

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-363>

Эхокардиография у пациентов после транскатетерной имплантации аортального клапана

М.Н. Алехин^{1,2}, А.В. Тер-Акопян¹, М.Г. Матвеева^{1*}

¹ ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой”
Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва,
ул. Маршала Тимошенко, д. 15, Российская Федерация

² ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия”
Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва,
ул. Маршала Тимошенко, 19, стр. 1А, Российская Федерация

Современные рекомендательные документы у пациентов после транскатетерной имплантации аортального клапана (ТИАК) предлагают проводить многопараметрическое эхокардиографическое исследование с целью выявления структурных нарушений клапана. В данной статье представлены особенности эхокардиографического исследования у пациентов после ТИАК. Описаны нюансы визуальной оценки расположения и формы протеза после ТИАК. Представлен расчет гемодинамических характеристик протеза, учитывающий важные методические аспекты у пациентов после ТИАК, а также особенности количественной оценки внутрипротезных и парапротезных регургитационных потоков.

Ключевые слова: эхокардиография; транскатетерная имплантация аортального клапана; индекс доплеровских скоростей; парапротезная регургитация

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Алехин М.Н., Тер-Акопян А.В., Матвеева М.Г. Эхокардиография у пациентов после транскатетерной имплантации аортального клапана. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2026; 32 (1): 70–82. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-363>

Поступила в редакцию: 05.11.2025. Принята к печати: 03.02.2026. Опубликовано online: 1.03.2026.

Алехин Михаил Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий отделением функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; профессор кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Тер-Акопян Армен Вигенович – доктор мед. наук, заведующий отделением рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6693-3944>

Матвеева Марина Георгиевна – канд. мед. наук, врач функциональной диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6056-835X>

Контактная информация*: Матвеева Марина Георгиевна – e-mail: mgmatveeva@yandex.ru

Эхокардиография (ЭхоКГ) представляет собой основной метод диагностики клапанных пороков сердца. При постановке диагноза аортального стеноза (АС), оценке его выраженности, состояния функции левого желудочка (ЛЖ) и других клапанов сердца приоритет отдается ультразвуковому исследованию, как наиболее доступному и простому методу. Наряду с хирургическим лечением пациентов с тяжелыми АС все чаще используется транскатетерная имплантация аортальных клапанов (ТИАК). В связи со старением населения и увеличением количества пациентов с тяжелым АС с различными коморбидными состояниями увеличивается число больных, которым не может быть выполнено хирургическое вмешательство для коррекции стеноза аортального клапана (АК). Следствием этого является увеличение количества пациентов, которым выполняется ТИАК. С другой стороны, накапливаются данные исследований, которые указывают на возможную пользу выполнения ранней ТИАК у пациентов с бессимптомным выраженным АС [1, 2].

ЭхоКГ играет важную роль у пациентов с выраженными стенозами АК на всех этапах ТИАК: отбор пациентов для транскатетерной имплантации протеза АК, выполнение самой процедуры и, наконец, наблюдение после установки клапанного протеза для оценки его эффективного функционирования, а также для выявления нарушений работы протезированного АК при длительном наблюдении за такими пациентами.

Целью исследования: обзор особенностей эхокардиографического исследования пациентов с уже выполненной транскатетерной имплантацией аортального клапана.

В большинстве случаев первое трансторакальное ЭхоКГ-исследование выполняется непосредственно после ТИАК в клинике или перед выпиской из стационара. Оправдано выполнение ЭхоКГ в динамике через 1, 6 мес, 1 год и далее ежегодно [3].

Трансторакальное ЭхоКГ-исследование у пациентов с имплантированным АК должно включать гемодинамическую характеристику протеза и оценку структурных аспектов. Важными элементами такой оценки являются визуальное определение расположения протеза, в том числе по отношению к окружающим сердечным струк-

турам, округлая форма протеза, состояние и подвижность створок. При сканировании в продольном сечении по длинной оси ЛЖ безопасное расположение протеза АК характеризуется отсутствием протрузии протеза в выносящий тракт левого желудочка (ВТЛЖ) с его прилежанием к передней створке митрального клапана. Створки протеза не всегда бывают отчетливо видны при трансторакальном исследовании, что в отсутствие транспротезной регургитации косвенно свидетельствует в пользу их нормального функционирования. При сканировании по короткой оси протез должен иметь округлую форму с полным выполнением кольца АК. Для полноценной характеристики протеза желательна его визуализация из всех возможных доступов, включая апикальный и субкостальный (рис. 1).

Не должно быть окклюзии устьев коронарных артерий или повреждений соседних сердечных структур. Необходимо всегда обращать внимание на состояние перикарда у таких пациентов на предмет наличия жидкости в перикарде [4].

Наряду с этим необходимо выполнение детального анализа гемодинамики протезированного АК с учетом индивидуальных особенностей пациента, типа и размера протеза, ударного выброса и сократимости ЛЖ сердца. Количественная гемодинамическая оценка основана на анализе поток-зависимых и потокнезависимых показателей. Оценка гемодинамических характеристик протеза обычно складывается из определения максимальной систолической скорости транспротезного потока и соответствующих максимального и среднего градиентов давления с последующим расчетом эффективной площади протеза (рис. 2). Скорости и градиенты давления через протез представляют собой показатели, зависящие от потока, а эффективная площадь протеза является относительно независимым от потока показателем. Другим относительно независимым от потока показателем является индекс доплеровских скоростей (Doppler velocity index, DVI), который рассчитывается как отношение интеграла скорости потока в ВТЛЖ (в импульсно-волновом доплеровском режиме) к интегралу скорости потока через протез (в непрерывно-волновом доплеровском режиме)

