

УДК 76.29.39

МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЙ ПОДХОД В ХИРУРГИИ КОРНЯ АОРТЫ: ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ РЕАЛИИ И БУДУЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

А.В. Караджа[✉], Р.М. Шарифулин, А.В. Богачев-Прокофьев, А.М. Чернявский
ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. акад. Е.Н. Мешалкина»
Минздрава Российской Федерации, Новосибирск, Россия
ул. Речкуновская, д. 15, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630055

Основные положения

Минимально инвазивные доступы в хирургии корня аорты по данным последних исследований сопоставимы со срединной стернотомией с позиции безопасности и эффективности, а также ассоциированы с низким объемом кровопотери, быстрым восстановительным периодом и сниженным риском инфекционных осложнений. Актуальным представляется проведение рандомизированных клинических исследований с длительным периодом наблюдения.

Резюме

В течение последнего десятилетия минимально инвазивные процедуры в объеме частичной верхней мини-стернотомии и правосторонней мини-торакалотомии стали «золотым стандартом» для изолированного протезирования аортального клапана. Однако в хирургии корня аорты минимально инвазивный подход не применяется рутинно, полная срединная стернотомия остается методом выбора для данной когорты больных. Целью данного исследования было проведение аналитического обзора литературы доступной в базах данных, обращая внимание на исторические аспекты, особенности современных методик и будущие перспективы минимально инвазивной хирургии корня аорты. Поиск литературы проводился в международных базах данных - Medline, Google scholar и Cochrane library, а также в отечественном источнике - «eLibrary.Ru — российская научная электронная библиотека».

Существующие на сегодняшний день исследования показывают многообещающие клинические результаты применения мини-инвазивных доступов в хирургии корня аорты: сопоставимые со срединной стернотомией безопасность и эффективность процедуры, а также ряд преимуществ в виде низкой кровопотери, быстрого восстановительного периода, сниженного риска инфекционных осложнений, прекрасного косметического результата. Однако вышеописанные исследования имеют низкий уровень доказательной базы. Подтверждение полученных результатов рандомизированными клиническими исследованиями с длительным периодом наблюдения позволит сделать минимально инвазивный подход доступом выбора для большинства пациентов, требующих вмешательства на корне аорты.

Ключевые слова: мини-инвазивная кардиохирургия • хирургия корня аорты • мини-торакалотомия • мини-стернотомия • аналитический обзор

Поступила в редакцию: 28.11.2022; поступила после доработки: 06.12.2022; принята к печати: 12.12.2022

MINIMALLY INVASIVE APPROACH TO AORTIC ROOT SURGERY: HISTORY, STATE-OF-THE-ART AND FUTURE PERSPECTIVES

A. Karadzha[✉], R. Sharifulin, A. Bogachev-Prokophiev, A. Chernyavskiy
E.N. Meshalkin National Medical Research Centre,
15, Rechkunovskaya Street, Novosibirsk, Russian Federation, 630055

Для корреспонденции: Караджа Анастасия Вадимовна, e-mail: anastasiakaradzha@gmail.com, адрес: ул. Речкуновская, д. 15, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630055.

Corresponding Author: Karadzha Anastasya V., e-mail: anastasiakaradzha@gmail.com; address: 15, Rechkunovskaya St., Novosibirsk, Russian Federation, 630055

Central Message

Minimally invasive approaches in aortic root surgery are comparable to median sternotomy in terms of safety and efficacy and are associated with low blood loss, a rapid recovery period, and a reduced risk of infectious complications. Randomized clinical trials with a long-term follow-up period are required to provide new evidence.

Abstract

Over the past decade, minimally invasive procedures including partial upper mini-sternotomy and right mini-thoracotomy have become the «gold standard» for isolated aortic valve replacement. However, minimally invasive approach is not routinely performed in aortic root surgery, and median sternotomy remains the incision of choice. The review is aimed at assessing and commenting on the surgical techniques and the current evidence on minimally invasive aortic root surgery with a particular focus to their evolution, and future perspectives. The literature search was carried out in international databases - Medline, Google Scholar and the Cochrane Library, as well as in the domestic source - «eLibrary.Ru - Russian scientific electronic library».

Recent studies have shown promising clinical results of minimally invasive aortic root surgery comparable to median sternotomy in terms of safety and efficacy. Minimally invasive approaches are associated with low blood loss, quicker healing, a reduced risk of infectious complications, and superior cosmetic results. However, the reported studies have a low level of evidence. Randomized clinical trials with a long-term follow-up are required to validate these results and motivate the surgeons to routinely apply minimally invasive procedures to the majority of patients requiring intervention on the aortic root.

Keywords: minimally invasive cardiac surgery • aortic root surgery • mini-thoracotomy • mini-sternotomy • review

received: 28.11.2022; review round 1: 06.12.2022; accepted: 12.12.2022

Введение

Хирургия корня аорты традиционно считается одним из наиболее сложных направлений кардиохирургии, требующим командного подхода с высокой квалификацией всей хирургической бригады. В этой связи, распространенность минимально инвазивных вмешательств на корне аорты достаточно ограничена. Если другие направления малоинвазивной коррекции приобретенных пороков сердца, такие как вмешательства на митральном и аортальном клапане, успешно практикуются уже несколько десятков лет, то активное развитие малоинвазивной хирургии корня аорты мы наблюдаем в настоящее время. Проблема выбора оптимального кардиохирургического доступа никак не отражена в современных рекомендациях, ответственность за это решение полностью возложена на плечи хирурга.

Целью данного исследования было проведение аналитического обзора литературы доступной в базах данных, обращая внимание на исторические аспекты, особенности современных методик и будущие перспективы минимально инвазивной хирургии корня аорты. Поиск литературы проводился в международных базах данных - Medline, Google scholar и Cochrane library, а также в отечественном источнике - «eLibrary.Ru — российская научная электронная библиотека».

Использование минимально инвазивных доступов для изолированного протезирования аортального клапана было комплексно изучено

в ходе крупных исследований [1,2]. В результате анализа базы данных Общества торакальных хирургов [3] не было получено различий по летальности и большим кардиоваскулярным событиям. Мини-торакотомия показала преимущества по частоте острой почечной недостаточности, количеству гемотрансфузий, частоте послеоперационной фибрилляции предсердий, длительности госпитального периода, частоте инфекционных осложнений; мини-стернотомный доступ был превосходящим по длительности искусственной вентиляции легких.

Преимущества минимально инвазивных доступов в хирургии корня аорты не подкреплены достаточной доказательной базой ввиду отсутствия исследований высокого качества. Остается открытым вопрос безопасности и эффективности данного метода, поскольку мини-инвазивные доступы удлиняют общую продолжительность операции, время пережатия аорты и искусственного кровообращения, требуя при этом более высокого профессионализма оперирующего хирурга. Эти вопросы особенно актуальны в хирургии корня аорты.

Однозначным преимуществом минимально инвазивных доступов, которое не требует дополнительных доказательств, является превосходный косметический эффект (рис. 1). История минимально инвазивных подходов в хирургии корня аорты тесно сопряжена с изолированным протезированием.

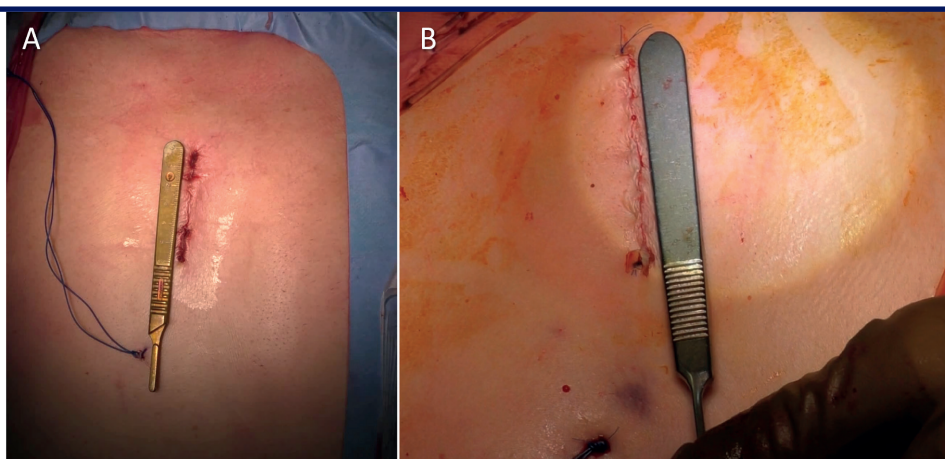


Рисунок 1. Косметический результат миниинвазивных доступов в хирургии корня аорты: А-верхняя мини-стернотомия; Б- правосторонняя передне-боковая мини-торакотомия. @НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина
Figure 1. Cosmetic result of minimally invasive approaches in aortic root surgery: A-upper hemisternotomy; B- right anterior-lateral mini-thoracotomy. @Meshalkin National Medical research center

аортального клапана. С каждым появлением новаторского доступа к данной анатомической зоне и приобретением большого опыта, происходил постепенный переход к отдельным успешным случаям протезирования корня аорты. Так было с частичной стернотомией и правосторонней переднебоковой мини-торатомией – двумя основными мини-инвазивными доступами в хирургии корня аорты.

