



Обзор

# Методы визуализации в планировании транскатетерной имплантации аортального клапана (стандартизация протоколов сканирования, измерений и отчета)

Буланова М.В.<sup>1</sup> • Коков Л.С.<sup>1,2</sup> • Муслимов Р.Ш.<sup>1</sup>

**Буланова Марина Викторовна** – врач-рентгенолог, отделение лучевой диагностики<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4323-6702>

✉ 129090, г. Москва, Большая Сухаревская пл., 3, Российская Федерация. Тел.: +7 (916) 456 67 80. E-mail: [marellabmv@mail.ru](mailto:marellabmv@mail.ru)

**Коков Леонид Сергеевич** – д-р мед. наук, профессор, академик РАН, руководитель отделения лучевой диагностики<sup>1</sup>; заведующий кафедрой лучевой диагностики Института профессионального образования<sup>2</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>

**Муслимов Рустам Шахисмаилович** – канд. мед. наук, вед. науч. сотр., отделение лучевой диагностики<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5430-8524>

В обзорной статье представлено состояние вопроса о роли различных методов визуализации в предоперационной подготовке к транскатетерной имплантации биологического протеза аортального клапана, изученное на основании данных литературы, опубликованной в период с 2012 по 2020 г. Одним из ключевых источников послужил консенсусный документ Европейского общества сердечно-сосудистой радиологии (ESCR) от 2019 г., в котором приведены стандартизированные протоколы сканирования, измерения и описания выявленных изменений. Окончательное решение относительно процедуры транскатетерной имплантации аортального клапана (TAVI) должно опираться на комбинацию всех доступных методов диагностики, клинических данных и данных визуализации разных модальностей. С учетом наибольшей информативности основным методом диагностики следует признать компьютерную томографию. Рентгенолог образует единое

целое с мультидисциплинарной командой: совмещая клинические и технические знания, он обсуждает все полученные изображения и заключения вместе с другими членами команды.

**Ключевые слова:** стеноз аортального клапана, компьютерная томография, методы визуализации, транскатетерная имплантация аортального клапана

**Для цитирования:** Буланова МВ, Коков ЛС, Муслимов РШ. Методы визуализации в планировании транскатетерной имплантации аортального клапана (стандартизация протоколов сканирования, измерений и отчета). Альманах клинической медицины. 2021;49(1):80–8. doi: 10.18786/2072-0505-2021-49-005.

Поступила 09.12.2020; доработана 24.12.2020; принята к публикации 01.02.2021; опубликована онлайн 20.02.2021

<sup>1</sup> ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; 129090, г. Москва, Большая Сухаревская пл., 3, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет); 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, 8/2, Российская Федерация

**А**ортальный стеноз (АС) – один из наиболее распространенных пороков сердца, может быть врожденным и приобретенным. В подавляющем большинстве случаев причинами приобретенного АС, встречающегося у людей преклонного возраста с частотой от 40 до 75%, выступают дегенеративные поражения аортального клапана (АК). Они, в свою очередь, обусловлены нарушениями

нейротрофических процессов вследствие возрастных изменений, на фоне которых со временем возникает сморщивание створок клапана и уменьшение площади его отверстия [1, 2].

Хирургическое протезирование клапана дает хорошие результаты, именно поэтому оно относится к первому классу показаний. Однако операцию на открытом сердце проводят лишь ограниченному числу больных. Остальным из-за



неприемлемо высокого риска, обусловленного возрастом, сниженной сократимостью левого желудочка, легочной гипертензией и сопутствующей патологией, в данном способе лечения откладываются. В качестве альтернативы предложена методика транскатетерной имплантации АК, впервые выполненная французским кардиохирургом А. Срибьер в 2002 г. [1–3].

Целью настоящей обзорной статьи стало изучение состояния вопроса о роли различных методов визуализации в предоперационной подготовке к транскатетерной имплантации биологического протеза аортального клапана по данным отечественной и зарубежной литературы, опубликованной в период с 2012 по 2020 г.

### **Показания и предоперационная подготовка к транскатетерной имплантации аортального клапана**

Процедура транскатетерной замены или имплантации АК в зарубежной литературе формулируется как TAVI/TAVR (transcatheter aortic valve implantation/replacement) или PAVR (percutaneous aortic valve replacement) – чрескожная замена АК. Проведение данного вида вмешательства возможно различными путями доступа: трансфеморальным, трансаортальным, трансапикальным, субклавикулярным [1–3].

В настоящее время общепринятые клинические показания к TAVI обобщены из руководящих принципов ESC/EACTS (European Society of Cardiology/European Association of Cardio-Thoracic Surgery – Европейское общество кардиологов/Европейское общество кардиоторакальных хирургов) и АНА/ACC (American Heart Association/American College of Cardiology – Американская кардиологическая ассоциация/Американская коллегия кардиологов), а также из недавно обновленного ACC/АНА экспертного консенсусного документа по принятию решений от 2017 г. [4, 5]. Показания определяются на основании совокупности клинических и инструментальных данных пациентов, в сумме превышающих определенный уровень (процентный показатель), что служит противопоказанием к открытой операции. Применяется также оценка хирургического риска по критериям EuroSCORE II (European System for Cardiac Operative Risk Evaluation – Европейская система оценки кардиологического риска) и/или по критериям STS (Society of Thoracic Surgeons – Общество торакальных хирургов), используемая для прогнозирования процедурного риска при хирургической замене клапана. Высокому риску

оперативного вмешательства соответствует показатель по шкале EuroSCORE II  $\geq 15$ –20% или STS  $\geq 8$ –10%. Однако результаты последних исследований указывают на потенциальное расширение показаний к процедуре TAVI для пациентов с промежуточным хирургическим риском, применяемой при использовании как саморасширяющихся, так и баллон-расширяемых клапанов [6].

