



Сравнительная оценка стеноза аортального клапана методами двухмерной, трехмерной чреспищеводной эхокардиографии, компьютерной томографии и катетеризации сердца

Арипов М. А.¹, Кали А. С.², Таналиев Н. Н.¹, Мусаев А. А.¹, Рашбаева Г. С.¹, Даутов Т. Б.¹

Цель. Провести сравнительный анализ ультразвуковых, радиологических и инвазивных методов оценки стеноза аортального клапана (АоК).

Материал и методы. В данное исследование включены 33 пациента со стенозом АоК. Средний возраст пациентов составил 71,8±6,8 лет. Всем пациентам были выполнены стандартная и трехмерная эхокардиографии, компьютерная томография, а также катетеризация сердца.

Результаты. Площадь АоК по данным двухмерной эхокардиографии составила в среднем 0,58±0,21 мм², при катетеризации сердца 0,61±0,17 мм², по результатам трехмерной чреспищеводной эхокардиографии 1,13±0,42 мм² и мультиспиральной компьютерной томографии 0,88±0,48 мм². Различия между значениями статистически значимое, $p < 0.05$.

Заключение. В качестве рутинной диагностики АоК двухмерная эхокардиография является оптимальным методом исследования. При показаниях к радикальным методам лечения целесообразно выполнение трехмерной эхокардиографии или мультиспиральной компьютерной томографии.

Ключевые слова: аортальный стеноз, выводной тракт левого желудочка, эхокардиография, компьютерная томография.

Отношения и деятельность: нет.

¹Национальный научный кардиохирургический центр, Нур-Султан; ²АО Назарбаев университет, Нур-Султан, Казахстан.

Арипов М. А.* — д.м.н., зав. отделением интервенционной кардиологии, ORCID: 0000-0003-2413-5818, Кали А. С. — аспирант, ORCID: 0000-0003-3971-

1689, Таналиев Н. Н. — врач, рентгенохирург отделения интервенционной кардиологии, ORCID: 0000-0001-7752-5524, Мусаев А. А. — к.м.н., зав. лаборатории катетеризации сердца, ORCID: 0000-0001-5440-6919, Рашбаева Г. С. — к.м.н., кардиолог отделения аритмологии, ORCID: 0000-0003-2695-2280, Даутов Т. Б. — д.м.н., профессор, зав. отделением лучевой диагностики, ORCID: 0000-0002-5267-0108.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): dr.aripov@gmail.com

АоК — аортальный клапан, АоК VTI — интеграл скорости потока на уровне аортального клапана, ВТЛЖ — выводной тракт левого желудочка, КТ — компьютерная томография, ЛЖ — левый желудочек, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ПАК — площадь аортального клапана, ФВ — фракция выброса, ЭхоКГ — эхокардиография, 2DЭхо — двухмерная эхокардиография, 3D ЧПЭхоКГ — трехмерная чреспищеводная эхокардиография.

Рукопись получена 29.10.2021

Рецензия получена 15.11.2021

Принята к публикации 22.11.2021



Для цитирования: Арипов М. А., Кали А. С., Таналиев Н. Н., Мусаев А. А., Рашбаева Г. С., Даутов Т. Б. Сравнительная оценка стеноза аортального клапана методами двухмерной, трехмерной чреспищеводной эхокардиографии, компьютерной томографии и катетеризации сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(12):4809. doi:10.15829/1560-4071-2021-4809

Comparative assessment of aortic valve stenosis using two-dimensional, three-dimensional transesophageal echocardiography, computed tomography and cardiac catheterization

Aripov M. A.¹, Kali A. S.², Tanaliev N. N.¹, Musaev A. A.¹, Rashbaeva G. S.¹, Dautov T. B.¹

Aim. To compare effectiveness of ultrasound, radiological and invasive methods for assessing aortic valve (AV) stenosis.

Material and methods. This study included 33 patients with AV stenosis. The mean age of the patients was 71,8±6,8 years. All patients underwent standard and three-dimensional echocardiography, computed tomography, and cardiac catheterization.

