

Кальциноз аортального клапана как предиктор имплантации постоянного электрокардиостимулятора после транскатетерной имплантации аортального клапана

Джидзалова Д. Х., Петросян К. В., Бердибеков Б. Ш., Болдырева К. М., Булаева Н. И., Кудряшова Е. Н., Рычина И. Е., Голухова Е. З.

Цель. Определить влияние степени кальциноза аортального клапана (АК) на потребность в имплантации постоянного электрокардиостимулятора (ЭКС) после транскатетерной имплантации АК (ТИАК) в течение госпитального периода.

Материал и методы. В исследование вошло 94 пациента с тяжелым аортальным стенозом, которым была выполнена процедура ТИАК. Всем пациентам была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) перед процедурой с оценкой степени кальциноза створок АК.

Результаты. В течение госпитального периода восьмерым (8,5%) пациентам потребовалась имплантация постоянного ЭКС. В результате анализа данных МСКТ было выявлено, что у пациентов, которым был имплантирован ЭКС после ТИАК, по сравнению с пациентами без ЭКС отмечались более высокие значения объема кальция на левой коронарной створке (ЛКС) ($424,6 \text{ мм}^3$ [223,1-524,7] vs $151,6 \text{ мм}^3$ [91,9-276,2], соответственно, $p=0,005$) и некоронарной створке ($608,2 \text{ мм}^3$ [254,5-805,2] vs $283,7 \text{ мм}^3$ [173,6-398,9], соответственно, $p=0,035$). В результате многофакторного регрессионного анализа независимыми предикторами имплантации ЭКС после ТИАК были наличие исходной блокады правой ножки пучка Гиса (БПНПГ) (отношение шансов (ОШ): 15,77; 95% доверительный интервал (ДИ): 2,06-120,5; $p=0,008$) и объем кальция в ЛКС $>300 \text{ мм}^3$ (ОШ: 7,98; 95% ДИ: 1,38-46,11; $p=0,020$).

Заключение. По данным проведенного исследования исходная БПНПГ и кальциноз ЛКС являются независимыми предикторами имплантации постоянного ЭКС после ТИАК в течение госпитального периода. Необходимы дальнейшие исследования для прогнозирования и предупреждения послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: транскатетерная имплантация аортального клапана, электрокардиостимулятор, кальциноз аортального клапана, мультиспиральная компьютерная томография.

Отношения и деятельность: нет.

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева Минздрава России, Москва, Россия.

Джидзалова Д. Х.* — врач-кардиолог, ORCID: 0000-0002-3694-3583, Петросян К. В. — д.м.н., зав. отделением, ORCID: 0000-0002-3370-0295, Бердибеков Б. Ш. — к.м.н., врач-кардиолог, ORCID: 0000-0001-7717-4971, Болдырева К. М. — м.н.с., врач-рентгенолог, ORCID: 0000-0002-5197-7562, Булаева Н. И. — к.б.н., врач-кардиолог, руководитель отдела координации и сопровождения научно-исследовательской деятельности, доцент кафедры кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-5091-0518, Кудряшова Е. Н. — врач-кардиолог, ORCID: 0000-0002-7796-8998, Рычина И. Е. — к.м.н., с.н.с., зав. отделением компьютерной томографии, ORCID: 0000-0001-8056-4188, Голухова Е. З. — академик РАН, д.м.н., профессор, директор, зав. кафедрой кардиологии и функциональной диагностики с курсом детской кардиологии, ORCID: 0000-0002-6252-0322.

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

АВБ — атриовентрикулярная блокада, АК — аортальный клапан, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, БПНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, ВТЛЖ — выводной тракт левого желудочка, ДИ — доверительный интервал, ЛЖ — левый желудочек, ЛКС — левая коронарная створка, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, НКС — некоронарная створка, ОШ — отношение шансов, ПКС — правая коронарная створка, РКИ — рандомизированное клиническое исследование, ТИАК — транскатетерная имплантация аортального клапана, ФВ — фракция выброса, ЧКВ — чрескожное коронарное вмешательство, ХПАК — хирургическое протезирование аортального клапана, ЭКГ — электрокардиограмма, ЭКС — электрокардиостимулятор, RR — относительный риск.

Рукопись получена 15.01.2025

Рецензия получена 11.02.2025

Принята к публикации 30.03.2025



Для цитирования: Джидзалова Д. Х., Петросян К. В., Бердибеков Б. Ш., Болдырева К. М., Булаева Н. И., Кудряшова Е. Н., Рычина И. Е., Голухова Е. З. Кальциноз аортального клапана как предиктор имплантации постоянного электрокардиостимулятора после транскатетерной имплантации аортального клапана. *Российский кардиологический журнал*. 2025;30(11):6256. doi: 10.15829/1560-4071-2025-6256. EDN: GZSNWJ

Aortic valve calcification as a predictor of permanent pacemaker insertion after transcatheter aortic valve implantation

Dzhidzalova D. Kh., Petrosyan K. V., Berdibekov B. Sh., Boldyreva K. M., Bulaeva N. I., Kudryashova E. N., Rychina I. E., Golukhova E. Z.

Aim. To assess the contribution of aortic valve (AV) calcification severity to permanent pacemaker (PP) insertion after transcatheter aortic valve implantation (TAVI) during the hospitalization.

Material and methods. The study included 94 patients with severe aortic stenosis who underwent TAVI. All patients underwent multislice computed tomography (CT) before the procedure to assess AV calcification.

Results. During the hospital period, eight patients (8,5%) required PP implantation. CT made it possible to reveal that patients who underwent pacemaker implantation after TAVI compared with patients without pacemaker had higher calcium volume in the left coronary cusp (LCC) ($424,6 \text{ mm}^3$ [223,1-524,7] vs $151,6 \text{ mm}^3$ [91,9-276,2], respectively, $p=0,005$) and non-coronary cusp ($608,2 \text{ mm}^3$ [254,5-805,2] vs $283,7 \text{ mm}^3$ [173,6-398,9], respectively, $p=0,035$). As a result of multivariate regression analysis, the independent predictors of pacemaker implantation after TAVI were the initial right bundle branch block (RBBB) (odds ratio (OR): 15,77;

95% confidence interval (CI): 2,06-120,5; $p=0,008$) and LCC calcium volume $>300 \text{ mm}^3$ (OR: 7,98; 95% CI: 1,38-46,11; $p=0,020$).

Conclusion. According to the study results, initial RBBB and LCC calcification are independent predictors of permanent pacemaker implantation after TAVI during the hospital period. Further studies are needed to predict and prevent post-operative complications.

Keywords: transcatheter aortic valve implantation, pacemaker, aortic valve calcification, multislice computed tomography.

Relationships and Activities: none.

Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery, Moscow, Russia.

Dzhidzalova D. Kh.* ORCID: 0000-0002-3694-3583, Petrosyan K.V. ORCID: 0000-0002-3370-0295, Berdibekov B. Sh. ORCID: 0000-0001-7717-4971, Boldyreva K.M. ORCID: 0000-0002-5197-7562, Bulaeva N.I. ORCID: 0000-0002-5091-0518, Kudryashova E.N. ORCID: 0000-0002-7796-8998, Rychina I.E. ORCID: 0000-0001-8056-4188, Golukhova E.Z. ORCID: 0000-0002-6252-0322.

