



<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-28-35>  
УДК 616.126.52-06-77-089.844(048.8)

# Транскатетерное протезирование при бicuspidальном строении аортального клапана (обзор литературы)

Д.С. Мкртычев, А.Е. Комлев, А.С. Колегаев, Т.Э. Имаев

Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова Министерства здравоохранения Российской Федерации (НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова» Минздрава России), 121552, Российская Федерация, Москва, ул. акад. Е.И. Чазова, 15а

## Аннотация

Транскатетерная имплантация аортального клапана (ТИАК) является технологией, которая позволяет быстро и эффективно произвести оперативное лечение при стенозе клапана аорты. Одной из причин возникновения аортального стеноза (АС) является врожденная патология, характеризующаяся бicuspidальным строением аортального клапана. Данный порок долгое время считался абсолютным противопоказанием к проведению ТИАК, однако появление новых поколений клапанов, существующий хирургический опыт, а также более глубокое понимание анатомии таких клапанов позволяет эффективно и безопасно проводить транскатетерное протезирование у данной когорты пациентов. В данной статье рассмотрены существующие классификации бicuspidальных аортальных клапанов (БАК), особенности предоперационной подготовки, а также приведены результаты по существующим исследованиям ТИАК у пациентов с бicuspidальной морфологией.

<b>Ключевые слова:</b>	бicuspidальный аортальный клапан; транскатетерная имплантация аортального клапана.
<b>Конфликт интересов:</b>	авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.
<b>Финансирование:</b>	исследование выполнено без финансовой поддержки грантов, общественных, некоммерческих, коммерческих организаций и структур.
<b>Для цитирования:</b>	Мкртычев Д.С., Комлев А.Е., Колегаев А.С., Имаев Т.Э. Транскатетерное протезирование при бicuspidальном строении аортального клапана (обзор литературы). <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2024;39(2):28–35. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-28-35">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-28-35</a> .

## Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid aortic valve (literature review)

David S. Mkrtychev, Alexey E. Komlev, Alexander S. Kolegaev, Timur E. Imaev

National Medical Research Centre of Cardiology named after academician E.I. Chazov, 15a, Akademika Chazova str., Moscow, 121552, Russian Federation

## Abstract

Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) is a technology that allows effective surgical treatment for aortic valve stenosis. One of the causes of aortic stenosis is a congenital pathology characterized by a bicuspidal structure of the aortic valve. This condition has long been considered an absolute contraindication to TAVI, however, the emergence of new generations of prostheses, surgical experience, as well as a deep understanding of the anatomy of bicuspid valves allows to perform TAVI in such patients. This article discusses the existing classifications of bicuspid aortic valves, the features of preoperative preparation, and also presents the results of existing studies of TAVI in patients with bicuspid morphology.

<b>Keywords:</b>	bicuspid aortic valve; transcatheter aortic valve implantation.
<b>Conflict of interest:</b>	the authors do not declare a conflict of interest.

✉ Мкртычев Давид Самвелович, e-mail: david\_97@mail.ru.

<b>Funding:</b>	the research was carried out without financial support from grants, public, non-profit, commercial organizations and structures.
<b>For citation:</b>	Mkrtychev D.S., Komlev A.E., Kolegaev A.S., Imaev T.E. Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid aortic valve (literature review). <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2024;39(2):28–35. <a href="https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-28-35">https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-2-28-35</a> .

## Введение

Бicuspidальный аортальный клапан (БАК) является одной из наиболее часто встречающихся врожденных аномалий сердца. Использование данного термина может подразумевать под собой не только особенности анатомии аортального клапана, выражающейся в наличии только двух функционирующих створок, но и сопутствующую аортопатию, сопровождающую от 35 до 50% пациентов с БАК [1]. Диагностируется БАК, как правило, во взрослом возрасте, и дебют его симптомов обычно ассоциирован либо с нарушением функции измененного клапана, диссекцией аорты, либо с таким заболеванием, как инфекционный эндокардит [2].

Особенностью БАК является то, что при такой анатомии створки клапана испытывают большее механическое давление и более подвержены кальцинозу по сравнению с нормальным строением, а, значит, быстрее, чем в популяции, развивается такое осложнение, как аортальный стеноз (АС) [3]. Это означает, что у пациентов с данным врожденным пороком больший, чем в норме, диаметр корня аорты и восходящего отдела, и существует риск прогрессирования аортальной дилатации вследствие дисплазии тканей [4]. Ежегодное увеличение диаметра аорты может, по данным разных источников, составлять от 0,2 до 1,2 см. Даже после протезирования клапана риск диссекции не исчезает, а восходящий отдел аорты может продолжать расширяться [5–7]. Семейная история поражения аортального клапана также имеет прямую связь с повышением риска расширения аорты [8].

В детском возрасте наличие БАК часто остается незамеченным, реже – приводит к АС или проявляется пролапсом створок клапана с развитием аортальной недостаточности. Осложнением выраженного АС у детей является миокардиальный фиброз, который возникает в связи с увеличением нагрузки на левые отделы сердца, что потенциально обратимо при своевременной хирургической коррекции возникшей обструкции [9, 10].

