

Влияет ли анатомия аортального клапана на отдаленные результаты реимплантации корня аорты: ретроспективное исследование с псевдорандомизацией

Для корреспонденции:

Александр Валерьевич Кокорин,
kokorin.19@mail.ru

Поступила в редакцию 2 октября 2024 г. Исправлена 4 ноября 2024 г. Принята к печати 8 ноября 2024 г.

Цитировать: Кокорин А.В., Аминов В.В., Лукин О.П., Богачев-Прокофьев А.В. Влияет ли анатомия аортального клапана на отдаленные результаты реимплантации корня аорты: ретроспективное исследование с псевдорандомизацией. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2024;28(4):33-45. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2024-4-33-45>

Финансирование

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 23-15-00434.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

А.В. Кокорин, <https://orcid.org/0000-0002-1618-0400>

В.В. Аминов, <https://orcid.org/0000-0001-8631-8092>

О.П. Лукин, <https://orcid.org/0000-0003-3162-1523>

А.В. Богачев-Прокофьев, <https://orcid.org/0000-0003-4625-4631>

© Кокорин А.В.,
Аминов В.В., Лукин О.П.,
Богачев-Прокофьев А.В., 2024



А.В. Кокорин¹, В.В. Аминов¹, О.П. Лукин¹,
А.В. Богачев-Прокофьев²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Челябинск), Челябинск, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. В отличие от общепризнанных результатов методики реимплантации корня аорты у пациентов с трехстворчатым аортальным клапаном, данные об эффективности клапаносохраняющих процедур при двустворчатом аортальном клапане ограничены.

Цель. Провести ретроспективное сравнение отдаленных результатов реимплантации корня аорты при двустворчатом и трехстворчатом аортальном клапане.

Методы. В ретроспективное исследование включили 224 пациента (средний возраст $48,43 \pm 13,70$ года, мужчин 81,2 %), которым с января 2013 г. по январь 2023 г. выполнили клапаносохраняющую операцию — реимплантацию корня аорты. В зависимости от анатомического варианта аортального клапана выборку разделили на две группы: пациенты с двустворчатым клапаном ($n = 76$; 33,9 %) и лица с трехстворчатым клапаном ($n = 148$; 66,1 %). Для устранения систематических различий сравниваемых групп использовали метод псевдорандомизации 1:1 (англ. propensity score matching, PSM). В результате сопоставления по 12 признакам сформировали 33 пары пациентов. После PSM-анализа значимых различий между группами не было.

Результаты. В отдаленном периоде был обследован 221 (98,2 %) пациент. Средний срок наблюдения для всей выборки составил $53,17 \pm 26,34$ мес. После PSM-анализа между группами не было значимых различий по количеству обследованных: по 33 человека (100 %) в каждой группе. Средний срок наблюдения — $55,24 \pm 22,66$ мес. В обеих группах достигнута выживаемость в отдаленном периоде наблюдения 100 %. До сопоставления свобода от аортальной недостаточности \geq II степени в группе трехстворчатого аортального клапана на сроке 5 и 10 лет составила 90,2 и 88,2 % соответственно, в группе двустворчатого — 89,6 и 89,6 % соответственно ($p = 0,786$). После PSM-анализа свобода от аортальной недостаточности \geq II степени в группе трехстворчатого клапана на сроке 5 и 8 лет была 84,2 и 84,2 % соответственно, в группе двустворчатого — 85,1 и 85,1 % соответственно ($p = 1,000$). До сопоставления свобода от реоперации на сроке 5 и 10 лет у пациентов с трехстворчатым аортальным клапаном составила 99,3 %, с двустворчатым — 98,6 % ($p = 1,000$). После PSM-анализа тот же показатель на сроке 5 и 8 лет — 100 и 96,7 % в группах трехстворчатого и двустворчатого клапана соответственно ($p = 1,000$).

Заключение. Реимплантация позволяет эффективно выполнить реконструкцию корня аорты независимо от анатомического варианта аортального клапана, обеспечивая высокую выживаемость с низким риском повторной операции.

Ключевые слова: двустворчатый аортальный клапан; клапаносохраняющая операция; операция David; реимплантация аортального клапана; трехстворчатый аортальный клапан

Does aortic valve anatomy affect the long-term outcomes of aortic root reimplantation? A retrospective study with propensity score matching

Corresponding author: Alexander V. Kokorin, kokorin.19@mail.ru

Received 2 October 2024.
Revised 4 November 2024.
Accepted 8 November 2024.

How to cite: Kokorin A.V., Aminov V.V., Lukin O.P., Bogachev-Prokofiev A.V. Does aortic valve anatomy affect the long-term outcomes of aortic root reimplantation? A retrospective study with propensity score matching. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2024;28(4):33-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2024-4-33-45>

Funding

The research was carried out within the framework of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-15-00434.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

ORCID

A.V. Kokorin, <https://orcid.org/0000-0002-1618-0400>

V.V. Aminov, <https://orcid.org/0000-0001-8631-8092>

O.P. Lukin, <https://orcid.org/0000-0003-3162-1523>

A.V. Bogachev-Prokofiev, <https://orcid.org/0000-0003-4625-4631>

© 2024 Kokorin et al.



Alexander V. Kokorin¹, Vladislav V. Aminov¹, Oleg P. Lukin¹, Alexander V. Bogachev-Prokofiev²

¹ Federal Centre of Cardiovascular Surgery, Ministry of Health of Russian Federation, Chelyabinsk, Russian Federation

² Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Introduction: The results of aortic root reimplantation techniques in patients with tricuspid aortic valve (TAV) are generally recognized. However, data on the results of valve-preserving operations in patients with bicuspid aortic valve (BAV) remain limited.

Objective: In this retrospective study we compare the long-term results of reimplantation technique, depending on the type of aortic valve (AV): BAV versus TAV.

Methods: The retrospective study included 224 patients (average age 48.43 ± 13.70 years, 81.2% men) who underwent valve-preserving operations by reimplantation of the aortic root from January 2013 to January 2023. Depending on the anatomical variant of the AV, the entire sample was divided into two groups: 76 patients with BAV (33.9%) and 148 patients with TAV (66.1%). To eliminate the systematic differences between the compared groups, the propensity score matching (PSM) analysis was used in order to compare groups by 12 criteria. As a result, 33 pairs of patients were formed. After the PSM analysis, there were no significant differences between the groups.

Results: In total, 221 (98.2%) patients were examined in the long-term period. The average follow-up period for the entire sample was 53.17 ± 26.34 months. After the PSM analysis, there were no significant differences between the groups in the number of patients examined, namely 33 individuals (100%) in each group. The average follow-up period was 55.24 ± 22.66 months. At long-term follow-up, 100% survival was recorded in both groups. Prior to the PSM analysis, the freedom from aortic insufficiency (AI) grade \geq II in the patients with TAV was 90.2% and 88.2% at 5 and 10 year follow-up periods, and in patients with BAV this indicator was 89.6% and 89.6% ($p = 0.786$), respectively. After the PSM analysis, the freedom from AI grade \geq II in the patients with TAV was 84.2% and 84.2% at 5 and 8 year follow-up periods, and in the group with BAV it was 85.1% and 85.1% ($p = 1.000$), respectively. Prior to the PSM analysis, freedom from aortic valve reoperation at 5 and 10 year follow-up periods in the patients with TAV was 99.3%, and in the patients with BAV it was 98.6% ($p = 1.000$). After the PSM analysis, this indicator at 5 and 8 year follow-up periods in the patients with TAV and with BAV was 100% and 96.7%, respectively ($p = 1.000$).