В Российской Федерации методика применяется с 2010 г. [7]. Сертифицированы и используются в клинике зарубежные модели протезов клапанов Edwards SAPIEN XT (Edwards Lifesciences) и Medtronic CoreValve (Medtronic, Inc.) [1, 2], зарегистрирован российский протез клапана сердца на основе синтетического материала МедЛаб-КТ (ЗАО НПП «МедИнж», г. Пенза, Российская Федерация) [8, 9].

В 2019 г. рабочей группой исследователей ESCR (European Society of Cardiovascular Radiology – Европейское общество сердечно-сосудистой радиологии) подготовлен консенсусный документ, который регламентирует использование компьютерно-томографической (КТ)- и магнитно-резонансной (МР)-визуализации до проведения TAVI. Особое значение придается техническим требованиям и стандартизации протоколов сканирования, которые должны быть адаптированы к значительной вариабельности сканеров, применяемых в настоящее время в клинической практике; кроме того, сформулированы рекомендации относительно всех необходимых допроцедурных измерений и стандартизации медицинской отчетности, с тем чтобы обеспечить качество и согласованность представленных данных и терминологии [10].

Консенсусный документ включает контроль и обсуждение перед TAVI всех аспектов процесса отбора мультидисциплинарной группой специалистов, называемой «команда сердечного клапана» (Heart Valve Team) или «команда сердца» (Heart Team). Рентгенолог – ее неотъемлемая часть [10].

Комплексная оценка тяжелого АС, по данным документа, включает диагностику и классификацию тяжелого стеноза АК и основывается на симптомах пациентов и данных визуализации, касающихся анатомии и гемодинамики АК. Неинвазивная диагностика включает доплеровскую трансторакальную эхокардиографию (ЭхоКГ), КТ-ангиографию грудной аорты и сердца с кардиосинхронизацией (первый этап), КТ-ангиографию брюшной аорты и подвздошно-бедренных сегментов (второй этап) или магнитно-резонансную томографию (МРТ)



с контрастным усилением. Перед проведением транскатетерной имплантации протеза АК кроме выполнения стандартного предоперационного обследования необходимо проведение полного комплекса диагностических процедур, таких как электрокардиография (ЭКГ), интервенционная коронароангиография (у пациентов с риском при ишемической болезни сердца), аортография [10].

Типы клапанных устройств подразделяются на две категории: баллон-расширяемые и саморасширяющиеся. Они имеют различные физические свойства, потенциальные пути доступа для доставки и выбор систем доставки. Осложнения, такие как постпроцедурная паравальвулярная регургитация и нарушения проводимости, носят многофакторный характер и частично связаны с типом используемого протеза [2, 10].

Трансторакальная и/или чреспищеводная ЭхоКГ представляет собой основной первичный инструмент визуализации для диагностики АС, подтверждения его наличия, определения степени тяжести и предоставления анатомической и функциональной информации. Количественные и качественные данные отображаются с использованием доплеровских методов [10–12]. При тяжелом высокоградиентном АС максимальная скорость кровотока через отверстие АК равна 4 м/с или более, средний трансортальный градиент составляет  $\geq 40$  мм рт. ст., площадь АК  $\leq 1,0$  см<sup>2</sup>, но в некоторых ситуациях она может быть больше. Кроме того, визуально оценивается степень кальцификации АК. Площадь раскрытия АК не измеряется непосредственно, а вычисляется с применением уравнения непрерывности [10–14].

Важно точное определение анатомии АК, в частности – диагностика двустворчатого клапана, часто имеющего массивный кальциноз. С помощью ультразвуковых методов диагностики из-за выраженного феномена акустической тени невозможно достоверно определить количество створок и площадь раскрытия АК. В данной ситуации методом выбора для визуализации и детальной оценки строения АК служит КТ [10, 15, 16].

## Применение компьютерной томографии

Стандартизация протоколов сканирования

Протокол получения КТ-изображений должен включать исследование с контрастным усилением, ЭКГ-синхронизацией на уровне корня аорты. Реконструкция должна иметь толщину среза 1 мм или менее, предпочтительно с несколькими реконструированными сердечными фазами,

включая систолическую, в связи с чем требуется по меньшей мере 64-срезовый или двухэнергетический аппарат. Диапазон сканирования – от подключичных артерий до поверхностных бедренных артерий на уровне головки бедренной кости. Обе фазы сканирования могут быть получены в один прием, но в большинстве случаев предпочтительны два отдельных протокола (один – для корня аорты, другой – для сосудистого доступа) во время одного сеанса [10, 15–19].