Results. According to two-dimensional echocardiography, the AV area averaged 0,58±0,21 mm², according to cardiac catheterization — 0,61±0,17 mm², according to three-dimensional transesophageal echocardiography — 1,13±0,42 mm², and according to multislice computed tomography 0,88±0,48 mm². The difference between the values was significant ($p < 0.05$).

Conclusion. For routine diagnosis of AV stenosis, two-dimensional echocardiography is the optimal research method. With indications for radical treatment methods, three-dimensional echocardiography or multislice computed tomography should be performed.

Keywords: aortic stenosis, left ventricular outflow tract, echocardiography, computed tomography.

Relationships and Activities: none.

¹National Research Cardiac Surgery Center, Nur-Sultan; ²Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Aripov M. A.* ORCID: 0000-0003-2413-5818, Kali A. S. ORCID: 0000-0003-3971-1689, Tanaliev N. N. ORCID: 0000-0001-7752-5524, Musaev A. A. ORCID: 0000-0001-5440-6919, Rashbaeva G. S. ORCID: 0000-0003-2695-2280, Dautov T. B. ORCID: 0000-0002-5267-0108.

*Corresponding author: dr.aripov@gmail.com

Received: 29.10.2021 Revision Received: 15.11.2021 Accepted: 22.11.2021

For citation: Aripov M. A., Kali A. S., Tanaliev N. N., Musaev A. A., Rashbaeva G. S., Dautov T. B. Comparative assessment of aortic valve stenosis using two-dimensional, three-dimensional transesophageal echocardiography, computed tomography and cardiac catheterization. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(12):4809. doi:10.15829/1560-4071-2021-4809

Измерение площади раскрытия аортального клапана (ПАК) имеет существенное значение как в оценке тяжести пациентов с аортальным стенозом, так и в определении тактики лечения. Для определения ПАК в эхокардиографии (ЭхоКГ) используется расчетный метод, который основан на уравнении непрерывности потока и требует непосредственного измерения диаметра выводного тракта левого желудочка (ВТЛЖ) с доплеровскими показателями потока крови на уровне ВТЛЖ и аортального клапана (АоК) [1]. При расчете объема крови, протекающей через ВТЛЖ, используется формула площади круга. Этим самым возникает предположение о круглой форме ВТЛЖ. Однако изображения, полученные при компьютерной томографии (КТ) и трехмерной чреспищеводной ЭхоКГ (3D ЧПЭхоКГ), убедительно свидетельствуют об эллипсоидной форме ВТЛЖ [2, 3]. Такое расхождение может привести к некорректной оценке расчетной ПАК и, следовательно, истинной степени тяжести аортального стеноза. Закономерно возникает вопрос, насколько отличается ПАК, измеренная с учетом эллипсоидной формы ВТЛЖ, от значения, полученного с помощью уравнения непрерывности потока. Общеизвестно, что на доплеровские показатели кроме ПАК оказывают влияние такие факторы, как гипертрофия левого желудочка (ЛЖ), наличие сопутствующей клапанной регургитации, сократительная функция ЛЖ, диаметр аорты в восходящем отделе, угол между ультразвуковым лучом и направлением потока и другие [4]. При оценке ПАК во время катетеризации сердца доплеровские показатели не учитываются, что потенциально вызывает интерес к сравнению инвазивного значения ПАК с данными КТ и 3D ЧПЭхоКГ. В этой связи целью данного исследования послужила сравнительная оценка ПАК при его стенозе, рассчитанная методами традиционной двумерной ЭхоКГ (2DЭхо), КТ, 3D ЧПЭхоКГ и катетеризации сердца.