Conclusion: The reimplantation technique enables to effectively reconstruct the aortic root regardless of the anatomical variant of the AV, providing excellent survival with a low risk of reoperation.

Keywords: Aortic Valve; Aortic Valve Insufficiency; Bicuspid Aortic Valve Disease; Follow-Up Studies; Propensity Score; Reimplantation; Retrospective Studies

Введение

Протезирование аортального клапана (АоК) и восходящего отдела аорты клапаносодержащим кондуитом — «золотой стандарт» хирургического лечения пациентов с аневризмой корня аорты. Однако применение механических протезов требует постоянного приема антикоагулянтов, что сопряжено с риском геморрагических и тромбоземблических осложнений [1]. С другой стороны, использование биологических протезов не рекомендуется у молодых пациентов из-за быстрой структурной дегенерации клапана, что, в свою очередь, ведет к высокому риску повторной операции [2]. В 1992 г. T.E. David представил метод реимплантации нативного АоК в синтетический сосудистый протез как способ лечения больных с аневризматически расширенным корнем аорты и неповрежденными створками АоК [3]. Именно сохранение нативного клапана позволяет пациентам отказаться от приема антикоагулянтов и обеспечивает гемодинамику, сопоставимую с физиологичной, что в совокупности приводит к отличным отдаленным результатам [4]. Сегодня эта методика является общепринятой. Однако, несмотря на положительные отдаленные результаты реимплантации у пациентов с трехстворчатым АоК [5–7], данные о результатах клапаносохраняющих процедур у лиц с двустворчатым клапаном ограничены [8–10].

Цель — сравнить отдаленные результаты реимплантации в зависимости от типа АоК: двустворчатый против трехстворчатого.

Методы

Дизайн исследования

Ретроспективному анализу подвергли результаты хирургического лечения пациентов с патологией корня аорты, которым с января 2013 г. по январь 2023 г. в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Челябинск) и ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России выполнили клапаносохраняющую операцию — реимплантацию корня аорты.

Критерии включения: реимплантация корня аорты при коррекции недостаточности у пациентов с двустворчатым и трехстворчатым АоК; возраст больного более 18 лет. Критерии исключения: невозможность выполнить реимплантацию корня аорты; отказ пациента от участия в исследовании.

В зависимости от анатомического варианта АоК общую выборку разделили на две группы: пациенты с двустворчатым и трехстворчатым клапаном.

Анатомические особенности аортальных клапанов

Согласно классификации Н.-Н. Sievers [11], двустворчатый АоК подразделяется на три типа. Для типа 0 характерны две симметричные створки с межкомиссуральным углом 180° (латеро-латеральный и передне-задний фенотипы); для типа I — одна ложная комиссура (R/L-, R/N-, L/N-сращение); для типа II — две ложные комиссуры (одностворчатый клапан). В данном исследовании в группе пациентов с двустворчатым АоК тип I двустворчатого клапана определили у 71 (93,4 %) человека, тип 0 — у 5 (6,6 %) больных. Как в группе с двустворчатым (n = 57; 75 %), так и в группе с трехстворчатым АоК (n = 120; 81,1 %) преобладала аортальная недостаточность (АоН) не менее II степени (p = 0,514).

Особенности хирургической техники

Операции проводили в условиях стандартизированной многокомпонентной анестезии через срединную стернотомию либо через J-образную мини-стернотомию с подключением аппарата искусственного кровообращения по схеме «аорта – полые вены» или «аорта – правое предсердие». Дренирование левых отделов сердца осуществляли через правую верхнюю легочную вену. После начала искусственного кровообращения и достижения умеренной гипотермии (32 °C) выполняли окклюзию аорты, поперечную аортотомию на 1 см выше синотубулярного соединения, после чего проводили селективную антеградную кардиоплегию в устья коронарных артерий.

Прецизионно проводили ревизию корня аорты и АоК, уделяя особое внимание ориентации комиссур, состоянию створок АоК на наличие кальциноза, фиброза, перфораций. Эффективную высоту коаптации створок АоК оценивали при помощи калипера Schäfers. Линейкой измеряли геометрическую высоту створок. Приемлемым считали, если геометрическая высота составляла не менее 17 мм у пациентов с трехстворчатым АоК, при двустворчатом АоК высота створки без рудиментарной комиссуры должна была быть не менее 20 мм. Если рудиментарная комиссура ограничивала движение передней створки, выполняли ее частичное иссечение, «шейвинг», только после этого проводили оценку клапана. Диаметр фиброзного кольца АоК определяли при помощи измерителей Hegar. При двустворчатом варианте в зависимости от количества рудиментарных комиссур и углов между ними тип клапана соотносили с классификацией Н.-Н. Sievers [11]. После принятия решения о реимплантации выкраивали устья

коронарных артерий на «площадках». Выполняли мобилизацию корня аорты до уровня аорто-желудочкового соединения, уделяя особое внимание правому синусу Вальсальвы, так как именно в этой области миокард правого желудочка далеко заходит на стенку коронарного синуса. Только после этого иссекали ткань синусов Вальсальвы, оставляя бортик стенки аорты размером около 5 мм. Диаметр выбранного сосудистого протеза соответствовал высоте комиссурального стержня между некоронарной и левой коронарной створками [12]. Как правило, диаметр протеза составлял от 28 до 32 мм.

На следующем этапе накладывали от 9 до 12 субаннулярных П-образных швов изнутри наружу плетеной нитью 2/0 на тефлоновых прокладках, располагая их ниже уровня прикрепления створок АоК. Особое внимание уделяли наложению швов в области перимембранозной перегородки. При трехстворчатом варианте АоК швы располагали по контуру прикрепления створки. При двустворчатом клапане в случае L/R-сращения один шов накладывали снаружи без использования тефлоновой прокладки, при R/N-сращении накладывали два наружных шва, уменьшая риск атриовентрикулярной блокады в послеоперационном периоде. Путем прошивания стенки сосудистого протеза и завязывания ранее наложенных швов производили фиксацию протеза к субаннулярной области корня аорты. При этом постоянно контролировали диаметр формируемого фиброзного кольца, чтобы избежать эффекта кисетного шва.