Компьютерная томография корня аорты

Корень аорты простирается от выходного тракта левого желудочка до синотубулярного соединения и имеет центральную и двойную косую ориентацию в сердце. Оценка корня аорты должна включать описание морфологии АК и измерение параметров кольца на различных уровнях поперечного сечения. АК имеет сложную полукруглую, коронобразную трехмерную морфологию. Аортальное кольцо не является реальной анатомической структурой и обозначается как виртуальное кольцо стенки аорты, образованное путем соединения крайних мест прикрепления створок АК в базальной части синусов Вальсальвы. По сути, оно не содержит никакой фиброзной ткани. Таким образом, плоскость аортального кольца определяется путем соединения этих трех самых низких точек створок АК (так называемая кольцевая плоскость, расположенная чуть ниже вен-трикулоаортального перехода).

КТ корня аорты следует проводить с ЭКГ-синхронизацией ретроспективно или проспективно с получением высококачественных изображений. Измерения рекомендуется выполнять в систолическую фазу, поскольку аортальное кольцо претерпевает конформационные изменения в течение сердечного цикла и обычно наиболее велико в систолу. Однако показатель качества изображения превалирует над выбором фазы сердечного ритма: в зависимости от характеристик пациента и технических факторов диастолические изображения могут быть более высокого качества и, соответственно, обеспечивать более достоверные измерения. Измерения проводятся из реконструкции в систолическую фазу в диапазоне от 20 до 45% интервала R-R, используя фазу с максимальным раскрытием клапана, как это выполняется при ЭхоКГ. Для проспективного сканирования следует применять широкое пульсирующее окно, что позволяет реконструировать несколько фаз, увеличивая вероятность наличия по крайней мере одной свободной от движения фазы в случае аритмии.



**Таблица 1.** Визуальное описание и полуколичественная пре-TAVI градация кальцификации аортального клапана (цитировано по [10])

Степень кальциевых отложений	Значение показателя
–	Отсутствие кальцификаций
Мягкая	Небольшие изолированные очаги, не включающие комиссуры и места прикрепления
Умеренная	Большие сливные кальцификации, затрагивающие 2 створки, или небольшие изолированные очаги на уровне всех комиссур и мест прикрепления
Тяжелая	Большие сливные кальцификации, поражающие все створки

Дополнительно включено в протокол бесконтрастное сканирование области корня аорты с использованием параметров, аналогично получаемых при бесконтрастной КТ для подсчета коронарного кальция (срезы толщиной 3 мм). Это позволяет рассчитать кальциевый индекс АК. Протокол КТ обычно аналогичен применяемому для кальциевого подсчета (скоринга) коронарных артерий с аксиальными реконструкциями толщиной 3 мм. В расчет включаются только кальцификации на створках АК [10, 14, 15, 17, 20–23].

Выявление двустворчатого АК значимо, поскольку, как известно, осложнения двустворчатого клапана, такие как ремоделирование и дегенерация, развиваются быстрее и чаще, чем в трикуспидальных клапанах. Обнаружение двустворчатого клапана не служит противопоказанием для этого вида вмешательства, но может усугубить процедурную сложность и вызвать повышение частоты сердечных сокращений после имплантации [10, 24].

Кроме этого, рекомендуется измерять в корне аорты минимальное расстояние от кольца до левого и правого устьев коронарных артерий. Коронарная обструкция, возникшая в результате миграции кальцификатов нативного клапана во время раскрытия устройства, представляет собой редкое осложнение с частотой от 0,8 до 3,5%. Риск обструкции считается низким, если это расстояние составляет более 10–14 мм [10, 14, 15, 17, 22–25].

Объем, локализация и распределение кальцинатов аортального клапана

Из-за механического воздействия чрезмерная или эксцентрическая кальцификация «зоны имплантации» может препятствовать надлежащему прикреплению протеза, что ведет к появлению

зазоров между протезом клапана и аортальным кольцом. Это, в свою очередь, может привести к возникновению паравальвулярной регургитации. Аналогично, тяжелая кальцификация АК может повышать риск разрыва кольца при расширении баллоном, смещения протеза, обструкции устьев коронарных артерий, эмболии и инсульта [10, 15, 25–30].

Кроме количественных оценок для диагностики АК, которые могут быть выполнены с помощью КТ с использованием методов кальциевого скоринга в отдельных случаях, рекомендуется классифицировать кальцификацию как симметричную или асимметричную, визуально оценивать степень кальциевых отложений клапанов (мягкая, умеренная или тяжелая), при этом учитывая количество пораженных створок и расположение на них (края створки, комиссуры и места прикрепления), а также картину распределения (диффузное, фокусное, субвальвулярное). Предложенная классификация для визуальной градации кальцификации АК представлена в табл. 1 [10, 17, 25–30].

Компьютерная томография всей аорты и подвздошных артерий

Для оценки брюшной аорты и подвздошных сосудов допустим некардиосинхронизированный сбор данных. Обычно он применяется вторым исследованием, после сканирования корня аорты [7, 10, 15].

Оценка путей доступа

Протез сердечного клапана транспортируют к корню аорты с использованием эндоваскулярного способа доставки. В настоящее время доступно несколько вариантов. Предпочтительным для всех устройств остается артериальный трансфemorальный доступ. Альтернативные точки входа через подключичную, общую сонную и брахиоцефальную артерии также возможны как для баллон-расширяемых, так и для саморасширяющихся протезов.