Материал и методы

В исследование были включены 33 пациента со стенозом АоК в стадии D согласно классификации Американской ассоциации сердца [5]. Всем пациентам были проведены стандартное 2DЭхо, 3D ЧПЭхоКГ с последующей обработкой изображений и расчетов в программе Qlab 10.0, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) сердца и восходящего отдела аорты с контрастированием, а также инвазивное исследование сердечной гемодинамики с определением ПАК по формуле Горлина [6]. Критерий включения: пациенты с аортальным стенозом с клинической манифестацией в стадии C и D, без тяжелой сопутствующей патологии, и подписавшие информированное согласие. Местный комитет по этике исследований дал этическое одобрение исследования, все пациенты подписали письменное информированное согласие, и все

процедуры выполнялись в соответствии с международными принципами этики.

Все эхокардиографические показатели получены с использованием ультразвуковых систем Philips iE-33 и EPIQ с TEE-датчиками X7-2T (Philips Medical Systems).

Все линейные размеры сердца, включая ВТЛЖ, измерены в соответствии рекомендациям Европейской ассоциации эхокардиографии [7]. Средний градиент трансортального давления измерялся методом непрерывно-волновой доплерографии, а площадь аортального стеноза рассчитывали согласно уравнению непрерывности потока: $ПАК (cm^2) = ((диаметр ВТЛЖ)^2 \times 0,785 \times \text{скорость потока ВТЛЖ}) / (AoK VTI)^3$, где AoK VTI — интеграл скорости потока на уровне AoK. Интеграл скорости потока ВТЛЖ (ВТЛЖ VTI) измерялся в апикальной позиции в режиме импульсной доплерографии, и зона интереса располагалась в ВТЛЖ, ниже кольца AoK. Правильное позиционирование датчика обеспечивалось проверкой наличия гладких кривых спектральной скорости, связанных с щелчком закрытия AoK. Измерения ВТЛЖ рассчитывались на расстоянии 3 мм от плоскости кольца AoK в режиме 3D ЧПЭхоКГ и КТ [6]. На основании полученных данных рассчитывались площадь аортального отверстия и ВТЛЖ. Все линейные показатели выполнялись в середине фазы систолы, и при расчете использовались средние значения 3-4 измерений.

МСКТ с контрастированием и электрокардиографической синхронизацией проводилась на 64-спиральном компьютерном томографе Siemens SOMATOM с последующей реконструкцией данных в программе 3Mensio Structural Heart. Толщина аксиального среза изображения сердца при сканировании составляла 0,6 мм.

Катетеризация сердца проводилась по завершению неинвазивных исследований, в одну процедуру с чрескожной имплантацией AoK. Инвазивное исследование сердечной гемодинамики с определением ПАК по формуле Горлина выполнено на ангиографе Philips Asurion 7 с пакетом программы гемодинамика XperFlexCardio. Согласно формуле Горлина, ПАК равна отношению объема крови, протекающей через AoK во время систолы желудочков, к градиенту систолического давления на клапане, умноженному на константу 44,3, $ПАК = \text{сердечный выброс} / (\text{частота сердечных сокращений} \times \text{период систолического выброса} \times 44,3 \times \sqrt{\Delta P})$, где ΔP — средний градиент давления на аортальном потоке.

Статистический анализ. Соответствующие различия между методами оценивались попарным сравнением с использованием t-критерия Стьюдента. Для определения наличия или отсутствия линейной связи между двумя количественными показателями, а также тесноты и статистической значимости использовался критерий корреляции Пирсона. Для оценки

Таблица 1

Клиническая характеристика пациентов

Общее количество пациентов	33
Средний возраст (лет), M±m	71,8±6,8
М/Ж	20/13 (60%/40%)
Площадь поверхности тела, M±m	1,80±0,23
Артериальная гипертензия	24 (75%)
Сахарный диабет	12 (37,5%)
Курение	24 (75%)
ИБС	19 (59,4%)
ФВ ЛЖ, %, M±m	42,3±13,4
NT-proBNP, пг/мл, M±m	7994±968,8
ХСН	3,2±0,21

Сокращения: ИБС — ишемическая болезнь сердца, ЛЖ — левый желудочек, ФВ — фракция выброса, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, NT-proBNP — N-концевой промозговой натрийуретический пептид.

