

УДК 616.124.2

СЕРДЕЧНАЯ РЕСИНХРОНИЗИРУЮЩАЯ ТЕРАПИЯ: АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИМПЛАНТАЦИИ ЛЕВОЖЕЛУДОЧКОВОГО ЭЛЕКТРОДА

Шаталов К.В., Сергуладзе С.Ю., Абдуразаков М.А., Сопов О.В., Кваша Б.И., Муратов Д.С.

ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России,
Рублевское шоссе, д. 135, г. Москва, Российская Федерация, 121552

Аннотация

Сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) – эффективный хирургический метод лечения пациентов с сердечной недостаточностью (СН) со сниженной фракцией выброса при неэффективности медикаментозной терапии. Уменьшая электрическую диссинхронию, СРТ улучшает систолическую и диастолическую функцию сердца, тем самым способствуя уменьшению симптоматики, риска декомпенсации хронической СН, а также сердечно-сосудистой смертности. Тем не менее в 5-10% случаев СРТ может быть крайне затруднена в связи с малым диаметром коронарного синуса, выраженной извитости коронарной венозной системы, высоким порогом стимуляции ЛЖ, близким расположением диафрагмального нерва и другими факторами. Более того, СРТ может быть неэффективна при неоптимальном расположении левожелудочкового электрода (ЛЖЭ), некорректном отборе пациентов, неадекватных параметрах программирования устройства и др. В настоящей статье подробно рассмотрены альтернативные способы имплантации ЛЖЭ, представлены результаты последних исследований, посвященных мини-торакомиической, видеоторакокопической и робот-ассистированной технике, а также эндокардиальным способам имплантации ЛЖЭ: транссептальному, транспикальному и трансовентрикулярному методам; указаны основные их преимущества и недостатки. Особое внимание в рамках СРТ уделено стимуляции собственной проводящей системы сердца и беспроводной системы эндокардиальной стимуляции ЛЖ.

Обзорная
статья

Ключевые слова: сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) • левожелудочковый электрод (ЛЖЭ) • сердечная недостаточность (СН) • электрокардиостимулятор (ЭКС)

CARDIAC RESYNCHRONIZATION THERAPY: ALTERNATIVE METHODS OF LEFT VENTRICULAR ELECTRODE IMPLANTATION

Shatalov K.V., Serguladze S.Y., Abdurazakov M.A., Sopov O.V., Kvasha B.I., Muratov D.S.

FSBU "A.N. Bakulev National Medical Center of Cardiovascular Surgery. A.N. Bakulev Scientific and Medical
Center of Cardiovascular Surgery of the Ministry of Health of Russia, 135 Rublevskoe Shosse,
Moscow, Russian Federation, 121552

Abstract

Cardiac resynchronization therapy (CRT) is an effective surgical treatment for heart failure (HF) with reduced ejection fraction when drug therapy is ineffective. By reducing electrical dissynchrony, CRT enhances systolic and diastolic heart function, leading to symptoms improvement, decreasing hospitalization rate, as well as cardiovascular mortality. Nevertheless, in 5-10% of cases CRT may be troublesome due to small coronary sinus diameter, pronounced tortuosity of the coronary venous system, high left ventricle (LV) threshold values, diaphragm nerve stimulation and other factors. Some patients do not respond to CRT because of suboptimal left ventricular lead location, incorrect selection of patients, inadequate device programming parameters, etc. To overcome these issues alternative techniques such as mini-thoracotomy, thoracoscopic, robotic-assisted as well as transseptal, transapical and transventricular approaches to LV-lead implantation are developed and described in details by the authors. Particular attention is paid to conduction system pacing and leadless LV endocardial pacing system, that are also observed in this article.

Key words: cardiac resynchronization therapy (CRT) • left ventricular lead (LV-lead) • heart failure (HF) • pacemaker

Введение

Сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ), заключающаяся в бивентрикулярной кардиостимуляции, представляет собой эффективный метод лечения сердечной недостаточности (СН), повышающий качество жизни и снижающий уровень смертности у пациентов с электрической диссинхронией [1]. Как правило, СРТ проводится с использованием двух эндокардиальных электродов (в правом предсердии и правом желудочке) и одного эпикардиального левожелудочкового электрода (ЛЖЭ), имплантируемого в ветвь коронарного синуса (КС), что обеспечивает не только предсердно-желудочковую, но и межжелудочковую ресинхронизацию. Тем не менее, по разным данным, от 30 до 50% пациентов, которым был имплантирован трехкамерный электрокардиостимулятор (ЭКС), не получают пользу от бивентрикулярной стимуляции.

Отсутствие должного ответа на СРТ может быть обусловлено такими факторами, как некорректный отбор пациентов, неоптимальное положение ЛЖЭ, неадекватные параметры программирования устройства и др. [2]. Кроме того, имплантация ЛЖЭ может быть затруднена по причине венозной окклюзии, извитости коронарных вен, рубцовых изменений миокарда или стимуляции диафрагмального нерва [3]. Таким образом, если СРТ неэффективна или анатомия венозной системы и низкий порог стимуляции диафрагмального нерва не позволяют имплантировать ЛЖЭ в оптимальную для СРТ позицию, или позиция электрода в целевой вене нестабильна, применяют другие способы имплантации ЛЖЭ. Целью настоящей статьи является описание альтернативных методов левожелудочковой стимуляции, в том числе, новейших методов СРТ, на основании результатов современных исследований.

Традиционная трансвенозная имплантация левожелудочкового электрода

Прежде, чем приступить к альтернативным методам, следует рассмотреть процедуру классической трансвенозной имплантации ЛЖЭ, впервые описанную J. C. Daubert и соавторами в 1998г. [4].

Согласно данному методу, с помощью специальной системы доставки в устье КС проводится баллонный катетер и вводится контрастный препарат, после чего баллон раздувается, блокируя обратный ток контраста в предсердие, что обеспечивает качественную визуализацию коронарной венозной системы. При помощи полученных снимков определяется, так называемая, целевая вена – венозный приток, наиболее подходящий для имплантации ЛЖЭ.

С целью достижения наилучшего результата

СРТ, электрод, зачастую, с пассивной фиксацией, позиционируется в венах боковой или заднебоковой стенки ЛЖ, то есть, в зоне наиболее поздней активации, которая является самой оптимальной при блокаде левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ) [5].

Таким образом, имплантация ЛЖЭ представляет собой технически сложную процедуру, которая сопряжена с высоким риском периперационных осложнений, особенно при малом диаметре коронарного синуса, высоком пороге стимуляции ЛЖ, близком расположении левого диафрагмального нерва, извитости вен малого калибра, наличии острого угла впадения целевой вены, а также особенностях анатомии КС у пациентов с врожденными пороками сердца, в том числе после их коррекции.