Парциальная стернотомия

История

Первые сообщения об успешных случаях протезирования аортального клапана через мини-стернотомию с подробным описанием техники были опубликованы Rodríguez J.E. и соавт. в 1996 году [4] (рис. 2). В то время одновременно развивались три мини-инвазивных доступа для протезирования аортального клапана: правосторонняя парастернотомия, нижняя мини-стернотомия и верхняя мини-стернотомия с полным поперечным пересечением грудины и без него. Однако после накопления инициального опыта широко применяться стала именно верхняя мини-стернотомия.

Интересная модификация доступа в 1997

году описана группой авторов из Брисбена (Австралия) [5]. Авторами выполнялась мини-стернотомия до четвертого межреберья без частичного или полного поперечного рассечения грудины на дистальном конце, а боковые стенки грудины деликатно разводились ретрактором. В представленном клиническом случае описывалось репротезирование аортального клапана, однако авторы отметили, что такой доступ отлично подойдет и для первичных пациентов.

В 2002 году группа итальянских ученых во главе с Massimo Bonacchi провела проспективное рандомизированное исследование, сравнивающее верхнюю частичную стернотомию со стандартным стернотомным доступом (2 группы по 40 человек в каждой) при изолированном протезировании аортального клапана [6]. В результате было показано преимущество мини-инвазивного доступа по объему кровопотери, времени экстубации, количеству койко-дней, послеоперационному болевому синдрому, стабильности грудины и, конечно, эстетическому результату.

После ряда проведенных исследований в начале 2000х годов стали очевидны преимущества мини-стернотомии по сравнению со стандартным доступом для изолированного протезирования аортального клапана. Данная техника на-

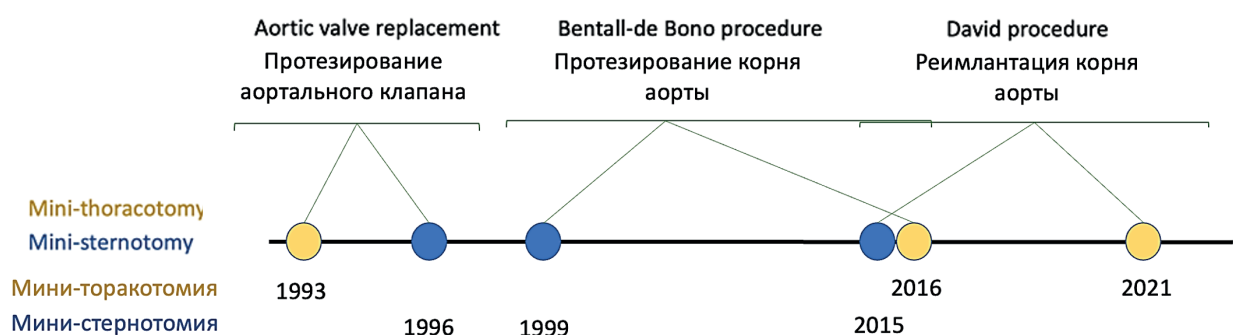


Рисунок 2. Хронология первых операций на аортальном клапане и корне аорты через мини-стернотомный и мини-торакотомный доступы
Figure 2. Timeline of the first procedures on the aortic valve and aortic root through mini-sternotomy and mini-thoracotomy approaches

чала активно распространяться по всему миру, став «золотым стандартом» для данной когорты пациентов. Развитие минимально инвазивных доступов для вмешательств на корне аорты происходило значительно медленнее, так как технически такие процедуры значительно тяжелее, требуют хорошей визуализации и комфортных условий работы для хирурга [7].

Спустя три года после первых сообщений об успешном протезировании аортального клапана, в 1999 году Stephen Westaby и группа хирургов из Оксфордского центра сердца опубликовали первый случай протезирования корня аорты через верхнюю мини-стернотомию [8] (рис. 2). У пациента, помимо гемодинамически значимого аортального порока и аневризмы корня аорты, была выраженная воронкообразная деформация грудной клетки. Хирурги планировали одномоментно выполнить протезирование корня аорты и остеопластику грудины, однако пациент считал эту конституционную особенность частью себя и не желал с ней расставаться. Учитывая просьбу пациента, хирург принял решение провести операцию через мини-инвазивный доступ, оставляя деформированную часть грудины интактной. Мини-стернотомия выполнялась через третье межреберье, учитывая астенический тип телосложения. Пациенту была успешно выполнена операция Bentall-de Bono; время окклюзии составило 64 минуты; больной выписан без осложнений через 5 дней после операции. Несмотря на успешно выполненное вмешательство, в заключении автор отметил, что это была скорее необходимость, чем осознанное решение, и энтузиазма повторять подобное у них нет. При этом существуют серьезные подозрения, что потенциальные риски таких операций значительно превышают предполагаемые преимущества, которые авторы особенно не отметили, эмпирически сравнивая со своими стандартными пациентами.

Невзирая на предостережения английского кардиохирурга, доступ непрерывно продолжал развиваться: сначала в виде отдельных клинических случаев, затем серий клинических случаев, а потом и небольших обсервационных исследований.

Мировой опыт

В 2017 году Elisa Mikus и коллеги сообщили о 53 случаях проведения процедуры Bentall-de Bono через верхнюю частичную мини-стернотомию. Авторы сделали вывод, что минимально инвазивный тактика с использованием верхней J-образной стернотомии – безопасный подход для реконструктивной хирургии корня аорты с небольшим преимуществом в сравнении с полным стернотомным доступом (время операции, риск развития фибрилляции предсердий, время искусственной вентиляции легких). Наибольшее преимущество доступа – отличный косметический результат [9].

Большой шаг в развитии минимально инвазивной хирургии корня аорты произошел с расширением спектра операций до уровня клапаносохраняющих. В 2015 году Malakh Shrestha и соавт. [10] продемонстрировали результаты 25 пациентов, которым была выполнена процедура реимплантации аортального клапана через верхнюю частичную стернотомию. Исследование показало, что процедура David может быть безопасно выполнена с использованием мини-стернотомии. Тем не менее, данное исследование имело ряд ограничений – малое количество пациентов и короткий период наблюдения (15 месяцев). Периоперационные результаты: время ишемии миокарда и искусственного кровообращения, частота ранних послеоперационных осложнений, продолжительность пребывания в реанимации и количество койко-дней – были сопоставимы с группой полной стернотомии, 30-дневная летальность отсутствовала.

На сегодняшний день доступные исследования, имеющие наивысший уровень доказательности по данной тематике – это систематические обзоры обобщающие результаты всех существующих больших ретроспективных исследований [11,12]. Первый крупный обзор доктора Harky A. и соавт. [11], опубликованный в 2019 году, включил в себя восемь исследований ($n = 2765$ пациентов), в которых операция через верхнюю мини-стернотомию была выполнена 974 пациентам. Параметры периоперационного периода приведены в табл. 1.

Годом позже доктор Rayner T.A. и соавт. [12] выпустил более широкий систематический обзор с метаанализом, состоящим из 12-ти исследований ($n = 2506$). Исследования включали в себя пациентов, которым выполнялась процедура David, Yacoub, Bentall-de Bono, раздельное протезирование/пластика аортального клапана в сочетании с супракоронарным протезированием аорты и сопутствующие вмешательства на дуге аорты (табл. 1).

Опыт Российской Федерации

Наибольший в России опыт по данным публикаций зафиксировали хирурги из Российского научного центра хирургии им. акад. Б.В. Петровского. На момент первой публикации по данной тематике в 2017 году инициальный опыт центра составлял 21 вмешательство на корне аорты из мини-стернотомного доступа [13], а к 2020 году увеличился до 106 [14]. Исследование имело ретроспективный дизайн с применением технологии псевдорандомизации. Группы сравнения были сформированы из пациентов, подвергшихся клапаносохраняющему вмешательству – процедуре David (2 группы по 30 пациентов: 1-я группа – полной стернотомии, 2-я группа – J-образной мини-стернотомии). Согласно полученным результатам, вторая группа имела меньшие интраоперационную ($p=0,001$)

и послеоперационную дренажные кровопотери ($p=0,0001$), более короткое время экстубации ($p=0,0001$) и пребывания в реанимации ($p=0,005$), однако более длительное время искусственного кровообращения ($p=0,04$) и окклюзии аорты ($p=0,004$) во время операции. При этом безопасность и эффективность клапаносохраняющей процедуры не были компрометированы минимально инвазивным доступом: ранняя летальность и частота больших кардиоваскулярных событий, а также возврат аортальной регургитации и необходимость в повторном вмешательстве на аортальном клапане в средне-отдалённом периоде значимо не отличались в двух группах. Другие специализированные центры карди-

охирургии в Российской Федерации не представили крупных исследований по данной тематике. Существующие публикации ограничиваются отдельными клиническими случаями, серией случаев [15,16] или описывают смешанную когорту пациентов, которым выполнялось протезирование аортального клапана/ корня аорты/ супракоронарное протезирование аорты [17,18].