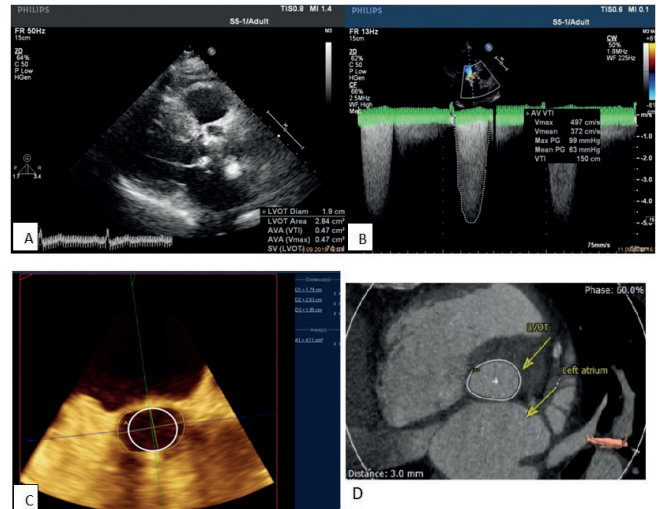


Рис. 1. На рисунке представлены ЭхоКГ (A, B), 3D ЧПЭхоКГ (C), МСКТ (D) ВТЛЖ одного и того же пациента. Диаметр ВТЛЖ в проекции парастернальной длинной оси (A) 1,9 см, Форма ВТЛЖ эллипсоидная (C, D). Круг, очерченный белым цветом внутри ВТЛЖ, имеет диаметр 1,9 см, что соответствует представлениям о форме ВТЛЖ, согласно расчетному методу.

Таблица 2

Размеры ВТЛЖ по данным ЭхоКГ и МСКТ

	Площадь ВТЛЖ (мм ²), M±m	Отношение длинной к короткой оси ВТЛЖ, M±m
2DЭхо	3,42±0,87*	
МСКТ	5,58±1,03*	1,32±0,15*
3D ЧПЭхоКГ	5,36±0,66*	1,28±0,11*

Примечание: * — p=0,0001 при степени свободы F=67,7.

Сокращения: ВТЛЖ — выводной тракт левого желудочка, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, 2DЭхо — двухмерная эхокардиография, 3D ЧПЭхоКГ — трехмерная чреспищеводная эхокардиография.

Таблица 3

Оценка ПАК, рассчитанная по данным МСКТ, катетеризации сердца и ЭхоКГ

	ПАК (мм ²), M±m
2DЭхо	0,58±0,21*
МСКТ	0,88±0,48*
3D ЧПЭхоКГ	1,13±0,42*
Катетеризация сердца	0,61±0,17*

Примечание: * — p=0,0001 при степени свободы F=15,92.

Сокращения: МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ПАК — площадь аортального клапана, 2DЭхо — двухмерная эхокардиография, 3D ЧПЭхоКГ — трехмерная чреспищеводная эхокардиография.

индивидуальных различий между ПАК с использованием различных методов использовался тест дисперсии ANOVA с повторными измерениями, скорректированный поправкой Бонферрони. Значение p<0,05 считалось статистически значимым. Все статистические тесты были выполнены с помощью программного обеспечения STATA версия 14.2.

Результаты

Клиническая характеристика обследованных пациентов представлена в таблице 1. Средний воз-

раст пациентов составил 71,8±6,8 лет. У большинства пациентов имелась сопутствующая патология, среди которых наиболее часто встречалась артериальная гипертензия (75%), сахарный диабет (37,5%). Конечнo-диастолическое давление в ЛЖ составило в среднем 24,3±3,5 мм рт.ст., а уровень N-концевого промозгового натрийуретического пептида 7994±968,8 пг/мл, что свидетельствовало о существенном влиянии аортального стеноза на внутрисердечную гемодинамику.

У 21 обследуемого фракция выброса (ФВ) ЛЖ была >50%, а у 12 больных ФВ <30%. При этом средний функциональный класс (NYHA) составил 3,2±0,21. Таким образом, в исследование были включены больные с клинической манифестацией аортального стеноза в стадии D.