Следующим этапом фиксировали комиссуральные стержни к стенке сосудистого протеза при помощи мононити 4/0 на тефлоновых прокладках. При трехстворчатом АоК межкомиссуральные углы определяли согласно анатомии нативного клапана, а в случае двустворчатого комиссуры реимплантировали под углом $180^\circ - 180^\circ$. Фиксировали оставшуюся часть стенки аорты к сосудистому протезу непрерывным вертикальным матрасным швом. С целью дополнительного гемостаза проксимальной линии фиксации сосудистого протеза мононитью 4/0 накладывали обвивной непрерывный шов, который дополнительно фиксировал окружающие ткани в зоне мобилизации корня аорты к стенке сосудистого протеза.

При помощи калипера Schäfers повторно оценивали эффективную высоту коаптации створок, которая должна была составлять не менее 8 мм. При пролапсе проводили дополнительную пластику створок реимплантированного АоК. Так, при трехстворчатом варианте выполняли центральную пли-

кацию мононитью 5/0–6/0. При двустворчатом АоК также путем пликации эффективную высоту коаптации задней створки доводили до целевых 8 мм. При этом не стремились получить большее значение, так как избыточная коррекция задней створки приводит к уменьшению ее подвижности и, следовательно, уменьшению площади открытия клапана в послеоперационном периоде. Длину свободного края передней створки доводили путем наложения отдельных швов до длины свободного края задней створки.

После оценки состоятельности реимплантированного АоК и коррекции дефектов коаптации выполняли реимплантацию устьев коронарных артерий на ранее сформированных «площадках» при помощи мононити 5/0. На заключительном этапе накладывали дистальный анастомоз между сосудистым протезом и аортой.

Чреспищеводная эхокардиография

Интраоперационную чреспищеводную эхокардиографию выполняли всем пациентам до и после вмешательства. Во всех случаях оценивали диаметр корня аорты на всех уровнях (кольцо АоК, синусы Вальсальвы, синотубулярное соединение), диаметр восходящего отдела аорты, анатомию АоК (двустворчатый или трехстворчатый), наличие пролапса створок, длину коаптации, эффективную высоту коаптации, степень недостаточности и направления струи регургитации на аортальном и митральном клапанах.

Статистический анализ

Статистической обработке подвергли данные предоперационного обследования пациентов, результаты ближайшего и отдаленного послеоперационных периодов.

Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD). Категориальные данные характеризовали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий выполняли с помощью t-критерия Стьюдента, при неравных дисперсиях — с помощью t-критерия Уэлча. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности проводили с использованием критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10).



Рис. 1. Отбор пациентов

Примечание. Propensity score matching — псевдорандомизация.

Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполняли с помощью критерия хи-квадрат Пирсона.

Анализ выживаемости и свободы от возврата АоН \geq II ст. в отдаленном периоде проводили методом Каплана – Мейера. Для сравнения групп по этим показателям, в зависимости от величины выборки и наличия цензурированных величин, применяли либо критерий Вилкоксона – Гехана, либо F-критерий Кокса.

Величину уровня значимости принимали равной 0,05, что соответствует критериям, принятым в медико-биологических исследованиях. Всю обработку данных проводили с помощью программ Statistica версии 8.0 (StatSoft, Inc., Талса, США) и StatTech версии 4.1.5 (ООО «Статтех», Россия).

Псевдорандомизация

Для устранения систематических различий сравниваемых групп использовали метод псевдорандомизации (англ. propensity score matching, PSM), с помощью которого сформировали 33 пары. Проводили анализ по 12 признакам: возрасту, полу, индексу массы тела, артериальной гипертензии, функциональному классу хронической сердечной недостаточности по классификации Нью-Йоркской ассоциации кардиологов (ФК NYHA), пиковому систолическому градиенту на АоК, среднему систоли-

ческому градиенту на АоК, а также размерам максимального расширения аорты, фиброзного кольца АоК, синусов Вальсальвы, синотубулярного соединения, восходящего отдела аорты. Первичными точками клинической эффективности были выживаемость через 12 мес., свобода от возврата АоН \geq II ст. через 12 мес., свобода от реопераций на корне аорты через 12 мес., вторичными — резидуальная недостаточность на АоК, время окклюзии аорты и время искусственного кровообращения.

Результаты

Согласно критериям включения и исключения для исследования отобрали 224 пациента (рис. 1). Средний возраст $48,43 \pm 13,70$ (от 18 до 76) года, большинство больных — мужчины ($n = 182$; 81,2 %). В зависимости от анатомического варианта АоК выборку разделили на две группы: пациенты с двустворчатым ($n = 76$; 33,9 %) и трехстворчатым клапаном ($n = 148$; 66,1 %). Данные больных и послеоперационные результаты записывали проспективно в компьютерных базах клиник.

Дооперационные характеристики пациентов

Клиническая характеристика больных приведена в табл. 1. До сопоставления группы значительно различались по полу и возрасту. Так, в группе трехстворчатого АоК женщины составляли 23,0 %, мужчины — 77,0 %.

Табл. 1. Клиническая характеристика пациентов

Показатель	До сопоставления			После сопоставления			
	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	
Количество пациентов	76	148		33	33		
Возраст, лет	40,8 ± 11,5	52,2 ± 13,3	< 0,01	46,42 ± 11,20	47,88 ± 13,80	0,687	
Мужчины, n (%)	68 (89,5)	114 (77,0)	0,024	27 (81,8)	26 (78,8)	1,000	
Женщины, n (%)	8 (10,5)	34 (23,0)		6 (18,2)	7 (21,2)		
Индекс массы тела	26,67 ± 6,20	28,99 ± 6,10	< 0,01	27,54 ± 4,10	26,19 ± 5,02	0,239	
Предшествующие операции на сердце, n (%)	2 (2,6)	2 (1,4)	0,606	2 (6,1)	1 (3,0)	1,000	
Хроническое расслоение аорты, n (%)	1 (1,3)	18 (12,2)	< 0,01	1 (3,0)	3 (9,1)	1,000	
Хроническая сердечная недостаточность, стадия, n (%)	I	50 (65,8)	0,081	20 (60,6)	17 (54,8)	0,554	
	IIA	25 (32,9)		68 (46,3)	13 (39,4)		13 (41,9)
	IIБ	–		3 (2,0)	–		–
	III	–		–	–		–
ФК NYHA, n (%)	I	29 (38,2)	< 0,01	11 (33,3)	10 (30,3)	0,788	
	II	40 (52,6)		87 (58,8)	18 (54,5)		17 (51,5)
	III	7 (9,2)		34 (23,0)	4 (12,1)		6 (18,2)
	IV	–		–	–		–
Сахарный диабет, n (%)	2 (2,6)	7 (4,7)	0,721	1 (3,0)	3 (9,4)	0,355	
Артериальная гипертензия, n (%)	50 (65,8)	131 (88,5)	< 0,01	24 (72,7)	25 (78,1)	0,775	
ОНМК, n (%)	1 (1,3)	5 (3,4)	0,666	–	–	–	
ХПН, n (%)	2 (2,6)	7 (4,7)	0,721	–	–	–	
Постинфарктный кардиосклероз, n (%)	2 (2,6)	11 (7,4)	0,227	1 (3,0)	–	1,000	
Другие сосудистые заболевания, n (%)	0 (0,0)	6 (4,1)	0,098	0 (0,0)	1 (3,0)	1,000	

Примечание. АоК — аортальный клапан; ФК NYHA — функциональный класс хронической сердечной недостаточности по классификации Нью-Йоркской ассоциации кардиологов (англ. New York Heart Association); ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; ХПН — хроническая почечная недостаточность. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

мужчины — 77,0%, в группе двустворчатого клапана — 10,5 и 89,5% соответственно (p = 0,024). Средний возраст на момент оперативного вмешательства в группе трехстворчатого АоК — 52,2 ± 13,3 (20–76) года, двустворчатого — 40,8 ± 11,5 (18–69) года (p < 0,01). Группа трехстворчатого АоК имела больший индекс массы тела (p < 0,01), а также значительно отличалась по числу больных артериальной гипертензией (p < 0,01). Также в вышеуказанной группе было значительно больше пациентов с хроническим расслоением аорты (p < 0,01). Кроме того, между группами существовали значимые различия по исходному ФК NYHA с преобладанием II и III функциональных классов в группе пациентов с трехстворчатым клапаном (p < 0,01).