Одним из наиболее известных и масштабных проектов, посвященных изучению СРТ у пациентов с СН является исследование REVERSE, согласно результатам которого СРТ способствует выраженному уменьшению индекса конечного систолического объема (КСО), ремоделированию ЛЖ, а также улучшению качества жизни и снижению риска повторной госпитализации по поводу СН [6]. Тем не менее, среди 419 испытуемых с СН I-II ФК по NYHA, длительностью QRS>120 мс, ФВ<40%, на фоне оптимальной медикаментозной терапии лишь 228 (54%) получили терапевтическую пользу от СРТ, а у 16% наблюдалось ухудшение общего состояния. Частота осложнений составила 4% (26 случаев): зарегистрировано 4 случая пневмоторакса, 4 – фибрилляции предсердий, 3 – диссекции коронарного синуса, 2 – отека легких, 2 – фибрилляции желудочков, 2 – полной АВ-блокады, 1 случай тампонады сердца и др. Отмечено 9 смертельных исходов. Также в течение 12 месяцев после успешно выполненной процедуры у 621 пациента зарегистрировано 66 осложнений, ассоциированных с имплантацией ЛЖЭ, 48 из которых потребовали повторного вмешательства. Наиболее частыми осложнениями являлись смещение ЛЖЭ (n = 41), диафрагмальная стимуляция (n = 14) и тромбоз подключичной вены (n = 3).

В исследовании MIRACLE ICD изучалась эффективность и безопасность СРТ с функцией кардиовертера-дефибриллятора у 429 пациентов с СН III-IV ФК по NYHA. Частота осложнений в периперационном периоде составила 28% (159 случаев), среди которых 23% были ассоциированы с имплантацией ЛЖЭ, включая 15 случаев диссекции КС и 4 – перфорации миокарда.

В 50 случаях попытка имплантации ЛЖЭ оказалась безуспешной, 3 пациентам вследствие диафрагмальной стимуляции потребовалась репозиция или замена ЛЖЭ, еще 3 – из-за полной АВ-блокады – постоянная желудочковая стимуляция, а 2 – вследствие выпота в перикарде – перикардиоцентез; у 6 пациентов с декомпенсацией

ХСН состояние стабилизировано на фоне медикаментозной терапии [7]. В настоящее время частота безуспешных попыток имплантации ЛЖЭ достигает 10% [8].

К наиболее распространенным осложнениям, ассоциированным с ЛЖЭ, относят перфорацию и диссекцию коронарной вены, частота которых, по разным данным, варьирует от 0,5 до 6,2% [9].

Альтернативные методы имплантации левожелудочкового электрода

Все нетрадиционные подходы имплантации ЛЖЭ можно объединить в две большие группы: эпикардиальные, к которым относят имплантацию ЛЖЭ через мини-торакаотомию, видеоторакоскопический и робот-ассистированный методы, и эндокардиальные, среди которых выделяют транссептальный, транспикальный и трансартериальный методы. В последнее время в рамках СРТ активно развивается метод стимуляции ЛНПГ и ее ветвей, а также проводятся клинические исследования беспроводной системы эндокардиальной стимуляции ЛЖ. Стоит отметить, что эпикардиальная стимуляция, в отличие от эндокардиальной, менее физиологична и может оказывать проаритмогенный эффект за счет удлинения интервала QT, а в сравнительном исследовании Garrigue et al. эндокардиальная бивентрикулярная стимуляция была ассоциирована с более значимым улучшением систолической и диастолической функции ЛЖ по данным ЭхоКТ. Тем не менее, в связи с технической сложностью вмешательства, а также высоким риском тромбоэмболических событий и других периоперационных осложнений применение методов эндокардиальной стимуляции в клинической практике в настоящее время ограничено [10].

Видеоассистированная торакоскопическая имплантация ЭЛЖ

Одним из главных преимуществ торакоскопической хирургии, в отличие от рентгенэндоваскулярной, является отсутствие онкогенного влияния длительного рентгеновского излучения на больного и операционную бригаду. Специальная видеоассистированная торакоскопическая техника (VATS) с трехмерным изображением позволяет не только устранить ряд наджелудочковых аритмий и эпикардиально расположенных очагов желудочковых тахикардий, но и имплантировать ЛЖЭ с минимальной хирургической травмой.

Методика VATS проводится под общим наркозом с использованием односторонней вентилизации легких и трех торакоскопических портов, расположенных в левой половине грудной клетки. Пациент находится в правостороннем положении с наклоном левой грудной клетки на 60–70°. После дефляции левого легкого в VI-VII межреберье между средней и задней подмышечной ли-

нией устанавливается 15-миллиметровый многоразовый порт для камеры. Два других порта для хирургических инструментов вводятся в IX-X и VII-VIII межреберье по средней и передней подмышечной линии соответственно (Droghetti et al). С помощью торакоскопических ножниц вскрывается перикард в области ЛЖ латерально от диафрагмального нерва.

В боковую стенку ЛЖ кзади от ветви тупого края огибающей артерии вкручивающимися движениями имплантируется электрод, конец которого подключается к ЭКС. Операция заканчивается установкой дренажа в плевральную полость и ушиванием раны стандартным методом.

На сегодняшний день данные о безопасности и эффективности VATS ограничены ввиду небольшого числа исследований. Тем не менее, в своей работе H.R.Kim и соавторы продемонстрировали не меньшую эффективность (non-inferiority) торакоскопической имплантации ЛЖЭ по сравнению с трансвенозной техникой. В группу VATS вошло 13 пациентов, которым по тем или иным причинам (отсутствие целевой вены ($n = 5$), извитость коронарного синуса и/или его притоков ($n = 3$), anomalous анатомия коронарных вен ($n = 3$), повторная дислокация ЛЖЭ ($n = 2$)) не удалось имплантировать ЛЖЭ классическим методом.

Непосредственные результаты VATS свидетельствуют об отсутствии значимых осложнений. Пяти пациентам в связи со спаячным процессом в плевральной полости потребовалось увеличение объема операции в виде мини-торакаотомии; средняя продолжительность нахождения в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) составила 18,5 часов. При анализе отдаленных результатов в течение 34.3 ± 28.6 месяцев значимых изменений в пороге стимуляции и импедансе не обнаружено. При сравнении исследуемой группы с пациентами, которым ЛЖЭ имплантирован классическим методом, существенной разницы в приросте фракции выброса (ФВ), сердечно-сосудистой и общей смертности ($p = 0.544$), а также частоте повторной госпитализации не выявлено.