*Corresponding author: dzhidzalovadiana@gmail.com

Received: 15.01.2025 Revision Received: 11.02.2025 Accepted: 30.03.2025

For citation: Dzhidzalova D. Kh., Petrosyan K.V., Berdibekov B. Sh., Boldyreva K.M., Bulaeva N.I., Kudryashova E.N., Rychina I.E., Golukhova E.Z. Aortic valve calcification as a predictor of permanent pacemaker insertion after transcatheter aortic valve implantation. *Russian Journal of Cardiology*. 2025;30(11):6256. doi: 10.15829/1560-4071-2025-6256. EDN: GZSNWJ

Ключевые моменты

- Послеоперационные нарушения проводимости остаются одними из самых частых осложнений после транскатетерной имплантации аортального клапана (ТИАК).
- У пациентов с электрокардиостимулятором (ЭКС) выявлен более выраженный кальциноз левой и некоронарной створок аортального клапана.
- Исходная блокада правой ножки пучка Гиса и выраженный кальциноз левой коронарной створки аортального клапана были определены в качестве независимых предикторов имплантации ЭКС после ТИАК.

В связи с благоприятными результатами недавних рандомизированных клинических исследований (РКИ), расширение показаний к транскатетерной имплантации аортального клапана (ТИАК) на сегодняшний день является крайне актуальным вопросом, т.к. остро стоит вопрос о проведении процедуры пациентам низкого риска, а значит и пациентам более молодого возраста.

Предметом дискуссий остаются послеоперационные нарушения проводимости сердца, которые требуют имплантации постоянного электрокардиостимулятора (ЭКС), ведь частота указанных осложнений после ТИАК остается выше, чем после хирургического протезирования аортального клапана (ХПАК) [1, 2].

Несмотря на достижения в разработке транскатетерных клапанов и модификацию методов имплантации, частота развития послеоперационных нарушений проводимости сердца остается нежелательно высокой и варьирует от 3% до 26% по данным различных источников [3-5]. Данный фактор является одним из ограничений к распространению процедуры ТИАК молодым пациентам, т.к. польза от эндоваскулярной операции в данной группе пациентов может быть неоправданна вследствие наличия постоянной стимуляции правого желудочка, и, следовательно, более высоким риском развития фибрилляции предсердий, сердечной недостаточности и смерти в отдаленном периоде [6-8]. Наиболее частыми вариантами нарушений проводимости после ТИАК являются впервые возникшая блокада левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ) и атриовентри-

Key messages

- Postoperative conduction disorders remain one of the most common complications after transcatheter aortic valve implantation (TAVI).
- Patients with pacemakers had more pronounced calcification of the left and non-coronary aortic valve cusps.
- Initial right bundle branch block and pronounced calcification of the left coronary aortic valve cusp were identified as independent predictors of pacemaker implantation after TAVI.

кулярная блокада (АВБ) высокой степени [9]. Одним из факторов риска развития этих осложнений является кальцификация аортального клапана (АК). По данным различных источников, параметрами, которые связаны с развитием нарушений проводимости после ТИАК, являются асимметричное распределение кальция преимущественно в одной из створок АК, степень кальциноза выводного тракта левого желудочка (ЛЖ) (ВТЛЖ), объем кальция в зоне имплантации клапана, однако данные остаются противоречивыми [10]. Кроме того, считается, что наличие некоторой степени кальцификации АК необходимо для обеспечения стабильной установки клапана.

Целью работы явилась оценка степени кальцификации створок АК с помощью мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и определение влияния распределения кальция в АК на потребность в имплантации постоянного ЭКС после ТИАК.

Материал и методы

В первоначальный анализ вошло 114 пациентов с тяжелым аортальным стенозом, которым была выполнена процедура ТИАК на базе федерального центра с октября 2020г по ноябрь 2023г. Из исследования были исключены пациенты, которым ранее было выполнено ХПАК (n=3), ТИАК (n=1) или имплантация постоянного ЭКС (n=7), и пациенты, у которых отсутствовали данные МСКТ (n=9). Таким образом, в окончательный анализ было включено 94 пациента.

Всем пациентам выполнена ТИАК трансфеморальным доступом. Двум пациентам (2,1%) были имплантированы баллон-расширяемые клапаны Sapien XT, 92 пациентам (97,9%) — саморасширяющиеся клапа-

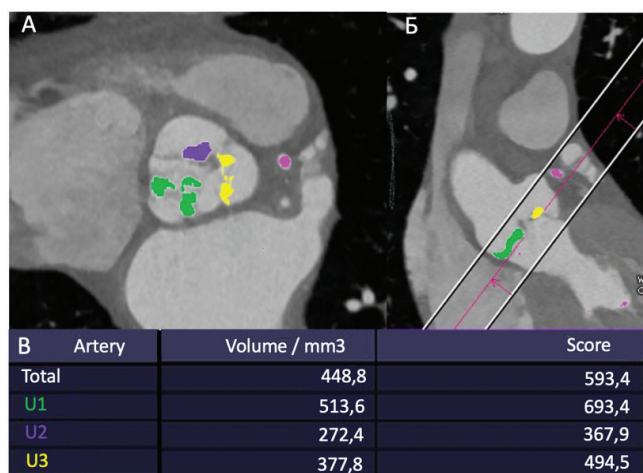


Рис. 1. Количественное полуавтоматическое определение кальция на створках АК при МСКТ-ангиографии.

Примечание: А — мультипланарная реконструкция, аксиальное изображение плоскости АК. Б — сагиттальное изображение плоскости АК. В — полуавтоматическая количественная оценка кальциноза створок АК. Цветовая маркировка: ПКС — желтый цвет, ЛКС — зеленый цвет, НКС — фиолетовый. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

ны (CoreValve Evolute, Evolute R, Acurate, Acurate Neo, Acurate Neo 2, Portico), из них 20 (21,3%) пациентам выполнена одномоментно ТИАК и чрескожное коронарное вмешательство. Также всем пациентам проводилась эхокардиография, регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) и проведение холтеровского исследования ЭКГ до и после процедуры ТИАК.

Оценка степени кальциноза АК. Всем пациентам, вошедшим в исследование, была выполнена МСКТ с введением контрастного вещества по программе подготовки к ТИАК. Исследование проводилось на двухтрубном аппарате Siemens SOMATOM Force (Siemens Healthcare, Германия) с использованием двух стандартных протоколов. Выбор протокола осуществлялся с учетом индивидуальных особенностей пациента, учитывался рост и вес, нарушение ритма сердца в анамнезе, возможность пациентом задержки дыхания до 20 сек. В двух стандартных протоколах оценка аорты и АК выполнялась с ЭКГ-синхронизацией и автоматической модуляцией силы тока, на задержке дыхания с максимальным временным разрешением (65 мс). Для введения контрастного вещества Омнипак 350 мг/мл использовали двухколбовый инжектор (Ulrich XD 8000 CT motion, Германия). Расчет количества вводимого контрастного вещества производился с учетом времени сканирования и задержки сканирования. Скорость введения контрастного вещества зависела от напряжения на трубке (кВ). Сканирование начиналось автоматически, с использованием метод отслеживания болуса, при достижении порога контрастирования в 150 ед. Хаунсфилда (НУ) в нисходящей аорте. Полученные данные реконструированы с толщиной среза 0,6 мм и фильтром реконструкции (Bv36)

в систолу и диастолу (30% и 70% от сердечного цикла) для ЭКГ-синхронизированных серий аорты и АК. Толщина среза для ЭКГ-несинхронизированной серии составляла 1,0 мм с фильтром реконструкции (Bv36).