Перед операцией всем пациентам выполняли стандартное общеклиническое обследование с обязательной эхокардиографией (табл. 2). При этом у больных группы двустворчатого АоК пиковый

и средний систолические градиенты на АоК были значительно больше, чем у лиц из группы трехстворчатого (p < 0,01). Также наблюдались значимые различия в исходном размере корня аорты. Пациенты с трехстворчатым АоК имели значительно большие размеры на всех его уровнях: фиброзного кольца АоК (p < 0,01), синусов Вальсальвы (p < 0,01), синотубулярного соединения (p < 0,01) и восходящего отдела аорты (p < 0,01).

После PSM-анализа не было значимых различий между группами ни по клиническим характеристикам (табл. 1), ни по эхокардиографическим показателям (табл. 2).

Интраоперационные данные

До PSM-анализа в группе пациентов с трехстворчатым АоК была выше частота таких операций, как аортокоронарное шунтирование, пластика митрального клапана, протезирование дуги аорты,

Табл. 2. Эхокардиографические показатели

Показатель	До сопоставления			После сопоставления			
	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	
КДР ЛЖ, см	5,84 ± 0,98	5,94 ± 0,94	0,469	5,80 ± 0,90	5,76 ± 1,12	0,876	
КСР ЛЖ, см	4,18 ± 0,66	4,36 ± 0,83	0,115	4,08 ± 0,61	4,38 ± 0,83	0,110	
КДО ЛЖ, мл	182,12 ± 63,33	192,35 ± 73,18	0,301	178,06 ± 58,61	191,06 ± 101,32	0,526	
ФВ ЛЖ, %	61,21 ± 6,01	59,08 ± 8,27	0,051	61,79 ± 5,91	60,47 ± 9,17	0,491	
Пиковый систолический градиент на АоК, мм рт. ст.	12,96 ± 5,53	9,74 ± 5,05	< 0,01	11,94 ± 5,41	13,58 ± 6,94	0,289	
Средний систолический градиент на АоК, мм рт. ст.	6,50 ± 3,01	4,79 ± 2,69	< 0,01	5,87 ± 2,74	6,76 ± 3,82	0,282	
Максимальное расширение аорты, мм	50,54 ± 8,01	56,88 ± 8,06	< 0,01	53,12 ± 10,31	54,76 ± 8,62	0,487	
Фиброзное кольцо АоК, мм	28,71 ± 3,68	26,57 ± 2,66	< 0,01	27,70 ± 3,57	27,09 ± 2,92	0,453	
Синусы Вальсальвы, мм	45,11 ± 5,32	51,70 ± 8,45	< 0,01	47,15 ± 6,20	48,30 ± 9,92	0,574	
Синотубулярное соединение, мм	42,16 ± 7,05	50,63 ± 8,42	< 0,01	45,97 ± 7,36	46,76 ± 7,64	0,671	
Восходящий отдел аорты, мм	47,72 ± 8,86	51,31 ± 10,96	< 0,01	49,79 ± 10,37	51,42 ± 10,09	0,518	
Степень регургитации на АоК, n (%)	I	19 (25,0)	28 (18,9)	0,515	11 (33,3)	7 (21,2)	0,141
	II	22 (28,9)	42 (28,4)		11 (33,3)	7 (21,2)	
	III	35 (46,1)	78 (52,7)		11 (33,3)	19 (57,6)	
Тип двустворчатого АоК по классификации Н.-Н. Sievers [11]	0	5 (6,6)	–	3 (9,1)	–	–	
	I	71 (93,4)	–	30 (90,9)	–	–	
	II	–	–	–	–	–	

Примечание. АоК — аортальный клапан; КДР ЛЖ — конечный диастолический размер левого желудочка; КСР ЛЖ — конечный систолический размер левого желудочка; КДО ЛЖ — конечный диастолический объем левого желудочка; ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

в том числе в сочетании с frozen elephant trunk. После сопоставления групп отсутствовала статистически значимая разница по этим видам вмешательств (табл. 3).

До проведения PSM-анализа наблюдались различия в потребности пластики створок АоК и способе пластики: ушивание комиссур клапана чаще выполняли пациентам с двустворчатым АоК. После сопоставления данные различия сохранились, что указывает на значительно более частое использование этого способа пластики створок АоК именно у больных с двустворчатым клапаном.

Различия в методике выполнения реимплантации не повлияли на продолжительность окклюзии аорты, однако была получена статистически значимая разница по времени искусственного кровообращения. На наш взгляд, это связано с тем, что пациенты с трехстворчатым вариантом АоК имели значимо большее количество сопутствующих вмешательств. После PSM-анализа время искусственного кровообращения значимо не различалось между исследуемыми группами. В то же время статистиче-

ски значимым стало различие по времени окклюзии аорты, что, вероятно, обусловлено тем, что пациентам с двустворчатым АоК чаще требовалось вмешательство на створках клапана, и это, несомненно, увеличивало время основного этапа операции.

Госпитальные результаты

Между исследуемыми группами не было значимых различий по величине госпитальной летальности ($p = 0,553$) и времени нахождения в стационаре ($p = 0,279$) (табл. 4). Также отсутствовали статистически значимые различия по количеству основных осложнений: интраоперационных кровотечений ($p = 0,243$), рестернотомии ($p = 0,753$), числу пациентов с острой почечной недостаточностью ($p = 1,000$), острым нарушением мозгового кровообращения ($p = 0,553$), раневой инфекцией ($p = 1,000$) и периоперационным инфарктом миокарда ($p = 0,606$). На госпитальном этапе только 1 (0,7%) больному из группы с трехстворчатым АоК потребовалась повторная операция по поводу возврата аортальной недостаточности ($p = 1,000$).