Выбор модификации доступа

Мини-стернотомия традиционно доступна в трех вариантах: Т-мини-стернотомия; J-мини-стернотомия и L-мини-стернотомия (рис. 3). Т-мини-стернотомия была достаточно

Таблица 1. Сравнительная характеристика двух систематических обзоров с мета-анализом, сравнивающих вмешательства на корне аорты через мини-стернотомию и стандартную стернотомию
Table 1. Comparison of two systematic reviews with meta-analysis evaluating interventions on the aortic root through mini-sternotomy and median sternotomy

Параметры / Parameters	А. Harky и соавт. / Harky et al. [8] (2019)			Т.А. Rayner и соавт. / Rayner et al. [9] (2020)		
Количество включенных в анализ исследований / Number of studies included in meta-analysis	8			12		
Общее количество пациентов, Total number of patients	2765			2506		
Количество пациентов, которым было выполнено мини-инвазивное вмешательство на корне аорты Number of patients who underwent minimally invasive aortic root surgery	974			1101		
Конечные точки / Endpoints	Полученные результаты / Results					
	ОШ / OR	95% ДИ / CI	P	OP / RR	95% ДИ / CI	P
Частота периоперационной летальности / Perioperative mortality rate	0.34	0.13, 0.87	0.002	1.74	0.70–4.37	0.24
Частота хирургических гемостазов / Reoperation for bleeding	0.94	0.35, 2.52	0.90	1.06	0.50, 2.26	1.0
Частота острой почечной недостаточности / Acute kidney injury	0.81	0.55, 1.19	0.28	1.51	1.06, 2.17	0.024
Частота периоперационных инсультов / Incidence of stroke	0.97	0.28, 3.38	0.96	–	–	–
Частота инфекционных осложнений / Wound infection rate	–	–	–	1.97	1.12, 3.46	0.019
	CPC, SMD	95% ДИ, CI	P	CPC, SMD	95% ДИ, CI	P
Время искусственного кровообращения / Cardiopulmonary bypass time	-8.73	-15.27, -2.19	0.009	0.36	0.15, 0.58	0.001
Время окклюзии аорты / Aortic cross-clamp time	4.17	-11.70, 3.37	0.28	0.16	-0.03, 0.36	0.091
Время пребывания в реанимации / Length of intensive care unit stay	-0.67	-1.07, -0.28	<0.001	0.30	0.17, 0.43	<0.001
Время пребывания в стационаре / Length of hospital stay	-1.17	-2.21, -0.12	0.03	0.17	0.06, 0.27	<0.001
Объем гемотрансфузии / Number of transfused red blood cells units	0.91	-1.65, -0.18	0.01	-	-	-

Примечание: ОШ – отношение шансов, ОР – отношение риска, p – p-значение, ДИ – доверительный интервал, CPC – стандартизованная разность средних
Note: OR – Odds ratio, RR – risk ratio, p – p-value, CI – confidence interval, SMD - standardized mean difference

Обзоры литературы

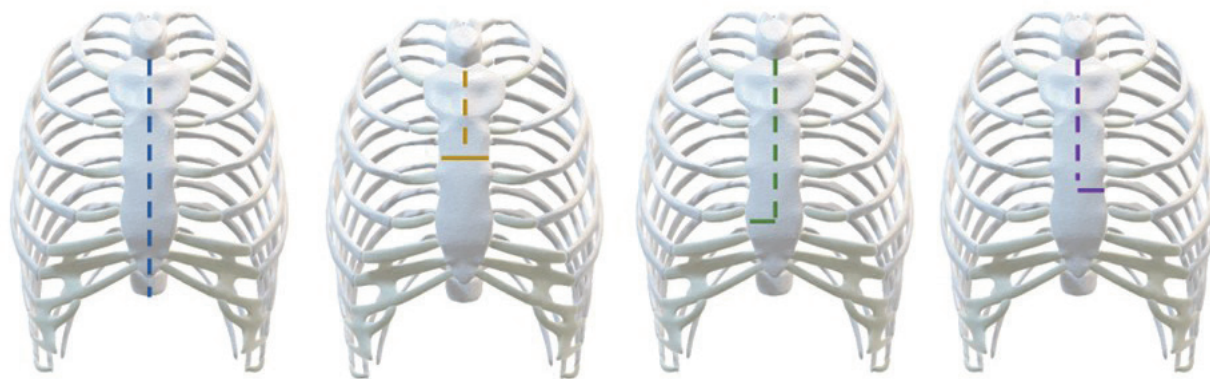


Рисунок 3. Вариации стернотомных доступов, применяемые в хирургии корня аорты. А – стандартная стернотомия; В – Т-образная мини-стернотомия по 2-му межреберью; С – J-образная мини-стернотомия по 4-му межреберью; D – L-образная мини-стернотомия по 3-му межреберью.

Figure 3. Sternotomy approaches to aortic root surgery. A – standard sternotomy; B – T-ministernotomy in the 2nd intercostal space; C – J-ministernotomy in the 4th intercostal space; D – L-ministernotomy in the 3rd intercostal space.

широко распространена на начальных этапах становления доступа [19], однако уже в первых публикациях было доложено о случаях нестабильности грудины, как одном из осложнений такого доступа [20]. Конечно, это в большей степени зависит от техники остеосинтеза и используемых материалов.

J-мини-стернотомия – это классический вариант этого доступа, который используют абсолютное большинство кардиохирургов сегодня [21-23].

L-мини-стернотомия – это противоположность стандартному мини- J, когда горизонтальный полураспил выполняется в левую, а не в правую сторону. Австралийский кардиохирург Tristan Yan имеет огромный опыт операций на аортальном клапане и корне аорты через мини-стернотомии, и он является адептом именно мини- J L вариации доступа [24]. По его убеждению такой доступ обеспечивает прекрасную визуализацию для более, чем 95% пациентов. Кроме того, такой вариант доступа очень удобен для мини-инвазивной процедуры Росса, когда помимо работы на корне аорты, необходим доступ к легочному стволу.

Выбор модификации доступа в целом определяется предпочтением хирурга в сочетании с конкретной клинической ситуацией и результатами компьютерной томографии.

Помимо вариаций направления горизонтального распила, мини-стернотомия может выполняться на различных уровнях: от второго до четвертого межреберья. Второе межреберье может использоваться только при изолированном протезировании аортального клапана, при очень вертикально расположенном сердце с высоким корнем, и часто сопровождается выполнением Т-образной мини-стернотомии [25]. Обычно выбор лежит между 3-м и 4-м межреберьем и должен, прежде всего, определяться уровнем расположения корня аорты по данным компьютерной томографии [26]. Однако можно выделить неко-

торые дополнительные факторы, которые могут повлиять на выбор уровня доступа (табл. 2).

При очень низко расположенном корне аорты может выполняться нижняя частичная стернотомия. Uwabe K и соавт. [27] опубликовали интересный клинический случай протезирования корня аорты через нижнюю мини-стернотомию по 2-му межреберью. Мужчине с резекцией пищевода и последующей субстернальной реконструкцией желудочной трубкой в анамнезе потребовалось протезирование корня аорты по поводу тяжелой аортальной регургитации и аневризмы восходящей аорты. Поскольку желудочная трубка плотно прилегала к рукоятке грудины, для исключения её повреждения, был выбран способ с нижней гемистернотомией.

Для достижения максимально возможной визуализации продольный и поперечный распилы должны располагаться строго перпендикулярно друг другу (рис. 4) независимо от выбора модификации доступа.

Дискуссионным остается вопрос применения частичной стернотомии для повторных вмешательств. Многие хирурги считают это одним из основных противопоказаний при минимально инвазивных доступах [28,29]. Однако те, кто не поддерживает данное мнение, используют доступ для повторных операций с самого его зарождения. Так, уже в 1999 году Byrne J.G. и соавт. [30] представили результаты ретроспективного исследования, сравнивающего два доступа при репротезировании аортального клапана, и показали меньшую кровопотерю ($p=0,02$), потребность в трансфузии компонентов крови ($p=0,08$) и меньшее время операции ($p=0,08$) за счёт отсутствия необходимости выделения нижней части переднего средостения. В России НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии имени А. Н. Бакулева практикует выполнение операции Bentall-de Bonno из мини-стернотомного доступа в случаях, когда по результатам компьютерной томографии правый желудочек прилежит к грудины [17].

В рукописи описан десятилетний опыт выполнения повторных вмешательств на аортальном клапане и восходящей аорте через мини-инвазивный доступ. По результатам исследования, в которое были включены 177 пациентов, ранняя летальность отсутствовала; случаев конверсии доступа не было; одному пациенту выполнялась рестернотомия по поводу кровотечения в правую плевральную полость.

История

На первый взгляд доступ кажется более новаторским, однако первое протезирование аортального клапана через правостороннюю торакотомию произошло в 1993 году – на 3 года ранее первой мини-стернотомии. Об этом доложили представители Индийского института медицинских наук - Рао P.N. и Kumar A.S. [31]. В 1996 году группа кардиохирургов из клиники Кливленда [32] доложила об успешно выполненных 25 вмешательствах на аортальном клапане: 19 пациентам было выполнено протезирование различными материалами – механическими, биологическими клапанными протезами, а также гомографтами; 6 пациентам была выполнена изолированная пластика аортального клапана. В исследуемой группе не было случаев ранних осложнений или летальности. Авторы подробно описали технические аспекты доступа к аортальному клапану через мини-торакотомный доступ:

длина кожного разреза – 10 см; хрящи правых третьего и четвертого ребра иссекались; подключение аппарата искусственного кровообращения – полное периферическое через бедренные сосуды; в конце операции выполнялась блокада межреберных нервов длительно-действующим анестетиком. В заключение авторы отметили, что, по их наблюдениям, у такого доступа есть потенциальные преимущества перед полной стернотомией: косметический эффект, меньший болевой синдром, ранняя реабилитация, снижение объема кровопотери, отсутствие инфекционных осложнений. Также было высказано предположение, что выполнение сопутствующих вмешательств через описанный доступ является потенциально возможным.