Протезы поставляются с индивидуальной специальной системой доставки для транспортировки протезного клапана. Минимальный собственный размер сосуда должен быть больше наружного диаметра выбранной системы доставки. В зависимости от выбранной системы доставки и размера протеза минимальный диаметр сосуда может составлять всего лишь 5,5 мм. Следует определить такие факторы риска, как количество и распределение атеросклеротических бляшек (в частности, циркулярных), тромбов и кальцинатов; малый размер сосуда (в соотношении



с наружным диаметром используемой системы доставки); выраженная извитость подвздошных артерий и аорты [2, 7, 10, 15, 29, 30].

#### Неэндоваскулярный доступ

Трансапикальный доступ в левый желудочек возможен в том случае, если в грудной стенке и миокарде верхушки сердца нет никаких патологических изменений (например, апикальный инфаркт, наличие тромба). Необходимо указывать на наличие любых препятствий или отклонений от нормы на выбранном пути доступа. Кроме того, следует измерить угол наклона между вершиной левого желудочка и его выходного тракта, так как более крутые углы (аортовентрикулярный угол  $> 70^\circ$ ) могут осложнить процедуру с жесткими системами доставки и связаны с более высокой частотой возникновения постпроцедурной аортальной регургитации.

Если рассматривается трансаортальный доступ, важно указать количество и расположение кальцинатов стенки в восходящей аорте, поскольку обширная кальцификация стенки аорты может нарушить продвижение устройства и увеличить риск развития осложнений. Необходимо также описывать любые изменения в прилегающей паренхиме легких и грудной клетке [1, 2, 10, 15, 29, 30].

Необходимые компьютерно-томографические измерения и особенности визуализации перед процедурой

Обзор всех необходимых измерений приведен в табл. 2. КТ всей аорты фактически представляет собой КТ всего тела. Таким образом, помимо всех оценок и измерений, описанных выше, необходима тщательная оценка результатов экстраартериальных изменений. Каждая выявленная случайная находка должна быть зафиксирована, поскольку это может повлиять на принятие решения о тактике лечения [10, 15].

Измерения для процедуры «клапан-в-клапан»

Створки ранее установленного биологического протеза со временем (в отдаленном периоде – через 5–10 лет) становятся ригидными, что приводит к его дисфункции, обусловленной дегенеративными изменениями структуры. Возникает необходимость репротезирования. Повторная хирургическая имплантация связана с большим риском осложнений и летальности. В данных ситуациях альтернативой открытым вмешательствам на АК становится проведение малоинвазивной операции – транскатетерной имплантации биопротезов

АК с бесшовным способом фиксации. Однако применение методики «клапан-в-клапан» может приводить к различным интра- и послеоперационным осложнениям (транспротезный градиент, пара- и транспротезная регургитация, неверное позиционирование и смещение устройства, нарушение внутрисердечной проводимости вплоть до блокады, обструкция коронарных артерий, повреждения стенки аорты). Для предотвращения подобных исходов необходимо проведение тщательного исследования со стандартизированными протоколами. К важнейшим факторам при планировании TAVI относятся вид и конструктивные особенности ранее имплантированного биопротеза АК (каркасный или бескаркасный, рентгено-негативный или рентгенопозитивный), а также подробные данные всех его размеров (внутренний и наружный диаметры, высота, размер собственно протеза) [10, 15, 31, 32].

#### Применение магнитно-резонансной томографии

MPT имеет много потенциальных преимуществ в планировании TAVI. Прежде всего, метод позволяет количественно и без облучения оценивать стеноз и регургитацию АК, а также дает точную оценку влияния клапанной патологии на функцию желудочков, определяет наличие и выраженность макроскопического фиброза миокарда. MPT может предоставить все измерения, необходимые для процедуры, что сопоставимо с КТ сердца. Дополнительное преимущество визуализации с помощью MPT заключается в том, что использование контрастного вещества на основе гадолиния вызывает меньше побочных аллергических реакций, чем его аналог на основе йода при КТ. Однако это не исключает возможность нефротоксического поражения, что должно учитываться у пациентов с тяжелыми нарушениями функции почек. Использование MPT гораздо менее распространено по сравнению с КТ вследствие следующих факторов: большая техническая сложность и длительность исследования, необходимость более высокой степени сотрудничества с пациентами, противопоказания к проведению исследования при наличии МР-несовместимого имплантированного электрокардиостимулятора, кардиовертера-дефибриллятора, кохлеарного имплантата, МР-несовместимых металлических конструкций. Кроме того, кальцификация клапанов, хотя и видимая, визуализируется при MPT с меньшей детализацией, и никакая количественная оценка кальция невозможна. Тем не менее в каждом конкретном случае MPT может