Как было упомянуто ранее, АС является наиболее частым осложнением наличия БАК [11]. Исследования, посвященные анализу причин стеноза аортального клапана, выявили наличие бicuspidальной морфологии у пациентов 70 лет и младше в 59% случаев, а у пациентов старше 70 лет – в 51% [12]. Главным признаком АС является уменьшение отверстия клапана. Препятствие, возникшее на пути кровотока, приводит к увеличению систолического давления в левом желудочке (ЛЖ), необходимому для преодоления малого размера выходного отверстия. На эхокардиографии данный процесс можно проследить с помощью измерения трансортального градиента давления, а также пиковой скорости кровотока ( $V_{max}$ ). Данные изменения отражаются непосредственно на миокарде ЛЖ: для преодоления стеноза возникает концентрическая гипертрофия миокарда, что приводит к утолщению стенок желудочка и относительному уменьшению его полости. При выраженном сужении длитель-

ная усиленная работа ЛЖ в конечном итоге приводит к декомпенсации: конечно-систолический объем будет постепенно увеличиваться, что приведет к повышению давления как в ЛЖ, так и в левом предсердии, а далее уже в малом круге кровообращения.

Важно полное обследование пациентов с клапанной болезнью сердца, позволяющее определить степень тяжести АС и выявить наличие симптомов данного заболевания. Сопутствующие заболевания также играют важную роль в выборе тактики лечения, поскольку могут склонить врача к выбору менее инвазивного способа вмешательства, таким образом, снижая риски сердечно-сосудистых событий и летального исхода.

Важным для выбора тактики лечения является наличие симптомов АС. Долгое время АС остается асимптомным, однако после появления жалоб продолжительность жизни у таких пациентов, как правило, снижается [13, 14]. Обмороки, боль в груди, одышка являются следствием недостаточного кровоснабжения и сердечной недостаточности. Пациенты с симптомным тяжелым АС требуют раннего оперативного вмешательства, поскольку имеют неблагоприятный прогноз. Однако бессимптомным пациентам с тяжелым АС и нарушением функции ЛЖ (снижением фракции выброса), не имеющим других причин, также рекомендуется оперативное вмешательство. Проведение нагрузочных тестов помогает установить наличие симптоматики и показания к оперативному вмешательству [15].

При наличии бicuspidального строения аортального клапана стеноз может сопровождаться также аортальной регургитацией легкой или средней степени тяжести (рис. 1). Это вызывает сложности в определении тяжести АС, поскольку такие показатели, как скорость и градиент трансортального потока могут быть неправильно оценены (имеющаяся регургитация увеличивает объемную нагрузку на левые отделы сердца, что отражается на оценке порока) [16].

Существует два основных метода хирургического лечения АС. Один из методов (открытое оперативное вмешательство) представляет собой протезирование нативного аортального клапана с использованием биологического или механического протеза в условиях искусственного кровообращения. Однако данная операция у пациентов с высоким хирургическим риском сопряжена с возможными осложнениями и определенным риском летального исхода, который нельзя игнорировать.

Транскатетерная имплантация аортального клапана (ТИАК) является еще одним методом хирургического лечения у пациентов с тяжелым АС. Данный метод используется в качестве альтернативы открытому оперативному вмешательству у пациентов с высоким хирургическим риском [18–20]. Существуют также исследования, посвященные сравнению открытого и эндоваскулярного методов протезирования у пациентов низкого риска, которые показали высокий профиль безопасности транскатетерного метода, короткий период реабилитации и меньшее число

повторных госпитализаций по сравнению с пациентами после открытого протезирования [21]. По данным, сравнивающим ТИАК с использованием баллон-раскрываемого протеза с открытым протезированием аортального клапана, можно сделать вывод об определенном преимуществе в раннем послеоперационном периоде в первой группе (более низкая частота инвалидирующих нарушений мозгового кровообращения, острого почечного повреждения, жизнеугрожающих кровотечений и летальности). Однако нарушения ритма, приводящие к необходимости

установки кардиостимулятора, встречаются чаще, чем при открытом оперативном вмешательстве [22, 23].

Долгое время наличие у пациента БАК являлось противопоказанием к проведению эндоваскулярного протезирования, поскольку такой клапан характеризуется асимметричным кальцинозом створок, неодинаковым их строением, их удлинением, в определенных случаях аномальным отхождением коронарных артерий, а также сопутствующей патологией аорты, включая горизонтальный восходящий отдел аорты (рис. 1).



Рис. 1. Различные варианты строения бикуспидального клапана на компьютерной томографии, адаптировано из [17]  
Fig. 1. Variants of the bicuspid valve structure on computed tomography, adapted from [17]

Указанные факторы могут стать причиной появления аортальной регургитации, разрыва фиброзного кольца, возможной окклюзии коронарных артерий и других осложнений. Эллипсоидная форма БАК долгое время была причиной исключения таких пациентов из кандидатов на ТИАК, поскольку данная особенность могла привести к таким осложнениям, как неправильная работа протеза, его недостаточная фиксация, появление парапротезных фистул (причина аортальной регургитации). Указанные особенности анатомии при БАК рассматриваются как факторы риска парапротезной аортальной регургитации, разрыва фиброзного кольца, окклюзии коронарных артерий и других осложнений ТИАК. Появление новых поколений устройств для ТИАК позволило преодолеть недостатки предыдущих моделей и использовать транскатетерные методы для лечения АС у пациентов с БАК.