Таким образом, несмотря на травматичность операции, необходимость в общем наркозе и ИВЛ, более длительный период госпитализации, непосредственные и отдаленные результаты VATS сопоставимы с таковыми при трансвенозной имплантации ЛЖЭ [11].

Так же стоит отметить, что в своей экспериментальной работе Л.А.Бокерия и соавторов продемонстрировали высокую эффективность данной методики по сравнению с трансвенозной техникой. Экспериментальное опробование проводилось на беспородных собаках ($n = 21$) обоего пола с массой тела 18–25 кг. Операции состояли из 4 этапов: моделирование блокады левой ножки пучка Гиса, эпикардиальное картирование левого желудочка, бивентрикулярная стимуляция сердца, а так же имплантация левожелудочно-

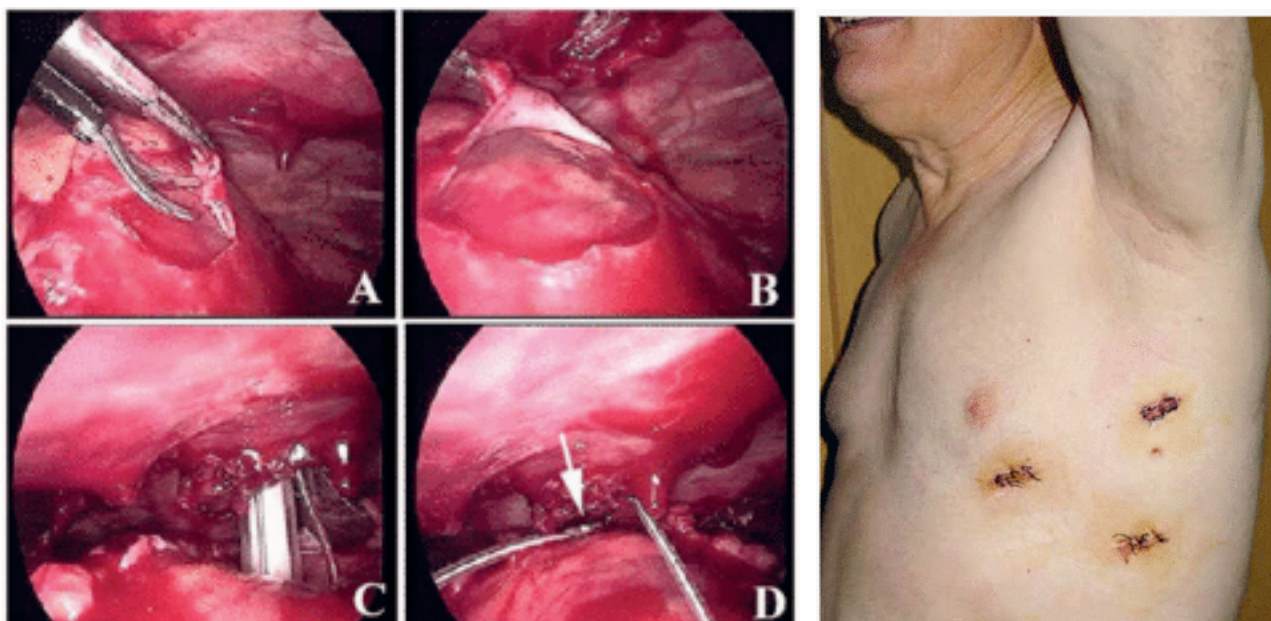


Рисунок 1. А-Д – интраоперационные изображения, полученные во время VATS, А- вскрытие перикарда, В-доступ к боковой стенке ЛЖ, С, D- имплантация эпимиокардиальной системы ЛЖЭ. Справа – фотография послеоперационной раны (точки расположения портов) (Fernández Al et al [12]).

Figure 1. Intraoperative image obtained via video-assisted thoracoscopy. A: incision in the parietal pericardium. B: the surface of the lateral wall of left ventricle is exposed. C: epimyocardial lead implant. D: once the lead is implanted (arrow), a segment is fixed in the pleural cavity with sufficient length to avoid the traction by the lung. (Fernández Al et al [12])

вого электрода и подключение к электрокардиостимулятору. Общая длительность операций составила $50,95 \pm 8,12$ мин., в послеоперационном периоде кровотечения и летальных исходов не отмечалась. Экстубация производилась на операционном столе, при этом продолжительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ) в послеоперационном периоде составляла от 27 до 48 мин. При моделировании БЛНПГ увеличение ширины комплекса QRS при БЛНПГ по сравнению исходной шириной комплекса QRS в среднем составило $265,32 \pm 37,89\%$. При картировании ЛЖ во всех случаях был определен участок ЛЖ с наиболее поздней электрической активацией, который находился в базальном отделе боковой стенки ЛЖ, где задержка активации ЛЖ в среднем составила $109,76 \pm 8,58$ мс.

Во всех случаях определен участок ЛЖ, при одномоментной стимуляции которого и боковой стенки ЛЖ достигалось максимальное укорочение комплекса QRS, и среднее изменение комплекса QRS составило $47,3 \pm 8,61$ мс. При имплантации ЛЖ-электрода чувствительность во всех случаях составила более 10 мВ, а порог стимуляции в среднем $0,38 \pm 0,1$ мА при длительности импульса 1,8 мс. [13]

Эпикардиальная имплантация: левая боковая мини-торакотомия

По сравнению со срединной стернотомией, боковая мини-торакотомия характеризуется

меньшей хирургической травмой, что способствует более быстрому заживлению раны и снижению риска послеоперационных осложнений. Под общей анестезией проводится разрез кожи длиной 3-5 см в IV или V межреберье медиальнее среднеподмышечной линии. Перикард вскрывается продольным разрезом спереди от диафрагмального нерва и фиксируется швами-держалками, а для лучшей визуализации заднебоковой стенки ЛЖ выполняется поворот сердца вправо. До и после имплантации электрода проверяются пороговые значения и выставляется амплитуда стимуляции, как правило, превышающая 1В. Проксимальная часть электрода вводится в тоннель, сформированный под большой грудной мышцей, и соединяется с ЭКС в подключичной области. После достижения гемостаза устанавливается дренаж в левой плевральной полости с последующим послойным ушиванием раны по стандартной методике [14].