**Таблица 2.** Обзор необходимых компьютерно-томографических измерений (цитировано по [10])

Анатомическая структура	Компонент, параметры	Характеристика	
Аортальный клапан	Количество створок	Двустворчатый / трикуспидальный / неопределяемый	
	Кальцификация клапана	Объем (от отсутствующего до тяжелого) / локализация / распределение	
	Подклапанная (субвальвулярная) кальцификация	Наличие/отсутствие, локализация, объем	
	Количественное определение кальцификации створок клапанов	Использовать метод Агатстона, метод Доплера по эхокардиографии – только при противоречивых результатах	
Аортальное кольцо	Диаметр по короткой и длинной оси, мм	Предпочтительны систолические измерения, следует выбрать правильную двойную косую ориентацию плоскости кольца	
	Периметр, мм		
	Площадь, мм <sup>2</sup>		
Аортальный синус	Высота, мм	Требования различаются в зависимости от типа протеза и производителя	
	Ширина, мм		
	Расстояние от кольца до устьев коронарных артерий, мм		
	Диаметр синотубулярного перехода, мм		
Аорта	Максимальный поперечный диаметр восходящей аорты, мм	Объем и распределение кальцификации, тромбов, язвенных бляшек, других находок	
	Поперечный диаметр на различных уровнях, мм		
	Характеристики стенки		
Путь доступа	Диаметр подключичной и общей сонной артерий, мм	Требуются минимальные диаметры просвета	
	Диаметр брахиоцефального ствола, мм		
	Диаметр общих и наружных подвздошных артерий, мм		
	Диаметр общих бедренных артерий, мм		
	Характеристики стенки	Объем и распределение кальцификации, тромбов, язвенных бляшек, других находок	
	Верхушка левого желудочка		Характеристика миокарда, наличие тромбов, другие данные
	Восходящая аорта		

рассматриваться в качестве альтернативного метода исследования [10, 33].

## Обсуждение

Клиническое принятие решения по отбору кандидатов для TAVI – сложный многофакторный процесс, в ходе которого учитываются не только специфические гемодинамические и анатомические особенности, но и более общее понимание соотношения риска и пользы процедуры, формируемое на основании оценки состояния пациента,

наличия сопутствующих заболеваний и степени его нетрудоспособности.

Многомодальная визуализация играет важную роль в этом мультидисциплинарном процессе принятия решений, позволяя выбрать подходящее клапанное устройство и вид процедурного доступа, минимизировать частоту осложнений и улучшить состояние пациента.

КТ остается предпочтительным и наиболее широко используемым инструментом в клинической практике для получения всей необходимой



допроцедурной информации о размерах и морфологии аортального кольца и корня аорты, а также анатомии коронарных артерий и периферических сосудов. МРТ выступает альтернативной модальностью в случае, если КТ невозможно провести по тем или иным причинам.

Стандартизация измерений может увеличить воспроизводимость и тем самым снизить частоту осложнений, связанных с этой процедурой. Существует ряд автоматизированных программных обеспечений для постобработки изображений КТ, которые были разработаны для выполнения предоперационного измерения с высокой точностью воспроизводимости и меньшим

временем постобработки изображений по сравнению с обычным программным обеспечением КТ [10, 15, 34, 35].

## Заключение

Окончательное решение относительно проведения процедуры TAVI помимо клинического отбора опирается на комбинацию всех доступных методов диагностики, данных визуализации разных модальностей. Ведущую роль выполняет неинвазивная КТ-томография, предоставляющая исчерпывающую информацию, необходимую для корректного подбора пациентов и проведения успешной процедуры. ☺

## Дополнительная информация

### Финансирование

Работа проведена без привлечения дополнительного финансирования со стороны третьих лиц.

### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### Участие авторов

Все авторы внесли равный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией, согласны нести ответственность за все аспекты работы и гарантируют, что ими надлежащим образом были рассмотрены и решены вопросы, связанные с точностью и добросовестностью всех частей работы.