### Классификация

Понимание анатомии и морфологии аортального клапана очень важно, поскольку позволяет производить необходимые расчеты для оптимального проведения оперативного вмешательства. Бикуспидальный клапан имеет две створки, на одной из которых можно обнаружить центральный шов, оставшийся от сращения краев створок. Однако шов на створках (место сращения) может присутствовать не всегда, поскольку существует несколько вариантов строения БАК в зависимости от следующих показателей: наличие или отсутствие шва, характеристика створок клапана, количество синусов. Место сращения створок, как правило, подвержено кальцинозу, что можно

обнаружить при проведении компьютерной томографии (КТ) или эхокардиографии (ЭхоКГ). Кальциноз клапана в зависимости от характера поражения может быть описан следующим образом [24]:

- 1) отсутствие кальция;
- 2) легкая степень кальциноза – точечный, занимающий не более половины сращения;
- 3) умеренный кальциноз – локальный конгломерат или линейный кальциноз, занимающий более половины шва;
- 4) выраженный кальциноз – на всем протяжении шва.

Классификация БАК должна включать в себя морфологические характеристики (количество створок, наличие и характер сращения между ними, длину шва, наличие и характер кальциноза клапана). Морфологически различные виды бикуспидальных клапанов можно описать с использованием классификации Сиверса (рис. 2) [25]. Данная классификация учитывает количество коаптирующихся створок и местоположение шва между створками (табл. 1) [26].

Наиболее часто встречающийся вариант сращения комиссур – бесшовное сращение правой и левой створки клапана, что зачастую сопровождается наличием у пациента коарктации аорты [27]. Стоит отметить, что у 50–75% пациентов с коарктацией аорты обнаруживается БАК [28]. Встречается также вариант БАК со створками одинакового размера и отсутствием шва – «истинный» бикуспидальный клапан [29]. Существуют другие классификации БАК, основанные на данных ЭхоКГ и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).



Рис. 2. Классификация строения бикуспидального клапана в зависимости от вовлеченности створок, адаптировано из [25]  
Fig. 2. Classification of the bicuspid valve structure depending on the involvement of the valves, adapted from [25]

Таблица 1. Тип бикуспидального клапана в зависимости от строения

Table 1. Type of bicuspid valve depending on the structure

Характеристика	Тип 0	Тип 1	Тип 2
Створки	Две нормально развитые створки	Две недоразвитые створки Одна нормально развитая створка	Две недоразвитые створки Одна нормально развитая створка
Синусы	Два синуса	Три синуса	Три синуса
Комиссуры	Две комиссуры	Одна недоразвитая комиссура Две нормально развитые комиссуры	Две недоразвитые комиссуры Одна нормально развитая комиссура
Шов	–	Один шов	Два шва

Использование ЭхоКГ позволяет оценить конфигурацию клапана, однако низкая разрешающая способность данного метода может привести к неправильной интерпретации важных анатомических особенностей: наличие трех синусов позволяет предполагать трикуспидальное строение аортального клапана, что однако не исключает наличия сращения между створками, которое легко упустить в случае отсутствия места шва.

Роль КТ в диагностике и описании морфологии бикуспидального клапана нельзя переоценить. Сравнивая данный метод с ЭхоКГ, следует отметить, что у КТ есть больше преимуществ при обследовании пациентов в поиске и выявлении аномалий строения клапанов [30]. Правильная предоперационная оценка диаметра фиброзного кольца является ключевым фактором, влияющим на

успех проводимого вмешательства. Недооценка размера с неправильным подбором протеза может привести к таким осложнениям, как выраженная парапротезная регургитация, миграция протеза или разрыв фиброзного кольца. Существующие рекомендации указывают на необходимость проведения МСКТ для оценки морфологии клапана, однако отмечают роль чреспищеводной ЭхоКГ в случае невозможности проведения КТ [31].

Одна из таких классификаций используется для определения различий в клинической картине в соответствии с особенностями анатомического строения аортального клапана (наличие двух или трех комиссур, наличие или отсутствие шва). Клапан с двумя комиссурами, отсутствием шва между створками соответствует типу 0 по классификации Сиверса, а клапан с теми же характеристиками и наличием шва – уже к типу 1 (рис. 3) [32].



Рис. 3. Классификация строения бикуспидального аортального клапана по данным мультиспиральной компьютерной томографии, адаптировано из [32]  
Fig. 3. Classification of the bicuspid aortic valve structure according to MSCT data, adapted from [32]

Трехкомиссуральный клапан также рассматривается в данной классификации, в этом случае сращение происходит в области комиссур. Данный вариант принято называть «приобретенным» или «функциональным», однако стоит помнить, что бicuspidальное строение аортального клапана в основном имеет врожденный характер, за исключением воспалительного генеза, например, при ревматизме (характеризуется пора-

жением всего клапанного аппарата, включая комиссуры) [33].