Анализ кальциноза АК. Оценка полученных изображений производилась на рабочей станции в программе для постпроцессорной обработки для подсчета кальция CaScoring (SyngoVia, версия VB10A; Siemens Healthineers) с использованием шкалы Agatston с модифицированным пороговым значением 450 НУ. Полуавтоматически был рассчитан объем кальция для 4 зон интереса: правая коронарная створка (ПКС), левая коронарная створка (ЛКС), некоронарная створка (НКС) и ВТЛЖ. При анализе в зону интереса была включена только область фиброзного кольца и ВТЛЖ. Врач-рентгенолог вручную сегментировал кальций, расположенный вдоль створок и комиссур, а также кальций в ВТЛЖ. Для точной дифференцировки принадлежности кальциноза к конкретной области АК, анализ изображений производился в аксиальной, сагиттальной и коронарной плоскости (рис. 1).

Статистический анализ. Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием программы IBM SPSS Statistics v.29.0 (разработчик — IBM Corporation). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, представлены в виде средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD). Совокупности количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, описывались при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3). Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. При сравнении средних величин в нормально распределенных совокупностях количественных данных рассчитывался t-критерий Стьюдента. Для сравнения независимых совокупностей в случаях отсутствия признаков нормального распределения данных использовался U-критерий Манна-Уитни. Сравнение номинальных данных проводилось при помощи критерия χ^2 Пирсона или точного критерия Фишера. При сравнении средних показателей, рассчитанных для связанных выборок (например, значений показателя до и после ТИАК), использовался парный t-критерий Стьюдента. Для сравнения относительных показателей, характеризующих связанные совокупности, нами использовался тест МакНемара. Поиск предикторов имплантации ЭКС после ТИАК проводился при помощи метода бинарной логистической регрессии, при помощи которой были рассчитаны коэффициенты регрессии, значение отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (ДИ) для каждого предиктора. Отбор независимых переменных произ-

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика пациентов

Параметр	Общая группа (n=94)	ЭКС (–) (n=86)	ЭКС (+) (n=8)	p
Возраст, лет	75,3±6,7	75,1±6,5	78,0±8,0	0,240
Женский пол	67 (71,3%)	64 (74,4%)	3 (37,5%)	0,041*
Ожирение	46 (48,9%)	42 (48,8%)	4 (50,0%)	1,00
ИМТ, кг/м ²	30,4±6,0	30,3±5,8	31,5±8,4	0,588
Атеросклероз БЦА	26 (27,7%)	23 (26,7%)	3 (37,5%)	0,680
Атеросклероз периферических артерий	12 (12,8%)	11 (12,8%)	1 (12,5%)	1,00
ПИКС	10 (10,6%)	9 (10,5%)	1 (12,5%)	1,00
ОНМК	6 (6,4%)	6 (7,0%)	0 (0,0%)	1,00
СД	29 (30,9%)	27 (31,4%)	2 (25,0%)	1,00
ЧКВ в анамнезе	28 (29,8%)	25 (29,1%)	3 (37,5%)	0,691
ТИАК+ЧКВ	20 (21,3%)	18 (20,9%)	2 (25,0%)	0,677
Онкология	17 (18,1%)	15 (17,4%)	2 (25,0%)	0,633
Лучевая терапия	9 (9,6%)	8 (9,3%)	1 (12,5%)	0,368
ФП	26 (27,7%)	22 (25,6%)	4 (50,0%)	0,211
ХОБЛ	14 (14,9%)	13 (15,1%)	1 (12,5%)	1,00
АГ	94 (100%)	86 (100%)	8 (100%)	1,00
СКФ, мл/мин/1,73 м ²	60,2±20,8	60,9±20,3	54,3±25,2	0,432
Креатинин, мкмоль/л	96,7±35,9	93,9±31,0	121,1±62,9	0,266
Гемоглобин, г/л	126,4±11,6	125,1±10,3	137,7±16,3	0,067
EuroScore II	4,9±4,0	4,9±3,9	5,5±4,9	0,720
Исходные эхокардиографические параметры				
КДО ЛЖ, мл	103,3±34,7	100,5±31,5	131,4±53,1	0,016*
КСО ЛЖ, мл	42,1±21,0	40,1±19,3	62,2±27,4	0,004*
ФВ ЛЖ, %	59,8±8,4	60,4±8,4	53,6±6,1	0,029*
ММЛЖ, г	287,5±65,5	277,1±58,5	354,8±72,5	0,003*
ИММЛЖ, г/м ²	152,1±37,2	147,7±33,6	180,1±48,9	0,031*
ГДм, мм рт.ст.	90,7±24,9	90,9±25,6	88,2±18,6	0,772
ГДс, мм рт.ст.	52,7±14,6	52,9±14,9	51,2±11,4	0,766
ПАК, см ²	0,62±0,21	0,61±0,21	0,64±0,20	0,741

Примечание: данные представлены как M±SD, категориальные переменные — в абсолютных значениях и доли в %; * — статистически значимые различия, p<0,05.

Сокращения: АГ — артериальная гипертензия, БЦА — брахиоцефальные артерии, ГДм — максимальный градиент на аортальном клапане, ГДс — средний градиент на аортальном клапане, ИМТ — индекс массы тела, КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ММЛЖ — масса миокарда левого желудочка, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ПАК — площадь аортального клапана, ПИКС — постинфарктный кардиосклероз, СД — сахарный диабет, СКФ — скорость клубочковой фильтрации, ТИАК — транскатетерная имплантация аортального клапана, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ФП — фибрилляция предсердий, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, ЧКВ — чрескожное коронарное вмешательство, ЭКС — электрокардиостимулятор.

водился методом пошаговой прямой селекции с использованием в качестве критерия исключения статистики Вальда. Различия показателей считались статистически значимыми при уровне значимости p<0,05.

Результаты

Характеристика пациентов

Клинико-анамнестическая характеристика подробно представлена в таблице 1. Средний возраст пациентов составил 75,3±6,7 лет. Большинство пациентов были женщинами 67 (71,3%). Исходно у 7 пациентов зарегистрирована полная блокада правой ножки пучка Гиса (БПНПГ) (7,4%), у 9 пациентов — полная БЛНПГ (9,6%). Из 94 пациентов после ТИАК в течение госпитального периода имплантация постоян-

ного ЭКС потребовалась 8 пациентам (8,5%). У 7 пациентов (87,5%) ЭКС был имплантирован по поводу полной АВБ и у 1 пациента (13,5%) — по поводу АВБ 2 степени Мобитц 2. В зависимости от имплантации ЭКС после ТИАК нами были сформированы группы "ЭКС (+)" (n=8) и "ЭКС (–)" (n=86).

В результате оценки исходных эхокардиографических данных были выявлены более высокие объемные показатели ЛЖ у пациентов, которым в дальнейшем потребовалась имплантация ЭКС, кроме того, в данной группе фракция выброса (ФВ) ЛЖ была статистически значимо ниже по сравнению с группой без ЭКС (p=0,029).