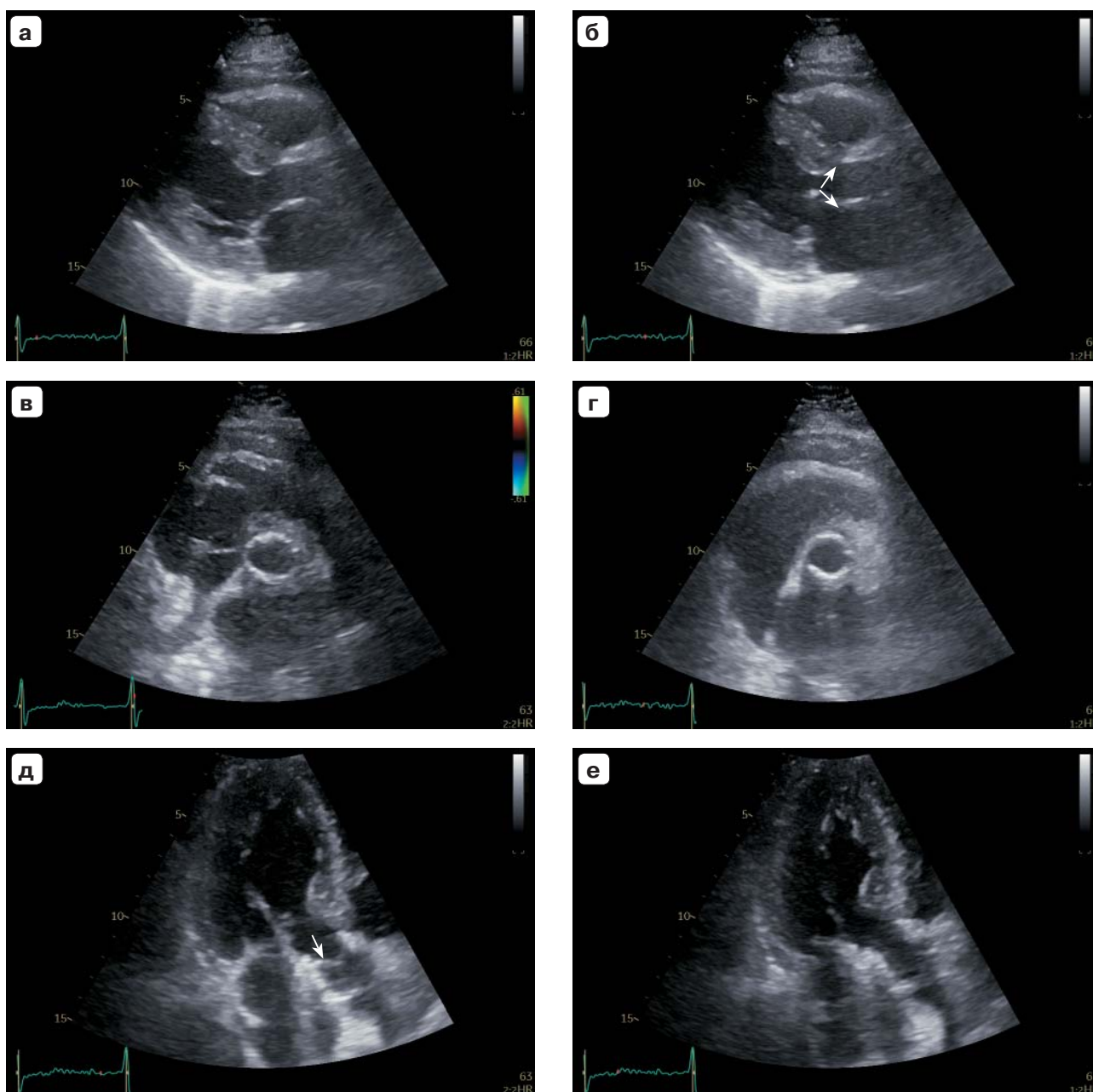


Рис. 1. Парастернальный доступ длинная ось левого желудочка (а – в систолу; б – в диастолу) и короткая ось (в – на уровне нижнего края протеза; г – на уровне створок протеза) у пациентки М., 77 лет, через 3 дня после эндоваскулярного протезирования аортального клапана эндопротезом аортального клапана “MyVal” 24,5 мм. Протез установлен корректно: а, б – эхосигналы от протеза расположены параллельно друг другу и нижний край протеза не проникает в ВТЛЖ (показано стрелками); в, г – по короткой оси протез имеет округлую форму, неизменные створки протеза отчетливо не визуализируются (г). Только из верхушечного доступа удается отчетливо визуализировать неизменные створки протеза: д – в диастолу визуализируются закрытые створки протеза (показано стрелкой); е – в систолу створки не визуализируются.

Fig. 1. Parasternal long-axis view of the left ventricle (а – systole; б – diastole) and short-axis view (в – at the level of the lower edge of the prosthesis; г – at the level of the prosthetic leaflets) in a 77-year-old female patient (Patient M.) three days after TAVI with a 24.5 mm “MyVal” prosthesis. The prosthesis is correctly positioned: а, б – the echoes from the prosthesis are parallel to each other, and the lower edge of the frame does not extend into the left ventricular outflow tract (LVOT) (indicated by arrows); в, г – in the short-axis view, the prosthesis has a circular shape, and the normal leaflets are not clearly visualized (г). The normal prosthetic leaflets can only be clearly visualized from the apical view: д – closed leaflets are visible in diastole (indicated by arrow); е – leaflets are not visible in systole.

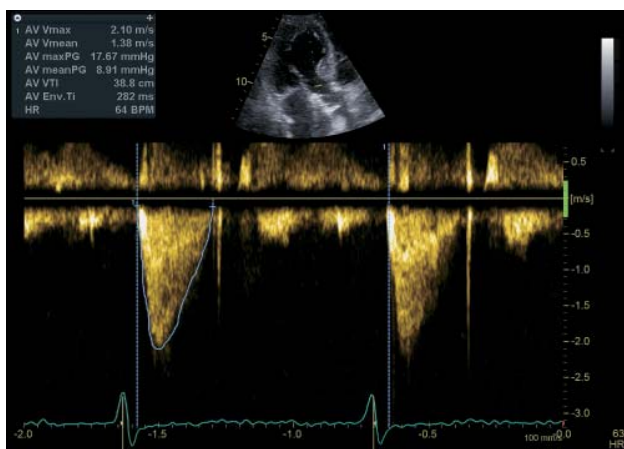


Рис. 2. Непрерывноволновое доплеровское исследование кровотока через протезированный аортальный клапан из верхушечного доступа на 5 камер (та же пациентка, что и на рис. 1). Максимальная систолическая скорость транспротезного потока 210 см/с, максимальный градиент давления 17,67 мм рт.ст., средний градиент давления 8,91 мм рт.ст.

Fig. 2. Continuous-wave (CW) Doppler study of the blood flow through the prosthetic aortic valve from the apical 5-chamber view (same patient as in Fig. 1). Maximum systolic transprosthetic velocity is 210 cm/s, peak pressure gradient is 17.67 mmHg, and mean pressure gradient is 8.91 mmHg.

(рис. 3). Относительная независимость эффективной площади протеза и DVI объясняется тем, что при расчете этих показателей используются не абсолютные значения скорости или интеграла скорости потока, а их отношение к скорости или интегралу скорости потока в ВТЛЖ. Индекс доплеровских скоростей менее 0,35 ассоциирован с неблагоприятными исходами у пациентов после хирургически установленных протезов, но есть публикации, которые указывают на отсутствие подобной закономерности у пациентов после ТИАК [5].

Обычно средний транспротезный систолический градиент после ТИАК составляет 10–15 мм рт.ст. с небольшим увеличением с течением времени. Расчеты эффективной площади протеза и DVI следует выполнять с учетом некоторых методических моментов. Контрольный объем при доплеровском измерении скорости и интеграла скорости потока следует располагать в ВТЛЖ проксимальнее протеза, так как ускорение кровотока внутри протеза приведет к неиз-

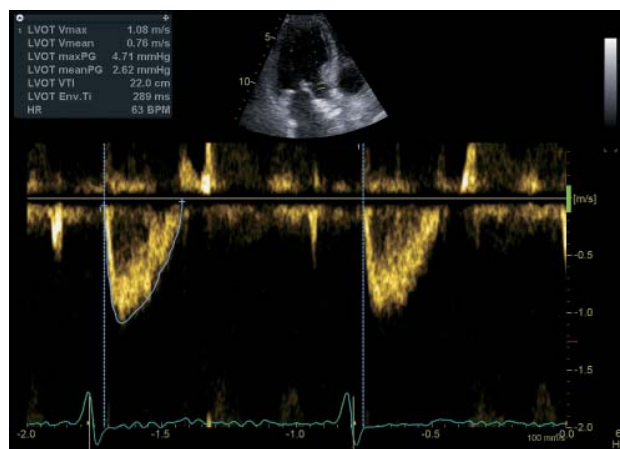


Рис. 3. Импульсноволновое доплеровское исследование кровотока в ВТЛЖ (та же пациентка, что и на рис. 1, 2). Интеграл скорости потока в ВТЛЖ 22 см. Интеграл скорости потока через протезированный клапан 38,8 см (см. рис. 2). Индекс доплеровских скоростей равен $22/38,8 = 0,57$.