Табл. 3. Интраоперационные данные

Показатель	До сопоставления			После сопоставления		
	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	Р	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	Р
АКШ, n (%)	2 (2,6)	18 (12,2)	0,018	2 (6,1)	2 (6,1)	1,000
Пластика митрального клапана, n (%)	2 (2,6)	17 (11,5)	0,024	0 (0,0)	5 (15,2)	0,053
Пластика трехстворчатого клапана, n (%)	1 (1,3)	16 (10,7)	0,011	1 (3,0)	2 (6,1)	1,000
Протезирование дуги аорты по методике hemiarch replacement, n (%)	4 (5,3)	11 (7,4)	0,779	2 (6,1)	1 (3,1)	1,000
Протезирование проксимального участка дуги аорты, n (%)	1 (1,3)	4 (2,7)	0,665	1 (3,0)	0 (0,0)	1,000
Полное протезирование дуги аорты, n (%)	0 (0,0)	10 (6,7)	0,017	0 (0,0)	2 (6,1)	0,492
Полное протезирование дуги аорты + frozen elephant trunk, n (%)	0 (0,0)	9 (6,1)	0,03	0 (0,0)	2 (6,1)	0,492
Лигирование ушка левого предсердия, n (%)	12 (15,8)	22 (14,8)	0,839	7 (21,2)	3 (9,1)	0,303
Размер сосудистого протеза, мм	30,50 ± 1,31	30,16 ± 1,37	0,078	30,61 ± 1,17	29,94 ± 1,62	0,060
Пластика створок АоК, n (%)	60 (78,9)	86 (58,5)	< 0,01	27 (81,8)	21 (63,6)	0,166
Центральная пликация створок АоК, n (%)	45 (59,2)	85 (57,8)	0,830	18 (54,5)	18 (54,5)	1,000
Ушивание в области комиссур АоК, n (%)	23 (30,3)	5 (3,4)	< 0,01	14 (42,4)	2 (6,1)	< 0,01
Время окклюзии аорты, мин	153,12 ± 26,15	158,68 ± 33,75	0,210	163,42 ± 25,50	146,30 ± 27,74	0,011
Время искусственного кровообращения, мин	192,53 ± 35,82	206,52 ± 50,86	0,018	205,15 ± 35,95	190,09 ± 47,41	0,151

Примечание. АоК — аортальный клапан; АКШ — аортокоронарное шунтирование. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

В группе трехстворчатого АоК длительность искусственной вентиляции легких была значительно больше, чем у пациентов с двустворчатым АоК ($p < 0,01$). Количество имплантированных постоянных электрокардиостимуляторов было статистически значимо выше в группе двустворчатого клапана ($p = 0,019$).

После PSM-анализа группы не имели статистически значимых различий ни по одному из вышеперечисленных параметров.

Отдаленные результаты

В отдаленном периоде был обследован 221 пациент (98,2 %): 76 (100 %) из группы с двустворчатым АоК и 145 (97,3 %) из группы с трехстворчатым клапаном (табл. 5). Средний срок наблюдения для всей выборки составил $53,17 \pm 26,34$ мес. При этом исходные группы не имели значимого различия по сроку отдаленного наблюдения: $51,59 \pm 24,15$ мес. в группе

бикуспидального и $54,01 \pm 27,46$ мес. в группе трикуспидального клапана ($p = 0,519$).

После PSM-анализа между группами также не было значимых различий по количеству обследованных пациентов: по 33 человека (100 %) в каждой группе. Средний срок наблюдения составил $55,24 \pm 22,66$ мес. без значимых различий в группах: $55,91 \pm 27,07$ мес. в группе с двустворчатым АоК и $54,58 \pm 17,60$ мес. — с трехстворчатым ($p = 0,813$).

До сопоставления значимые различия получили по пиковому и среднему систолическим градиентам. В группе с двустворчатым АоК они составили $15,39 \pm 5,79$ и $7,78 \pm 3,15$ мм рт. ст. соответственно, в группе с трехстворчатым — $11,16 \pm 5,54$ и $5,63 \pm 3,43$ мм рт. ст. ($p < 0,01$). Однако после PSM-анализа значимых различий не было.

В отдаленном периоде наблюдения не зарегистрировали летальных исходов. До сопоставления свобода от АоН \geq II ст. в группе пациентов

Табл. 4. Госпитальные результаты

Показатель	До сопоставления			После сопоставления		
	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р
Госпитальная летальность, n (%)	0 (0,0)	3 (2,0)	0,553	–	–	–
Рестернотомия – гемостаз, n (%)	3 (3,9)	8 (5,4)	0,753	2 (6,1)	3 (9,1)	1,000
Длительность ИВЛ, ч	7,50 ± 8,75	12,74 ± 18,03	< 0,01	9,58 ± 12,85	13,27 ± 21,91	0,406
ИВЛ более 24 ч, n (%)	1 (1,3)	10 (6,8)	0,103	1 (3,0)	2 (6,1)	1,000
Интраоперационное кровотечение, n (%)	5 (6,6)	17 (11,5)	0,243	2 (6,1)	7 (21,2)	0,149
Почечная недостаточность, n (%)	0 (0,0)	1 (0,7)	1,000	–	–	–
ОНМК, n (%)	0 (0,0)	3 (2,0)	0,553	0 (0,0)	1 (3,0)	1,000
Имплантиция постоянного ЭКС, n (%)	9 (11,8)	5 (3,4)	0,019	5 (15,2)	2 (6,1)	0,427
Раневая инфекция, n (%)	0 (0,0)	1 (0,7)	1,000	–	–	–
Периоперационный ИМ, n (%)	2 (2,6)	2 (1,4)	0,606	1 (3,0)	0 (0,0)	1,000
Количество дней в отделении	18,41 ± 6,01	19,74 ± 9,40	0,279	18,33 ± 6,74	17,79 ± 5,78	0,725

Примечание. АоК — аортальный клапан; ИВЛ — искусственная вентиляция легких; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; ЭКС — электрокардиостимулятор; ИМ — инфаркт миокарда. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Табл. 5. Результаты отдаленного периода наблюдения

Показатель	До сопоставления			После сопоставления		
	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р	Двустворчатый АоК	Трехстворчатый АоК	р
Обследовано пациентов, n (%)	76 (100,0)	145 (97,3)	0,303	33 (100,0)	33 (100,0)	–
Срок наблюдения, мес.	51,59 ± 24,15	54,01 ± 27,46	0,519	55,91 ± 27,07	54,58 ± 17,60	0,813
Выживаемость, %	100	100	1,000	100	100	1,000
Свобода от реопераций на АоК через 60 мес., %	98,6	99,3		96,7	100	
Свобода от реопераций на АоК через 100 мес., %	98,6	99,3	1,000	96,7	100	1,000
Свобода от реопераций на АоК через 120 мес., %	98,6	99,3		–	–	
Свобода от АоН ≥ II ст. через 60 мес., %	89,6	90,2		85,1	84,2	
Свобода от АоН ≥ II ст. через 100 мес., %	89,6	88,2	0,786	85,1	84,2	1,000
Свобода от АоН ≥ II ст. через 120 мес., %	89,6	88,2		–	–	
Пиковый систолический градиент на АоК, мм рт. ст.	15,39 ± 5,79	11,16 ± 5,54	< 0,01	11,94 ± 5,41	13,79 ± 7,62	0,237
Средний систолический градиент на АоК, мм рт. ст.	7,78 ± 3,15	5,63 ± 3,43	< 0,01	5,87 ± 2,74	7,15 ± 4,68	0,344

Примечание. АоК — аортальный клапан; АоН — аортальная недостаточность. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

с трехстворчатым АоК на сроке 5 и 10 лет составила 90,2 и 88,2 %, с двустворчатым — 89,6 и 89,6 % соответственно ($p = 0,786$). Аналогичный результат получили и после PSM-анализа: свобода от АоН ≥ II ст. в группе трехстворчатого клапана через 5 и 8 лет 84,2 и 84,2 % соответственно, в группе двустворчатого — 85,1 и 85,1 % соответственно ($p = 1,000$) (рис. 2).