## Литература / References

1. Молчанов АН, Идов ЭМ, Кондрашов АВ, Чернышев СД, Кардапольцев ЛВ, Липская НА. Исторические и современные клинические аспекты транскатетерной имплантации аортального клапана. Вестник Уральской медицинской академической науки. 2016;2(57):134–146. doi: 10.22138/2500-0918-2016-14-2-134-146. [Molchanov AN, Idov EM, Kondrashov AV, Chernyshov SD, Kardapoltsev LV, Lipskaja NA. [Historical and contemporary clinical aspects of transcatheter aortic valve implantation]. Journal of Ural Medical Academic Science. 2016;2(57):134–146. Russian. doi: 10.22138/2500-0918-2016-14-2-134-146.]
2. Имаев ТЭ, Комлев АЕ, Акчурин РС. Транскаатетерная имплантация аортального клапана. Состояние проблемы, перспективы в России. Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2015;11(1):53–59. [Imaev TE, Komlev AE, Akchurin RS. [Transcatheter aortic valve implantation. State of the problem and prospects in Russia]. Rational Pharmacotherapy in Cardiology. 2015;11(1):53–59. Russian. doi: 10.20996/1819-6446-2015-11-1-53-59.]
3. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, Borenstein N, Tron C, Bauer F, Derumeaux G, Anselme F, Laborde F, Leon MB. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. Circulation. 2002;106(24):3006–3008. doi: 10.1161/01.cir.0000047200.36165.b8.
4. Рабочая группа по ведению пациентов с клапанной болезнью сердца Европейского общества кардиологов (ЕОК, ESC) и Европейской ассоциации кардио-торакальной хирургии (EACTS). Рекомендации ESC/EACTS 2017 по лечению клапанной болезни сердца. Российский кардиологический журнал. 2018;(7):103–155. doi: 10.15829/1560-4071-2018-7-103-155. [The task force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) 2017. [ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease]. Russian Journal of Cardiology. 2018;(7):103–155. Russian. doi: 10.15829/1560-4071-2018-7-103-155.]
5. Martin AK, Mohananeey D, Ranka S, Riha H, Núñez-Gil IJ, Ramakrishna H. The 2017 European Society of Cardiology (ESC)/European Association of Cardiothoracic Surgeons (EACTS) Guidelines for Management of Valvular Heart Disease—Highlights and Perioperative Implications. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2018;32(6):2810–2816. doi: 10.1053/j.jvca.2018.05.015.
6. Kofler M, Reinstadler SJ, Stastny L, Dumfarth J, Reindl M, Wachter K, Rustenbach CJ, Müller S, Feuchtner G, Friedrich G, Metzler B, Grimm M, Bonaros N, Baumbach H. EuroSCORE II and the STS score are more accurate in transapical than in transfemoral transcatheter aortic valve implantation. Interact Cardiovasc Thorac Surg. 2018;26(3):413–419. doi: 10.1093/icvts/ivx343.
7. Терновой СК, Никонова МЭ, Веселова ТН, Имаев ТЭ, Комлев АЕ, Акчурин РС, Федотенков ИС, Шария МА. Мультиспиральная компьютерная томография в планировании транскаатетерного протезирования аортального клапана. Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2013;3(1):43–49. [Ternovoy SK, Nikonova ME, Veselova TN, Imaev TE, Komlev AE, Akchurin RS, Fedotenkov IS, Shariya MA. [Multislice computed tomography in planning of transcatheter aortic valve implantation]. Russian Electronic Journal of Radiology. 2013;3(1):43–49. Russian.]
8. Базылев ВВ, Воеводин АБ, Шалыгина АС. Среднесрочные результаты транскаатетерной имплантации протеза аортального клапана «МедЛаб-КТ». Российский кардиологический журнал. 2019;(8):65–69. doi: 10.15829/1560-4071-2019-8-65-69. [Bazylev VV, Voevodin AB, Shalygina AS. [Medium-term results of transcatheter implantation of MedLab-CT aortic valve prosthesis]. Russian Journal of Cardiology. 2019;(8):65–69. Russian. doi: 10.15829/1560-4071-2019-8-65-69.]
9. Воеводин АБ, Алленов АА, Базылев ВВ. Транскаатетерная имплантация протеза «МедЛаб-КТ» по методике «клапан-в-клапан». Ангиология и сосудистая хирургия. 2020;26(1):135–137. doi: 10.33529/ANGIO2020114. [Voevodin AB, Allenov AA, Bazylev VV. [Transcatheter valve-in-valve implantation of the "MedLab-KT" prosthesis]. Angiology and Vas-