Спустя всего один год, в 1997, итальянские кардиохирурги доложили о 34 успешных случаях протезирования аортального клапана через мини-торакотомный доступ [33]. Техника, предложенная врачами, достаточно приближена к современным реалиям: разрез 8 см (в настоящее время 5-6 см (рис. 5)) без рассечения ребер, полное центральное подключение аппарата искусственного кровообращения, которому некоторые хирурги отдают преимущество и сегодня [34,35]. Были описаны уже известные для такого доступа преимущества: снижение операционной травмы, сохранение стабильности грудной стенки, ранняя реабилитация больного.

Таблица 2. Критерии выбора межреберья для выполнении мини-стернотомии
Table 2. Criteria for choosing an intercostal space for ministernotomy

Факторы / Factors	3-е межреберье / 3rd intercostal space	4-е межреберье / 4rd intercostal space
Анатомические особенности / Anatomical features		
Тип телосложения / Body type	Астеничный / Asthenic	Гиперстеничный / Hypersthenic
Избыточная масса тела / Overweight	Нет / No	Есть / Yes
Ориентация сердца / Orientation of the heart	Вертикальная / Vertical	Горизонтальная / Horizontal
Расположение корня аорты/ Location of the aortic root	Высокое / High	Низкое / Low
Анатомия аортального клапана / Aortic valve	Трехстворчатый / Tricuspid	Двустворчатый / Bicuspid
Опыт хирурга (количество выполненных операций из мини-стернотомного доступа) / Surgeon's experience (number of cases performed through mini-sternotomy approach)	>30	<30
Планируемое вмешательство / Intervention	Протезирование корня аорты – операция Bentall-de Bono / Aortic root replacement – Bentall-de Bono	Реконструкция корня аорты – процедура David/Yacoub / Aortic root repair– David/Yacoub
Возможность использование специализированного обеспечения / Ability to use specialized provision:	Да / Yes	Нет/ No
• Периферическая венозная канюляция / Peripheral venous cannulation		
• Эндоскопические инструменты / Endoscopic tools		

Доступ весьма быстро приобрел широкий охват, однако для того, чтобы перейти на ступень хирургии корня аорты потребовалось много лет. Техническая трудность выполнения операций через мини-торакаотомию умножается на трудность хирургии корня аорты, делая такую процедуру мало воспроизводимой на первый взгляд.

Bethencourt D.M. и соавт., докладывая о своем опыте протезирования аортального клапана через правостороннюю мини-торакаотомию, выбрали оригинальный вариант дизайна исследований [34]. Суммарный опыт отделения составил 202 пациента за 13 лет практики. Все пациенты были поделены на 2 группы: раннюю – в первые 7 лет опыта (65 пациентов), и позднюю – последующие 6 лет опыта (137 пациентов). Дизайн исследования был выбран с целью изучить кривую обучаемости. В результате сравнения двух групп, в поздней группе (после приобретения инициального опыта) были найдены преимущества в отношении времени искусственного кровообращения (102.7 ± 36.0 против 92.5 ± 33.3 мин, $P = 0.049$), объему гемотрансфузии (3.6 ± 3.0 против 2.0 ± 2.3 единиц, $P = 0.011$), частоте периоперационных инсультов (16% против 6%, $P = 0.012$), необходимости пролонгации искусственной вентиляции легких (6% против 1%, $P = 0.009$), времени пребывания в стационаре (6.3 ± 4.5 против 8.0 ± 5.9 дней, $P = 0.026$). В данном исследовании было показано, что для значимого снижения времени искусственного кровообращения ($P = 0.001$) и времени ишемии миокарда ($P = 0.006$) необходимо выполнить минимум 20 вмешательств через правостороннюю передне-боковую мини-торакаотомию.

Мировой опыт

Joseph Lamelas, американский кардиохирург из штата Техас, имеющий наибольший опыт вмешательств из правосторонней мини-торакаотомии, в 2018 году представил результаты 1396 вмешательств на аортальном клапане из правосторонней мини-торакаотомии [36]. Из них

378 были сочетанными: коррекция порока митрального ($n = 215$), трикуспидального клапана ($n = 8$), коронарное шунтирование ($n = 30$), протезирование восходящего отдела аорты ($n = 59$), абляция по поводу фибрилляции предсердий ($n = 28$) или комбинации названных вмешательств ($n = 39$). В результате проведенного исследования была показана абсолютная безопасность доступа с низким уровнем летальности (1.3; 3.2%) и периоперационных инсультов (0.8; 1.1%) как при изолированном вмешательстве на аортальном клапане из мини-торакаотомии, так и при комплексных процедурах.

Неудивительно, что именно Joseph Lamelas стал первым кардиохирургом, выполнившим операцию на корне аорты через правостороннюю передне-боковую мини-торакаотомию. В 2016 году он опубликовал статью, где подробно описал технические аспекты операции Bentall-de Bono [37], а также указал, что в период с 2009 по 2015 год они прооперировали 88 пациентов, руководствуясь данной техникой, с превосходным клиническим результатом. В 2018 году в выпущенной тем же автором статье приводится сравнение мини-торакаотомного и стандартного стернотомного доступа в хирургии корня аорты методом псевдорандомизации [38]. В результате сравнения у 103 пациентов после стандартной стернотомии и 74 пациентов после мини-торакаотомии (по 63 пациента в группе после псевдорандомизации) было показано преимущество мини-торакаотомии над срединной стернотомией с позиции уменьшения необходимости проведения гемотрансфузии ($p < 0.0001$), сокращения времени искусственной вентиляции легких ($p = 0.01$) и времени пребывания в реанимации ($p = 0.02$). При этом между двумя группами отсутствовали различия по 30-ти дневной летальности и частоте развития периоперационных инсультов. Время окклюзии аорты и циркуляторного ареста было значимо выше в группе мини-торакотомий ($p < 0.0001$). Это наиболее доказательное исследование, существующее по данной темати-

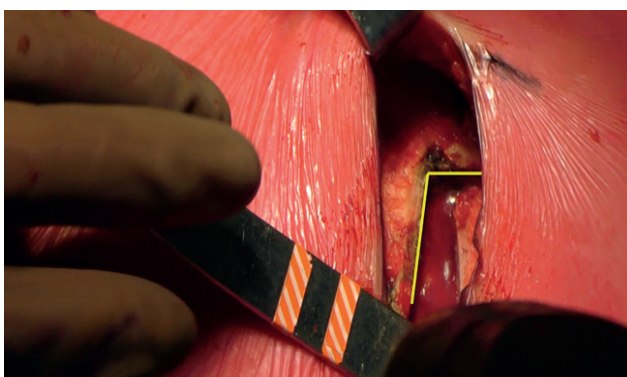


Рисунок 4. Правильное выполнения мини-стернотомии (горизонтальная и вертикальная ось распила располагаются перпендикулярно друг другу)

Figure 4. Proper mini-sternotomy (horizontal and vertical axes of the incision are perpendicular to each other)

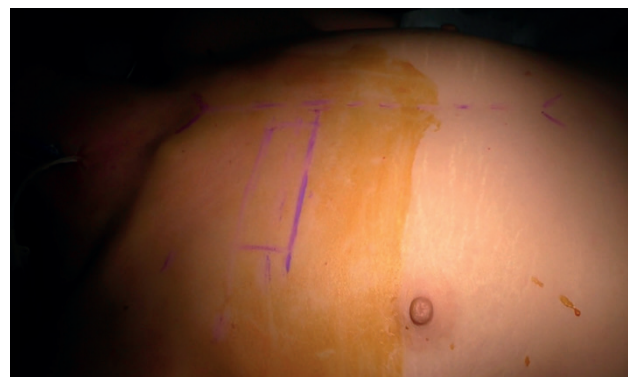


Рисунок 5. Разметка пациента перед выполнением правосторонней передне-боковой мини-торакаотомии по 2-му межреберью

Figure 5. Marking the patient before performing a right anterolateral mini-thoracotomy in the 2nd intercostal space

Таблица 3. Суммарный мировой опыт хирургии корня аорты через правостороннюю передне-боковую мини-торакотомию.
Table 3. Recent world experience of aortic root surgery through right-sided anterior-lateral mini-thoracotomy.