В 2021 г. в работе International Consensus Statement on Nomenclature and Classification of the Congenital Bicuspid Aortic Valve была принята классификация, включающая в себя три типа БАК: клапан с частичным сращением створок, клапан с двумя аортальными синусами и клапан с полным сращением двух створок (рис. 4) [33].

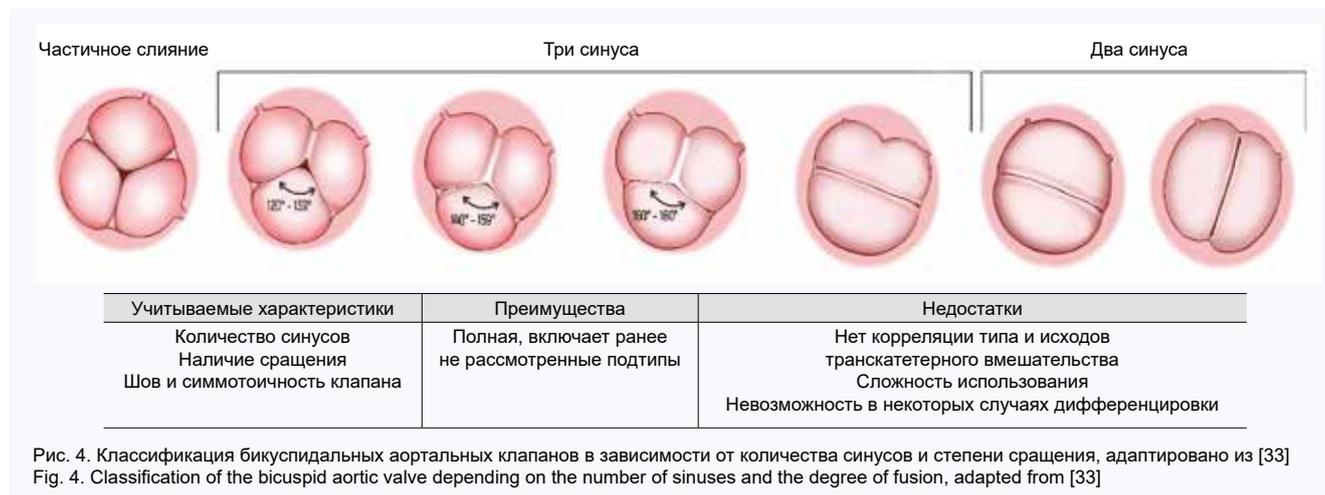


Рис. 4. Классификация бicuspidальных аортальных клапанов в зависимости от количества синусов и степени сращения, адаптировано из [33]  
Fig. 4. Classification of the bicuspid aortic valve depending on the number of sinuses and the degree of fusion, adapted from [33]

Недостатком данной классификации является сложность ее использования, в том числе невозможность дифференцировки между подтипами клапана с использованием данных только КТ. Данная классификация также не выделяет корреляцию между видами клапана и исходом оперативного вмешательства при операции ТИАК, что также создает определенные сложности при определении тактики лечения.

### Возможности транскатетерного протезирования

Попытки использования первых поколений аортальных клапанов у таких пациентов показали недостаточную эффективность проведенной процедуры вследствие появления уже упомянутых парапротезных фистул [34]. Смертность у таких пациентов была сопоставима по частоте с пациентами с трикуспидальной конфигурацией, однако в группе БАК чаще требовался переход к открытому хирургическому вмешательству [5, 13]. Именно поэтому долгое время пациенты с БАК были исключены из исследований, посвященных сравнению ТИАК и открытых хирургических вмешательств у пациентов с АС. По некоторым данным, до 50% пациентов, которым требуется вмешательство на аортальном клапане, имеют бicuspidальную конфигурацию клапана. До 7% пациентов, которым была выполнена ТИАК, имеют бicuspidальную конфигурацию, согласно данным различных регистров [35].

Изменения в дизайне устройств, появление у операторов опыта работы с такими пациентами, а также тщательная оценка размера клапана и предоперационное планирование с использованием данных МСКТ значительно улучшили результаты оперативных вмешательств [15, 16]. Хотя специально организованные проспективные исследования для сравнения результатов вмешательств

у пациентов с бicuspidальной и трикуспидальной конфигурациями не проводились, существующие данные подтверждают схожесть исходов транскатетерного протезирования: показатель годичной смертности составил 4,5 против 7,4% ( $p = 0,64$ ), необходимость имплантации второго клапана – 1,3 против 0,4% ( $p = 0,62$ ), наличие умеренной или тяжелой парапротезной регургитации – 2,7 против 1,8% ( $p = 0,53$ ) [36]. Благодаря изменениям в структуре транскатетерных клапанов стало возможным использование их даже у пациентов с бicuspidальной конфигурацией [18–21].