- cular Surgery. 2020;26(1):135–137. Russian. doi: 10.33529/ANGIO2020114.]
10. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Jilaihawi H, Marwan M, Nørgaard BL, Piazza N, Schoenhagen P, Leipsic JA. Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI) / transcatheter aortic valve replacement (TAVR): An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2019;13(1): 1–20. doi: 10.1016/j.jcct.2018.11.008.
  11. Chourdakis E, Koniari I, Kounis NG, Velissaris D, Koutsogiannis N, Tsigkas G, Hauptmann KE, Sontag B, Hahalis G. The role of echocardiography and CT angiography in transcatheter aortic valve implantation patients. *J Geriatr Cardiol.* 2018;15(1):86–94. doi: 10.11909/j.issn.1671-5411.2018.01.006.
  12. Kenny C, Monaghan M. How to assess aortic annular size before transcatheter aortic valve implantation (TAVI): the role of echocardiography compared with other imaging modalities. *Heart.* 2015;101(9):727–736. doi: 10.1136/heartjnl-2013-304689.
  13. Willson AB, Webb JG, Freeman M, Wood DA, Gurvitch R, Thompson CR, Moss RR, Togtweiler S, Binder RK, Munt B, Cheung A, Hague C, Ye J, Leipsic JA. Computed tomography-based sizing recommendations for transcatheter aortic valve replacement with balloon-expandable valves: Comparison with transesophageal echocardiography and rationale for implementation in a prospective trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2012;6(6):406–414. doi: 10.1016/j.jcct.2012.10.002.
  14. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* 1990;15(4):827–832. doi: 10.1016/0735-1097(90)90282-t.
  15. Takaoka H, Kitahara H, Ota J, Suzuki-Eguchi N, Sasaki H, Mori N, Takahashi M, Iida Y, Matsura K, Nakayama T, Matsumiya G, Kobayashi Y. Utility of computed tomography in cases of aortic valve stenosis before and after transcatheter aortic valve implantation. *Cardiovasc Interv Ther.* 2020;35(1):72–84. doi: 10.1007/s12928-019-00618-5.
  16. Hansson NC, Nørgaard BL, Barbanti M, Nielsen NE, Yang TH, Tamburino C, Dvir D, Jilaihawi H, Blanke P, Makkar RR, Latib A, Colombo A, Tarantini G, Raju R, Wood D, Andersen HR, Ribeiro HB, Kapadia S, Min J, Feuchtner G, Gurvitch R, Alqoofi F, Pelletier M, Ussia GP, Napodano M, Sandoli de Brito F Jr, Kodali S, Pache G, Canovas SJ, Berger A, Murphy D, Svensson LG, Rodés-Cabau J, Leon MB, Webb JG, Leipsic J. The impact of calcium volume and distribution in aortic root injury related to balloon-expandable transcatheter aortic valve replacement. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2015;9(5):382–392. doi: 10.1016/j.jcct.2015.04.002.
  17. Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR, Cohen MG, Kapadia SR, Kodali S, Tamburino C, Barbanti M, Chakravarty T, Jilaihawi H, Paradis JM, de Brito FS Jr, Cánovas SJ, Cheema AN, de Jaegere PP, del Valle R, Chiam PT, Moreno R, Pradas G, Ruel M, Salgado-Fernández J, Sarmiento-Leite R, Toeg HD, Velianou JL, Zajarías A, Babaliaros V, Cura F, Dager AE, Manoharan G, Lerakis S, Pichard AD, Radhakrishnan S, Perin MA, Dumont E, Larose E, Pasian SG, Nombela-Franco L, Urena M, Tuzcu EM, Leon MB, Amat-Santos IJ, Leipsic J, Rodés-Cabau J. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: insights from a large multicenter registry. *J Am Coll Cardiol.* 2013;62(17):1552–1562. doi: 10.1016/j.jacc.2013.07.040.
  18. Trenkwalder T, Lahmann AL, Nowicka M, Pellegrini C, Rheude T, Mayr NP, Voss S, Bleiziffer S, Lange R, Joner M, Kasel AM, Kastrati A, Schunkert H, Husser O, Hadamitzky M, Hengstenberg C. Incidental findings in multislice computed tomography prior to transcatheter aortic valve implantation: frequency, clinical relevance and outcome. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2018;34(6):985–992. doi: 10.1007/s10554-018-1305-5.
  19. Hayashida K, Bouvier E, Lefèvre T, Hovasse T, Morice MC, Chevalier B, Romano M, Garot P, Mylotte D, Farge A, Donzeau-Gouge P, Cormier B. Impact of CT-guided valve sizing on post-procedural aortic regurgitation in transcatheter aortic valve implantation. *EuroIntervention.* 2012;8(5):546–555. doi: 10.4244/EIJV8I5A85.
  20. Khalique OK, Hahn RT, Gada H, Nazif TM, Vahl TP, George I, Kalesan B, Forster M, Williams MB, Leon MB, Einstein AJ, Pulerwitz TC, Pearson GD, Kodali SK. Quantity and location of aortic valve complex calcification predicts severity and location of paravalvular regurgitation and frequency of post-dilation after balloon-expandable transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014;7(8): 885–894. doi: 10.1016/j.jcin.2014.03.007.
  21. Suchá D, Tuncay V, Prakken NH, Leiner T, van Ooijen PM, Oudkerk M, Budde RP. Does the aortic annulus undergo conformational change throughout the cardiac cycle? A systematic review. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015;16(12):1307–1317. doi: 10.1093/ehjci/jev210.
  22. Zamorano JL, Gonçalves A, Lang R. Imaging to select and guide transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J.* 2014;35(24):1578–1587. doi: 10.1093/eurheartj/ehf569.
  23. Fujita B, Kütting M, Seiffert M, Scholtz S, Egron S, Prashovikj E, Börgermann J, Schäfer T, Scholtz W, Preuss R, Gummert J, Steinseifer U, Ensminger SM. Calcium distribution patterns of the aortic valve as a risk factor for the need of permanent pacemaker implantation after transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2016;17(12):1385–1393. doi: 10.1093/ehjci/jev343.
  24. Perlman GY, Blanke P, Webb JG. Transcatheter aortic valve implantation in bicuspid aortic valve stenosis. *EuroIntervention.* 2016;12(Y):Y42–Y45. doi: 10.4244/EIJV12SYA10.
  25. Ribeiro HB, Nombela-Franco L, Urena M, Mok M, Pasian S, Doyle D, DeLarochelière R, Côté M, Laflamme L, DeLarochelière H, Allende R, Dumont E, Rodés-Cabau J. Coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: a systematic review. *JACC Cardiovasc Interv.* 2013;6(5):452–461. doi: 10.1016/j.jcin.2012.11.014.
  26. Maeno Y, Abramowitz Y, Kawamori H, Kazuno Y, Kubo S, Takahashi N, Mangat G, Okuyama K, Kashif M, Chakravarty T, Nakamura M, Cheng W, Friedman J, Berman D, Makkar RR, Jilaihawi H. A Highly Predictive Risk Model for Pacemaker Implantation After TAVR. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2017;10(10 Pt A):1139–1147. doi: 10.1016/j.jcmg.2016.11.020.
  27. Murphy DT, Blanke P, Alaamri S, Naoum C, Rubinshtein R, Pache G, Precious B, Berger A, Raju R, Dvir D, Wood DA, Webb J, Leipsic JA. Dynamism of the aortic annulus: Effect of diastolic versus systolic CT annular measurements on device selection in transcatheter aortic valve replacement (TAVR). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2016;10(1):37–43. doi: 10.1016/j.jcct.2015.07.008.
  28. Blanke P, Russe M, Leipsic J, Reinöhl J, Ebersberger U, Suranyi P, Siepe M, Pache G, Langer M, Schoepf UJ. Conformational pulsatile changes of the aortic annulus: impact on prosthesis sizing by computed tomography for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Interv.* 2012;5(9):984–994. doi: 10.1016/j.jcin.2012.05.014.
  29. Latsios G, Spyridopoulos TN, Toutouzias K, Synetos A, Trantalís G, Stathogiannis K, Penesopoulou V, Oikonomou G, Brountzos E, Tousoulis D. Multi-slice CT (MSCT) imaging in pretrans-catheter aortic valve implantation (TAVI) screening. How to perform and how to interpret. *Hellenic J Cardiol.* 2018;59(1):3–7. doi: 10.1016/j.hjc.2017.09.013.
  30. Barbanti M, Buccheri S, Rodés-Cabau J, Gulino S, Génereux P, Pilato G, Dvir D, Picci A, Costa G, Tamburino C, Leon MB, Webb JG. Transcatheter aortic valve replacement with new-generation devices: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol.* 2017;245:83–89. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.07.083.
  31. Имаев ТЭ, Комлев АЕ, Колегаев АС, Лепилин ПМ, Акчурин РС. Современное состояние проблемы транскатетерного репротезирования клапанов сердца по методике «клапан-в-клапан». *Consilium Medicum.* 2016;18(5):89–92. [Imaev TE, Komlev AE,