При анализе исходных электрокардиографических показателей в зависимости от дальнейшей не-

Таблица 2

Исходные данные ЭКГ

Показатель	Значение, n=94	ЭКС (–) (n=86)	ЭКС (+) (n=8)	p
БЛНПГ	9 (9,6%)	9 (10,5%)	0 (0,0%)	1,00
БПНПГ	7 (7,4%)	4 (4,7%)	3 (37,5%)	0,012*
PQ, мс	167,9±31,1	166,1±28,9	196,0±53,1	0,036*
QRS, мс	96,4±24,3	94,8±23,2	113,2±31,5	0,040*
QT, мс	403,2±31,3	402,3±30,2	412,7±43,0	0,371
ЧСС, уд./мин	70,0±10,9	69,8±19,5	71,5±15,7	0,685
Прием бета-адреноблокаторов	78 (83,0%)	71 (82,6)	7 (87,5)	1,00
АВБ 1 степени	13 (13,8%)	11 (12,8%)	2 (25,0%)	0,305
АВ-блок 2 степени Мобитц 1	1 (1,1%)	1 (1,2%)	0 (0,0%)	1,00

Примечание: * — статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Сокращения: АВБ — атриовентрикулярная блокада, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, БПНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, ЧСС — частота сердечных сокращений.

Таблица 3

Динамика эхокардиографических показателей до и после ТИАК

Показатель	Этапы наблюдения		p
	До ТИАК	После ТИАК	
КДО ЛЖ, мл	100,7±34,0	86,5±27,4	<0,001*
КСО ЛЖ, мл	39,4±20,2	35,7±16,7	0,006*
ФВ ЛЖ, %	60,3±8,2	58,9±6,7	0,105
ГДм, мм рт.ст.	92,3±25,3	177±9,8	<0,001*
ГДс, мм рт.ст.	53,5±15,0	9,2±7,7	<0,001*

Примечание: * — статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Сокращения: ГДм — максимальный градиент на аортальном клапане, ГДс — средний градиент на аортальном клапане, КДО ЛЖ — конечный диастолический объем левого желудочка, КСО ЛЖ — конечный систолический объем левого желудочка, ТИАК — транскатетерная имплантация аортального клапана, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка.

Таблица 4

Динамика ЭКГ показателей до и после ТИАК

Показатель	Этапы наблюдения		p
	До ТИАК	После ТИАК	
БЛНПГ	9 (9,6%)	16 (17,0%)	0,016*
БПНПГ	7 (7,4%)	7 (7,4%)	1,00
PQ, мс	166,1±28,9	170,0±27,2	0,033*
QRS, мс	96,4±24,3	98,8±21,6	0,193
QT, мс	403,2±31,3	407,4±33,8	0,118
ЧСС, уд./мин	70,0±10,9	70,8±14,0	0,589
Прием бета-блокаторов	78 (83,0%)	69 (73,4%)	0,035*
АВБ 1 степени	13 (13,8%)	18 (19,1%)	0,125
АВБ 2 степени Мобитц 2	0 (0,0%)	2 (2,1%)	0,500
АВБ 3 степени	0 (0,0%)	7 (7,4%)	0,016*

Примечание: * — статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Сокращения: АВБ — атриовентрикулярная блокада, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, БПНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, ТИАК — транскатетерная имплантация аортального клапана, ЧСС — частота сердечных сокращений.

обходимости имплантации ЭКС после ТИАК, показано, что, исходная БПНПГ чаще статистически значимо встречалась в группе ЭКС (+) (4,7% vs 37,5%, $p = 0,012$) (табл. 2). Кроме того, в группе ЭКС (+) по сравнению с ЭКС (–) выявлена более высокая дли-

тельность интервала PQ и ширины комплекса QRS, $p = 0,036$ и $p = 0,040$, соответственно.

В таблице 3 представлены результаты сравнения эхокардиографических показателей до и после ТИАК. В соответствии с полученными данными было выявлено ста-

Таблица 5

Распределение кальция на створках АК в зависимости от имплантации постоянного ЭКС у пациентов после ТИАК

Показатель	Значение (n=94)	ЭКС (–) (n=86)	ЭКС (+) (n=8)	p
Объем кальция в ЛКС, мм ³	165,0 [93,2-306,5]	151,6 [91,9-276,2]	424,6 [223,1-524,7]	0,005*
Объем кальция в ПКС, мм ³	187,1 [88,5-281,7]	177,2 [80,3-263,9]	301,9 [169,5-421,0]	0,083
Объем кальция в НКС, мм ³	286,5 [173,7-429,8]	283,7 [173,6-398,9]	608,2 [254,5-805,2]	0,035*

Примечание: p — сравнение между группами ЭКС (–) и ЭКС (+), * — статистически значимые различия, p<0,05.

Сокращения: ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, ПКС — правая коронарная створка, ЭКС — электрокардиостимулятор.