В исследовании Ezelsoy и соавторов хирургическая имплантация ЛЖЭ выполнена 30 пациентам с СН III-IV ФК, ишемической (25%) и неишемической кардиомиопатией (75%), ФВ ЛЖ $< 35\%$ и длительностью QRS > 120 мс после безуспешной попытки имплантации ЛЖЭ трансвенозным методом [15]. В результате операции повысилось среднее значение ФВ с $28,1 \pm 4,5$ до $31,7 \pm 5,1\%$, уменьшилась средняя продолжительность QRS с $171,7 \pm 10,8$ мс до $156,2 \pm 4,4$ мс, а также конечный диастолический размер с $6,98 \pm 0,8$ см до $6,72 \pm 0,8$

см ($p < 0.05$), однако значимой разницы в величине конечного систолического размера и степени митральной регургитации не выявлено. Средняя продолжительность процедуры составила 52.6 ± 12.5 минуты, время нахождения в ОРИТ - $1,3 \pm 0,4$ дня, в стационаре - 4 ± 2.2 дня. Операция прошла успешно у 100% пациентов, смертельных исходов в раннем послеоперационном периоде не отмечено. Преимуществом мини-торакопии является прямая визуализация ЛЖ, позволяющая выбрать любой участок миокарда свободный от фиброзной или жировой ткани, наиболее оптимальный для имплантации ЛЖЭ, что позволяет минимизировать изменения чувствительности миокарда к стимуляции.

Робот-ассистированная имплантация ЛЖЭ

Так же, как и другие альтернативные методы имплантации ЛЖЭ, робот-ассистированная техника применяется при невозможности выполнения классической трансвенозной имплантации. К преимуществам данного метода относят низкую травматичность (длина разреза - 10 мм), более короткий период госпитализации, по сравнению с другими хирургическими подходами, а также меньший риск инфекционных осложнений в связи с отсутствием вмешательства на венозной системе.

Для проведения операции используется роботизированная хирургическая система da Vinci (Intuitive Surgical Inc, Саннивейл, Калифорния), пациент находится в правом полубоковом положении. После подготовки операционного поля устанавливается три троакарных порта: первый - в III межреберье справа по средней или задней подмышечной линии для правой «руки» робота, второй - в V межреберье по той же линии - для камеры, а третий - в VII межреберье слева по средней или задней подмышечной линии для левой «руки» робота. В исследовании Amraoui S. и соавторов после начала одноклеточной вентиляции легких визуально обнажалась свободная стенка левого желудочка, а через специализированные порты в грудную полость вводились инструменты и 2 ЛЖЭ (Medtronic 9022, Medtronic, Inc., Minneapolis, MN, США) (на случай дисфункции одного из электродов), которые располагались на латеральной стенке ЛЖ, на некотором расстоянии от верхушки, диафрагмального нерва и коронарных артерий [16]. При достижении определенных порогов чувствительности и стимуляции электроды фиксировались к перикарду пассивным способом, после чего проводились через плевральную полость в специально сформированное ложе в левой или правой подключичной области и присоединялись к батарее ЭКС.

Средняя продолжительность процедуры составила 48 ± 19 минут, периоперационных осложнений не зарегистрировано, длительность

нахождения пациентов в ОРИТ составила $0,9 \pm 0,3$ дня, за исключением двух больных с терминальной СН, нуждающихся в инотропной поддержке, один из которых умер на 4-е сутки после операции вследствие полиорганной недостаточности. Стоит отметить, что в группе нон-респондеров, доля которых составила 43% от общего количества испытуемых, отсутствие ответа на классическую СРТ в 89% случаев было ассоциировано с ишемическим генезом КМП. У 11 из 16 пациентов, которым ЛЖЭ не удалось имплантировать классическим способом, спустя 12 месяцев после роботизированной процедуры отмечено увеличение ФВ ЛЖ от $29 \pm 4\%$ до $48 \pm 9\%$, а также снижение ФК СН по NYHA от $2,7 \pm 0,5$ до $1,6 \pm 0,5$. Пороговые значения ЛЖЭ в течение того же периода наблюдения были стабильны и безопасны.

Главным преимуществом данного подхода является свобода выбора наиболее оптимального для имплантации ЛЖЭ участка, что способствует эффективному устранению электрической диссинхронии. Кроме того, роботизированный метод отличается трехмерным изображением операционного поля, соответственно, высокой точностью манипуляций, меньшей инвазивностью, более коротким периодом реабилитации, а также отсутствием лучевой нагрузки [17]. К основным недостаткам роботической техники, по сравнению с торакоскопической, относят, в первую очередь, высокую стоимость «da Vinci», отсутствие тактильной чувствительности, а также необходимость в специальном обучении хирургов. На сегодняшний день несмотря на безопасность и успешность выполненных операций, в связи с недостатком клинического опыта и относительно высокой частотой нон-респондеров робот-ассистированный метод остается операцией спасения при неэффективности трансвенозной техники.

Эндокардиальная стимуляция

Данные доклинических исследований позволяют сделать вывод о том, что эндокардиальная стимуляция менее аритмогенна и ассоциирована с более благоприятными непосредственными результатами, что может быть обусловлено последовательностью деполяризации и реполяризации кардиомиоцитов от эндокарда к эпикарду, близостью проводящей системы, а также возможностью более избирательной имплантации электрода к свободной стенке ЛЖ [18].

Трансептальная имплантация левожелудочкового электрода

Наиболее часто для эндокардиальной стимуляции используется метод имплантации ЛЖЭ через пункцию межпредсердной перегородки (МПП), впервые описанный Já is в 1998г.

За последнее десятилетие представлено множество модификаций данной техники, в большинстве из которых с целью трансептальной



Рисунок 1. Робот-ассистированная техника имплантации ЛЖЭ: А-В: пациент расположен в правом полубоковом положении, отмечены точки для установки торакарных портов для камеры, а также правой и левой «рук» робота. С-Д консоль пациента, оснащенная различными инструментами, которыми дистанционно управляет хирург за хирургической консолью (Amraoui S et al [16]).
Figure 1. Epicardial LV lead implantation robotically guided by the Da Vinci Robotic System: a minimally invasive approach. (A and B) The patient is tilted to the right side, allowing to introduce the binocular camera and instruments through 3 transthoracic ports of 10 mm diameter: 5th intercostal space for the camera, 3rd for the right arm, and 7th for the left arm (C). (D) Robotic arms could be controlled remotely at distance by the surgeon. LV, left ventricular. (Amraoui S et al [16]).