Kolegaev AS, Lepilin PM, Akchurin RS. [The current status of transcatheter heart valve replacement, using the valve-in-valve technique]. *Consilium Medicum*. 2016;18(5):89–92. Russian.]

32. Коков ЛС, Соколов ВВ, Пархоменко МВ, Муслимов РШ, Буланова МВ, Бикбова НМ. Транскатетерная имплантация биопротеза аортального клапана на нитиноловом саморасширяющемся каркасе по методике «клапан в клапан» в связи с дегенерацией створок первичного биопротеза. Клиническое наблюдение пациентки с высоким хирургическим риском. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2020;22(3):107–114. doi: 10.15825/1995-1191-2020-3-107-114.
33. Fukui M, Bing R, Dweck M, Cavalcante JL. Assessment of Aortic Stenosis by Cardiac Magnetic Resonance Imaging: Quantification of Flow, Characterization of Myocardial Injury, Transcatheter Aortic Valve Replacement Planning, and More. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2019;27(3):427–437. doi: 10.1016/j.mric.2019.04.004.
34. de Vaan J, Verstraeten L, de Jaegere P, Schultz C. The 3mensio Valves™ multimodality workstation. *EuroIntervention*. 2012;7(12):1464–1469. doi: 10.4244/EIJV7I12A228.
35. Watanabe Y, Morice MC, Bouvier E, Leong T, Hayashida K, Lefèvre T, Hovasse T, Romano M, Chevalier B, Donzeau-Gouge P, Farge A, Cormier B, Garot P. Automated 3-dimensional aortic annular assessment by multidetector computed tomography in transcatheter aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2013;6(9):955–964. doi: 10.1016/j.jcin.2013.05.008.

## Imaging modalities in the planning of transcatheter aortic valve implantation (standardization of scanning, measurements and reporting protocols)

M.V. Bulanova<sup>1</sup> • L.S. Kokov<sup>1,2</sup> • R.Sh. Muslimov<sup>1</sup>

This review describes the state of the art on the role of various imaging modalities in pre-operative preparation to transcatheter implantation of biological aortic valve prosthesis, based on the literature data published from 2012 to 2020. One of the key source documents is the consensus of the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR) from 2019, providing the standardized protocols for scanning, measurements and description of the abnormalities identified. The final decision on the procedure of transcatheter aortic valve implantation should be based on the combination of all available diagnostic methods, clinical data and results of imaging by different modalities. Given the most comprehensive information content, the main diagnostic method is computed tomography. The radiologist and the multidisciplinary team should form a single entity,

combining clinical and technical knowledge, discussing all the images and conclusions with other team members.

**Key words:** aortic valve stenosis, computed tomography, imaging modality, transcatheter aortic valve implantation

**For citation:** Bulanova MV, Kokov LS, Muslimov RSh. Imaging modalities in the planning of transcatheter aortic valve implantation (standardization of scanning, measurements and reporting protocols). *Almanac of Clinical Medicine*. 2021;49(1):80–8. doi: 10.18786/2072-0505-2021-49-005.

Received 9 December 2020; revised 24 December 2020; accepted 1 February 2021; published online 20 February 2021

**Marina V. Bulanova** – MD, Radiologist, Department of Radiology<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4323-6702>

✉ 3 Bol'shaya Sukharevskaya ploshchad', Moscow, 129090, Russian Federation. Tel.: +7 (916) 456 67 80. E-mail: marellabmv@mail.ru

**Leonid S. Kokov** – MD, PhD, Professor, Member of Russ. Acad. Sci., Head of Department of Radiology<sup>1</sup>; Head of Chair of Radiology, Institute of Professional Education<sup>2</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3167-3692>

**Rustam Sh. Muslimov** – MD, PhD, Leading Research Fellow, Department of Radiology<sup>1</sup>; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5430-8524>

### Conflict of interests

The authors declare no obvious and potential conflicts of interests related to the publication.

### Authors' contributions

All the authors have equally contributed to the study conduct and preparation of the manuscript, have read and approved the final version of the manuscript before submission, consented to be responsible for all aspects of the study, and guarantee that they have adequately considered and solved all issues related to accuracy and fair practice with all parts of the study.

<sup>1</sup>N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine; 3 Bol'shaya Sukharevskaya ploshchad', Moscow, 129090, Russian Federation

<sup>2</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8/2 Trubetskaya ul., Moscow, 119991, Russian Federation