Важно оценить не только характеристики самого клапана, но и внекардиальные особенности – возможность выполнения трансфеморального протезирования, операционный риск, анатомические особенности (включая аортопатию), строение бедренных и подвздошных сосудов, наличие других кардиологических заболеваний, нуждающихся в коррекции (существование врожденных или приобретенных пороков иных клапанов, выраженный гемодинамически значимый стеноз коронарных артерий). Оценка всех этих особенностей должна помочь в выборе возможного метода оперативного вмешательства, а предпочтение открытому методу следует отдать в случае, если риски неблагоприятного оперативного исхода транскатетерной имплантации выше предполагаемой пользы.

В настоящее время мировое сообщество при выборе тактики лечения у пациентов с бicuspidальной морфологией придерживается следующих правил [37]:

- открытое оперативное вмешательство должно рассматриваться в первую очередь у пациентов младше 70 лет, если нет очевидных противопоказаний к данному методу;
- открытое оперативное вмешательство должно рассматриваться в первую очередь у пациентов младше 75

лет с диаметром восходящей аорты более 45 мм, если нет очевидных противопоказаний к данному методу;

– ТИАК является предпочитаемым методом у пациентов старше 70 лет без выраженных аортопатий или противопоказаний к процедуре.

ТИАК может являться альтернативным методом оперативного лечения у пациентов со стенозом БАК среднего и высокого риска в случае отсутствия факторов, указывающих на необходимость проведения открытого оперативного вмешательства, перечисленных выше. Выделяются следующие категории риска у пациентов с бicuspidальной анатомией [17]:

– пациенты низкого риска: кальциноз створок легкой степени, трехкомиссуральный клапан или анатомия, схожая с трикуспидальной конфигурацией, клапан без шва или без кальциноза шва;

– пациенты среднего риска: выраженный кальциноз створок или выраженный кальциноз шва [24];

– пациенты высокого риска: выраженный кальциноз створок в сочетании с выраженным кальцинозом шва, наличие кругового кальциноза или выраженный асимметричный кальциноз.

Очевидно, что наличие у пациента таких факторов риска, как выраженный кальциноз, удлиненные фибрированные створки, а также скопления кальция на клапане представляет собой высокий риск обструкции устьев коронарных артерий и должно служить противопоказанием к проведению ТИАК.

Выбор правильного размера имплантируемого клапана является важным этапом при планировании транскатетерной имплантации. Размер выбранного протеза должен превышать размеры фиброзного кольца в целях профилактики возникновения парапротезных фистул или миграции имплантируемого клапана [38].

Необходимо упомянуть появление в новых моделях клапанов специализированных конструктивных особенностей для снижения степени парапротезной регургитации. Использование дополнительного слоя перикарда снаружи в качестве так называемой манжеты привело к значительному снижению частоты возникновения парапротезных фистул, поскольку позволяет создать заслонку между клапаном и нативным кальцинозом. Одним из представителей, имеющих такую манжету, является клапан Edwards SAPIEN 3, демонстрирующий определенные успехи у пациентов с различной морфологией аортального клапана.

Появление в клапане Acurate Neo2 подобной технологии позволило сделать его одним из лидеров по частоте имплантации. При этом важно понимать, что данный клапан хоть и является самораскрываемым, однако не является репозиционируемым, что накладывает опре-

деленные ограничения на его применение при сложной морфологии и бicuspidальном строении аортального клапана, поскольку существует риск достижения субоптимальных результатов без возможности коррекции. Последняя модель CoreValve Evolut R также демонстрирует сопоставимые результаты с клапаном SAPIEN 3, но применение данного клапана позволяет предпринимать многократные попытки имплантации в связи с возможностью его репозиции [39].

Такая характеристика протеза является необходимой в связи с повышенной сложностью и высокой степенью кальциноза аортального клапана при бicuspidальной патологии, что порой требует повторной имплантации клапана для достижения оптимального клинического результата.

### Заключение

Таким образом, применение ТИАК у пациентов с бicuspidальной конфигурацией возможно при соблюдении определенных условий, в том числе тщательного подбора пациентов и соответствующего сложности имплантации протеза. Применение эндоваскулярного протезирования сопряжено с определенными осложнениями. Однако у пациентов с высоким риском открытого оперативного вмешательства и подходящей анатомией использование транскатетерных методов позволяет безопасно и эффективно провести лечение АС. Открытому протезированию аортального клапана следует отдать предпочтение у пациентов с низким операционным риском и наличием сопутствующей патологии, также требующей открытого хирургического вмешательства.

Наличие у пациентов факторов неблагоприятной анатомии (расширенный корень аорты, дилатированный восходящий отдел аорты, функциональная аортальная недостаточность) создают технические трудности при имплантации клапанов [25]. Стоит отметить, что правильная подготовка к протезированию, включая тщательное предоперационное планирование, понимание особенностей анатомии клапана (асимметричный кальциноз, морфология клапана и др.), а также достаточный опыт оператора создают необходимые условия для безопасного и эффективного протезирования аортального клапана у пациентов с бicuspidальной конфигурацией. Наличие различных видов протезов позволяет расширить количество пациентов, которым возможно проведение оперативного вмешательства. Тем не менее, вопрос оптимальной модели остается нерешенным, поскольку каждый бicuspidальный клапан имеет свои отличительные характеристики, которые необходимо учитывать при планировании вмешательства.