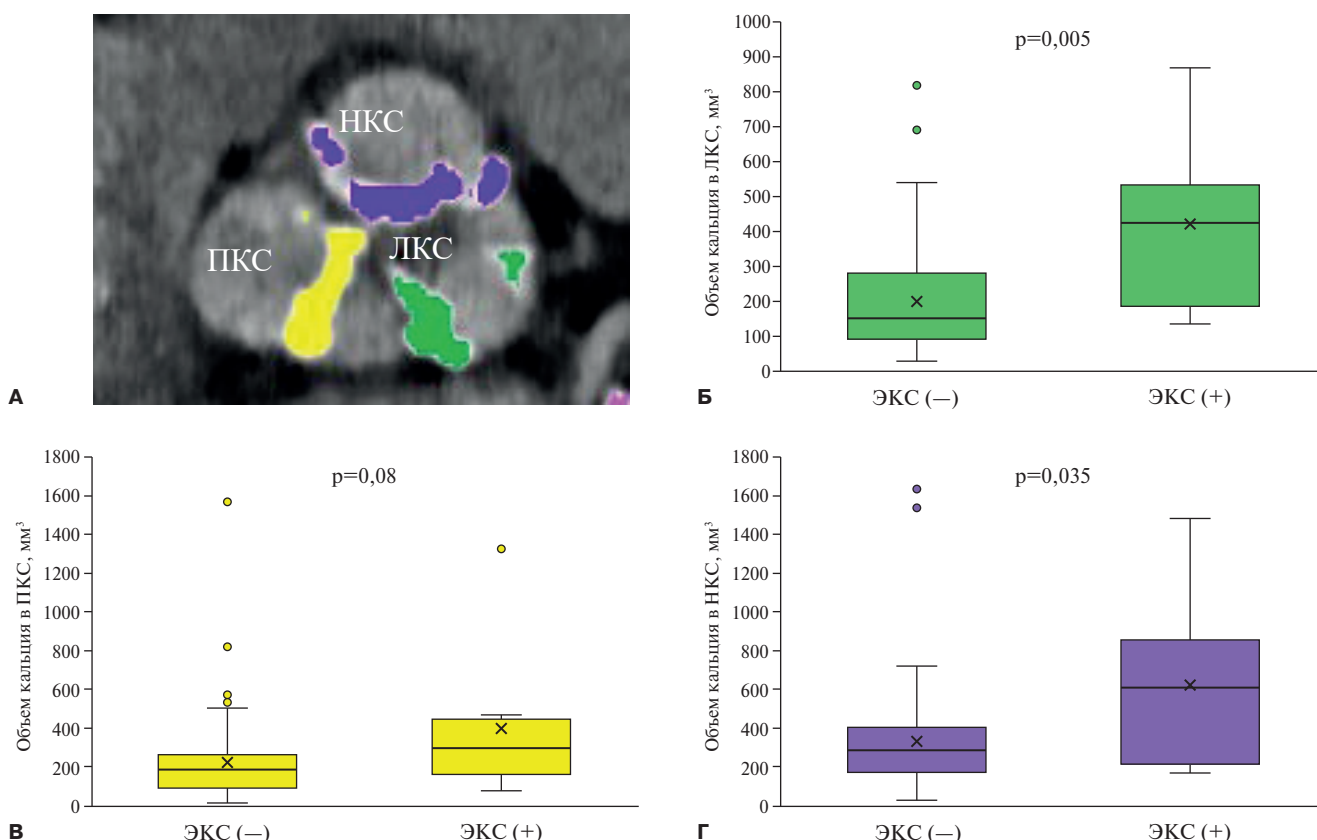


Рис. 2. Распределение кальция на створках АК в зависимости от имплантации ЭКС после ТИАК.

Примечание: А — мультипланарная реконструкция плоскости фиброзного кольца АК; полуавтоматическая сегментация створок АК с количественным определением кальциноза, Б — объем кальция на ЛКС, В — объем кальция на ПКС, Г — объем кальция на НКС. ПКС — желтый цвет, ЛКС — зеленый цвет, НКС — фиолетовый. Цветное изображение доступно в электронной версии журнала.

Сокращения: ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, ПКС — правая коронарная створка, ЭКС — электрокардиостимулятор.

статистически значимое снижение конечного диастолического объема и конечного систолического объема ЛЖ после ТИАК ($p<0,001$ и $p=0,006$, соответственно), пикового и среднего градиентов на АК ($p<0,001$ и $p<0,001$, соответственно). В отношении ФВ ЛЖ статистически значимой динамики обнаружено не было ($p=0,105$).

При оценке динамики ЭКГ-данных было обнаружено статистически значимое удлинение интервала PQ после ТИАК (с $166,1\pm 28,9$ мс до $170,0\pm 27,2$ мс, $p=0,033$). Также в послеоперационном периоде выявлено 7 новых случаев развития БЛНПГ (9,16% до ТИАК и 17,0% после ТИАК, $p=0,016$) и 7 случаев развития полной АВБ (0,0% до ТИАК и 7,4% после ТИАК, $p=0,016$) (табл. 4).

Распределение кальция на створках АК и ВТЛЖ

Количественная оценка кальциноза створок АК и ВТЛЖ представлена в таблице 5. Согласно полученным данным, у пациентов, которым в дальнейшем потребовалась имплантация ЭКС, был выявлен значительно больший объем кальция на ЛКС ($424,6$ мм³ [223,1-524,7] в группе пациентов с ЭКС vs $151,6$ [91,9-276,2] в группе пациентов без ЭКС, $p=0,005$, соответственно) и НКС ($608,2$ мм³ [254,5-805,2] в группе пациентов с ЭКС vs $283,7$ мм³ [173,6-398,9] в группе пациентов без ЭКС, $p=0,035$, соответственно) (рис. 2).

Учитывая полученные различия объема кальция в зависимости от потребности к имплантации ЭКС для определения пороговых значений объема каль-

Таблица 6

Вероятность имплантации ЭКС в зависимости от объема кальция в створках АК, результаты ROC-анализа

Параметр	Локализация	Пороговое значение, мм ³	Площадь под кривой AUC	p	95% ДИ	Se%	Sp%
Объем кальция, мм ³	ЛКС	300,5	0,80±0,08	0,005*	0,64-0,96	75,0	77,9
	НКС	333,2	0,73±0,11	0,035*	0,51-0,94	75,0	60,5
	ПКС	267,0	0,69±0,09	0,083	0,51-0,86	62,5	75,6

Примечание: p — сравнение между группами ЭКС (–) и ЭКС (+), * — статистически значимые различия, p<0,05.

Сокращения: ДИ — доверительный интервал, ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, ПКС — правая коронарная створка, Se — чувствительность, Sp — специфичность.

Таблица 7

Результаты логистического регрессионного анализа

Предиктор	Однофакторный анализ		Многофакторный анализ	
	ОШ (95% ДИ)	p	ОШ (95% ДИ)	p
Возраст	1,07 (0,95-1,21)	0,241	–	–
Мужской пол	4,84 (1,07-21,97)	0,041*	–	–
Ожирение	1,05 (0,25-4,46)	0,950	–	–
ИМТ	1,03 (0,92-1,16)	0,584	–	–
СД	0,73 (0,14-3,85)	0,709	–	–
ФП	2,91 (0,67-12,63)	0,154	–	–
EuroSCORE II	1,03 (0,86-1,24)	0,716	–	–
ЧКВ в анамнезе	1,46 (0,32-6,59)	0,620	–	–
ТИАК+ЧКВ	1,26 (0,23-6,77)	0,788	–	–
ПИКС	1,22 (0,13-11,10)	0,859	–	–
ФВ ЛЖ	0,92 (0,84-0,99)	0,035*	–	–
КДО	1,02 (1,00-1,04)	0,029*	–	–
КСО	1,04 (1,01-1,07)	0,010*	–	–
ММЛЖ	1,02 (1,01-1,05)	0,044*	–	–
PQ	1,025 (1,00-1,05)	0,05	–	–
QRS	1,02 (0,99-1,04)	0,058	–	–
БЛНПГ	2,37 (0,23-24,83)	0,470	–	–
БПНПГ	12,3 (2,14-70,65)	0,005*	15,77 (2,06-120,51)	0,008*
АВБ 1 степени	2,06 (0,37-11,39)	0,410	–	–
Прием бета-блокаторов	1,48 (0,17-12,93)	0,724	–	–
Объем кальция в ЛКС	1,005 (1,002-1,009)	0,004*	–	–
Объем кальция в ЛКС >300 мм ³	6,30 (1,37-28,87)	0,018*	7,98 (1,38-46,11)	0,020*
Объем кальция в ПКС	1,002 (0,999-1,004)	0,074	–	–
Объем кальция в НКС	1,002 (1,001-1,004)	0,017*	–	–
Объем кальция в НКС >333 мм ³	4,59 (0,87-24,07)	0,072	–	–
Объем кальция в ВТЛЖ	1,002 (0,998-1,006)	0,376	–	–

Примечание: * — статистически значимые различия, p<0,05.

Сокращения: АВБ — атриовентрикулярная блокада, БЛНПГ — блокада левой ножки пучка Гиса, БПНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, ВТЛЖ — выводной тракт левого желудочка, ДИ — доверительный интервал, ИМТ — индекс массы тела, КДО — конечный диастолический объем, КСО — конечный систолический объем, ММЛЖ — масса миокарда левого желудочка, ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, ОШ — отношение шансов, ПИКС — постинфарктный кардиосклероз, ПКС — правая коронарная створка, ТИАК — транскатетерная имплантация аортального клапана, СД — сахарный диабет, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ФП — фибрилляция предсердий, ЧКВ — чрескожное коронарное вмешательство.