пункции и проведения электрода в ЛЖ используется комбинация подключичного и бедренного доступов. В недавнем многоцентровом проспективном исследовании ALSYNC оценивалась безопасность и эффективность имплантации ЛЖЭ с применением подключичного доступа и новейшей системы доставки. С помощью управляемого катетера проводилась доставка радиочастотного (РЧ) электрода с расширителем в область овальной ямки, после чего под контролем внутрисердечной или чреспищеводной (ЧП) эхокардиографии (ЭхоКГ) выполнялась транссептальная пункция. Оказавшись в левом предсердии (ЛП), РЧ-электрод приобретал специфическую форму, способствующую продвижению через МПП, а затем- и митральный клапан (МК) доставляющего катетера, по которому в полость ЛЖ проводился ЛЖЭ, конец которого фиксировался в наиболее оптимальной точке эндокарда.

В исследовании приняло участие 138 пациентов, половине из которых в прошлом не удалось выполнить СРТ классическим способом, 22% имели неоптимальную анатомию КС, а 23% не получили должного эффекта от терапии (нереспондеры). Средняя продолжительность QRS составила 165 ± 32 мс, ФВ ЛЖ $-29 \pm 9\%$, а большая часть пациентов (80-90%) имела ишемическую СН II-III ФК по NYHA. С целью профилактики тромбоэмболических осложнений был назначен варфарин с целевым значением МНО 2-4. Около 55% участников получали постоянную антиакоагулянтную терапию в связи с ФП со средним значением CHA2DS2-VASc 3.4 ± 1.3 балла.

Троим пациентам было отказано в процедуре в связи с выявлением по данным ЧП-ЭхоКГ тромбоза ЛП, а один больной умер до планируемой даты операции.

Таким образом, имплантация ЛЖЭ была вы-

полнена успешно у 118 пациентов (89%), смещение электрода отмечено в 6 случаях, в 5 из которых реимплантация проводилась одномоментно, а в одном – спустя 4 месяца после первой процедуры. При анализе первичных конечных точек в течение 6 месяцев наблюдения зарегистрировано достоверное снижение КСО более чем 15%, увеличение ФВ ЛЖ более чем на 5%, а также уменьшение ФК СН по NYHA минимум на 1 ФК у 59% пациентов. Нарушений в структуре и функции МК не выявлено, напротив, отмечено снижение степени митральной регургитации в 33% случаев вследствие улучшения систолической функции ЛЖ. Частота транзиторных ишемических атак составила 7,4%, инсультов – 2,5%, однако выраженных неврологических нарушений не обнаружено. В связи с необходимостью приема антикоагулянтов повысилась частота развития гематомы в области пункции, тем не менее с учетом относительно высокого риска ишемических событий целевое значение МНО рекомендовано сузить до 2,5-3,5. За весь период наблюдения зарегистрировано 15 смертельных случаев из-за сердечно-легочной и сопутствующей почечной недостаточности. Следует отметить, что среди тех, кому эпикардиальная СРТ оказалась неэффективной, доля «респондеров» на эндокардиальную систему составила 47%. Таким образом, несмотря на относительный риск перипроцедуральных осложнений, трансептальная техника имплантации ЛЖЭ продемонстрировала преимущество по сравнению с трансвенозной у определенной когорты пациентов, в связи с чем требуются дальнейшие исследования для оценки отдаленных результатов [19].

Трансапикальная имплантация левожелудочкового электрода

Данная техника, заключающаяся в имплантации ЛЖЭ через верхушку сердца, подробно описана в исследовании Kis Z. и соавторов: под общей анестезией проводилась левая торакотомия с последующей перикардотомией и пункцией верхушки ЛЖ по технике Сельдингера [20]. По мере введения проводника пункционная игла удалялась, а место пункции дилатировалось с помощью специального расширителя. Для выполнения данной техники использовался тончайший биполярный электрод активной фиксации для уменьшения травматизации. После введения электрода в полость ЛЖ вокруг места пункции накладывался кисетный шов с целью минимизации риска кровотечений. Затем под флюороскопическим контролем проводилась фиксация ЛЖЭ с последующей проверкой пороговых значений: порог стимуляции должен был составлять менее 1В, а порог чувствительности – превышать 5 мВ. Проксимальная часть электрода проводилась подкожно и подсоединялась к ЭКС в левой подключичной области. Периоперационная антикоагулянтная терапия была аналогична тако-

вой при протезировании митрального клапана механическим протезом, целевой уровень МНО составлял 2,5-3,5.

Стоит отметить, что наиболее оптимальная точка имплантации ЛЖЭ определялась по данным тканевой доплерографии и/или электрофизиологического исследования.

В течение $40 \pm 24,5$ месяцев наблюдения 10 пациентов погибло из-за прогрессирующей СН, выживаемость составила 47%. По результатам исследования, реимплантация потребовалась 1 пациенту вследствие повреждения электрода спустя 5 лет после операции, репозиция ЛЖЭ – 3 пациентам, у одного из которых дислокация была обнаружена в процессе ушивания перикарда, у второго – на второй день после операции, а у третьего – после выписки из стационара. Одному пациенту через 2 месяца после процедуры в связи с остро развившейся правосторонней гемиплегией выполнено КТ головного мозга, по результатам которого обнаружена окклюзия в средней мозговой артерии. У другого пациента, которому антикоагулянтная терапия была отменена в связи с необходимостью реимплантации электрода, через 3 дня после процедуры развился левосторонний гемипарез, причиной которого стала окклюзия в правой средней мозговой артерии. Недостатком трансапикальной техники является большая травматичность, вероятность смещения электрода, а также высокий риск тромбоэмболических и инфекционных осложнений, в связи с чем применение данного метода в клинической практике ограничено.

Тансвентрикулярная имплантация левожелудочкового электрода

Методика имплантации ЛЖЭ через межжелудочковую перегородку, как альтернатива трансвенозному способу, впервые была описана Betts TR и соавторами в 2014г. [21] Несмотря на более высокий риск тромбоэмболических осложнений, связанных с наличием искусственного материала в полости ЛЖ, эндокардиальная стимуляция, по сравнению с эпикардиальной, гемодинамически более благоприятна в связи с меньшей дисперсией реполяризации, способствующей снижению проаритмогенного эффекта. В исследовании Gamble J.H.P. и соавторов операция проводилась под общей анестезией с применением подключичного доступа. Пункция межжелудочковой перегородки выполнялась с использованием РЧ-энергии под контролем вентрикулографии. С помощью декаполярного катетера для эндокардиального картирования создавалась электрофизиологическая карта ЛЖ для определения зоны наиболее поздней активации, в которой и выполнялась имплантация ЛЖЭ с активной фиксацией.