### Литература / References

- Kong W.K., Delgado V., Poh K.K., Regeer M.V., Ng A.C., McCormack L. et al. Prognostic implications of raphe in bicuspid aortic valve anatomy. *JAMA Cardiol.* 2017;2(3):285–292. DOI: 10.1001/jamacardio.2016.5228.
- Siu S.C., Silversides C.K. Bicuspid aortic valve disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010;55(25):2789–2800. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.12.068.
- Moncla L.M., Briand M., Bossé Y., Mathieu P. Calcific aortic valve disease: mechanisms, prevention and treatment. *Nat. Rev. Cardiol.* 2023;20(8):546–559. DOI: 10.1038/s41569-023-00845-7.
- Michelena H.I., Khanna A.D., Mahoney D., Margaryan E., Topolsky Y., Suri R.M. et al. Incidence of aortic complications in patients with bicuspid aortic valves. *JAMA.* 2011;306(10):1104–1112. DOI: 10.1001/jama.2011.1286.
- McKellar S.H., Michelena H.I., Li Z., Schaff H.V., Sundt T.M. III. Longterm risk of aortic events following aortic valve replacement in patients with bicuspid aortic valves. *Am. J. Cardiol.* 2010;106:1626–1633. DOI: 10.1016/j.amjcard.2010.07.043.
- Regeer M.V., Versteegh M.I., Klautz R.J., Schalij M.J., Bax J.J., Marsan N.A. et al. Effect of aortic valve replacement on aortic root dilatation rate in patients with bicuspid and tricuspid aortic valves. *Ann. Thorac. Surg.* 2016;102:1981–1987. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2016.05.038.
- Girdauskas E., Disha K., Raisin H.H., Secknus M.A., Borger M.A., Kuntze T. Risk of late aortic events after an isolated aortic valve replacement for bicuspid aortic valve stenosis with concomitant ascending aortic dilation. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2012;42:832–837; disc. 837. DOI:10.1093/ejcts/ezs137.
- Avadhani S.A., Martin-Doyle W., Shaikh A.Y., Pape L.A. Predictors of ascending aortic dilation in bicuspid aortic valve disease: a five-year prospective study. *Am. J. Med.* 2015;128(6):647–652. DOI: 10.1016/j.amjmed.2014.12.027.