Fig. 3. Pulsed-wave (PW) Doppler study of the blood flow in the left ventricular outflow tract (LVOT) (same patient as in Figs. 1, 2). The velocity-time integral (VTI) in the LVOT is 22 cm. The VTI through the prosthetic valve is 38.8 cm (see Fig. 2). The Doppler velocity index (DVI) is $22 / 38.8 = 0.57$.

бежной переоценке расчетных значений эффективной площади протеза и DVI [3, 5] (рис. 4). Еще один момент касается измерения диаметра ВТЛЖ у пациентов с установленным протезом. В типичном случае адекватно установленного протеза измерять диаметр ВТЛЖ следует проксимальнее желудочкового конца протеза – от наружной поверхности края протеза до наружной поверхности края протеза (рис. 5). В ситуациях, когда протез установлен низко в ВТЛЖ, диаметр и скорости должны быть измерены в проксимальной части протеза непосредственно перед створками – от внутренней до внутренней поверхности протеза [6] (рис. 6). Не рекомендуется использовать в качестве диаметра ВТЛЖ размер протеза. Конечно, следует помнить, что у пациентов со сниженной систолической функцией ЛЖ и при повышенном системном артериальном давлении может не быть высоких градиентов давления, несмотря на наличие выраженного стенозирования аортального протеза [5]. Также не следует забывать о влиянии на

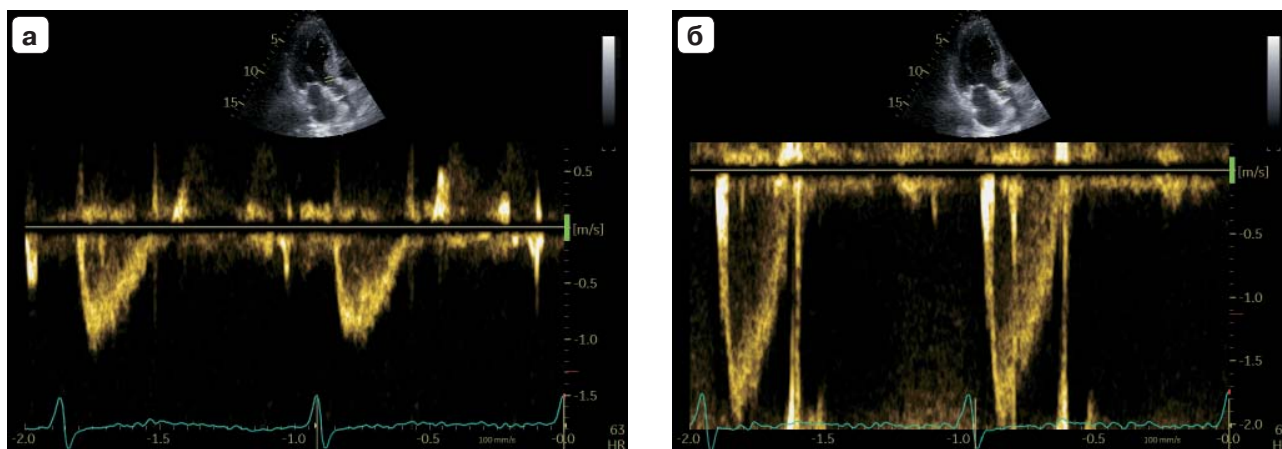


Рис. 4. Импульсно-волновое доплеровское исследование кровотока в ВТЛЖ (та же пациентка, что и на рис. 1–3). **а** – при корректном расположении контрольного объема в ВТЛЖ сразу проксимальнее протеза регистрируется кровоток с максимальной скоростью около 1 м/с; **б** – при некорректном расположении контрольного объема внутри протеза определяется ускоренный кровоток с максимальной скоростью около 2 м/с.

Fig. 4. Pulsed-wave (PW) Doppler study of the blood flow in the left ventricular outflow tract (LVOT) (same patient as in Figs. 1–3). **a** – with correct sample volume positioning in the LVOT immediately proximal to the prosthesis, flow is recorded with a peak velocity of approximately 1 m/s; **b** – with incorrect sample volume positioning inside the prosthesis, accelerated flow is recorded with a peak velocity of approximately 2 m/s.

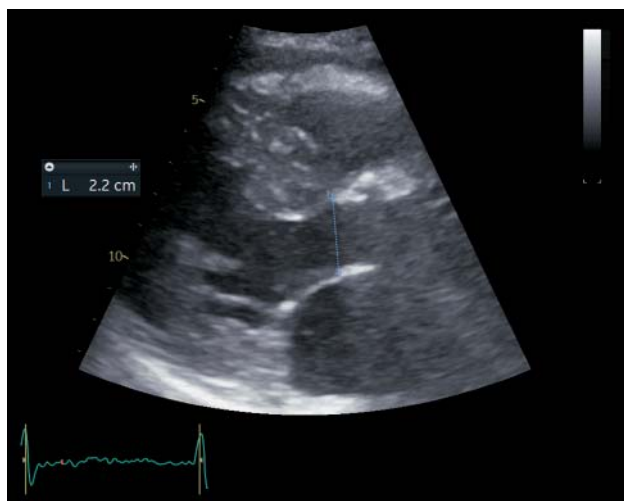


Рис. 5. Парастеральный доступ длинная ось левого желудочка. Пример измерения проксимального диаметра в ВТЛЖ в типичном случае адекватно установленного протеза от наружной поверхности края протеза до наружной поверхности края протеза.

Fig. 5. Parasternal long-axis view of the left ventricle. Example of proximal LVOT diameter measurement in a typical case of a correctly positioned prosthesis, measured from the outer-to-outer surfaces of the edge of the prosthesis.

расчетные показатели скорости кровотока в ВТЛЖ (значение $\geq 1,5$ м/с) индекса ударного объема ЛЖ (< 35 мл/м²), частоты сердечных сокращений, анемии, массы тела пациента, площади поверхности тела и т.д. Окончательная оценка эффективности функционирования протеза АК зависит не только от перечисленных показателей гемодинамики, но и от размера протеза, и от состояния систолической функции ЛЖ.

В соответствии с современными рекомендациями о возможном ухудшении функции протеза может свидетельствовать увеличение среднего трансклапанного градиента ≥ 10 мм рт.ст., приводящее к среднему градиенту ≥ 20 мм рт.ст., с сопутствующим уменьшением эффективной площади отверстия (ЕОА) $\geq 0,3$ см² и/или $\geq 25\%$ и уменьшением DVI $\geq 0,1$ или $\geq 20\%$ по сравнению с исходными данными после имплантации протеза. О значительном ухудшении функции протеза может свидетельствовать увеличение среднего градиента ≥ 20 мм рт.ст., приводящее к среднему градиенту ≥ 30 мм рт.ст., с сопутствующим уменьшением ЕОА $\geq 0,6$ см² или $\geq 50\%$ и/или уменьшением DVI $\geq 0,2$ или $\geq 40\%$ [2].