В отдаленном периоде свобода от реоперации на сроке 5 и 10 лет в группе пациентов с трехстворчатым АоК составила 99,3 %, а с двустворчатым — 98,6 % ($p = 1,000$). Так же как до сопоставления, после PSM-анализа между группами не было статистически значимой разницы по данному показателю ($p = 1,000$) (рис. 3).

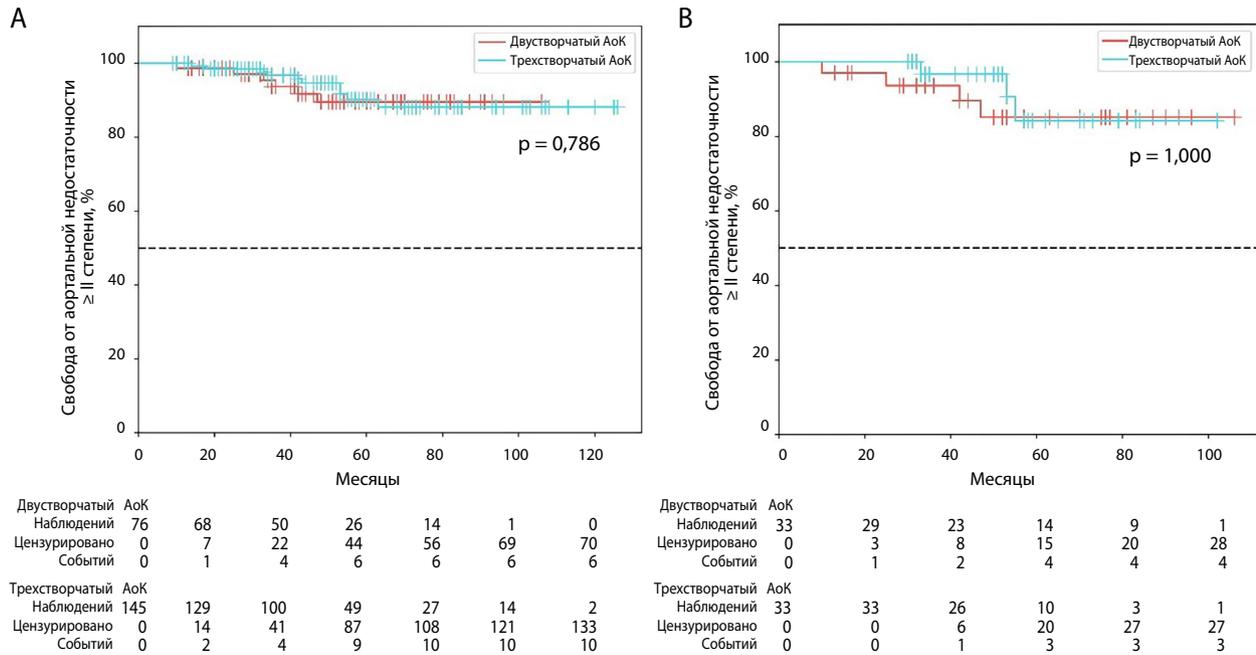


Рис. 2. Свобода от недостаточности на аортальном клапане II и более степени в отдаленном периоде наблюдения: до псевдорандомизации (А); после псевдорандомизации (В)

Примечание. АоК — аортальный клапан.

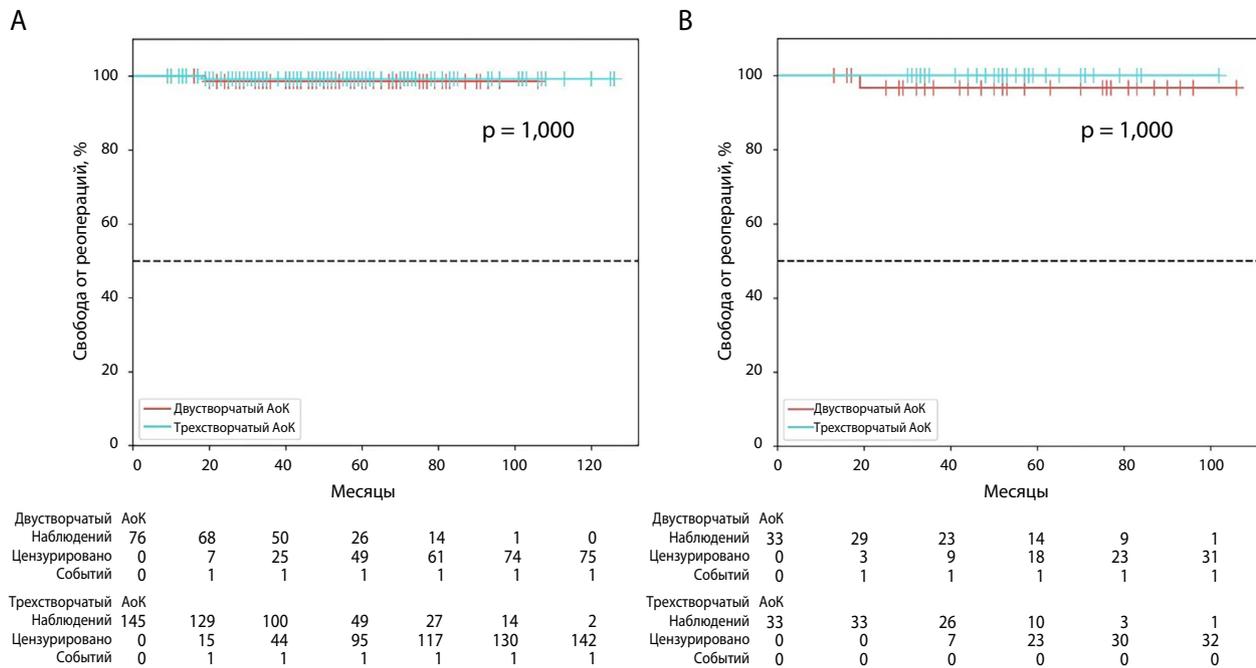


Рис. 3. Свобода от реопераций на аортальном клапане в отдаленном периоде наблюдения: до псевдорандомизации (А); после псевдорандомизации (В)

Примечание. АоК — аортальный клапан.