ция соответствующей створки АК нами был проведен ROC-анализ. Полученные ROC-кривые (рис. 3) характеризовались значениями площади под кривой AUC, равными 0,80±0,08 (95% ДИ: 0,64-0,96) и 0,73±0,11 (95% ДИ: 0,51-0,94) для ЛКС и НКС, соответственно. Данные модели были статистически значимыми, p=0,005 и p=0,035, соответственно. В то же время

площадь под кривой AUC для ПКС оказалась равной 0,69±0,09 (95% ДИ: 0,51-0,86), данная модель оказалась статистически незначимой (p=0,083).

По результатам ROC-анализа пороговое значение в точке cut-off для объема кальция в ЛКС составило 300 мм³. Чувствительность модели при выбранном значении в точке cut-off составила 75,0%, специфичность —

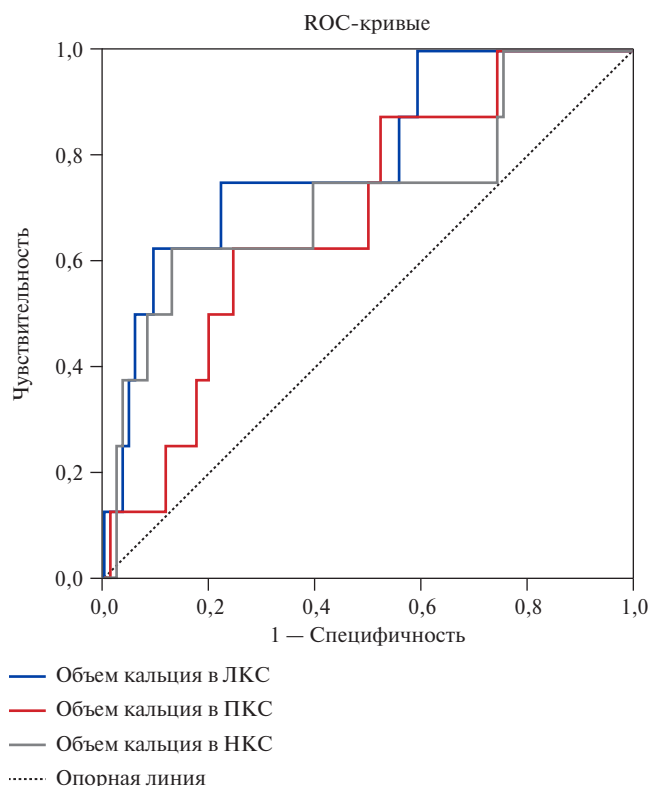


Рис. 3. ROC-кривая, характеризующая зависимость объема кальция в ЛКС, НКС, ПКС и имплантации ЭКС у пациентов после ТИАК.

Сокращения: ЛКС — левая коронарная створка, НКС — некоронарная створка, ПКС — правая коронарная створка.

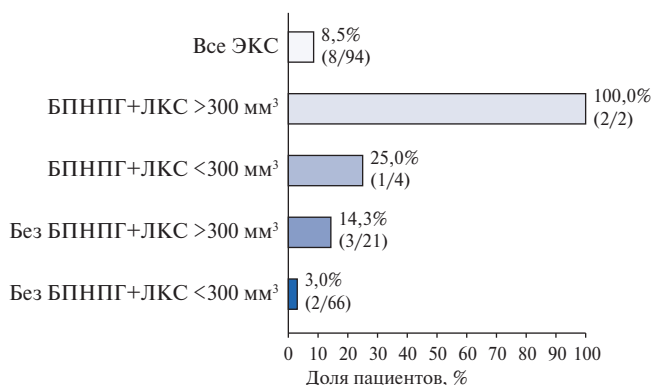


Рис. 4. Вероятность имплантации ЭКС в зависимости от наличия или отсутствия БЛНПГ и кальциноза ЛКС.

Сокращения: БЛНПГ — блокада правой ножки пучка Гиса, ЛКС — левая коронарная створка, ЭКС — электрокардиостимулятор.

77,9%. Пороговое значение в точке cut-off для объема кальция в НКС составило 333 мм³. Чувствительность модели при выбранном значении в точке cut-off составила 75,0%, специфичность — 60,5%. Таким образом, при объеме кальция больше данных показателей на ЛКС и НКС вероятность имплантации ЭКС после ТИАК была выше, и наоборот (табл. 6).

Нами был проведен анализ с использованием бинарной логистической регрессии для определения пре-

дикторов первичной имплантации ЭКС в госпитальном периоде после процедуры ТИАК. Характеристики каждого из предикторов представлены в таблице 7. По данным однофакторного регрессионного анализа такие предикторы, как мужской пол, ФВ ЛЖ, конечный диастолический объем ЛЖ, конечный систолический объем ЛЖ, масса миокарда ЛЖ, исходная БЛНПГ, объем кальция в ЛКС >300 мм³, объем кальция в НКС, были ассоциированы с имплантацией ЭКС после ТИАК в течение госпитального периода.

В результате многофакторного регрессионного анализа независимыми предикторами, ассоциированными с имплантацией ЭКС в течение госпитального периода после ТИАК, стали объем кальция в ЛКС >300 мм³ (ОШ: 7,98; 95% ДИ: 1,36-46,11; p=0,020) и исходная БЛНПГ (ОШ: 15,77; 95% ДИ: 2,06-120,51; p=0,008).

Учитывая выявленные предикторы, мы определили группы риска имплантации ЭКС после ТИАК: группа низкого риска — без БЛНПГ и объема кальция в ЛКС <300 мм³ (3%) и группа высокого риска — с БЛНПГ и объемом кальция в ЛКС >300 мм³ (100%) (рис. 4).

Обсуждение

С каждым годом процедура ТИАК все чаще выполняется пациентам с тяжелым симптомным аортальным стенозом. На основании ранее проведенных крупных РКИ у пациентов низкого хирургического риска, таких как PARTNER3 [11], Evolut Low Risk [12], NOTION [13], показания к ТИАК были расширены и отражены в рекомендациях Американского колледжа кардиологов в 2020г и Европейского общества кардиологов в 2021г [14, 15].

В апреле 2024г ученые из Германии Blankenberg S, et al. опубликовали результаты еще одного крупного многоцентрового РКИ DEDICATE. В исследование было включено 1414 пациентов низкого и среднего хирургического риска, которым проводилась ТИАК или ХПАК. Результаты исследования были аналогичны предыдущим РКИ — ТИАК не уступал ХПАК в отношении смертности от любой причины или инсульта в течение одного года [16]. Эти данные говорят о том, что уже в ближайшем будущем приоритетным методом лечения тяжелого аортального стеноза у более молодых пациентов может стать ТИАК, в связи с чем крайне важно минимизировать риски развития послеоперационных осложнений.

Развитие БЛНПГ и полной АВБ остаются одними из самых распространенных осложнений после ТИАК. В исследованиях PARTNER3 и Evolut Low Risk частота имплантации ЭКС в течение одного месяца составила 6,6% и 17,6%, соответственно [11, 12]. В исследовании DEDICATE значительно чаще встречалась впервые возникшая БЛНПГ после ТИАК, чем после ХПАК (32,0% vs 17,5% соответственно, относительный риск (RR): 2,03; 95% ДИ: 1,63-2,54). Кроме

того, в группе ТИАК по сравнению с ХПАК в 2 раза чаще был имплантирован ЭКС (11,8% vs 6,7%, соответственно, RR: 1,81; 95% ДИ: 1,27-2,67).