Все больным до операции была назначена пожизненная антикоагулянтная терапия варфа-

рином с целевым значением МНО 2,5-3,5. Время от момента венозной пункции до успешной установки электрода в ЛЖ составила в среднем 25 ± 19 минут. Точка наиболее поздней активации, соответствующая месту имплантации ЛЖЭ, у большинства пациентов (65%) располагалась на передне-латеральной, а у 35% - на латеральной стенке ЛЖ, причем в 80% случаев она находилась в базальной, а в 20% - в средней части ЛЖ. Из 20 исследуемых двоим потребовалось повторное вмешательство в связи с выраженной гематомой в области послеоперационной раны.

Случаев пневмоторакса, дислокации электрода, инфекционных и тромбоэмболических осложнений в периоперационном периоде не отмечено.

В течение 6 месяцев наблюдения зарегистрирован 1 случай ишемического инсульта с частичным регрессом симптоматики, свобода от периоперационных осложнений составила 80%. Несмотря на незначимое улучшение ФК СН по NYHA (0,8) и результатов 6-минутной ходьбы, по данным ЭхоКГ зафиксировано уменьшение ФВ ЛЖ на 13,8%, а также КСО - на 34 мл [22].

Беспроводная система эндокардиальной стимуляции левого желудочка

В 2014 г. Auricchio A и соавторы представили первую и, на сегодняшний день, единственную систему беспроводной эндокардиальной стимуляции ЛЖ - WiSE-CRT. Вопреки многообещающим результатам исследование было прервано в связи с относительно высокой частотой развития тампонады сердца (3/17,18%), однако в дальнейшем авторы модифицировали систему доставки, добавив баллон, уменьшающий травматичность вмешательства [23]. В настоящее время WiSE-CRT состоит из подкожно имплантируемой батареи, соединенной с ультразвуковым трансмиттером (передатчиком), а также беспроводного эндокардиального электрода. Принцип работы устройства заключается в восприятии трансмиттером стимула от ПЖ-электрода и моментальном ответном излучении ультразвуковых волн, детектируемых левожелудочковым электродом, который преобразует УЗ-энергию в электрическую, тем самым, стимулируя ЛЖ. Бивентрикулярная стимуляция достигается благодаря почти одновременному возбуждению ПЖ и ЛЖ, поскольку интервал между восприятием стимула от ПЖ до стимуляции ЛЖ в среднем составляет 3-5 мс. Операция проводится в 2 этапа: сперва выполняется имплантация трансмиттера в области «акустического окна», которая определяется при подготовке к операции по данным трансторакального ЭхоКГ и представляет собой линию, проходящую через ЛЖ, но не пересекающую костную или легочную ткань, зачастую соответствующую IV-VI межреберью [24]. Стоит отметить, что у 5-10% людей данное «окно» может отсутствовать. Затем

на том же уровне, но по средне-подмышечной линии подкожно устанавливается батарея ЭКС. Вторым этапом ретроградным путем, трансаортально, через пункцию бедренной артерии или транссептально, через пункцию бедренной вены по системе доставки проводится баллонный катетер с беспроводным ЛЖЭ. При достижении эндокарда вводится контрастный препарат для максимально точной локализации электрода, который в большинстве случаев имплантируется в среднем или базальном отделе боковой стенки ЛЖ. К дополнительным параметрам, способствующим оптимальному расположению ЛЖЭ относятся длительность интервала Q-LV 90 ms, а также порог стимуляции ≤ 2.5 V.

В исследовании SOLVE-CRT Okabe T. и соавторы оценивали безопасность и эффективность системы WiSE-CRT среди больных, у которых трансовенозная имплантация ЛЖЭ была неэффективна, безуспешна или сопряжена с высоким риском периоперационных осложнений в связи с анатомическими или функциональными особенностями [25]. Улучшение ФК СН по NYHA наблюдалось у 14 из 30 испытуемых, случаев ухудшения состояния не отмечено.

Спустя 6 месяцев после имплантации WiSE-CRT длительность QRS уменьшилась в среднем с $177,4 \pm 26,5$ до $152,3 \pm 30,5$ мс ($P = 0,002$), ФВ ЛЖ увеличилась с 28,3% до 33,5% ($P < 0,01$), а КСО и КДО ЛЖ снизились с $134,9 \pm 51,3$ до $111,1 \pm 40,3$ мл ($P = 0,004$) и с $185,4 \pm 58,8$ до $164,9 \pm 50,6$ mL ($P = 0,017$) соответственно. Имплантация беспроводного ЛЖЭ была успешно выполнена у 28 из 31 пациентов (90,3%). В одном случае доля захвата миокарда электрическим импульсом составила 50-60%, несмотря на многократное увеличение амплитуды стимуляции, что было расценено как интермиттирующая потеря захвата. В другом случае, в связи с неадекватной фиксацией, процедура осложнилась эмболией правой бедренной артерии электродом, после удаления которого новый был успешно имплантирован в миокард ЛЖ. В третьем случае спустя 6 месяцев после имплантации обнаружена инфекция послеоперационной раны, которая была успешно вылечена терапией клиндамицином. Смертельных исходов и случаев тампонады сердца не зарегистрировано. Таким образом, беспроводная система имплантации ЛЖЭ WiSE-CRT представляет собой перспективную технологию, требующую дальнейшего изучения.

Стимуляция проводящей системы сердца

В последнее время большую популярность вновь приобрела стимуляция собственной проводящей системы сердца. Описанная впервые в 1970г. стимуляция пучка Гиса продемонстрировала сравнимую с CRT безопасность и эффективность в улучшении ФК СН по NYHA, ФВ ЛЖ и обратного ремоделирования, а также снижении

уровня госпитализации и смертности у больных с ХСН со сниженной ФВ [26]. Кроме того, по сравнению с бивентрикулярной стимуляцией, стимуляция пучка Гиса более физиологична, а в исследовании His-SYN Pilot приводила к более выраженному укорочению QRS и эхокардиографическому ответу. Помимо технической сложности, недостатком данного метода является более высокие и нестабильные пороги стимуляции, приводящие к преждевременному разряду батареи. Наконец, стимуляция пучка Гиса неэффективна при наличии блокады дистальных отделов проводящей системы. В связи с этим с целью обхода места блокады и увеличения эффективности терапии в 2016г. впервые была продемонстрирована транссептальная стимуляция левой ножки пучка Гиса. В дальнейшем разными авторами описаны методы стимуляции проксимальной и дистальной части ЛНПГ, а также избирательной стимуляции передней и задней ветви ЛНПГ. В отличие от стимуляции МЖП, данный метод позволяет сохранить физиологическую последовательность эндокардиального и трансмурального возбуждения желудочков.