Трансторакальное ЭхоКГ-исследование может и должно быть расширено до чреспи-

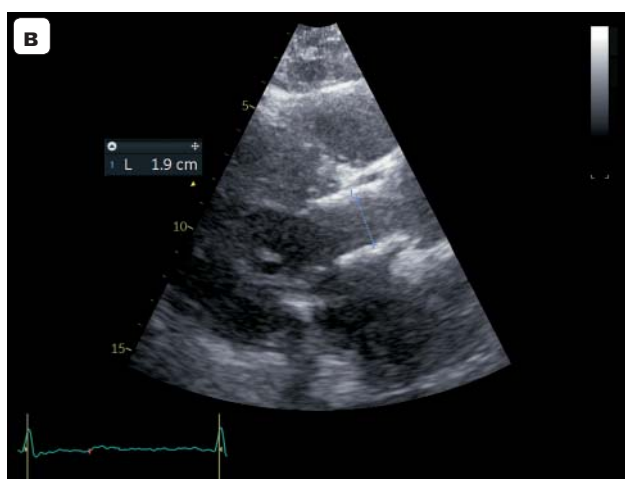
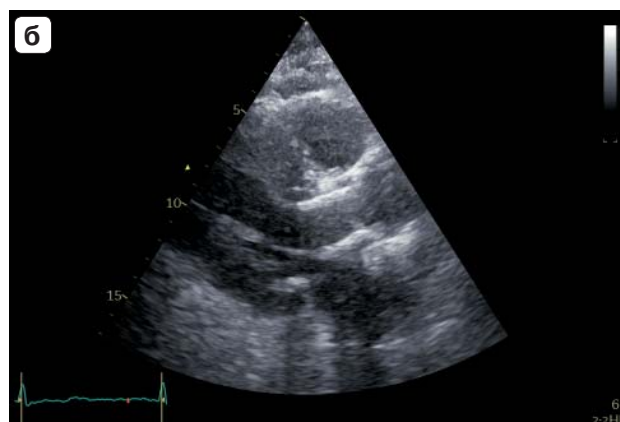
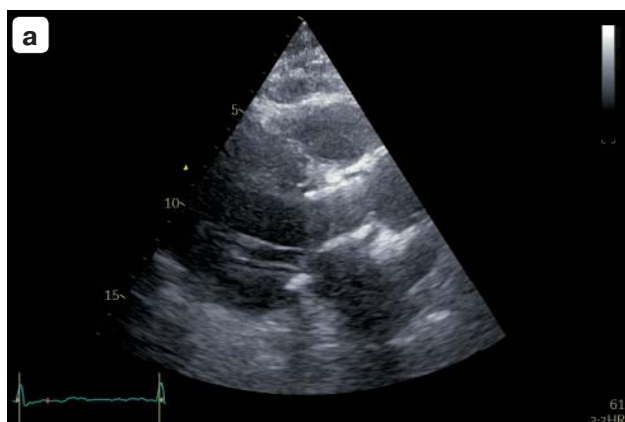


Рис. 6. Парастеральный доступ длинная ось левого желудочка. Пример измерения проксимального диаметра в ситуации, когда протез установлен низко в ВЛЖ (а – систола, б – диастола). в – измерение диаметра проводится в проксимальной части протеза непосредственно перед створками протеза от внутренней до внутренней поверхности протеза.

Fig. 6. Parasternal long-axis view of the left ventricle. Example of proximal diameter measurement in a situation where the prosthesis is implanted low in the LVOT (a – systole, б – diastole). в – the diameter measurement is performed in the proximal part of the prosthesis immediately in front the leaflets, from the inner-to-inner surface of the prosthesis.

щеводного исследования в ситуациях с неопределенными результатами [4].

Цветовое доплеровское картирование (ЦДК) позволяет выявить турбулентный антеградный кровоток через протез АК и/или **аортальную регургитацию (АР)**, место ее возникновения и степень ее выраженности. Выявление и оценка выраженности внутрипротезных и парапротезных регургитационных потоков имеют важное значение, поскольку АР коррелирует с летальностью [1]. Внутрипротезная регургитация наблюдается в месте смыкания створок протеза, а парапротезная регургитация – сразу после желудочкового конца протеза (рис. 7).

Одной из наиболее важных и оптимальных позиций для выявления и оценки выраженности АР после ТИАК является парастеральный доступ по короткой оси.

Количественная оценка парапротезной АР у пациентов после ТИАК нередко не может быть выполнена из-за ряда ограничений, так как она обычно выглядит в виде множественных эксцентрично направлен-

ных потоков. В связи с этим используется количественная оценка парапротезной регургитации по площади *vena contracta* и/или по соотношению длины циркулярной распространенности АР к длине окружности протезированного АК в сечении по короткой оси. Соотношение менее 10% указывает на небольшую выраженность АР, более 30% свидетельствует о выраженной АР, а промежуточные значения 10–29% считаются умеренными. Для площади *vena contracta* значения $<0,10 \text{ см}^2$ указывают на небольшую, а $>0,30 \text{ см}^2$ – на выраженную АР. Значения площади *vena contracta* от 0,10 до 0,30 см^2 считаются характерными для умеренной выраженности регургитации [2] (рис. 8–10). При этом АР следует оценивать не только по короткой оси клапана, но из всех возможных доступов полипозиционно: по длинной оси ЛЖ из парастерального, а также на 3 и 4 камеры из верхушечного доступов. Только при таком полипозиционном подходе возможно получить максимально полную информацию о нали-

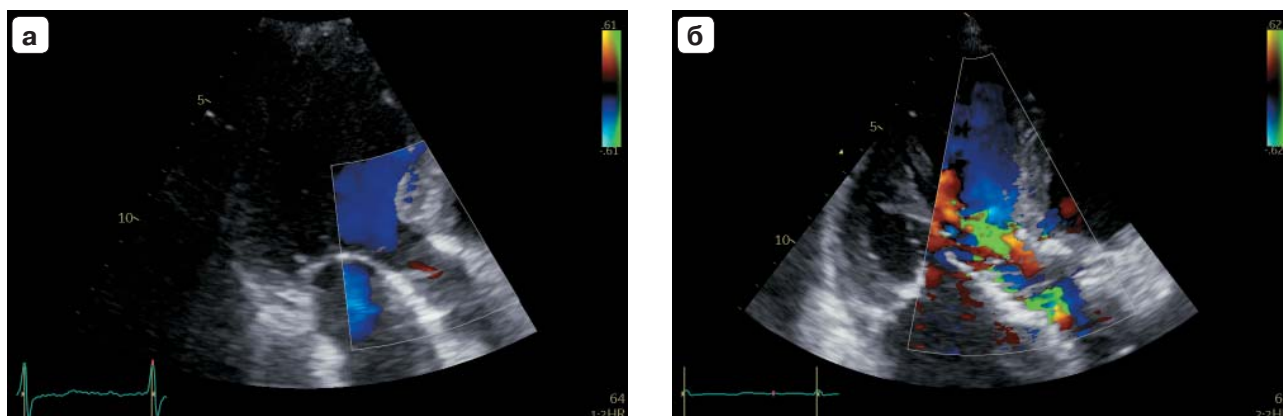


Рис. 7. Апикальный доступ длинная ось левого желудочка в режиме ЦДК. **а** – небольшая транспротезная регургитация; **б** – выраженная парапротезная регургитация.