9. Pacileo G., Calabrò P., Limongelli G., Russo M.G., Pisacane C., Sarubbi B. et al. Left ventricular remodeling, mechanics, and tissue characterization in congenital aortic stenosis. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2003;16(3):214–220. DOI: 10.1067/mje.2003.10.
10. Pacileo G., Pisacane C., Russo M.G., Crepez R., Sarubbi B., Tagliamonte E. et al. Left ventricular remodeling and mechanics after successful repair of aortic coarctation. *Am. J. Cardiol.* 2001;87(6):748–752. DOI: 10.1016/s0002-9149(00)01495-8.
11. Michelena H.I., Desjardins V.A., Avierinos J.F., Russo A., Nkomo V.T., Sundt T.M. et al. Natural history of asymptomatic patients with normally functioning or minimally dysfunctional bicuspid aortic valve in the community. *Circulation.* 2008;117(21):2776–2784. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.740878.
12. Tzemos N., Therrien J., Yip J., Thanassoulis G., Tremblay S., Jamorski M.T. et al. Outcomes in adults with bicuspid aortic valves. *JAMA.* 2008;300(11):1317–1325. DOI: 10.1001/jama.300.11.1317.
13. Roberts W.C., Ko J.M. Frequency by decades of unicuspid, bicuspid, and tricuspid aortic valves in adults having isolated aortic valve replacement for aortic stenosis, with or without associated aortic regurgitation. *Circulation.* 2005;111(7):920–925. DOI: 10.1161/01.CIR.0000155623.
14. Rosenhek R., Zilberszac R., Schemper M., Czerny M., Mundigler G., Graf S. et al. Natural history of very severe aortic stenosis. *Circulation.* 2010;121(1):151–156. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.894170.
15. Popescu B.A., Andrade M.J., Badano L.P., Fox K.F., Flachskampf F.A., Lancellotti P. et al. European Association of Echocardiography recommendations for training, competence, and quality improvement in echocardiography. *Eur. J. Echocardiogr.* 2009;10(8):893–905. DOI: 10.1093/ejechocard/jeq151.
16. Baumgartner H., Hung J., Bermejo J., Chambers J.B., Edvardsen T., Goldstein S. et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a focused update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging.* 2017;18:254–275. DOI: 10.1093/ehjci/jev335.
17. Xiong T.Y., Ali W.B., Feng Y., Hayashida K., Jilaihawi H., Latib A. et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid valve morphology: a roadmap towards standardization. *Nat. Rev. Cardiol.* 2023;20(1):52–67. DOI: 10.1038/s41569-022-00734-5.
18. Kodali S.K., Williams M.R., Smith C.R., Svensson L.G., Webb J.G., Makkar R.R. et al. Two-year outcomes after transcatheter or surgical aortic-valve replacement. *N. Engl. J. Med.* 2012;366(18):1686–1695. DOI: 10.1056/NEJMoa1200384.
19. Smith C.R., Leon M.B., Mack M.J., Miller D.C., Moses J.W., Svensson L.G. et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N. Engl. J. Med.* 2011;364(23):2187–2198. DOI: 10.1056/NEJMoa1103510.
20. Adams D.H., Popma J.J., Reardon M.J., Yakubov S.J., Coselli J.S., Deeb G.M. et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding prosthesis. *N. Engl. J. Med.* 2014;370(19):1790–1798. DOI: 10.1056/NEJMoa1400590.
21. Popma J.J., Deeb G.M., Yakubov S.J., Mumtaz M., Gada H., O'Hair D. et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding valve in low-risk patients. *N. Engl. J. Med.* 2019;380(18):1706–1715. DOI: 10.1056/NEJMoa1816885.
22. Braghieri J., Kapoor K., Thielhelm T.P., Ferreira T., Cohen M.G. Transcatheter aortic valve replacement in low risk patients: a review of PARTNER 3 and Evolut low risk trials. *Cardiovasc. Diagn. Ther.* 2020;10(1):59–71. DOI: 10.21037/cdt.2019.09.12.
23. Van Rosendaal P.J., Delgado V., Bax J.J. Pacemaker implantation rate after transcatheter aortic valve implantation with early and new-generation devices: a systematic review. *Eur. Heart J.* 2018;39(21):2003–2013. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx785.
24. Yoon S.H., Kim W.K., Dhoble A., Milhorini Pio S., Babaliaros V., Jilaihawi H. et al. Bicuspid aortic valve morphology and outcomes after transcatheter aortic valve replacement. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020;76(9):1018–1030. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.07.005.
25. 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. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2007.01.039.
26. Mylotte D., Lefevre T., Søndergaard L., Watanabe Y., Modine T., Dvir D. et al. Transcatheter aortic valve replacement in bicuspid aortic valve disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2014;64(22):2330–2339. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.09.039.
27. Koenraadt W.M.C., Siebelink H.J., Bartelings M.M., Schalij M.J., van der Vlugt M.J., van den Bosch A.E. et al. Coronary anatomy in Turner syndrome versus patients with isolated bicuspid aortic valves. *Heart.* 2019;105(9):701–707. DOI: 10.1136/heartjnl-2018-313724.
28. Roos-Hesselink J.W., Schölzel B.E., Heijdra R.J., Spitaels S.E., Meijboom F.J., Boersma E. et al. Aortic valve and aortic arch pathology after coarctation repair. *Heart.* 2003;89(9):1074–1077. DOI: 10.1136/heart.89.9.1074.
29. Angelini A., Ho S.Y., Anderson R.H., Devine W.A., Zuberbühler J.R., Becker A.E. et al. The morphology of the normal aortic valve as compared with the aortic valve having two leaflets. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1989;98:362–367. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2770318/> (17.05.2024).
30. Tanaka A., Yoshioka K., Niinuma H., Ohsawa S., Okabayashi H., Ehara S. Diagnostic value of cardiac CT in the evaluation of bicuspid aortic stenosis: comparison with echocardiography and operative findings. *Am. J. Roentgenol.* 2010;195(4):895–899. DOI: 10.2214/AJR.09.3164.
31. Vahanian A., Beyersdorf F., Praz F., Milojevic M., Baldus S., Bauersachs J. et al.; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* 2022;43(7):561–632. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab395.
32. Jilaihawi H., Chen M., Webb J., Himbert D., Ruiz C.E., Rodés-Cabau J. et al. A bicuspid aortic valve imaging classification for the TAVR era. *J. Am. Coll. Cardiol. Img.* 2016;9(10):1145–1158. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.12.022.
33. Michelena H.I., Della Corte A., Evangelista A., Maleszewski J.J., Edwards W.D., Roman M.J. et al. International consensus statement on nomenclature and classification of the congenital bicuspid aortic valve and its aortopathy, for clinical, surgical, interventional and research purposes. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2021;60(3):448–476. DOI: 10.1093/ejcts/ezab038.
34. Pasta S., Cannata S., Gentile G., Di Giuseppe M., Cosentino F., Pasta F. et al. Simulation study of transcatheter heart valve implantation in patients with stenotic bicuspid aortic valve. *Med. Biol. Eng.* 2020;58(4):815–829. DOI: 10.1007/s11517-020-02138-4.
35. Hira R.S., Vemulapalli S., Li Z., McCabe J.M., Rumsfeld J.S., Kapadia S.R. et al. Trends and outcomes of off-label use of transcatheter aortic valve replacement: insights from the NCDR STS/ACC TVT registry. *JAMA Cardiol.* 2017;2(8):846–854. DOI: 10.1001/jamacardio.2017.1685.
36. Yoon S.H., Bleiziffer S., De Backer O., Delgado V., Arai T., Ziegelmueller J. et al. Outcomes in transcatheter aortic valve replacement for bicuspid versus tricuspid aortic valve stenosis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2017;69(21):2579–2589. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.03.017.
37. Baumgartner H., Falk V., Bax J.J., De Bonis M., Hamm C., Holm P.J. et al. 2017 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur. Heart J.* 2017;38(36):2739–2791. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx391.
38. Willson A.B., Webb J.G., Labounty T.M., Achenbach S., Moss R., Wheeler M. et al. 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography predicts moderate or severe paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: a multicenter retrospective analysis. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2012;59(14):1287–1294. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.12.015.
39. Reardon M.J., Adams D.H., Kleiman N.S., Yakubov S.J., Coselli J.S., Deeb G.M. et al. 2-year outcomes in patients undergoing surgical or self-expanding transcatheter aortic valve replacement. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015;66(2):113–121. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.05.017.