В многоцентровом исследовании MELOS имплантация электрода в область ЛНПГ успешно выполнена у 89,6% пациентов не только с ХСН, но и с различными видами брадиаритмий [27]. К

Финансирование.

При поддержке гранта «Московского центра инновационных технологий в здравоохранении» в рамках научного проекта № 2002-23/23.

Сведения об авторах

Константин Валентинович Шаталов, доктор медицинских наук, профессор, врач сердечно-сосудистый хирург, заместитель директора по научной работе, заведующий отделением неотложной хирургии врожденных пороков сердца с группой вспомогательного кровообращения.

Сергей Юрьевич Сергуладзе, доктор медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением хирургического лечения тахикардий. E-mail: serguladze74@mail.ru

Магомед Абдуразакович Абдуразаков, кандидат медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург.

Олег Валентинович Сопов, кандидат медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург.

Борис Игоревич Кваша, кандидат медицинских наук, врач сердечно-сосудистый хирург.

Дастанбек Сапарбек Угли Муратов, аспирант кафедры сердечно-сосудистой хирургии с курсом аритмологии и клинической электрофизиологии, врач сердечно-сосудистый хирург. E-mail: dastan19941219@mail.ru

причинам безуспешности операции относят дилатацию камер сердца, а также фиброз МЖП.

Частота осложнений, связанных с транссептальным вмешательством, составила 11,7%, среди наиболее распространенных – перфорация миокарда с внедрением в полость ЛЖ, смещение электрода, а также повреждение или спазм коронарных артерий. Несмотря на это, по последним данным, непосредственные и отдаленные результаты данной техники сравнимы с таковыми при классической СРТ.

Заключение

Несмотря на масштабные научные достижения и прорывы в области электрофизиологии и кардиостимуляции трансвенозная имплантация ЛЖЭ через КС остается «золотым стандартом» СРТ. Тем не менее, в связи с невозможностью или безуспешностью выполнения процедуры, а также отсутствием ответа на СРТ у определенной когорты пациентов, ведутся многочисленные исследования, посвященные изучению безопасности и эффективности наиболее перспективных альтернативных направлений – беспроводной эндокардиальной стимуляции ЛЖ, а также стимуляции собственной проводящей системы, в частности левой ножки пучка Гиса.

Конфликт интересов.

Не является.

Information about the authors

Konstantin Valentinovich Shatalov, Doctor of Medical Science, professor, cardiovascular surgeon, deputy director for scientific work, head of the department of emergency surgery of congenital heart defects with a circulatory support group.

Sergey Yuryevich Serguladze, Doctor of Medical Science, cardiovascular surgeon, head of the department of surgical treatment of tachyarrhythmias.

Magomed Abdurazakovich Abdurazakov, Candidate of Medical Science, cardiovascular surgeon.

Sopov Oleg Valentinovich, Candidate of Medical Science, cardiovascular surgeon.

Boris Igorevich Kvasha, Candidate of Medical Science, cardiovascular surgeon.

Dastanbek Saparbek Ugli Muratov, postgraduate student of the Department of Cardiovascular Surgery with a course in Arrhythmology and Clinical Electrophysiology, Cardiovascular Surgeon. E-mail: dastan19941219@mail.ru