Fig. 7. Apical long-axis view of the left ventricle in Color Doppler mode. **a** – Mild transprosthetic regurgitation; **b** – Severe paraprosthetic regurgitation.

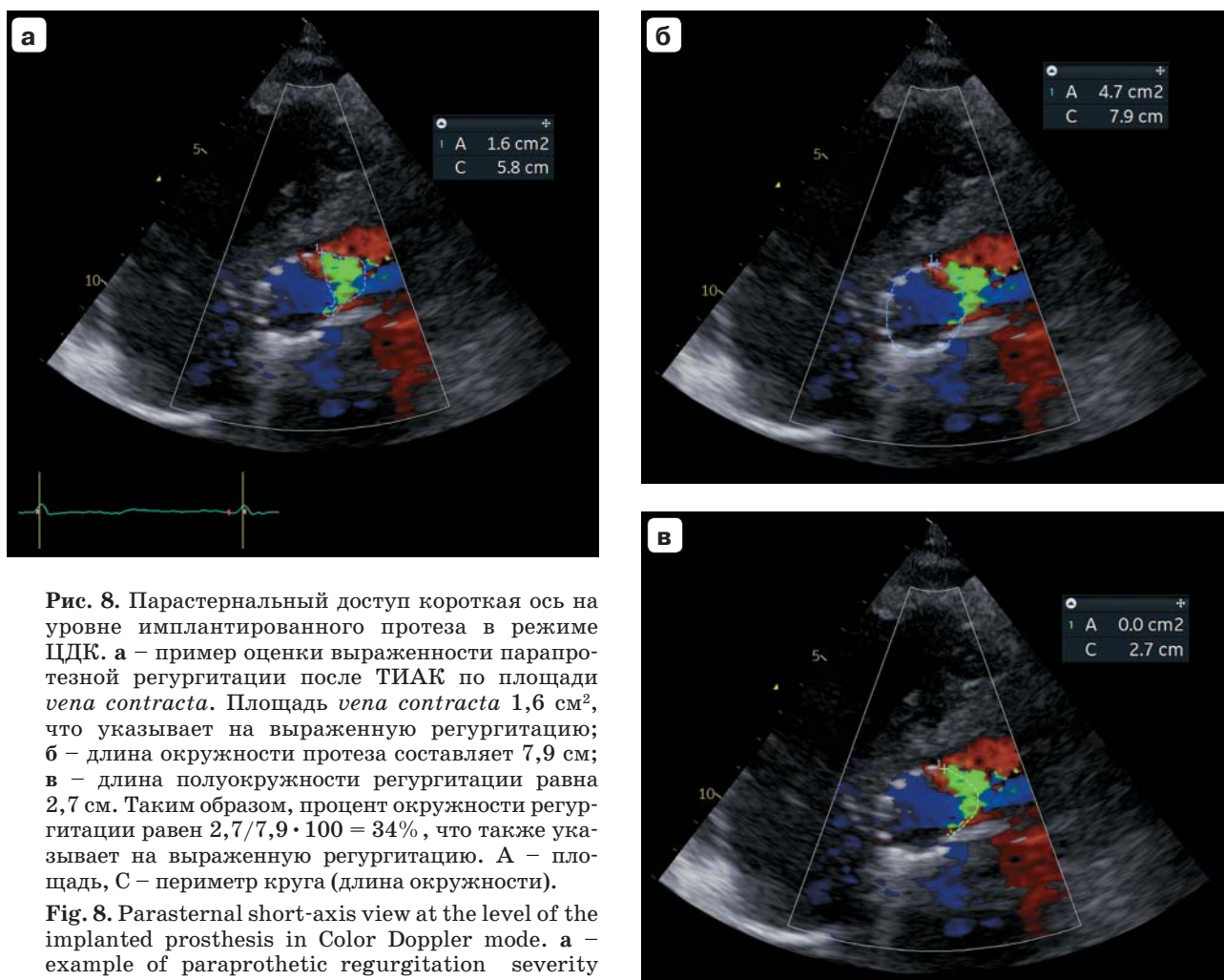


Рис. 8. Парастеральный доступ короткая ось на уровне имплантированного протеза в режиме ЦДК. **а** – пример оценки выраженности парапротезной регургитации после ТИАК по площади *vena contracta*. Площадь *vena contracta* 1,6 см², что указывает на выраженную регургитацию; **б** – длина окружности протеза составляет 7,9 см; **в** – длина полуокружности регургитации равна 2,7 см. Таким образом, процент окружности регургитации равен $2,7/7,9 \cdot 100 = 34\%$, что также указывает на выраженную регургитацию. А – площадь, С – периметр круга (длина окружности).

Fig. 8. Parasternal short-axis view at the level of the implanted prosthesis in Color Doppler mode. **a** – example of paraprosthetic regurgitation severity assessment after TAVI based on the *vena contracta* area (VCA). The VCA is 1.6 cm², indicating severe regurgitation; **б** – the circumference of the prosthesis is 7.9 cm. **в** – the length of the semicircle of regurgitation is 2.7 cm. Thus, the percentage of the regurgitation circle is $2,7/7,9 \cdot 100 = 34\%$, which also indicates a severe regurgitation. A – area, C – circumference.