Исходно, для количественной оценки ПАК рассчитывалась площадь ВТЛЖ. В таблице 2 представлены значения площади поперечного сечения ВТЛЖ, измеренные нижеперечисленными методами.

Согласно полученным данным, площадь ВТЛЖ, измеренная при стандартной 2DЭхо, достоверно меньше, чем по данным КТ и 3D ЧПЭхоКГ. Сравнение данного показателя с применением дисперсионного анализа для множественных сравнений между указанными методами выявило статистически значимую разницу p=0,0001 при степени свободы F=67,7.

Разница между двумя группами определена с применением теста парного t-критерия Стьюдента, с помощью которого выявлена статистически значимая разница (p=0,0001) между 3D ЧПЭхоКГ и 2DЭхо, в то время как между 3D ЧПЭхоКГ и МСКТ значимое различие не обнаружено (p=0,34). Для ко-

личественной оценки эллипсоидной формы ВТЛЖ рассчитано отношение длинной оси к короткой, которая составила $1,32 \pm 0,15$ по данным МСКТ и $1,28 \pm 0,11$ по данным 3D ЧПЭхоКГ. Разница между ними оказалась недостоверной, $p=0,1$.

На рисунке 1 представлены форма ВТЛЖ по данным 2DЭхо, 3D ЧПЭхоКГ и МСКТ одного и того же пациента.

ПАК рассчитывалась как произведение площади ВТЛЖ, измеренной при 3D ЧПЭхоКГ и КТ, на интеграл скорости аортального потока, полученный при 2DЭхо. В таблице 3 представлены данные площади аортального отверстия, рассчитанные при 2DЭхо, КТ, 3D ЧПЭхоКГ и катетеризации сердца.

Дисперсионный анализ множественного сравнения данных четырех методов исследования выявил достоверную разницу между ними, где $p=-0,0001$ при степени свободы $F=-15,92$

Сравнение попарно ПАК по данным КТ и 3D ЧПЭхоКГ не выявило статистически значимого различия. Также не обнаружена достоверность различий между стандартной методикой определения ПАК с аналогичным показателем, рассчитанным при зондировании. Корреляция между ПАК по данным МСКТ и средним градиентом давления на АоК составила $-0,31$.

Обсуждение

В работах Flachkampf FA (2015), Caballero L, et al. (2017) отмечается, что ПАК по данным МСКТ, а значит измеренная с учетом эллипсоидной формы ВТЛЖ, не имеет статистически значимых различий с аналогичным показателем, рассчитанным при ЭхоКГ с использованием уравнения непрерывности потока [2, 3]. Однако данные Anger T, et al. (2014) свидетельствуют о противоположном [8]. Очевидно, что на значение ПАК влияют факторы, обусловленные особенностями того или иного метода диагностики. Так, использование в формуле доплеровских показателей приводит к тому, что на полученное значение оказывает влияние ФВ ЛЖ, сердечный выброс, гипертрофия ЛЖ, наличие митральной, аортальной регургитации, диаметр аорты в восходящем отделе, периферическое сосудистое сопротивление [4, 9]. Особенностью же данного исследования является сравнение наиболее часто используемых в клинической практике различных методов исследования, включая МСКТ, 3D ЧПЭхоКГ, 2DЭхо и катетеризацию сердца. Как показали полученные данные, у всех пациентов значения ПАК по данным 2DЭхо и катетеризации сердца были достоверно меньше, в среднем на 30% от значений, полученных при МСКТ и 3D ЧПЭхоКГ. При стандартной ЭхоКГ ПАК меньше, чем при КТ из-за того, что размеры ВТЛЖ в действительности больше, чем предполагается в уравнении непрерывности потока [10, 11].