Список литературы / References list

1. Сергуладзе С. Ю., Григорьев А. Ю. Отрицательные аспекты стимуляции правого желудочка. Serguladze S. Yu., Grigoriev A. Yu. Negative aspects of right ventricular pacing
2. Al-Majed NS, McAlister FA, Bakal JA, et al. Meta-analysis: cardiac resynchronization therapy for patients with less symptomatic heart failure. *Intern Med.* 2011 Mar 15; 154(6): 401-12. doi: 10.7326/0003-4819-154-6-201103150-00313.
3. Sieniewicz BJ, Gould J, Porter B, et al. Understanding non-response to cardiac resynchronization therapy: common problems and potential solutions. *Heart Fail Rev.* 2019 Jan;24(1):41-54. doi: 10.1007/s10741-018-9734-8.
4. Daubert JC, Ritter P, Breton HL, et al. Permanent left ventricular pacing with transvenous leads inserted into the coronary veins. *Clin Electrophysiol.* 1998 Jan; 21(1 Pt 2): 239-45. doi: 10.1111/j.1540-8159.1998.tb01096.x.
5. Л. А. Бокерия, В. А. Базаев, О. Л. Бокерия, В. В. Чумаков. Технические аспекты имплантации бивентрикулярных устройств у пациентов с застойной сердечной недостаточностью. Оптимизация методик для повышения безопасности и эффективности. *Анналы аритмологии.* – 2006. – № 1. – С. 34–39.
6. L. A. Bockeria, V. A. Bazaev, O. L. Bokeria, V. V. Chumakov. Technical aspects of implantation of biventricular devices in patients with congestive heart failure. Optimizing techniques to improve safety and effectiveness. *Annals of Arrhythmology.* – 2006. – No. 1. – P. 34–39.
7. Cecilia Linde 1, William T Abraham 2, Michael R Gold 3, Martin St John Sutton 4, Stefano Ghio 5, Claude Daubert. Randomized trial of cardiac resynchronization in mildly symptomatic heart failure patients and in asymptomatic patients with left ventricular dysfunction and previous heart failure symptoms. *J Am Coll Cardiol.* 2008 Dec 2; 52(23):1834-1843. doi: 10.1016/j.jacc.2008.08.027.
8. James B Young 1, William T Abraham, Andrew L Smith, Angel R Leon, Randy Lieberman, Bruce Wilkoff, Robert C Canby, John S Schroeder, L Bing Liem, Shelley Hall, Kevin Wheelan. Combined cardiac resynchronization and implantable cardioversion defibrillation in advanced chronic heart failure: the MIRACLE ICD Trial. *JAMA.* 2003 May 28;289(20):2685-94. doi: 10.1001/jama.289.20.2685.
9. Juan Hua, Qiling Kong, and Qi Chen. Alternative pacing strategies for optimal cardiac resynchronization therapy. *Front Cardiovasc Med.* 2022 Sep 27; 9: 923394. doi: 10.3389/fcvm.2022.923394.
10. Van Rees JB, de Bie MK, Thijssen J, Borleffs CJ, Schalij MJ, van Erven L. Implantation-related complications of implantable cardioverter-defibrillators and cardiac resynchronization therapy devices: a systematic review of randomized clinical trials. *J Am Coll Cardiol.* 2011; 58:995–1000.
11. Bordachar P, Strik M, Ploux S. Left Ventricular Endocardial Pacing: Update and State of the Art. *Card Electrophysiol Clin.* 2022 Jun;14(2):263-271. doi: 10.1016/j.ccep.2021.12.004.
12. Hye Ree Kim 1, Kyunghee Lim 2, Seung-Jung Park 3, Jong-Sung Park 2, Ju Youn Kim 3, Suryeun Chung 4, Dong-Seop Jung 4, Kyoung-Min Park 3, Young Keun On 3, June Soo Kim 3. Thoracoscopic Implantation of Epicardial Left Ventricular Lead for Cardiac Resynchronization Therapy. *J Cardiovasc Dev Dis.* 2022 May 16;9(5):160. doi: 10.3390/jcdd9050160.
13. Fernández AL, García-Bengochea JB, Ledo R, et al. Minimally invasive surgical implantation of left ventricular epicardial leads for ventricular resynchronization using video-assisted thoracoscopy. *Rev Esp Cardiol.* 2004 Apr;57(4):313-9.
14. Л. А. Бокерия, З. Б. Махалдиани, К. А. Калысов. Торакоскопическое картирование левого желудочка и имплантация левожелудочкового электрода для проведения ресинхронизирующей терапии (экспериментальное исследование). *Анналы аритмологии.* – 2012. – № 3. – С. 48–55.
15. L. A. Bockeria, Z. B. Makhaldiani, K. A. Kalysov. Thoracoscopic mapping of the left ventricle and implantation of a left ventricular electrode for resynchronization therapy (experimental study). *Annals of Arrhythmology.* – 2012. – No. 3. – P. 48–55.
16. Mair H., Sachweh J., Meuris B., Nollert G., Schmoedel M., Schuetz A., Reichart B., Daebritz S. Surgical epicardial left ventricular lead versus coronary sinus lead placement in biventricular pacing. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2005 Feb; 27(2): 235-42. doi: 10.1016/j.ejcts.2004.09.029.
17. Mehmet Ezelsoy 1, Muhammed Bayram 2, Suleyman Yazici 3, Nuran Yazicioglu 4, Ertan Sagbas. Surgical placement of left ventricular lead for cardiac resynchronization therapy after failure of percutaneous attempt. *Cardiovasc J Afr.* 2017 Jan/Feb;28(1):19-22. DOI: 10.5830/CVJA-2016-046
18. Sana Amraoui1, Louis Labrousse, Manav Sohal, Jean-Luc Jansens, Benjamin Bertel, Nicolas Derval, Arnaud Denis, Sylvain Ploux, Michel Haissaguerre, Pierre Jais, Pierre Bordachar, and Philippe Ritter. Alternative to left ventricular lead implantation through the coronary sinus: 1-year experience with a minimally invasive and robotically guided approach. *Europace.* 2017 Jan;19(1):88-95. doi: 10.1093/europace/euv430.
19. Advay G. Bhatt, Jonathan S. Steinberg. Robotic-Assisted Left Ventricular Lead Placement. *Heart Fail Clin.* 2017 Jan;13(1):93-103. doi: 10.1016/j.hfc.2016.07.008
20. Gamble J.H.P, Herring N., Ginks M., Rajappan K., Bashir Y., Betts T.R. Endocardial left ventricular pacing for cardiac resynchronization: systematic review and meta-analysis. *Europace.* 2018 Jan 1; 20(1): 73-81. doi: 10.1093/europace/euw381

19. Morgan J.M., Biffi M., Gellér L., Leclercq C., Ruffa F, Tung S., Defaye P., Yang Z., Gerritse B., van Ginneken M., Yee R., Jais P., Eur Heart J. 2016 Jul 14; 37(27): 2118-27. doi: 10.1093/eurheartj/ehv723
20. Sawhney, V., Domenichini, G., Gamble, J., Furniss G., et al. Thrombo-embolic events in left ventricular endocardial pacing: long-term outcomes from a multicenter UK registry. *Europace*. 2018 Dec 1; 20(12): 1997-2002. doi: 10.1093/europace/euy107.
21. Betts T.R, Gamble J.H.P., Khiani R, Bashir Y., Rajappan K. development of a technique for left ventricular endocardial pacing via puncture of the interventricular septum. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2014 Feb; 7(1):17-22. doi: 10.1161/CIRCEP.113.001110.
22. Gamble J.H.P., Herring N., Ginks M.R., Rajappan K., Bashir Y., Betts T.R. Endocardial left ventricular pacing across the interventricular septum for cardiac resynchronization therapy: Clinical results of a pilot study. *Heart Rhythm*. 2018 Jul;15(7):1017-1022. doi: 10.1016/j.hrthm.2018.02.032.
23. Auricchio A., Delnoy P.P., Butter C., Brachmann J., Erven L.V., Spitzer S., Moccetti T. et al. Feasibility, safety, and short-term outcome of leadless ultrasound-based endocardial left ventricular resynchronization in heart failure patients: results of the wireless stimulation endocardially for CRT (WiSE-CRT) study. 2014 May; 16(5): 681-8. doi: 10.1093/europace/eut435.
24. Reddy V.Y., Miller M.A., Neuzil P., Søgaard P., Butter C., Seifert M., Delnoy P.P., van Erven L., Schalji M., Boersma L.V.A., Riahi S. Cardiac Resynchronization Therapy With Wireless Left Ventricular Endocardial Pacing: The SELECT-LV Study. 2017 May 2; 69(17): 2119-2129. doi: 10.1016/j.jacc.2017.02.059.
25. Okabe T., Hummel J.D., Bank A.J., Niazi I.K., McGrew F.A., Kindsvater S., et al. Leadless left ventricular stimulation with WiSE-CRT System - Initial experience and results from phase I of SOLVE-CRT Study (nonrandomized, roll-in phase). *Heart Rhythm*. 2022 Jan; 19(1):22-29. doi: 10.1016/j.hrthm.2021.06.1195
26. Schiavone M., Arosio R, Valenza S., Ruggiero D., Mitacchione G., Lombardi L., Viecca M. et al. Cardiac resynchronization therapy: present and future. *Eur Heart J Suppl*. 2023 Apr 26; 25(Suppl C): C227-C233. doi: 10.1093/eurheartjsupp/suad046.
27. Jastrzębski M., Kiełbasa G., Cano O., Curila K., Heckman L., De Pooter J., Chovanec M. et al. Left bundle branch area pacing outcomes: the multicentre European MELOS study. *Eur Heart J*. 2022 Oct 21;43(40):4161-4173. doi: 10.1093/eurheartj/ehac445.