## Информация о вкладе авторов

Мкртычев Д.С. – написание текста рукописи, сбор материала для статьи.

Комлев А.Е. – проверка критически важного содержания, написание текста рукописи, утверждение рукописи для публикации.

Коллегаев А.С., Имаев Т.Э. – проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации.

## Information on the author's contribution

Mkrtychev D.S. – manuscript text, selection of the material for the article. Komlev A.E. – review of critically important material, manuscript text, approval of the manuscript for publication.

Kolegaev A.S., Imaev T.E. – review of critically important material, approval of the manuscript for publication.

## Сведения об авторах

**Мкртычев Давид Самвелович**, аспирант, врач-сердечно-сосудистый хирург, НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, <http://orcid.org/0000-0001-8916-3671>.

E-mail: [david\\_97@mail.ru](mailto:david_97@mail.ru).

**Комлев Алексей Евгеньевич**, врач-кардиолог, отдел сердечно-сосудистой хирургии, Институт клинической кардиологии им. ак. А.Л. Мясникова, НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, <http://orcid.org/0000-0001-6908-7472>.

E-mail: [pentatonika@bk.ru](mailto:pentatonika@bk.ru).

**Колегаев Александр Сергеевич**, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, врач-сердечно-сосудистый хирург, лаборатория гибридных методов лечения сердечно-сосудистых заболеваний, отдел сердечно-сосудистой хирургии, Института клинической кардиологии им. ак. А.Л. Мясникова, НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, <http://orcid.org/0000-0002-5054-1310>.

E-mail: [kolegaev-as@yandex.ru](mailto:kolegaev-as@yandex.ru).

**Имаев Тимур Эмвярович**, д-р мед. наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории гибридных методов лечения сердечно-сосудистых заболеваний, отдел сердечно-сосудистой хирургии, Институт клинической кардиологии им. ак. А.Л. Мясникова, НМИЦ кардиологии им. акад. Е.И. Чазова Минздрава России, Москва, <http://orcid.org/0000-0002-5736-5698>.

E-mail: [imaev.timur@mail.ru](mailto:imaev.timur@mail.ru).

 **Мкртычев Давид Самвелович**, e-mail: [david\\_97@mail.ru](mailto:david_97@mail.ru).

Поступила 09.04.2024;  
рецензия получена 16.05.2024;  
принята к публикации 28.05.2024.

## Information about the authors

**David S. Mkrtychev**, Postgraduate Student, Cardiovascular Surgeon, National Medical Research Centre of Cardiology named after acad. E.I. Chazov, Moscow, <http://orcid.org/0000-0001-8916-3671>.

E-mail: [david\\_97@mail.ru](mailto:david_97@mail.ru).

**Alexey E. Komlev**, Cardiologist, Department of Cardiovascular Surgery, Institute of Clinical Cardiology named after acad. A.L. Myasnikov, National Medical Research Centre of Cardiology named after acad. E.I. Chazov, Moscow, <http://orcid.org/0000-0001-6908-7472>.

E-mail: [pentatonika@bk.ru](mailto:pentatonika@bk.ru).

**Alexander S. Kolegaev**, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Cardiovascular Surgeon, Laboratory of Hybrid Methods of Treatment of Cardiovascular Diseases, Institute of Clinical Cardiology named after acad. A.L. Myasnikov, National Medical Research Centre of Cardiology named after acad. E.I. Chazov, Moscow, <http://orcid.org/0000-0002-5054-1310>.

E-mail: [kolegaev-as@yandex.ru](mailto:kolegaev-as@yandex.ru).

**Timur E. Imaev**, Dr. Sci. (Med.), Chief Research Scientist, Head of the Laboratory of Hybrid Methods of Treatment of Cardiovascular Diseases, Department of Cardiovascular Surgery, Institute of Clinical Cardiology named after acad. A.L. Myasnikov, National Medical Research Centre of Cardiology named after acad. E.I. Chazov, Moscow, <http://orcid.org/0000-0002-5736-5698>.

E-mail: [imaev.timur@mail.ru](mailto:imaev.timur@mail.ru).

 **David S. Mkrtychev**, e-mail: [david\\_97@mail.ru](mailto:david_97@mail.ru).

Received 09.04.2024;  
review received 16.05.2024;  
accepted for publication 28.05.2024.