Авторы, год / First author and year	Научное изда- ние / Title	Дизайн исследования / Study design	n	Вмешательство / Procedure
Lamelas J [37] (2016)	Innovations (Phila)	Описании техники / How-to- do-it article	1	Bentall-de Bono
Lamelas J [38] (2018)	Ann Thorac Surg	Ретроспективный сравнитель- ный анализ методом псевдо- рандомизации / Propensity score matching analysis	74	Bentall-de Bono / супракоронар- ное протезирование восходящей аорты, дополненное методом «полудуги» и без него / Bentall- de Bono / supracoronary ascending aorta replacement with or without «hemiarch» replacement
Johnson CA Jr [39] (2018)	Innovations (Phila)	Обсервационное исследова- ние / Observational study	7	Observational study
Johnson CA Jr [40] (2018)	Multimed Man Cardiothorac Surg	Описании техники / How-to- do-it article	1	Bentall-de Bono
Jawarkar M [41] (2021)	J Chest Surg	Описании техники / How-to- do-it article	1	Bentall-de Bono
Ji Q [42] (2022)	Front Cardiovasc Med	Обсервационное исследова- ние / Observational study	7	Bentall-de Bono
Karadzha A [43] (2022)	Multimed Man Cardiothorac Surg	Описании техники / How-to- do-it article	1	Bio Bentall-de Bono с протезиро- вание дуги аорты по типу «по- лудуги» / Bio Bentall-de Bono with concomitant «hemiarch» replacement

ке в настоящий момент. До недавнего времени это была «процедура одного хирурга», однако уже сейчас в журналах можно найти первые исследования других авторов, осваивающих мето-
дику (табл. 3).

Российский опыт

Опыт НМИЦ им. Е.Н. Мешалкина(г. Ново-
сибирск) представлен в виде видео-публикации
технических аспектов операции из мини-торако-
томного доступа на корне аорты [43]. В приведен-
ном случае наглядно была показана процедура
Bentall-de Bono с использование биологического
клапанного протеза, а также протезирование
аорты по типу «полудуги» с использованием
билатеральной антеградной церебральной пер-
фузии.

Планирование процедуры и
отбор пациентов

В отличие от мини-стернотомии, правосто-
ронняя мини-торакотомия требует тщательно-
го отбора пациентов, особенно на начальных
этапах приобретения опыта [44,45]. Анатомиче-
ский отбор пациентов позволяет достичь опти-
мальной визуализации корня аорты и приле-
жащих к нему структур, обеспечивая хирургу
возможность адекватно выполнить основной
этап вмешательства. Необходимо помнить, что
качественное выполнения основного этапа кар-
диохирургической операции должно всегда

преобладать над стремлением улучшить косме-
тический результат. Если совместить оба исхода
невозможно, предпочтение необходимо отдать
долгосрочному результату операции.

Группа немецких ученых во главе с Van Praet
К.М. [44] разработали ряд критериев, которые
определяют наиболее подходящих пациентов
для выполнения мини-торакотомии. Все пред-
ложенные условия основываются на результатах
компьютерной томографии грудной клетки, вы-
полнение которой строго обязательно при пла-
нировании мини-торакотомии.

Авторы выделили 4 типа расположения аор-
ты по отношению к грудины: 1а тип – 100% аорты
расположено справа от грудины; 1б тип – более
50% аорты расположена справа от грудины (рис.
6); 2 тип – менее 50% аорты расположено справа
от грудины; 3 тип – вся аорта расположена слева
от грудины. Классифицировать аорто-грудин-
ное отношение по данной методике необходимо
на уровне бифуркации легочной артерии. Па-
циенты с первым (а и б) типом расположения
аорты являются идеальными кандидатами для
выполнения процедуры через переднебоковую
мини-торакотомию. Авторы также предложили
способ перевести второй анатомический вари-
ант в первый б: при использовании односторон-
ней вентиляции левого легкого, необходимо уве-
личить положительное давление конца выдоха с
5 до 20 мм рт ст, что приведет к смещению сер-
дца в правую сторону.

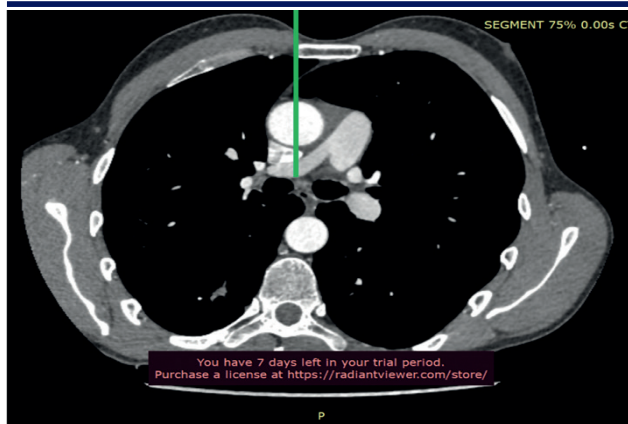


Рисунок 6. 1b тип расположения аорты по классификации Van Praet

Figure 6. 1b type of aortic anatomy according to Van Praet classification

Вторым немаловажным аспектом является глубина залегания аортальных структур. Чем более поверхностно располагается корень аорты, тем удобнее работать хирургу. Так, расстояние от фиброзного кольца аортального клапана до предполагаемого хирургического доступа не должно превышать 16 см, а расстояние до грудины – не более 10 см. [44].

Третий момент – это вертикальность расположения аорты, которая играет важную роль для оптимальной визуализации. Этот аспект описан одним из первопроходцев для данного доступа – Mattia Glauber [45]. Угол отклонения оси аорты от срединной линии – должен быть больше 45 градусов. Чем больше данный угол, тем более горизонтально расположено сердце, соответственно клапан в таких условиях располагается по направлению поля зрения хирурга.

Следует отметить, что вышеперечисленные критерии разработаны авторами для изолированного протезирования аортального клапана, однако, являются релевантными и для хирургии корня аорты через правостороннюю мини-торакотомия.

Суммируя данные двух вышеописанных школ, можно выделить общие критерии отбора пациентов для правосторонней передне-боковой мини-торакотомии, а также противопоказания для данного доступа (табл. 4).

Joseph Lamelas [36] не выполняет рутинно компьютерную томографию всем пациентам, которым планируется протезирование аортального клапана через правостороннюю мини-торакотомия. По его убеждению, технически процедуру возможно выполнить любому человеку. Однако, очевидно, что данное мнение не применимо к вмешательствам на корне аорты через вышеописанный мини-доступ. В таком случае компьютерная томография должна выполняться всем пациентам при планировании операции.

Данные компьютерной томографии также

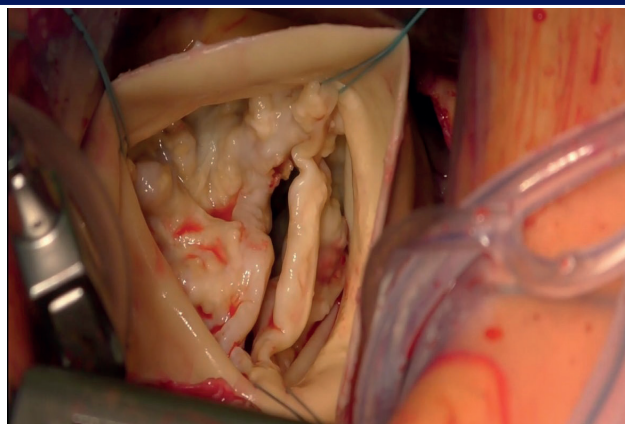


Рисунок 7. Использование швов-держалок на комиссурах аортального клапана при выполнении правосторонней передне-боковой мини-торакотомии

Figure 7. Use of stay-sutures on the aortic valve commissures during right anterior-lateral mini-thoracotomy

незаменимы для определения оптимального межреберья, через которое будет осуществляться доступ. Наиболее частые варианты – это второе или третье межреберье, причем для хирургии корня аорты в большинстве случаев используется второе межреберье.

Авторы также включали в список противопоказаний дилатированный корень аорты (Van Praet K.M. и соавт. [44], Glauber M. и соавт. [45]) и показание к клапаносохраняющей операции на аортальном клапане (Lamelas J. и соавт. [37]). Тем не менее, эти противопоказания относительны и уже потеряли свою актуальность. В 2021 году группой итальянских хирургов во главе с Enrico Ramoni было доложено на профильном конгрессе об опыте 8-ми случаев реимплантации корня аорты (процедуры David) из правосторонней мини-торакотомии [46]. Интраоперационная и ранняя летальность отсутствовали. Средняя продолжительность искусственного кровообращения и время ишемии миокарда были соответственно $146 \pm 55,9$ и $129,5 \pm 51,9$ минут; среднее время вентиляции составило $5,4 \pm 21$ часов; продолжительность пребывания в реанимации – $2,1 \pm 1,2$ дней. Пациенты в среднем выписывались на 8-й день после операции с полным отсутствием аортальной регургитации или недостаточностью первой степени.

Оптимизация процесса

Работа на аортальном клапане и корне аорты через минимально инвазивные доступы имеет высокий уровень технической сложности и низкую визуализацию, а также сопряжена с длительным временем искусственного кровообращения и окклюзии аорты [47-49]. Кардиохирургами был предложен ряд способов оптимизации процесса [39, 50-52].

Для оптимальной визуализации и удобства работы на аортальном клапане рекомендуется использовать швы-держалки на каждую комис-

суру клапана и дистальную часть аорты, таким образом максимально вытягивая клапан в сторону хирурга [50, 51] (рис. 7).

Улучшить визуализацию и максимально уменьшить хирургический доступ возможно используя видеоторакоскопическую поддержку [51, 52].