Преимуществом инвазивного метода является возможность оценить влияние периферического сосудистого сопротивления, диаметра аорты в восходящем отделе на градиент давления. Предлагаемые уравнения, применяющиеся в 2DЭхо и учитывающие феномен восстановления давления, не обладают достаточной точностью [12]. Однако, как показали результаты исследования, и при инвазивном методе расчета ПАК меньше, чем при КТ и 3D ЧПЭхоКГ. Это вызвано использованием в формуле Горлина межпикового, а не пикового градиента давлений [6]. Поскольку пиковые значения давлений в ЛЖ и в аорте достигаются не одновременно, межпиковый градиент всегда меньше пикового. Потому градиент давления, рассчитанный на основе упрощенного уравнения Бернулли при доплеровском исследовании выше, чем измеренное непосредственно инвазивное давление.

Таким образом, при методах, основанных на расчетах, существуют факторы, приводящие к переоценке тяжести аортального стеноза. Методы, основанные на визуализации клапанного аппарата, не имеют подобных ограничений. Тем не менее деформация краев створок, кальциноз, утолщение могут затруднить оценку раскрытия АоК планиметрическим способом как при КТ, так и 3D ЧПЭхоКГ [3, 9]. Более того, такой способ дает представление об анатомической площади открытия АоК, которая закономерно больше, чем эффективная площадь открытия клапана. Потому гибридная оценка, используемая в данном исследовании, позволяет рассчитать именно эффективную ПАК без учета факторов, затрудняющих визуализацию [10, 11]. Тем не менее корреляция между пиковым градиентом давления и ПАК продемонстрировала слабую связь. Согласно литературным данным, корреляция между градиентом давления на АоК и его площадью открытия высокая, но при синусовом ритме, сохранной сократительной функции ЛЖ, отсутствии патологической регургитации [12]. В настоящем исследовании низкая корреляция вызвана разнородной группой обследуемых, включая пациентов с сердечной недостаточностью. Этот факт, с одной стороны, косвенно отражает влияние low-flow на градиент давления, с другой стороны, показывает необходимость учитывать в оценке аортального стеноза более чувствительные к нарушению сократительной функции ЛЖ показатели, как деформация миокарда, скорость деформации [13], использование которых повышает диагностическую точность при иной клапанной патологии. Так или иначе, на сегодняшний день в количественной оценке аортального стеноза визуализирующие методы исследования 3D ЧПЭхоКГ, МСКТ все же имеют большую диагностическую точность, чем методы, основанные на использовании уравнений.

Представляет практический интерес, что мета-анализ исследований, сравнивающих МСКТ и 3D ЧПЭхоКГ, выявил высокую корреляцию между двумя методами (Mork C, et al. (2021)) в оценке таких показателей, как диаметр аортального кольца, периметр, наибольший и наименьший диаметры аортального кольца, однако данные, касающиеся ВТЛЖ, не приводятся [14]. В данное исследование включены пациенты с аортальным стенозом в стадии D, планируемые на транскатетерную имплантацию AoK, соответственно, основная группа заведомо представлена больными с ПАК $0,58 \pm 0,21 \text{ мм}^2$ по 2DЭхо, $1,13 \pm 0,42 \text{ мм}^2$ по результатам 3D ЧПЭхоКГ. При этом пациенты с начальным и умеренным аортальным стенозом не были вовлечены в исследование, что можно считать его ограничением.