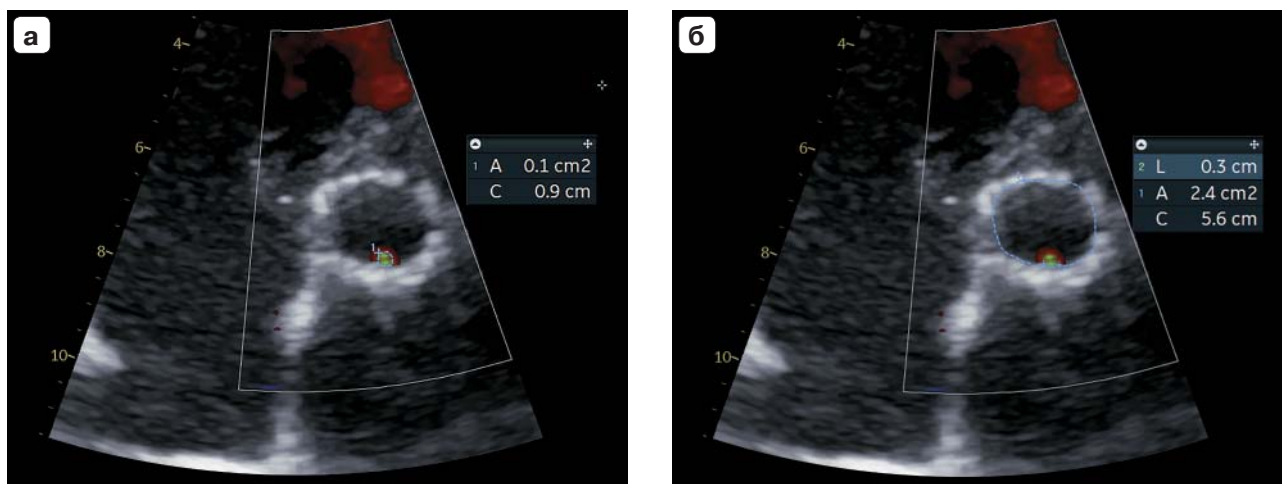


Рис. 9. Парастеральный доступ короткая ось на уровне имплантированного протеза в режиме ЦДК. **а** – площадь *vena contracta* 0,1 см², что указывает на небольшую регургитацию; **б** – длина окружности протеза составляет 5,6 см, длина полуокружности регургитации равна 0,3 см, процент окружности регургитации равен $0,3/5,6 \cdot 100 = 5\%$, что указывает на небольшую регургитацию. А – площадь, С – периметр круга (длина окружности), L – длина полуокружности регургитации.

Fig. 9. Parasternal short-axis view at the level of the implanted prosthesis in Color Doppler mode. **a** – the *vena contracta* area (VCA) is 0.1 cm², indicating mild regurgitation; **б** – the circumference of the prosthesis is 5.6 cm, length of the semicircle of regurgitation is 0.3 cm. Thus, the percentage of the regurgitation circle is $0,3/5,6 \cdot 100 = 5\%$, which also indicates a mild regurgitation. A – area, C – circumference, L – length of the semicircle of regurgitation.

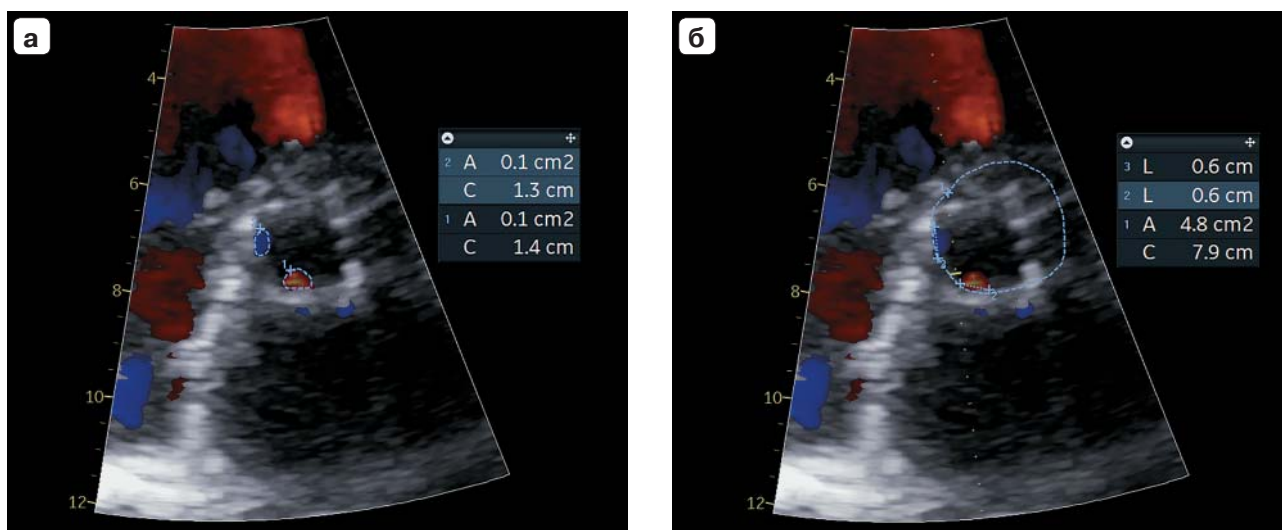


Рис. 10. Парастеральный доступ короткая ось на уровне имплантированного протеза в режиме ЦДК. **а** – два потока регургитации, площадь *vena contracta* 0,1 см² каждого, всего 0,2 см², что указывает на умеренную регургитацию; **б** – длина окружности протеза составляет 7,9 см, длина полуокружностей регургитаций $0,6+0,6 = 1,2$ см, процент окружности регургитации равен $1,2/7,9 \cdot 100 = 15\%$, что указывает на умеренную регургитацию. А – площадь, С – периметр круга (длина окружности), L – длина полуокружности регургитации.

Fig. 10. Parasternal short-axis view at the level of the implanted prosthesis in Color Doppler mode. **a** – two regurgitant jets with a VCA area of 0.1 cm² each, total 0.2 cm², indicating moderate regurgitation; **б** – the circumference of the prosthesis is 7.9 cm; the length of the semicircle of regurgitation is $0,6 + 0,6 = 1,2$ cm. Thus, the percentage of the regurgitation circle is $1,2/7,9 \cdot 100 = 15\%$, which also indicates a moderate regurgitation. A – area, C – circumference, L – circumferential length of the regurgitation.

чии и выраженности АР после ТИАК. АР после ТИАК отрицательно влияет на обычный процесс обратного ремоделирования индексов конечного диастолического объема ЛЖ и массы миокарда ЛЖ, который присущ пациентам после ТИАК [3].

Конечно, для оценки тяжести парапротезной регургитации также можно использовать качественные и полуколичественные показатели, которые применяются для оценки выраженности АР: а именно, диаметр *vena contracta* в двухмерном режиме,

время полуспада максимального градиента давления (pressure half time (PHT)), показатель скорости ретроградного диастолического потока в нисходящей аорте и наличие ретроградного голодиастолического потока в брюшной аорте (см. таблицу) [7].

Также следует отметить ключевую роль в оценке тяжести парапротезной регургитации линейных размеров и объемных показателей ЛЖ.

У пациентов с самораскрываемыми протезами следует помнить, что клапан про-

Таблица. Оценка выраженности аортальной регургитации после транскатетерной имплантации аортального клапана [7]

Table. Assessment of aortic regurgitation severity after transcatheter aortic valve implantation [7]

Выраженность аортальной регургитации	Небольшая	Умеренная	Выраженная
Структурные показатели			
Расположение протеза	Обычно нормальное	Вариабельное	Часто ненормальное
Морфология стента и створок	Обычно нормальная	Вариабельная	Часто ненормальная
Допплеровские показатели			
PISA	Отсутствует	Может быть	Часто присутствует
Плотность потока регургитации (CW)	Слабая	Выраженная	Выраженная
Диастолический ретроградный поток (PW):			
• в проксимальной нисходящей аорте	Короткий, ранний диастолический	Может быть голодиастолическим	Голодиастолический, скорость в конце диастолы ≥ 20 см/с
• в брюшной аорте	Нет	Нет	Есть
Полуколичественные			
Ширина <i>vena contracta</i> , см (ЦДК)	<0,3	0,3–0,6	>0,6
Площадь <i>vena contracta</i> , см ² (2D/3D ЦДК)	<0,10	0,10–0,29	$\geq 0,30$
Процент окружности АР, % (ЦДК)	<10	10–29	≥ 30
Скорость замедления потока АР, PHT, мс (CW)	Вариабельная, обычно >500	Вариабельная, 200–500	Крутая, обычно < 200
Количественные			
Объем регургитации, мл	<30	30–59	>60 (может быть меньше при сниженном сердечном выбросе)
Фракция регургитации, %	<30	30–49	≥ 50
Площадь эффективного отверстия регургитации, см ² (волюметрически)	<0,10	0,10–0,29	$\geq 0,30$