Обсуждение

Методика реимплантации, предложенная T.E. David в 1992 г. [3], изначально предусматривала лечение молодых пациентов с аневризматическим расширением корня аорты и сохранными створками AoK [13]. В дальнейшем, благодаря накопленному опыту и отличным отдаленным результатам [6; 14; 15], показания к проведению операции расширились и стали охватывать все более сложные группы пациентов, включая лиц с двустворчатым AoK [16; 17]. Однако применение методики реимплантации у больных с двустворчатым клапаном остается спорным [18], так как данный анатомический вариант часто связан с патологически измененным створчатым аппаратом клапана [19], и его восстановление требует более сложного и комплексного подхода [20; 21].

В данном исследовании мы проанализировали собственный опыт выполнения реимплантации у пациентов с трехстворчатым и двустворчатым вариантами клапана. Общая госпитальная смертность составила 1,3 % без различий между группами. Единственным показателем, по которому различались госпитальные результаты, была потребность в имплантации постоянного электрокардиостимулятора. В группе с двустворчатым вариантом данную процедуру провели 9 (11,8 %) пациентам, с трехстворчатым — 5 (3,4 %) больным ($p = 0,019$). Такой результат связан с особенностями анатомического расположения проводящих путей при двустворчатом AoK. Однако после сопоставления группы не имели различий по этому признаку ($p = 0,427$).

В нашем исследовании отдаленная выживаемость через 5 и 10 лет была сопоставима между пациентами двух групп как до, так и после PSM-анализа и составила 100 %.

Мы также не получили статистически значимой разницы по показателю свободы от возврата AoH \geq II ст. В группе пациентов с двустворчатым AoK на этапе 5 и 10 лет она составила 89,6 и 89,6 % соответственно, а с трехстворчатым — 90,2 и 88,2 % соответственно ($p = 0,786$). После сопоставления по данному показателю на этапе 5 и 8 лет в группе с трехстворчатым AoK получили результаты 84,2 и 84,2 % соответственно, а с двустворчатым — 85,1 и 85,1 % соответственно ($p = 1,000$). Аналогичные данные представили и другие исследователи. K. Fattouch и соавт. выявили свободу от возврата AoH \geq II ст. 93 % на этапе 5 лет у пациентов с двустворчатым AoK [22]. S. Tamer и соавт. сообщили о десятилетней свободе от возврата AoH \geq II ст. 88 % у больных с трехстворчатым кла-

паном [15]. M. Ouzounian и соавт. сообщили, что отдаленная выживаемость на этапе 10 лет в группе бicuspidального AoK составила 100 %, трикуспидального — 94,1 %, свобода от возврата AoH \geq II ст. на этапе 5 и 10 лет в группе пациентов с двустворчатым AoK была 96,1 и 93,5 %, с трехстворчатым — 98,8 и 98,1 % соответственно ($p = 0,08$) [8].

В своих работах M.L. Shrestha и соавт., D. Karciauskas и соавт. показали, что у пациентов с двустворчатым AoK частота повторных операций в отдаленном периоде наблюдения была выше, объясняя это более высокой частотой пластики морфологически измененных створок [9; 23]. Однако в нашем исследовании отдаленная свобода от повторных вмешательств на AoK на этапе 5 и 10 лет как до, так и после сопоставления не показала статистически значимой разницы.

В отдаленном периоде только двум пациентам потребовалось повторное вмешательство на AoK по причине эндокардита и выраженной AoH. Один больной имел трехстворчатый AoK, другой — двустворчатый. В то же время вмешательства на створках реимплантированного AoK проводили 146 (65,2 %) пациентам. Значимо чаще они требовались больным с двустворчатым AoK ($p < 0,01$). При этом как в группе с трехстворчатым клапаном — 85 (57,8 %), так и в группе с двустворчатым — 45 (59,2 %) — чаще выполняли центральную пликацию створок ($p = 0,83$).

Для получения удовлетворительного результата нам также приходилось применять и другие виды вмешательств на створках. Так, ушивание в области комиссур в группе с двустворчатым вариантом выполнили 23 (30,3 %) пациентам, с трехстворчатым — 5 (3,4 %) больным ($p < 0,01$). Значимая разница сохранилась и после PSM-анализа ($p < 0,01$). В дополнение к этому при I типе двустворчатого AoK для увеличения подвижности передней створки выполняли частичное иссечение ткани рудиментарной комиссуры. В своей практике мы не применяли резекционный метод пластики, а также не использовали биологические заплатки в качестве материала для коррекции дефектов створок, поскольку доказано, что эти методики способствуют более ранней дисфункции реимплантированного клапана [24–27]. Мы придерживаемся именно пликирующего способа пластики как у пациентов с двустворчатым, так и трехстворчатым AoK. Этот метод позволяет оставить на створке минимальное количество шовного материала и добиться эффективной высоты коаптации не менее 8 мм, а также в случае неудовлетворительного результата провести

повторную коррекцию. Также отметим, что особое внимание мы уделяли повторной оценке высоты коаптации, чтобы не допустить гиперкоррекции, так как в послеоперационном периоде это может привести к уменьшению площади открытия клапана.

Хирургические методы, лежащие в основе процедуры реимплантации как у пациентов с трехстворчатым, так и двустворчатым АоК, значительно изменились за последние два десятилетия, стали более стандартизированными и воспроизводимыми. Однако выполнение данной процедуры остается технически сложным, особенно у пациентов с двустворчатым вариантом, так как морфологические особенности клапана чаще всего требуют комплексного подхода в восстановлении его структурной целостности. Следовательно, для достижения удовлетворительного результата лечения реимплантацию АоК должна проводить опытная команда в специализированном центре с обеспечением индивидуального подхода к каждому пациенту.

Ограничения

Результаты следует интерпретировать с учетом следующих ограничений: небольшое количество наблюдений, подходящих критериям включения; ретроспективный характер исследования.

Заключение

Методика реимплантации может быть успешно применена для лечения пациентов с аневризмой корня аорты и патологией АоК независимо от анатомических особенностей клапана без угрозы для отдаленных результатов вмешательства.