Современные технологические возможности позволяют ускорить и уменьшить сложность процесса при помощи различных девайсов: автоматические сшивающие устройства для проведения швов через фиброзное кольцо аортального клапана [39]; устройства для быстрой и простой фиксации шовных нитей на аортальном протезе [51]. Кроме того, для замещения аортального клапана через мини-торакотомный доступ можно использовать бесшовные клапанные протезы [53]. Такой способ может упразднить необходимость отбора пациентов по анатомическим критериям.

Проблема выбора доступа

Литературные данные, доступные в настоящее время, не позволяют однозначно оценить приоритетность минимально инвазивных доступов [54]. Стоит учитывать, что мини-торакотомия подходит для меньшего числа пациентов, учитывая их анатомические особенности, и для меньшего числа хирургов, учитывая техническую сложность и длинную кривую обучения. Однако оба метода находят свое место в клинической практике. В настоящее время результаты исследований, сравнивающих мини-стернотомию и мини-торакотомию при выполнении изолированного протезирования аортального клапана, являются весьма противоречивыми [55]. Balmforth и соавт. проанализировали всю имеющуюся литературу по данной теме и отобрали 6 статей с наибольшим уровнем доказательной базы [56]. Включенные исследования имели разный дизайн (мета-анализы, нерандо-

мизированные наблюдательные исследования), разные конечные точки (ранняя летальность, периоперационные осложнения, финансовые затраты), и приоритет авторы отдавали разным доступам (мини-стернотомии или мини-торакотомии). В одном из исследований [57] было обнаружено, что мини-торакотомия связана с сокращением продолжительности пребывания в стационаре, несмотря на более длительное время искусственного кровообращения и время пережатия аорты; в следующем исследовании не было найдено статистически значимой разницы в частоте периоперационных осложнений и ранней летальности [58]. Другая команда авторов [59] - сообщила о лимфореа паховой области (10,8%) в группе мини-торакотомии, где всегда использовалась периферическая канюляция, в то время как в других 5 исследованиях осложнения периферического доступа не комментировались. В единственном финансовом анализе по данной тематике [60] было обнаружено, что мини-торакотомия требует значительно больших затрат, чем мини-стернотомия при выполнении изолированного протезирования аортального клапана. В заключении авторы отметили, что на сегодняшний день по выбранной тематике не существует исследований, обладающих достаточным уровнем доказательности – рандомизированных клинических исследований и мета-анализов, систематизирующих их.

Исследований напрямую сравнивающих мини-стернотомию и мини-торакотомию в хирургии корня аорты в настоящее время нет.

Основываясь на данных исследований минимально инвазивного протезирования аортального клапана, мы сгруппировали информацию о различиях, преимуществах и недостатках доступов и адаптировали её для вмешательств на корне аорты (табл. 5).

Таблица 4. Критерии отбора и противопоказания для правосторонней передне-боковой мини-торакотомии
Table 4. Selection criteria and contraindications for right-sided anterolateral mini-thoracotomy

Критерии отбора / Selection criteria	Противопоказания / Contraindications
Восходящая аорта на уровне ствола легочной артерии расположена справа от грудины более чем на 50% / Ascending aorta at the level of the pulmonary artery trunk, located to the right of the sternum by more than 50%	Кардиохирургические операции в анамнезе / A positive history of cardiac surgery
Расстояние между плоскостью кольца и кожным доступом менее 16 см / The distance between the aortic annulus and the skin lesion is less than 16 cm	Плевриты в анамнезе / A positive history of pleurisy
Расстояние между восходящей аортой и грудиной менее 10 см / Distance between ascending aorta and sternum less than 10 cm	Кальциноз восходящей аорты/ Ascending aortic calcification
Угол между срединной линией и осью аорты более 45°/ The angle between the median line and the axis of the aorta is more than 45°	Стенозирующая патология бедренных артерий / Stenosis of the femoral arteries

Миниинвазивные доступы в хирургии корня аорты

Таблица 5. Сравнительная характеристика мини-стернотомного и мини-торакаотомного доступа в хирургии корня аорты. ИК – искусственное кровообращение

Table 5. Comparative characteristics of mini-sternotomy and mini-thoracotomy approaches to aortic root surgery

Критерии / Criteria	Мини-стернотомия / Mini-sternotomy	Мини-торакаотомия / Mini-thoracotomy
Селекция пациентов / Selection of the patients	Минимальная / Minimal	Тщательная / Careful
Методы предоперационной визуализации / Preoperative Imaging	Достаточно данных рентгенографии грудной клетки / Chest X-Ray	Обязательное выполнение компьютерной томографии / Computed Tomography is mandatory
Опыт хирурга / Surgeon's experience	Требуется опыт вмешательств на корне аорты стандартным срединным доступом / Experience in aortic root surgery with standard median approaches is required	Требуется значительный опыт вмешательств на корне аорты другими доступами (срединная и мини-стернотомия); опыт протезирования аортального клапана из мини-торакаотомного доступа / Significant experience in aortic root surgery with other approaches (median and mini-sternotomy) is required
Визуализация / Visualization	Достаточна / Sufficient	Затруднена / Difficult
Техническая сложность / Technical complexity	Выше средней / Above average	Высокая / High
Специальный инструментарий / Special tools	Необязательно / Optional	Требуется / Required
Использования вспомогательных устройств / Use of assistive devices	Не требуется / Not required	Оптимально / Optimal
Канюляция / Cannulation	Полная центральная/ артериальная центральная, бедренная периферическая / Full central/arterial central, femoral peripheral	Полная периферическая / Peripheral only
Лимфорея / Lymphorrhea	Риск исключен / No risk	Средний риск / Moderate risk
Этап гемостаза / Hemostasis	Устранить серьезное хирургическое кровотечение сложно, но практически всегда выполнимо на параллельном ИК / Elimination of severe surgical bleeding is difficult, but almost always feasible on parallel bypass	Наличие хирургического кровотечения в недоступных зонах практически невозможно устранить, требует повторного пережатия аорты или конверсии доступа / The presence of surgical bleeding in inaccessible areas is almost impossible to solve, requires re-clamping of the aorta or access conversion
Конверсия / Conversion	Легко выполнима продолжением доступа / Easily done by continued approach	Требуется выполнения дополнительного доступа / Requires additional approach
Инфекционные осложнения / Infectious complications	Редко / Rare	Риск практически исключен / Risk almost excluded
Стабильность грудины / Sternum stability	Редко возможна нестабильность, требующая реостеосинтеза / Rarely possible instability requiring reosteosynthesis	Риск исключен / No risk

Заключение

Минимально инвазивные подходы в хирургии корня аорты, как одного из самых непростых направлений современной кардиохирургии, только начинают активно внедряться в рутинную практику специализированных центров. На сегодняшний день решение о проведении малоинвазивной операции на корне аорты должно быть индивидуальным для каждого пациента и основываться на опыте команды.

Существующие на сегодняшний день иссле-

дования показывают многообещающие клинические результаты применения мини-инвазивных доступов в хирургии корня аорты: сопоставимую со срединной стернотомией безопасность и эффективность процедуры, а также ряд преимуществ в виде низкой кровопотери, быстрого восстановительного периода, сниженного риска инфекционных осложнений, прекрасного косметического результата. Однако все вышеописанные исследования имеют низкий уровень доказательной базы. Подтверждение

полученных результатов рандомизированными клиническими исследованиями с длительным периодом наблюдения позволит сделать мини-инвазивный подход доступным выбором для большинства пациентов, требующих вмешательства на корне аорты.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № 075-15-2022-823.

Информация об авторах

Караджа Анастасия Вадимовна, младший научный сотрудник отдела новых хирургических технологий ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-0958-7835>

Шарифулин Равиль Махарамович, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург отделения приобретенных пороков сердца ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8832-2447>

Богачев-Прокофьев Александр Владимирович, д.м.н., директор института патологии кровообращения ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-4625-4631>

Чернявский Александр Михайлович, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ им. акад. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Новосибирск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

Вклад авторов в статью

Концепция исследования: KAV, ШРМ, БПАВ, ЧАМ; Интерпретация данных: KAV, ШРМ, БПАВ, ЧАМ; написание статьи: KAV, ШРМ, БПАВ, ЧАМ; утверждение окончательной версии для публикации: KAV, ШРМ, БПАВ, ЧАМ; полная ответственность за содержание: KAV, ШРМ, БПАВ, ЧАМ.

Конфликт интересов

А.В. Караджа заявляет об отсутствии конфликта интересов. Р.М. Шарифулин заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.В. Богачев-Прокофьев является членом редакционной коллегии журнала «Минимально инвазивная сердечно-сосудистая хирургия». А.М. Чернявский является членом редакционной коллегии журнала «Минимально инвазивная сердечно-сосудистая хирургия».

Author Information Form

Karadzha Anastasia V., M.D., research assistant, at the Department of Novel Surgical Technologies, E. Meshalkin National Medical Research Centre, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-0958-7835>

Sharifulin Ravil M., M.D., Ph.D., cardiovascular surgeon at the Department of Acquired Heart Diseases, E. Meshalkin National Medical Research Centre, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8832-2447>

Bogachev-Prokofiev Alexander V., M.D., Ph.D., Director of the Institute of Circulatory Pathology, E. Meshalkin National Medical Research Centre, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-4625-4631>

Chernyavsky Alexander M., M.D., Ph.D., Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director General of E. Meshalkin National Medical Research Centre, Novosibirsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

Author Contribution Form

Contribution to the concept: KAV, ShRM, BPAV, ChAM; data interpretation: KAV, ShRM, BPAV, ChAM; manuscript writing: KAV, ShRM, BPAV, ChAM; approval of the final version: KAV, ShRM, BPAV, ChAM; fully responsible for the content: KAV, ShRM, BPAV, ChAM.