должает раскрываться в течение 2 нед после имплантации. В связи с этим некоторые из ранних парапротезных регургитаций по мере раскрывания протеза могут исчезать, особенно если эти регургитации небольшие. Баллонраскрываемые протезы не имеют такой особенности и, соответственно, параклапанные регургитации имеют тенденцию быть стабильными после имплантации. ТИАК обычно приводят к улучшению систолической и диастолической функции ЛЖ, уменьшению выраженности митральной регургитации (если таковая была небольшая или умеренная) и снижению давления в легочной артерии. Отсутствие подобного улучшения после выполненной ТИАК может свидетельствовать о неправильно подобранной процедуре для данного пациента. Например, в случаях, когда у пациента может отсутствовать контрактильный резерв ЛЖ или имеется необратимая стадия легочной гипертензии либо неправильно выбран протез или его расположение с наличием значимой парапротезной регургитации, которая не позволяет реализовать обратное ремоделирование сердца после имплантации протеза АК. В любом случае динамическое ЭхоКГ-наблюдение является полезным для выявления возможных осложнений, таких как инфекционный эндокардит, тромбоз протеза, миграция протеза, вторичная митральная регургитация и др. [3].

Современные рекомендательные документы оправданно предлагают проводить многопараметрическую ЭхоКГ-оценку для выявления структурных нарушений клапана после ТИАК [4]. Однако на практике, особенно при динамических ЭхоКГ-исследованиях, врачи нередко ориентируются на средний транспротезный градиент давления для быстрой оценки состояния клапана. Следует предостеречь врачей от такого подхода, так как неоднократно показано, что у пациентов с ТИАК средний транспротезный градиент давления может существенно отличаться от инвазивно определенных значений градиента давления, что обычно относят за счет ограниченный упрощенного уравнения Бернулли и из-за влияния феномена восстановления давления [6].

Обструкция коронарных артерий после ТИАК случается редко (0,66%). Несмотря

на это, следует помнить о возможности обструкции коронарных артерий, особенно у пациентов с гипотонией, изменениями на электрокардиограмме и при желудочковых аритмиях. Двухмерная трансторакальная ЭхоКГ позволяет выявлять новые нарушения локальной сократимости. Обструкция коронарных артерий после ТИАК чаще наблюдается у женщин, при имплантации баллонраскрываемого протеза и при ТИАК в ранее установленный хирургически биопротез. Факторами, предрасполагающими к этому серьезному осложнению, являются: низкое расположение устьев коронарных артерий, маленький синус Вальсальвы и длинные кальцифицированные створки АК [5, 8].

Отсроченные обструкции коронарных артерий встречаются с частотой 0,22%, дебютируют клинической картиной острого коронарного синдрома, чаще наблюдаются при ТИАК в протез и при использовании самораскрываемых протезов АК. Обычно происходит обструкция левой коронарной артерии [6].

В редких случаях при ТИАК возможны серьезные ятрогенные осложнения с вовлечением аорты, аортального кольца и прилежащих к аорте камер сердца с формированием различных фистул, которые нередко требуют хирургического лечения на открытом сердце [9]. В некоторых случаях возможно интервенционное закрытие фистул, хотя имплантированный протез АК нередко затрудняет их выполнение. При небольших объемах шунтирования крови возможно консервативное ведение этих пациентов. И именно в таких случаях роль ЭхоКГ-исследований в динамике чрезвычайно важна. Фистулы аорты с соседними камерами сердца являются редким осложнением ТИАК, однако возрастающее количество ТИАК может привести к увеличению частоты их регистрации. К 2019 г. было опубликовано 12 случаев ятрогенных **аортоправожелудочковых фистул**. Все 4 пациента, которым было выполнено интервенционное закрытие фистул, остались живы. Среди 8 пациентов, которые велись консервативно, трое умерли. Всем пациентам были имплантированы баллонрасширяемые протезы. У всех имелось значительное шунтирование крови, и развитие сердечной недостаточности наблюдалось в сроки

2–4 нед после процедуры имплантации протеза [10]. Небольшие ($Q_p/Q_s < 2$) бессимптомные шунтирования крови через фистулу могут вестись консервативно, однако существуют слишком ограниченные данные длительного наблюдения за такими пациентами, чтобы безоговорочно поддерживать такой подход [11]. С точки зрения визуализации ЭхоКГ в режиме ЦДК позволяет выявить направление шунтирования крови через фистулу. Но могут возникнуть затруднения при дифференциальной диагностике фистул с парапротезными регургитациями. При этом следует помнить, что кровотоки через фистулы осуществляется на протяжении всего сердечного цикла, а регургитационные потоки только в диастолу.

ТИАК может приводить к нарушению работы митрального клапана, включая появление или усугубление выраженности митральной регургитации, что обычно ассоциировано с низким расположением протеза АК. Наличие умеренной и выраженной митральной регургитации у пациентов после ТИАК является независимым предиктором летальности в течение года [12].

У пациентов после ТИАК индекс площади митрального отверстия уменьшается. Факторами, способствующими этому, являются меньший диаметр фиброзного кольца митрального клапана, ограниченная подвижность его передней створки и глубина имплантации протеза АК [13]. В отдельных случаях может наблюдаться выраженное ограничение подвижности передней створки митрального клапана с формированием гемодинамики по типу стеноза митрального клапана.

Спектр возможных осложнений процедуры ТИАК не ограничивается приведенными состояниями. Как и после хирургического протезирования АК, у пациентов с ТИАК возможно развитие несоответствия протеза пациенту, а также инфекционного эндокардита и тромбоза протеза. Наряду с сосудистыми осложнениями пациенты с ТИАК находятся в группе высокого риска ишемического инсульта в течение нескольких месяцев после имплантации, у 5–50% пациентов возникает атриовентрикулярная блокада, у некоторых пациентов может проявиться внутрижелудочковая обструкция с градиентом давления на срединном уровне [14, 15].

Конечно, ни один метод не в состоянии ответить на все вопросы, и зачастую по данным трансторакальной ЭхоКГ сложно, а иногда и невозможно однозначно определить состоятельность протеза АК, оценить степень тяжести АР. Современные методы визуализации предоставляют кардиологу широкий спектр исследований, таких как чреспищеводная ЭхоКГ, магнитно-резонансная томография сердца и компьютерная томография, а в ряде случаев и катетеризация сердца. ЭхоКГ обычно является первым шагом в этом диагностическом поиске.

Таким образом, ЭхоКГ была и остается одним из основных методов диагностики состояния клапанного протеза у пациентов после ТИАК из-за ее широкой доступности и неинвазивного характера. При выполнении ЭхоКГ следует учитывать ряд особенностей, присущих именно этим пациентам, которые могут существенно повлиять на оценку результатов ЭхоКГ-исследования и на тактику ведения этих пациентов как непосредственно после вмешательства, так и в отдаленном периоде.