Известно, что правожелудочковая стимуляция со временем может привести к негативным последствиям за счет нарушения последовательности возбуждения миокарда. Следовательно, в результате нефизиологической активации желудочков возникает межжелудочковая и внутрижелудочковая диссинхрония, что, в свою очередь, приводит к ремоделированию ЛЖ и как следствие к снижению ФВ ЛЖ [17, 18]. В отношении влияния имплантации ЭКС на риск развития неблагоприятных событий в отдаленном периоде имеются противоречивые данные. Однако, по данным метаанализа Zito A, et al. с участием >50 тыс. пациентов, было показано, что имплантация постоянного ЭКС после ТИАК в отдаленном периоде была ассоциирована с более высоким риском смерти от всех причин (RR: 1,18, 95% ДИ: 1,10-1,25; $p < 0,001$) и повторной госпитализации по поводу сердечной недостаточности (RR: 1,32, 95% ДИ: 1,13-1,52; $p < 0,001$) [19].

Важно отметить, что большинство публикаций, в которых анализировалось долгосрочное влияние ЭКС после ТИАК, оценивали данный показатель как бинарный без учета влияния временного фактора. Так, по данным литературы до 50% пациентов после ТИАК имеют относительно невысокое бремя постоянной правожелудочковой стимуляции или даже полное отсутствие зависимости от ЭКС уже через 4-6 нед. после ЭКС [20, 21]. В то же время, по данным Dykun I, et al., высокий уровень стимуляции правого желудочка (>10%) после ТИАК связан с двукратным увеличением риска неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (MACE) (RR: 1,97; 95% ДИ: 1,20-3,25) [22].

В течение последнего десятилетия проведены многочисленные исследования в попытке выявить предикторы ассоциированные с необходимостью имплантации ЭКС после ТИАК, и одним из наиболее значимых факторов оказалось наличие ранее существовавшей БПНПГ. Это прежде всего объясняется повреждением ЛНПГ и АВ-узла при раскрытии баллона или клапана у пациентов уже с исходной БПНПГ. Однако в отношении зависимости кальциноза АК и нарушениями проводимости после ТИАК данные остаются неоднозначными. Так, Latsios G, et al. в своем исследовании, в которое вошел 81 пациент, определили кальциноз зоны имплантации клапана как один из значимых предикторов имплантации ЭКС пациентов (ОШ: 1,06; 95% ДИ: 1,02-1,11; $p = 0,004$). Стоит отметить, что данная работа была опубликована еще в 2010г и всем пациентам были имплантированы самораскрывающиеся клапаны первого поколения. Как известно, с того времени транскатетерные клапаны были значительно усовершенствованы [23]. Напротив, по результатам исследования Al-Azzam F, et al. с учас-

тием 300 пациентов, не было выявлено зависимости между кальцинозом АК и имплантацией ЭКС после ТИАК (ОШ: 1,01; 95% ДИ: 0,96-1,15; $p = 0,275$) [24].

По данным некоторых исследований было предположено, что асимметричный кальциноз АК имеет большее значение в имплантации ЭКС после ТИАК. Это может привести к смещению протеза от центральной линии по направлению к зоне ПКС и НКС, где проходят пути нормальной проводящей системы сердца. В нашей работе мы оценивали асимметричное распределение кальция в створках АК, и объем кальция в ЛКС и НКС был значительно выше в группе пациентов, которым был имплантирован ЭКС. Кроме того, объем кальция ЛКС >300 мм³ наряду с наличием полной БПНПГ был независимым предиктором потребности к имплантации после ТИАК. По данным метаанализа Maier O, et al., у пациентов с необходимостью имплантации кардиостимулятора после ТИАК наблюдалась более высокая степень кальциноза ЛКС (средневзвешенная разница: 47,6 мм³; $p < 0,001$) и ВТЛЖ (средневзвешенная разница: 24,42 мм³; $p < 0,01$) [25]. Еще одна работа под авторством Mauri V, et al., в которой изучались пациенты уже с самораскрывающимися клапанами ACURATE. В результате исследования было показано, что общий объем кальция значимо не различался в группах пациентов с ЭКС и без ЭКС. Однако кальциноз в области ВТЛЖ/ЛКС >41,4 мм³ был связан с повышенным шансом имплантации ЭКС (ОШ: 5,0; 95% ДИ: 1,5-17,1; $p = 0,01$) [26]. В исследовании, проведенном Sharma E, et al., было выявлено, что кальциноз НКС был связан с имплантацией ЭКС через 30 дней после ТИАК [27].

Fujita B, et al. провели любопытный эксперимент, в котором объясняется наиболее вероятный механизм развития полной АВБ после ТИАК. Стоит отметить, что в данном исследовании, аналогично нашим результатам, выраженный кальциноз ЛКС (ОШ: 7,45; 95% ДИ: 1,54-36,12; $p = 0,01$) и исходная БПНПГ (ОШ: 12,61; 95% ДИ: 2,38-66,80, $p = 0,03$) стали независимыми предикторами имплантации ЭКС после ТИАК. Учитывая полученные результаты исследования и данные МСКТ реальных пациентов, на 3D-принтере были разработаны две модели АК — с выраженным кальцинозом ЛКС и без кальциноза створок. Далее в каждом 3D-клапане было смоделировано раскрытие баллона, самораскрывающегося клапана Medtronic CoreValve Evolut R и баллон-расширяемого клапана Edwards SAPIEN XT. В результате эксперимента в моделях с кальцинозом ЛКС было продемонстрировано смещение и баллона, и клапанов (как самораскрывающихся, так и баллон-раскрываемых) от ЛКС в сторону комиссуры между НКС и ПКС. В моделях без кальциноза АК — такое смещение не было выявлено [28].

Таким образом, механическое повреждение проводящих путей может происходить за счет неравно-

мерного распределения радиальных сил и смещения имплантируемого клапана к мембранозной перегородке, тем самым повреждая пучок Гиса и/или левую ножку пучка Гиса.

Ограничения исследования. Основным ограничением представленного исследования является относительно небольшой размер выборки и малое число событий, в связи с чем мы не учитывали зависимость имплантации ЭКС от поколения и модели имплантированных клапанов. Также мы не оценивали глубину имплантации клапанов, что, как известно, может быть также ассоциировано с необходимостью имплантации ЭКС после ТИАК. Наконец, на данный момент от-

сутствуют единые протоколы количественной оценки кальциноза створок АК по данным МСКТ.

Заключение

На данный момент одними из самых частых осложнений являются нарушения проводимости сердца. Независимыми предикторами, ассоциированными с имплантацией ЭКС после ТИАК, являются исходная полная БПНПГ и степень кальциноза ЛКС.

