарда.

Фарзан Филсуфи: Некоторые хирурги сообщают о разных соотношениях между окружностью фиброзного кольца аортального клапана и окружностью синотубулярного соединения. Не могли бы вы это прокомментировать?

Ален Карпантье: Действительно, несколько хирургов, включая Tirone David и Raymond Cartier, показали, что это соотношение варьирует в зависимости от возраста. У молодых окружность фиброзного кольца примерно на 10% больше окружности синотубулярного соединения (отношение < 1). У пожилых людей синотубулярное соединение имеет тенденцию к расширению, его окружность равна или больше окружности фиброзного кольца (отношение ≥ 1).

Дэвид Адамс: Какова функциональная связь между синотубулярным соединением и линией прикрепления створок к стенке аорты, напоминающей корону с тремя зубцами?

Ален Карпантье: Створки в области комиссур прикреплены к синотубулярному соединению. При надклапанном стенозе синотубулярное соединение гипертрофировано, что затрудняет движение створок в области комиссур во время открытия клапана и попадание крови в устья коронарных артерий. Напротив, при дилатации синотубулярного соединения комиссуры сме-

щаются кнаружи, вызывая дисфункцию клапана типа IIIb.

Дэвид Адамс: Что вы можете сказать о лунках створок аортального клапана?

Ален Карпантье: Лунки створок — это особенные структуры в виде полумесяцев, простирающиеся от комиссур вдоль свободного края створок до узелков Аранция. Лунки очень тонкие, что облегчает закрытие створок и компенсирует небольшую поверхность зоны коаптации. Ткань лунок вблизи комиссур может иметь отверстия.

Фарзан Филсуфи: Приводят ли эти отверстия к дисфункции клапана?

Ален Карпантье: Обычно кровь через них не просачивается, так как либо отверстиям противостоит смежная створка, либо отверстия расположены над зоной коаптации.

Фарзан Филсуфи: Какова роль субкомиссуральных структур треугольной формы?

Ален Карпантье: Субкомиссуральные структуры треугольной формы обеспечивают оптимальную эластичность фиброзного кольца аортального клапана и играют значимую роль в снижении нагрузки на корень аорты и в направлении потока крови через отточный отдел левого желудочка и аортальный клапан в аорту.

Фарзан Филсуфи: Каково ваше мнение о создании искусственных синусов при восстановлении нативного корня аорты или в кондуитах, используемых для его протезирования?

Ален Карпантье: Еще Леонардо да Винчи показал, что синусы Вальсальвы играют важную роль в закрытии аортального клапана. Я считаю, что создавать искусственные синусы целесообразно и при реконструкции корня аорты, и при его замене клапаносодержащим кондуитом.

Дэвид Адамс: Каково значение смещения фиброзного кольца аортального клапана в проксимальном направлении во время систолы?

Ален Карпантье: Смещение фиброзного кольца аортального клапана в результате извольномического сокращения желудочка в начале систолы инициирует открытие аортального клапана.