Список литературы / References

- Misawa Y. Valve-related complications after mechanical heart valve implantation. *Surg Today*. 2015;45(10):1205-1209. PMID: 25519937; PMCID: PMC4565860. <https://doi.org/10.1007/s00595-014-1104-0>
- Chan V., Malas T., Lapierre H., Boodhwani M., Lam B.-K., Rubens F.D., Hendry P.J., Masters R.G., Goldstein W., Mesana T.G., Ruel M. Reoperation of left heart valve bioprostheses according to age at implantation. *Circulation*. 2011;124(11 Suppl):S75-S80. PMID: 21911822. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.011973>
- David T.E., Feindel C.M. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1992;103(4):617-621; discussion 622. PMID: 1532219. [https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(19\)34942-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(19)34942-6)
- David T.E., David C.M., Feindel C.M., Manlhiot C. Reimplantation of the aortic valve at 20 years. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017;153(2):232-238. PMID: 27923487. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.10.081>
- David T.E., Armstrong S., Manlhiot C., McCrindle B.W., Feindel C.M. Long-term results of aortic root repair using the reimplantation technique. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;145(3 Suppl):S22-S25. PMID: 23260437. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.11.075>
- Coselli J.S., Hughes M.S., Green S.Y., Price M.D., Zarda S., de la Cruz K.I., Preventza O., LeMaire S.A. Valve-sparing aortic root replacement: early and midterm outcomes in 83 patients. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(4):1267-1273; discussion 1273-1274. PMID: 24424011. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.10.076>
- Kvitting J.-P.E., Kari F.A., Fischbein M.P., Liang D.H., Beraud A.-S., Stephens E.H., Mitchell R.S., Miller D.C. David valve-sparing aortic root replacement: equivalent mid-term outcome for different valve types with or without connective tissue disorder. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;145(1):117-127; discussion 126-127. PMID: 23083792; PMCID: PMC6382393. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.09.013>
- Ouzounian M., Feindel C.M., Manlhiot C., David C., David T.E. Valve-sparing root replacement in patients with bicuspid versus tricuspid aortic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019;158(1):1-9. PMID: 31248507. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2018.10.151>
- Karciauskas D., Mizariene V., Jakuska P., Ereminiene E., Orda P., Ordienė R., Vaskelyte J.J., Nedzelskiene I., Kinduris S., Benetis R. Early and long-term results of aortic valve sparing aortic root reimplantation surgery for bicuspid and tricuspid aortic valves. *Perfusion*. 2019;34(6):482-489. PMID: 30823866. <https://doi.org/10.1177/0267659119831926>
- Klotz S., Stock S., Sievers H.-H., Diwoky M., Petersen M., Stierle U., Richardt D. Survival and reoperation pattern after 20 years of experience with aortic valve-sparing root replacement in patients with tricuspid and bicuspid valves. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155(4):1403-1411.e1. PMID: 29338868. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.12.039>
- Sievers H.-H., Schmidtke C. A classification system for the bicuspid aortic valve from 304 surgical specimens. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133(5):1226-1233. PMID: 17467434. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2007.01.039>
- de Kerchove L., Boodhwani M., Glineur D., Noirhomme P., El Khoury G. A new simple and objective method for graft sizing in valve-sparing root replacement using the reimplantation technique. *Ann Thorac Surg*. 2011;92(2):749-751. PMID: 21801943. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2011.03.015>
- David T.E., David C.M., Manlhiot C., Colman J., Crean A.M., Bradley T. Outcomes of aortic valve-sparing operations in Marfan syndrome. *J Am Coll Cardiol*. 2015;66(13):1445-1453. PMID: 26403341. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.07.041>
- David T.E., David C.M., Ouzounian M., Feindel C.M., Lafreniere-Roula M. A progress report on reimplantation of the aortic valve. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;161(3):890-899.e1. PMID: 33008570. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.07.121>
- Tamer S., Mastrobuoni S., Lemaire G., Jahanyar J., Navarra E., Poncelet A., Astarci P., El Khoury G., de Kerchove L. Two decades of valve-sparing root reimplantation in tricuspid aortic valve: impact of aortic regurgitation and cusp repair. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2021;59(5):1069-1076. PMID: 33332548. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa427>
- David T.E. Aortic valve sparing in different aortic valve and aortic root conditions. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68(6):654-664. PMID: 27491910. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.04.062>

17. Zakkar M., Youssefi P., Acar C., Khelil N., Debauchez M., Lansac E. Bicuspid aortic valve repair adapted to aortic phenotype. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019;8(3):401-410. PMID: 31240187; PMCID: PMC6562075. <https://doi.org/10.21037/acs.2019.04.13>
18. Holubec T., Zacek P., Jamaliramin M., Emmert M.Y., Tuna M., Nedbal P., Dominik J., Harrer J., Falk V., Vojacek J. Valve cuspidity: a risk factor for aortic valve repair? *J Card Surg.* 2014;29(5):585-592. PMID: 24919866. <https://doi.org/10.1111/jocs.12382>
19. Safari M., Monsefi N., Karimian-Tabrizi A., Miskovic A., Van Linden A., Zacek P., Moritz A., Walther T., Holubec T. Longer-term outcomes after bicuspid aortic valve repair in 142 patients. *J Card Surg.* 2021;36(12):4645-4651. PMID: 34547142. <https://doi.org/10.1111/jocs.16006>
20. Bavaria J.E., Desai N., Szeto W.Y., Komlo C., Rhode T., Wallen T., Vallabhajosyula P. Valve-sparing root reimplantation and leaflet repair in a bicuspid aortic valve: comparison with the 3-cusp David procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;149(2 Suppl):S22-S28. PMID: 25500099. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.10.103>
21. de Meester C., Vanovershelde J.-L., Jahanyar J., Tamer S., Mastrobuoni S., Van Dyck M., Navarra E., Poncelet A., Astarci P., El Khoury G., de Kerchove L. Long-term durability of bicuspid aortic valve repair: a comparison of 2 annuloplasty techniques. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2021;60(2):286-294. PMID: 33495781. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa471>
22. Fattouch K., Moscarelli M., Castrovinci S., Murana G., Dioguardi P., Guccione F., Nasso G., Speziale G., Lancellotti P. Mid-term results of bicuspid aortic valve repair guided by morphology and function assessment. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2017;25(1):83-88. PMID: 28379458. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx027>
23. Shrestha M.L., Beckmann E., Abd Alhadi F., Krueger H., Meyer-Bockenamp F., Bertele S., Koigeldiyev N., Kaufeld T., Fleissner F., Korte W., Schmitto J., Cebotari S., Harringer W., Haverich A., Martens A. Elective David I procedure has excellent long-term results: 20-year single-center experience. *Ann Thorac Surg.* 2018;105(3):731-738. PMID: 29198631. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.08.040>
24. Aicher D., Kuniyama T., Abou Issa O., Brittner B., Gräber S., Schäfers H.-J. Valve configuration determines long-term results after repair of the bicuspid aortic valve. *Circulation.* 2011;123(2):178-185. PMID: 21200006. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.934679>
25. Schneider U., Feldner S.K., Hofmann C., Schöpe J., Wagenpfeil S., Giebels C., Schäfers H.-J. Two decades of experience with root remodeling and valve repair for bicuspid aortic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;153(4):S65-S71. PMID: 28168982. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.12.030>
26. Mosala Nezhad Z., de Kerchove L., Hechadi J., Tamer S., Boodhwani M., Poncelet A., Noirhomme P., Rubay J., El Khoury G. Aortic valve repair with patch in non-rheumatic disease: indication, techniques and durability. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;46(6):997-1005; discussion 1005. PMID: 24618389. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu058>
27. Sromicki J., Van Hemelrijck M., Schmiady M.O., Greutmann M., Bonassin Tempesta F., Mestres C.A., Vogt P.R., Carrel T.P., Holubec T. Twenty-five year experience with aortic valve-sparing root replacement in a single teaching center. *Front Cardiovasc Med.* 2023;10:1104149. PMID: 36970369; PMCID: PMC10036903. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1104149>