Литература/References

- Alekhin MN. Classification of stages of severe aortic stenosis based on the prevalence of extravalvular heart damage. *Kardiologiya*. 2021;61(1):98-103. (In Russ.) Алехин М. Н. Классификация стадий выраженного аортального стеноза на основе распространенности внеклапанного поражения сердца. *Кардиология*. 2021;61(1):98-103. doi:10.18087/cardio.2021.1.n1024.
- Caballero L, Saura D, Oliva-Sandoval MJ, et al. Three-Dimensional Morphology of the Left Ventricular Outflow Tract: Impact on Grading Aortic Stenosis Severity. *Clinical investigation valvular heart disease*. 2017;30:28-35. doi:10.1016/j.echo.2016.10.006.
- Flachskampf FA. Stenotic Aortic Valve Area: Should it Be Calculated From CT Instead of Echocardiographic Data? *JACC: Cardiovascular imaging*. 2015;8:258-60. doi:10.1016/j.jcmg.2014.12.012.
- Saitoh T, Shiota M, Izumo M, et al. Comparison of Left Ventricular Outflow Geometry and Aortic Valve Area in Patients With Aortic Stenosis by 2-Dimensional Versus 3-Dimensional Echocardiography. *The American journal of Cardiology*. 2012;109:1626-31. doi:10.1016/j.amjcard.2012.01.391.
- Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. ACC/AHA Guideline for the Management of patients with Valvular Heart disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines, 2020. *Circulation*. 2021;143:e09-e33. doi:10.1161/CIR.0000000000000923.
- Tardif JC, Rodrigues AG, Hardy JF, et al. Simultaneous Determination of Aortic Valve Area by the Gorlin Formula and by Transesophageal Echocardiography Under Different Transvalvular Flow Conditions: Evidence That Anatomic Aortic Valve Area Does Not Change With Variations in Flow in Aortic Stenosis. *Journal of the ACC*. 1997;29(6):1296-302. doi:10.1016/s0735-1097(97)00060-0.
- Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart Journal*. 2017;38:2739-91. doi:10.1093/eurheartj/ehx391.
- Anger T, Bauer V, Plachtzik C, et al. Non-invasive and invasive evaluation of aortic valve area in 100 patients with severe aortic valve stenosis: Comparison of cardiac computed

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о переоценке тяжести стеноза AoK методом 2DЭхо. Тем не менее в выявлении аортального стеноза 2DЭхо остается оптимальным методом диагностики. Однако при необходимости корректной оценки стеноза, к примеру, при отборе пациентов на транскатетерную имплантацию AoK и/или на протезирование, сопутствующей низкой ФВ ЛЖ, полученные данные акцентируют внимание на обязательной оценке аортального стеноза с применением 3D ЧПЭхоКГ и/или МСКТ.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

- tomography with ECHO (transesophageal/trans thoracic) and catheter examination. *Journal of Cardiology*. 2014;63:189-97. doi:10.1016/j.jcc.2013.08.002.
- Kamperidis V, Van Rosendaal PJ, Katsanos S, et al. Low gradient severe aortic stenosis with preserved ejection fraction: reclassification of severity by fusion of Doppler and computed tomographic data. *European Heart Journal*. 2015;36:2087-96. doi:10.1093/eurheartj/ehv188.
- Clavel MA, Malouf J, Messika-Zeitoun D, et al. Aortic valve area calculation in aortic stenosis by CT and Doppler echocardiography. *JACC Cardiovascular imaging*. 2015; 8(3):248-57. doi:10.1016/j.jcmg.2015.01.009.
- Michelenia HI, Margaryan E, Miller FA, et al. Inconsistent echocardiographic grading of aortic stenosis: is the left ventricular outflow tract important? *Heart*. 2013;99:921-31. doi:10.1136/heartjnl-2012-302881.
- Hagendorf A, Knebel F, Helfen A, et al. Expert consensus document on the assessment of the severity of aortic valve stenosis by echocardiography to provide diagnostic conclusiveness by standardized verifiable documentation. *Clinical Research in Cardiology*. 2020;109:271-88. doi:10.1007/s00392-019-01539-2.
- Buziashvili Yul, Koksheneva IV, Asymbekova EU, et al. Left ventricular and papillary muscles deformation in patients with coronary artery disease and ischemic mitral regurgitation. *Russ Jour Card and Cardiovasc Surg=Kard i serd-sosud khir*. 2019;12(2):100-9. (In Russ.) Бузиашвили Ю. И., Кокшенева И. В., Асымбекова Е. У. и др. Деформация миокарда левого желудочка и папиллярных мышц митрального клапана у больных с ишемической болезнью сердца и ишемической митральной регургитацией. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2019;12(2):100-9. doi:10.17116/kardio201912021100.
- Mork C, Wei M, Jiang W, et al. Aortic Annular Sizing Using Novel Software in Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography for Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(5):751. doi:10.3390/diagnostics11050751.