Список литературы / References

1. Shehada SE, Elhmidi Y, Mourad F, Wendt D, El Gabry M, Benedik J, Thielmann M, Jakob H. Minimal access versus conventional aortic valve replacement: a meta-analysis of propensity-matched studies. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017 Oct 1;25(4):624-632. doi: 10.1093/icvts/ivx212. PMID: 28962507.
2. Furukawa N, Kuss O, Aboud A, Schönbrodt M, Renner A, Hakim Meibodi K, Becker T, Zittermann A, Gummert JF, Börgermann J. Ministernotomy versus conventional sternotomy for aortic valve replacement: matched propensity score analysis of 808 patients. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014 Aug;46(2):221-6; discussion 226-7. doi: 10.1093/ejcts/ezt616.
3. Ghoreishi M, Thourani VH, Badhwar V, Massad M, Svensson L, Taylor BS, Pasirja C, Gammie JS, Jacobs JP, Cox M, Grau-Sepulveda M, Brennan M, Griffith

- BP, Milliken JC, Abdelhady K, Kon Z. Less-Invasive Aortic Valve Replacement: Trends and Outcomes From The Society of Thoracic Surgeons Database. *Ann Thorac Surg.* 2021 Apr;111(4):1216-1223. doi: 10.1016/j.athoracsur.2020.06.039.
4. Rodríguez JE, López MJ, Carrascal Y, Maroto LC, Forteza A, Cortina J, Pérez de la Sota E, Ginestal F, Rufilanchas JJ. Sustitución valvular aórtica por ministernotomía [Aortic valve replacement via ministernotomy]. *Rev Esp Cardiol.* 1996 Dec;49(12):928-30. Spanish.
5. Tam RK, Garlick RB, Almeida AA. Minimally invasive redo aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997 Oct;114(4):682-3. doi: 10.1016/S0022-5223(97)70064-3.
6. Bonacchi M, Prifti E, Giunti G, Frati G, Sani G. Does ministernotomy improve postoperative outcome in aortic valve operation? A prospective randomized study. *Ann*

- Thorac Surg. 2002 Feb;73(2):460-5; discussion 465-6. doi: 10.1016/s0003-4975(01)03402-6.
7. El Gamel A. Minimal Access Aortic Root Surgery: An «Elite Sport» or Is it for Everyone? Heart Lung Circ. 2019 Dec;28(12):1767-1769. doi: 10.1016/j.hlc.2019.10.002.
8. Westaby S, Katsumata T, Arifi A. Less invasive aortic root replacement. Ann Thorac Surg. 1998 Oct;66(4):1400-1. doi: 10.1016/s0003-4975(98)00642-0.
9. Mikus E, Micari A, Calvi S, Salomone M, Panzavolta M, Paris M, Del Giglio M. Mini-Bentall: An Interesting Approach for Selected Patients. Innovations (Phila). 2017 Jan/Feb;12(1):41-45. doi: 10.1097/IMI.0000000000000337.
10. Shrestha M, Krueger H, Umminger J, Koigeldiyev N, Beckmann E, Haverich A, Martens A. Minimally invasive valve sparing aortic root replacement (David procedure) is safe. Ann Cardiothorac Surg. 2015 Mar;4(2):148-53. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2014.08.04.
11. Harky A, Al-Adhami A, Chan JSK, Wong CHM, Bashir M. Minimally Invasive Versus Conventional Aortic Root Replacement - A Systematic Review and Meta-Analysis. Heart Lung Circ. 2019 Dec;28(12):1841-1851. doi: 10.1016/j.hlc.2018.10.023.
12. Rayner TA, Harrison S, Rival P, Mahoney DE, Caputo M, Angelini GD, Savović J, Vohra HA. Minimally invasive versus conventional surgery of the ascending aorta and root: a systematic review and meta-analysis. Eur J Cardiothorac Surg. 2020 Jan 1;57(1):8-17. doi: 10.1093/ejcts/ezz177.
13. Charchyan E.R., Skvortsov A.A., Panfilov V.A., Belov Yu.V. Experience for aortic root and ascending aortic surgery via minimal access. Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery / Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya. 2017. T10. № 1. C. 42-46. (In Russ). doi: 10.17116/kardio201710142-46.
14. Charchyan ER, Breshenkov DG, Belov YV. Results of Minimally Invasive Valve-Sparing Aortic Root Valve Surgery: Propensity Score Matching Analysis. Kardiologiya. 2020 Aug 11;60(7):91-97. (In Russ). doi:10.18087/cardio.2020.7.n1098.
15. A. V. YANUSHKO, D. V. CHERNYJ, S. L. SOLOV'EV. Protezirovaniye voskhodyashchej aorty iz t-obraznoj ministernotomii. ZHurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta. 2016 № 1(53). P. 108-111 (In Russ).
16. Bockeria L.A., Skopin I.I., Narsia B. Ye., Muratov R.M., Makushin A.A., Karchava Sh. B. Prosthetic repair of the aortic valve with repair of the aortic root via miniaccess. Annals of surgery. 2005 № 3. P. 12-14 (In Russ).
17. Muratov R.M., Shamsiev G.A., Midinov A.Sh., Babenko S.I., Chekaeva T.V. J-shaped mini-sternotomy in surgical treatment of pathology of the aorta and aortic valve after cardiac surgical intervention performed earlier. Grudnaya i serdechno-sosudistaya khirurgiya 2013. № 3. C. 4-8. (In Russ).
18. G.A. Akopov, A.S. Ivanov, T.N. Govorova, D.V. Moskalev. J-shaped sternotomy in aortic valve repair and ascending aorta replacement. Short-term results. b. Vestnik transplantologii i iskusstvennyh organov. 2020. № 4. C. 75-82. (In Russ).
19. Canosa C, Mariani MA, Grandjean JG, Alessandrini F, Boonstra PW, De Filippo CM, Possati GF, Ebels T. Aortic valve replacement via ministernotomy: early results of a two-center study. Cardiologia. 1999 Oct;44(10):925-7.
20. Moreno-Cabral RJ. Mini-T sternotomy for cardiac operations. J Thorac Cardiovasc Surg 1997;113:810-1.
21. Shah VN, Kilcoyne MF, Buckley M, Sicouri S, Plestis KA. The mini-Bentall approach: Comparison with full sternotomy. JTCVS Tech. 2021 Jan 27;7:59-66. doi: 10.1016/j.xjtc.2021.01.025.
22. Staromłynski J, Kowalewski M, Sarnowski W, Smoczyński R, Witkowska A, Bartczak M, Drobiński D, Wierzbza W, Suwalski P. Midterm results of less invasive approach to ascending aorta and aortic root surgery. J Thorac Dis. 2020 Nov;12(11):6446-6457. doi: 10.21037/jtd-20-2165.
23. Shrestha M, Kaufeld T, Shrestha P, Martens A, Rustum S, Rudolph L, Krüger H, Arar M, Haverich A, Beckmann E. Valve-sparing David procedure via minimally invasive access does not compromise outcome. Front Cardiovasc Med. 2022 Oct 14;9:966126. doi: 10.3389/fcvm.2022.966126.
24. Yan TD. Mini-Bentall procedure. Ann Cardiothorac Surg. 2015 Mar;4(2):182-90. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2015.03.08.
25. Jamshid H. Karimov, Filippo Santarelli, Michele Murzi, Mattia Glauber, A technique of an upper V-type ministernotomy in the second intercostal space, Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery, Volume 9, Issue 6, December 2009, Pages 1021–1022, <https://doi.org/10.1510/icvts.2009.215699>
26. Di Eusanio M, Castrovinci S, Cefarelli M, Berretta P, Alfonsi J, Murana G, Di Bartolomeo R. Minimally invasive root surgery: a Bentall procedure through a J-ministernotomy. Ann Cardiothorac Surg. 2015 Mar;4(2):198-200. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2014.11.05.
27. Uwabe K, Masuda N. Aortic Root Replacement via Lower Hemisternotomy After an Esophageal Operation. Ann Vasc Dis. 2021 Dec 25;14(4):372-375. doi: 10.3400/avd.cr.21-00075.
28. Onorati F, D'Onofrio A, Biancari F, et al. Aortic valve replacement in redo-scenarios: a comparison between traditional aortic valve replacement (TAVR) and transapicalTAVR from two real-world multicenter registries. J Heart Valve Dis. 2015;24:669-678.
29. Santarpino G, Pfeiffer S, Concistre G, Grossmann I, Hinzmann M, Fischlein T. The Perceval S aortic valve has the potential of shortening surgical time: does it also result in improved outcome? Ann Thorac Surg. 2013;96:77-82.
30. Byrne JG, Aranki SF, Couper GS, Adams DH, Allred EN, Cohn LH. Reoperative aortic valve replacement: partial upper hemisternotomy versus conventional full sternotomy. J Thorac Cardiovasc Surg. 1999 Dec;118(6):991-7. doi: 10.1016/S0022-5223(99)70092-9.
31. Rao PN, Kumar AS. Aortic valve replacement through right thoracotomy. Tex Heart Inst J. 1993;20(4):307-8.
32. Cosgrove DM 3rd, Sabik JF. Minimally invasive approach for aortic valve operations. Ann Thorac Surg. 1996 Aug;62(2):596-7.
33. Minale C, Reifschneider HJ, Schmitz E, Uckmann FP. Early results of minimally invasive aortic valve replacement. Experience with the first 34 cases. G Ital Cardiol. 1997 May;27(5):458-61.
34. Bethencourt DM, Le J, Rodriguez G, Kalayjian RW, Thomas GS. Minimally Invasive Aortic Valve Replacement via Right Anterior Minithoracotomy and Central Aortic Cannulation: A13-Year Experience. Innovations (Phila). 2017 Mar/Apr;12(2):87-94. doi: 10.1097/IMI.0000000000000358.
35. Abud B, Saydam O, Engin AY, Karaarslan K, Kunt AG, Karacelik M. Outcomes of Aortic Valve Replacement Via Right Anterior Minithoracotomy and Central Cannulation Versus Conventional Aortic Valve Replacement in Obese Patients. Braz J Cardiovasc Surg. 2022 Dec 1;37(6):875-882. doi: 10.21470/1678-9741-2021-0098.
36. Lamelas J, Mawad M, Williams R, Weiss UK, Zhang Q, LaPietra A. Isolated and concomitant minimally invasive minithoracotomy aortic valve surgery. J Thorac Cardiovasc Surg. 2018 Mar;155(3):926-936.e2. doi:

- 10.1016/j.jtcvs.2017.09.044.
37. Lamelas J, LaPietra A. Right Minithoracotomy Approach for Replacement of the Ascending Aorta, Hemiarch, and Aortic Valve. *Innovations (Phila)*. 2016 Jul-Aug;11(4):301-4. doi: 10.1097/IMI.0000000000000292.
 38. Lamelas J, Chen PC, Loor G, LaPietra A. Successful Use of Sternal-Sparing Minimally Invasive Surgery for Proximal Ascending Aortic Pathology. *Ann Thorac Surg*. 2018 Sep;106(3):742-748. doi: 10.1016/j.athoracsur.2018.03.081.
 39. Johnson CA Jr, Siordia JA, Wood KL, Robinson DA, Knight PA. Right Mini-thoracotomy Bentall Procedure. *Innovations (Phila)*. 2018 Sep/Oct;13(5):328-331. doi: 10.1097/IMI.0000000000000555.
 40. Johnson CA Jr, Siordia JA, Robinson DA, Knight PA. Right mini-thoracotomy Bentall with traditional and automated suturing devices. *Multimed Man Cardiothorac Surg*. 2018 May 18;2018. doi: 10.1510/mmcts.2018.025.
 41. Jawarkar M, Manek P, Wadhawa V, Doshi C. Mini-Bentall Surgery: The Right Thoracotomy Approach. *J Chest Surg*. 2021 Dec 5;54(6):554-557. doi: 10.5090/jcs.21.036.
 42. Ji Q, Wang Y, Liu F, Yang Y, Li J, Sun X, Yang Z, Pan S, Lai H, Wang C. Mini-Invasive Bentall Procedure Performed via a Right Anterior Thoracotomy Approach With a Costochondral Cartilage Sparing. *Front Cardiovasc Med*. 2022 Mar 2;9:841472. doi: 10.3389/fcvm.2022.841472.
 43. Karadzha A, Bogachev-Prokophiev A, Sharifulin R, Ovcharov M, Pivkin A, Afanasyev A. The Bio-Bentall procedure with concomitant hemiarch replacement through a right anterolateral minithoracotomy. *Multimed Man Cardiothorac Surg*. 2022 Apr 5;2022. doi: 10.1510/mmcts.2022.016.
 44. Van Praet KM, van Kampen A, Kofler M, Richter G, Sündermann SH, Meyer A, Unbehaun A, Kurz S, Jacobs S, Falk V, Kempfert J. Minimally invasive surgical aortic valve replacement: The RALT approach. *J Card Surg*. 2020 Sep;35(9):2341-2346. doi: 10.1111/jocs.14756.
 45. Glauber M, Ferrarini M, Miceli A. Minimally invasive aortic valve surgery: state of the art and future directions. *Ann Cardiothorac Surg*. 2015 Jan;4(1):26-32. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2015.01.01.
 46. Enrico Ramoni, Vincenzo Smorto, Diego Magnano, Roberto Ceresa, Mauro Del Giglio. Aortic Valve Reimplantation Through Right Anterior Minithoracotomy With Totally Central Cannulation. June 2021. Conference: 2021 ISMICS RE-IMAGINED doi:10.13140/RG.2.2.23994.93124
 47. Hillebrand J, Alshakaki M, Martens S, Scherer M. Minimally invasive aortic root replacement with valved conduits through partial upper sternotomy. *Thorac Cardiovasc Surg* 2018;66:295–300.
 48. Mikus E, Micari A, Calvi S, Salomone M, Panzavolta M, Paris M, et al. Mini-Bentall: an interesting approach for selected patients. *Innov Tech- nol Tech Cardiothorac Vasc Surg* 2017;12:41–5.
 49. Levack MM, Aftab M, Roselli EE, Johnston DR, Soltesz EG, Gillinov AM, et al. Outcomes of a less-invasive approach for proximal aortic operations. *Ann Thorac Surg* 2017;103:533–40.
 50. Kim E, Kim JB. Suspending Commissural Sutures for Aortic Valve Exposure in Minithoracotomy Aortic Valve Replacement. *J Chest Surg*. 2021 Dec 5;54(6):551-553. doi: 10.5090/jcs.21.014.
 51. Bouchot O, Petrosyan A, Morgant MC, Malapert G. Technical points for aortic valve replacement through right anterior minithoracotomy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2018 May 1;53(suppl_2):ii24-ii26. doi: 10.1093/ejcts/ezy105.
 52. Bakhtiary F, El-Sayed Ahmad A, Amer M, Salamate S, Sirat S, Borger MA. Video-Assisted Minimally Invasive Aortic Valve Replacement Through Right Anterior Minithoracotomy for All Comers With Aortic Valve Disease. *Innovations (Phila)*. 2021 Mar-Apr;16(2):169-174. doi: 10.1177/1556984520977212.
 53. Solinas M, Bianchi G, Chiaramonti F, Margaryan R, Kallushi E, Gasbarri T, Santarelli F, Murzi M, Farneti P, Leone A, Simeoni S, Varone E, Marchi F, Glauber M, Concistrè G. Right anterior mini-thoracotomy and sutureless valves: the perfect marriage. *Ann Cardiothorac Surg*. 2020 Jul;9(4):305-313. doi: 10.21037/acs-2019-surd-172.
 54. Kirmani BH, Jones SG, Malaisrie SC, Chung DA, Williams RJ. Limited versus full sternotomy for aortic valve replacement. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017 Apr 10;4(4):CD011793. doi: 10.1002/14651858.CD011793.pub2.
 55. Fattouch K, Moscarelli M, Del Giglio M, Albertini A, Comoglio C, Coppola R et al. Non-sutureless minimally invasive aortic valve replacement: mini-sternotomy versus mini-thoracotomy: a series of 1130 patients. *Interact CardioVasc Thorac Surg* 2016;23:253–8.
 56. Balmforth D, Harky A, Lall K, Uppal R. Is ministernotomy superior to right anterior minithoracotomy in minimally invasive aortic valve replacement? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017 Nov 1;25(5):818-821. doi: 10.1093/icvts/ivx241.
 57. Shen JQ, Wei L, Xia LM, Lai H, Sun YX, Sun XN et al. [Comparison of anterolateral minithoracotomy versus partial upper hemisternotomy in aortic valve replacement]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2016;54:601–4.
 58. Miceli A, Murzi M, Gilmanov D, Fuga R, Ferrarini M, Solinas M et al. Minimally invasive aortic valve replacement using right minithoracotomy is associated with better outcomes than ministernotomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014;148:133–7.
 59. Semsroth S, Matteucci-Gothe R, Heinz A, Dal Capello T, Kilo J, Muller L et al. Comparison of anterolateral minithoracotomy versus partial upper hemisternotomy in aortic valve replacement. *Ann Thorac Surg* 2015;100:868–73.
 60. Hassan M, Miao Y, Maraey A, Lincoln J, Brown S, Windsor J et al. Minimally invasive aortic valve replacement: cost-benefit analysis of ministernotomy versus minithoracotomy approach. *J Heart Valve Dis* 2015;24:531–9.

Для цитирования: Караджа А.В., Шарифулин Р.М., Богачев-Прокофьев А. В., Чернявский А.М. Минимально инвазивный подход в хирургии корня аорты: особенности становления, современные реалии и будущие перспективы. Минимально инвазивная сердечно-сосудистая хирургия. 2022;1(1):63-77.

To cite: Karadzha A.V., Sharifulin R.M., Bogachev-Prokofiev A.V., Chernyavsky A.M. Minimally Invasive Approach to Aortic Root Surgery: History, State-Of-The-Art and Future Perspectives. *Minimally Invasive Cardiovascular Surgery*. 2022;1(1):63-77.