Участие авторов

Алехин М.Н. – концепция и дизайн исследования; обзор публикаций по теме статьи; написание текста; участие в научном дизайне; подготовка, создание опубликованной работы; утверждение окончательного варианта статьи.

Тер-Акопян А.В. – подготовка и редактирование текста; участие в научном дизайне; утверждение окончательного варианта статьи.

Матвеева М.Г. – подготовка и редактирование текста; участие в научном дизайне; подготовка, создание опубликованной работы; утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Alekhin M.N. – concept and design of the study; review of publications; writing text; participation in scientific design; preparation and creation of the published work; approval of the final version of the article.

Ter-Akopyan A.V. – text preparation and editing; participation in scientific design; approval of the final version of the article.

Matveeva M.G. – text preparation and editing; participation in scientific design; preparation and creation of the published work; approval of the final version of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. Jerez-Valero M., Urena M., Webb J.G. et al. Clinical impact of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: insights into the degree and acuteness of presentation. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2014; 7 (9): 1022–1032. <http://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.04.012>
2. Zoghbi W.A., Jone P.N., Chamsi-Pasha M.A. et al. Guidelines for the Evaluation of Prosthetic Valve Function With Cardiovascular Imaging: A Report From the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration With the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2024; 37 (1): 2–63. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2023.10.004>
3. Sato K., Kumar A., Jones B.M. et al. Reversibility of Cardiac Function Predicts Outcome After Transcatheter Aortic Valve Replacement in Patients With Severe Aortic Stenosis. *J. Am. Heart Assoc.* 2017; 6 (7): e005798. <http://doi.org/10.1161/JAHA.117.005798>
4. VARC-3 WRITING COMMITTEE; Généreux P., Piazza N., Alu M.C. et al. Valve Academic Research Consortium 3: Updated Endpoint Definitions for Aortic Valve Clinical Research. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021; 42 (19): 1825–1857. <http://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa799>
5. Ribeiro H.B., Webb J.G., Makkar R.R. et al. 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. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.07.040>
6. Jabbour R.J., Tanaka A., Finkelstein A. et al. Delayed Coronary Obstruction After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2018; 71 (14): 1513–1524. <http://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.01.066>
7. Zoghbi W.A., Asch F.M., Bruce C. et al. Guidelines for the Evaluation of Valvular Regurgitation After Percutaneous Valve Repair or Replacement: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Japanese Society of Echocardiography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (4): 431–475. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2019.01.003>
Erratum in: *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2019; 32 (7): 914–917. <http://doi.org/10.1016/j.echo.2019.05.013>
8. Khan J.M., Kamioka N., Lisko J.C. et al. Coronary Obstruction From TAVR in Native Aortic Stenosis: Development and Validation of Multivariate Prediction Model. *JACC Cardiovasc. Interv.* 2023; 16 (4): 415–425. <http://doi.org/10.1016/j.jcin.2022.11.018>
9. Langer N.B., Hamid N.B., Nazif T.M. et al. Injuries to the Aorta, Aortic Annulus, and Left Ventricle During Transcatheter Aortic Valve Replacement: Management and Outcomes. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2017; 10 (1): e004735. <http://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.116.004735>
10. Alabbady A.M., Sattur S., Bauch T.D., Harjai K.J. Aorto-Right Ventricular Fistula and Paravalvular Leak After Transcatheter Aortic Valve Implantation. *JACC Case Rep.* 2019; 1 (5): 859–864. <http://doi.org/10.1016/j.jaccas.2019.11.025>
11. Coelho B., Ng M., Naoum C. et al. Iatrogenic Aorto-Right Ventricular Fistula: A Rare Complication of Transcatheter Valve Implantation. *CASE (Phila).* 2023; 7 (5): 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.case.2023.01.002>
12. Polizzi G., Campos K., Coulter S.A. Mitral regurgitation carries greater prognostic significance than mitral stenosis in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement. *J. Cardiovasc. Med. (Hagerstown).* 2024; 25 (7): 529–538. <https://doi.org/10.2459/JCM.0000000000001629>
13. Ichikawa N., Shiina Y., Koashi Y. et al. Mitral complex geometric changes aggravate mitral stenosis after transcatheter aortic valve replacement. *Int. J. Cardiovasc. Imaging.* 2024; 40 (8): 1767–1777. <https://doi.org/10.1007/s10554-024-03167-y>
14. Лунева Е.Б., Малев Э.Г. Ведение пациентов с транскатетерным имплантируемым аортальным клапаном. *Клиницист.* 2022; 16 (3): 10–17. <http://doi.org/10.17650/1818-8338-2022-16-3-K663>
Лунева Е.Б., Малев Э.Г. Management of patients with transcatheter implantable aortic valve. *Klinitsist=The Clinician* 2022; 16 (3): 10–17. <http://doi.org/10.17650/1818-8338-2022-16-3-K663> (In Russian)
15. Ганюков В.И., Тарасов Р.С., Колесников А.Ю., Ганюков И.В. Транскатетерная имплантация аортального клапана: от идеи до внедрения. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2024; 13 (1): 152–164. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-1-152-164>
Ganyukov V.I., Tarasov R.S., Kolesnikov A.Yu., Ganyukov I.V. Transcatheter aortic valve replacement: from idea to implementation. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2024; 13 (1): 152–164. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2024-13-1-152-164> (In Russian)

Echocardiography in patients after transcatheter aortic valve implantation

M.N. Alekhin^{1,2}, A.V. Ter-Akopyan¹, M.G. Matveeva^{1}*

¹ *Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; 15, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation*

² *Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation; 19-1A, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation*

Mikhail N. Alekhin – MD, Doct. of Sci. (Med.), Professor, Head of Functional Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; Professor, Division of Therapy, Cardiology, Functional Diagnostics, and Nephrology, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-9725-7528>

Armen V. Ter-Akopyan – MD, Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment of the Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs. <https://orcid.org/0000-0001-6693-3944>

Marina G. Matveeva – MD, PhD (Med.), Doctor of Functional Diagnostics, Central Clinical Hospital with Outpatient Clinic of Department of Presidential Affairs. <https://orcid.org/0000-0001-6056-835X>

Correspondence* to Dr Marina G. Matveeva – e-mail: mgmatveeva@yandex.ru

Current guidelines for patients after transcatheter aortic valve implantation (TAVI) recommend a multiparametric echocardiographic assessment to detect structural valve disorders (SVD). The article highlights the specific features of echocardiographic evaluation post-TAVI. It describes the nuances of visual assessment regarding the prosthesis position and shape. The calculation of hemodynamic characteristics is presented, taking into account critical methodological aspects in TAVI patients, as well as the features of quantitative assessment for both of intraprosthetic and paraprosthetic regurgitation flows.

Keywords: echocardiography; transcatheter aortic valve implantation; Doppler velocity index; paraprosthetic regurgitation

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Alekhin M.N., Ter-Akopyan A.V., Matveeva M.G. Echocardiography in patients after transcatheter aortic valve implantation. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2026; 32 (1): 70–82. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-363> (In Russian)

Received: 05.11.2025.

Accepted for publication: 03.02.2026.

Published online: 1.03.2026.