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

Литература/References

- Kolte D, Vlahakes GJ, Palacios IF, et al. Transcatheter Versus Surgical Aortic Valve Replacement in Low-Risk Patients. *J Am Coll Cardiol*. 2019;74(12):1532-40. doi:10.1016/j.jacc.2019.06.076.
- Siontis GCM, Overtchouk P, Cahill TJ, et al. Transcatheter aortic valve implantation vs. surgical aortic valve replacement for treatment of symptomatic severe aortic stenosis: an updated meta-analysis. *Eur Heart J*. 2019;40(38):3143-53. doi:10.1093/eurheartj/ehz275.
- Prokhorikhin AA, Tarkova AA, Zubarev DD, et al. Surgical aspects and results of a single-center prospective register of transcatheter aortic valve implantation. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;(11):77-82. (In Russ.) Прохорихин А.А., Таркова А.Р., Зубарев Д.Д. и др. Хирургические аспекты и непосредственные результаты одноцентрового проспективного регистра транскатетерной имплантации протеза аортального клапана. *Российский кардиологический журнал*. 2018;(11):77-82. doi:10.15829/1560-4071-2018-11-77-82.
- Bayandin NL, Krotovskiy AG, Vasilyev KN, et al. Comparative results of surgical and transcatheter (TAVI) treatment of aortic stenosis in patients over 75 years old. *Russian Journal of Cardiology*. 2018;(11):21-6. (In Russ.) Баяндин Н.Л., Кротовский А.Г., Васильев К.Н. и др. Сравнительные результаты хирургического и транскатетерного (tavi) лечения аортального стеноза у больных старше 75 лет. *Российский кардиологический журнал*. 2018;(11):21-6. doi:10.15829/1560-4071-2018-11-21-26.
- Auffret V, Ridard C, Salerno N, Sorrentino S. Unmet Needs in TAVR: Conduction Disturbances and Management of Coronary Artery Disease. *J Clin Med*. 2022;11(21):6256. doi:10.3390/jcm11216256.
- Bruno F, Munoz Pousa I, Saia F, et al. Impact of Right Ventricular Pacing in Patients With TAVR Undergoing Permanent Pacemaker Implantation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16(9):1081-91. doi:10.1016/j.jcin.2023.02.003.
- Merkely B, Batała R, Merkel E, et al. Benefits of upgrading right ventricular to biventricular pacing in heart failure patients with atrial fibrillation. *Europace*. 2024;26(7):euac179. doi:10.1093/europace/euac179.
- Arnold M, Richards M, D'Onofrio A, et al. Avoiding unnecessary ventricular pacing is associated with reduced incidence of heart failure hospitalizations and persistent atrial fibrillation in pacemaker patients. *Europace*. 2023;25(5):euad065. doi:10.1093/europace/euad065.
- Sammour Y, Krishnaswamy A, Kumar A, et al. Incidence, Predictors, and Implications of Permanent Pacemaker Requirement After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv*. 2021;14(2):115-34. doi:10.1016/j.jcin.2020.09.063.
- Gabbieri D, Ghidoni I, Mascheroni G, et al. Pacemaker implantation after surgical aortic valve replacement and balloon-expandable transcatheter aortic valve implantation: Incidence, predictors, and prognosis. *Heart Rhythm QJ*. 2025;6(3):259-72. doi:10.1016/j.hroo.2025.01.001.
- Mack MJ, Leon MB, Thourani VH, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Balloon-Expandable Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2019;380(18):1695-705. doi:10.1056/NEJMoa1814052.
- Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Self-Expanding Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med*. 2019;380(18):1706-15. doi:10.1056/NEJMoa1816885.
- Thyregod HGH, Steinbrüchel DA, Ihlemann N, et al. Transcatheter Versus Surgical Aortic Valve Replacement in Patients With Severe Aortic Valve Stenosis: 1-Year Results From the All-Comers NOTION Randomized Clinical Trial. *J Am Coll Cardiol*. 2015;65(20):2184-94. doi:10.1016/j.jacc.2015.03.014.
- Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2022;43(7):561-632. doi:10.1093/eurheartj/ehab395.
- Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 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. *Circulation*. 2021;143(5):e72-e227. doi:10.1161/CIR.0000000000000923.
- Blankenberg S, Seiffert M, Vonthein R, et al. Transcatheter or Surgical Treatment of Aortic Valve Stenosis. *N Engl J Med*. 2024;390(17):1572-83. doi:10.1056/NEJMoa2400685.
- Berdibekov BSh, Aleksandrova SA, Golukhova EZ. Quantification of myocardial fibrosis in patients with a nonischemic ventricular arrhythmias by late gadolinium-enhanced magnetic resonance. *Creative Cardiology*. 2021;15(3):342-53. (In Russ.) Бердибеков Б.Ш., Александрова С.А., Голухова Е.З. Количественная оценка фиброза миокарда с применением магнитно-резонансной томографии с отсроченным контрастированием при некоронарогенных желудочковых аритмиях. *Креативная Кардиология*. 2021;15(3):342-53. doi:10.24022/1997-3187-2021-15-3-342-353.
- Fletcher-Hall S. Pacemaker-induced cardiomyopathy. *JAAPA*. 2023;36(9):1. doi:10.1097/01.JAA.0000947080.85880.bb.
- Zito A, Princi G, Lombardi M, et al. Long-term clinical impact of permanent pacemaker implantation in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation: a systematic review and meta-analysis. *Europace*. 2022;24(7):1127-36. doi:10.1093/europace/euac008.
- Meduri CU, Kereiakes DJ, Rajagopal V, et al. Pacemaker Implantation and Dependency After Transcatheter Aortic Valve Replacement in the REPRISE III Trial. *J Am Heart Assoc*. 2019;8(21):e012594. doi:10.1161/JAHA.119.012594.
- Nazif TM, Dizon JM, Hahn RT, et al. Predictors and clinical outcomes of permanent pacemaker implantation after transcatheter aortic valve replacement: the PARTNER (Placement of Aortic Transcatheter Valves) trial and registry. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8(1 Pt A):60-9. doi:10.1016/j.jcin.2014.07.022.
- Dyken I, Mahabadi AA, Jehn S, et al. The degree of permanent pacemaker dependence and clinical outcomes following transcatheter aortic valve implantation: implications for procedural technique. *Eur Heart J Open*. 2023;3(6):oead127. doi:10.1093/ehjopen/oead127.
- Latsios G, Gerckens U, Buellesfeld L, et al. "Device landing zone" calcification, assessed by MSCT, as a predictive factor for pacemaker implantation after TAVI. *Catheter Cardiovasc Interv Off J Soc Card Angiogr Interv*. 2010;76(3):431-9. doi:10.1002/ccd.22563.
- Al-Azzam F, Greason KL, Krittanawong C, et al. The influence of native aortic valve calcium and transcatheter valve oversize on the need for pacemaker implantation after transcatheter aortic valve insertion. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017;153(5):1056-62.e1. doi:10.1016/j.jtcvs.2016.11.038.
- Maier O, Playda K, Afzal S, et al. Computed tomography derived predictors of permanent pacemaker implantation after transcatheter aortic valve replacement: A meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2021;98(6):E897-E907. doi:10.1002/ccd.29805.
- Mauri V, Deuschl F, Frohn T, et al. Predictors of paravalvular regurgitation and permanent pacemaker implantation after TAVR with a next-generation self-expanding device. *Clin Res Cardiol Off J Ger Card Soc*. 2018;107(8):688-97. doi:10.1007/s00392-018-1235-1.
- Sharma E, McCauley B, Ghosalkar DS, et al. Aortic Valve Calcification as a Predictor of Post-Transcatheter Aortic Valve Replacement Pacemaker Dependence. *Cardiol Res*. 2020;11(3):155-67. doi:10.14740/cr1011.
- Fujita B, Küttling M, Seiffert M, et al. 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):1385-93. doi:10.1093/ehjci/jev343.