

<https://doi.org/10.35336/VA-1193><https://elibrary.ru/EJLXUT>

СРАВНЕНИЕ ЭНДО- И ЭПИКАРДИАЛЬНОЙ ЛЕВОЖЕЛУДОЧКОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ: ТРЕХМЕРНОЕ ЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

А.И.Мамедова^{1,2}, Н.А.Приходько¹, Т.А.Любимцева¹, А.В.Козленок¹, Д.С.Лебедев¹
¹ФГБУ «НМИЦ им. В.А.Алмазова» МЗ РФ, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д.2;
²СПб ГБУЗ «ГМПБ№2», Россия, Санкт-Петербург, Учебный пер., д.5.

Цель. Сравнение эндокардиальной и эпикардиальной левожелудочковой (ЛЖ) стимуляции при помощи синхронизированной с электрокардиограммой (ЭКГ) трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени (3Д-ЭхоКГ).

Материал и методы исследования. Экспериментальное интраоперационное исследование, в которое включено 12 пациентов с медикаментозно компенсированной хронической сердечной недостаточностью II-IV класса и фракцией выброса менее 35%, наличием полной блокады левой ножки пучка Гиса и длительностью комплекса QRS более 150 мс, у которых изучены результаты стимуляции в 88 точках. В рамках имплантации устройства сердечной ресинхронизирующей терапии выполнялась изолированная левожелудочковая стимуляция в сопоставленных под флюорографическим контролем оппозиционных точках с помощью эпикардиального квадриполярного электрода, заведенного в ветви коронарного синуса и с помощью эндокардиального временного электрода. Всего получено 44 эндокардиальных и 44 эпикардиальных точек. Средний возраст пациентов составил 68,5 [63;73,5] лет, 83% мужчин (n=10). На этапе включения выполнены 12-канальная ЭКГ, эхокардиография, тест шестиминутной ходьбы. Магнитно-резонансная томография и коронарная ангиография проводились по показаниям. У 50% пациентов была (n=6) хроническая сердечная недостаточность ишемического генеза, у 50% - неишемического (преимущественно, дилатационная кардиомиопатия). ЭКГ контроль выполнялся с помощью электрофизиологической системы LabSystem Pro EP Recording System (Bard Electrophysiology, США). В каждой точке измеряли длительность стимулированного комплекса QRS, выполняли чреспищеводную трехмерную эхокардиографию в режиме реального времени (3Д-ЭхоКГ) с фиксацией и записью материалов для последующей обработки в программных пакетах TomTec и Philips Qlab 3DQ Advanced (Philips Medical Systems, США).

Результаты. Полуколичественные параметрические трехмерные индексы сегментарной экскурсии и сократимости миокарда, полученные с помощью 3Д-ЭхоКГ, такие, как ExcAvg (p<0,001), ExcMax (p=0,001), ExcMin (p<0,001), фракция выброса трехмерной модели левого желудочка, (p=0,003), значительно различались и показывали преимущество эндокардиальной стимуляции. Индекс диссинхронии Tmsv-6SD в точке 2 стимуляции был значительно меньше (p=0,03) при эндокардиальной стимуляции. По аналогичным индексам диссинхронии, но для 16 и 12-сегментной модели (SDI-16, Tmsv-12SD) (при p=0,06) выявлена лишь тенденция к значимому различию. Длительность QRS при эндокардиальной стимуляции составила 190 [179;215] мс и была значительно меньше, чем при эпикардиальной - 218 [197;246] (p=0,0008). Полуколичественные и количественные параметры, полученные с помощью 3Д-ЭхоКГ демонстрируют преимущество эндокардиальной стимуляции с точки зрения улучшения сократительной способности миокарда, уменьшения степени диссинхронии, уменьшения объемов ЛЖ даже в рамках интраоперационного исследования.

Выводы. Эндокардиальная стимуляция имеет ряд преимуществ, с точки зрения улучшения сократительной способности миокарда, уменьшения степени механической диссинхронии и объемов ЛЖ, продемонстрированных с помощью 3Д-ЭхоКГ параметров оценки глобальной и сегментарной сократимости, внутрижелудочковой диссинхронии и ЭКГ критериев в рамках интраоперационного исследования. 3Д-ЭхоКГ позволяет более точно и воспроизводимо отражать зону поздней активации миокарда, а методика эндокардиальной ЛЖ стимуляции имеет преимущество с точки зрения большей маневренности позиционирования стимулирующего полюса ЛЖ электрода в целевую зону.

Ключевые слова: сердечная ресинхронизирующая терапия; эндокардиальная стимуляция; эпикардиальная стимуляция; левожелудочковый электрод; трехмерная эхокардиография в режиме реального времени; механическая диссинхрония

Конфликт интересов: отсутствует.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания. Номер регистрации ЕГИСУ НИОКТР № 122041500020-5

Рукопись получена: 28.03.2023 **Исправленная версия получена:** 21.09.2023 **Принята к публикации:** 16.10.2023

Ответственный за переписку: Мамедова Арзу Исрафил кызы, E-mail: arzu.mamedovaphd@gmail.com

А.И.Мамедова - ORCID 0000-0003-2852-0684, Н.А.Приходько - ORCID 0000-0002-5304-8003, Т.А.Любимцева - ORCID 0000-0002-8651-7777, А.В.Козленок - ORCID 0000-0002-2435-4286, Д.С.Лебедев - ORCID 0000-0002-2334-1663

Для цитирования: Мамедова АИ, Приходько НА, Любимцева ТА, Козленок АВ, Лебедев ДС. Сравнение эндо- и эпикардиальной левожелудочковой стимуляции: трехмерное эхокардиографическое исследование. *Вестник аритмологии*. 2024;31(1): 5-13. <https://doi.org/10.35336/VA-1193>.

REAL-TIME THREE-DIMENSIONAL TRANSTHORACIC ECHOCARDIOGRAPHY IN QUANTIFICATION OF LEFT VENTRICULAR DYSSYNCHRONY

A.I.Mamedova^{1,2}, N.A.Prikhod'ko¹, T.A.Lyubimceva¹, A.V.Kozlenok¹, D.S.Lebedev¹

¹FSBI «Almazov NMRC» of the MH RF, Russia, Saint-Petersburg, 2 Akkuratova str.;

²Saint-Petersburg Institution of Healthcare «City Hospital №2» Russia, Saint-Petersburg, 5 Uchebny lane.

Aim. To compare endocardial and epicardial left ventricular (LV) pacing using real-time electrocardiography (ECG)-synchronized three-dimensional echocardiography (3DE).

Methods. Experimental intraoperative study included 88 points obtained from 12 patients with compensated heart failure of II-IV functional class NYHA (LV ejection fraction < 35%) and cardiac resynchronization therapy indications - ECG pattern of complete left bundle branch block (LBBB) and QRS complex duration > 150 ms. During isolated LV pacing as part of cardiac resynchronization therapy implantation procedure endocardial and epicardial stimulation points matched under fluoroscopic control using quadripolar coronary sinus leads and endocardial electrodes for temporary pacing were obtained. The overall number of corresponding pacing sites included 44 endocardial and 44 epicardial stimulation positions. The mean age of patients was 68.5 [63; 73.5] years, 83% males (n=10). Before study enrollment, 12-channel ECG, echocardiography, and a six-minute walk test were performed for all participants along with cardiac magnetic resonance imaging and control coronary angiography if indicated. The prevalence of coronary heart disease was 50% (n=6) while dilated cardiomyopathy was the most common etiology of chronic heart failure in other cases. Intraoperative ECG with estimation of paced QRS complex morphology at each point was registered via LabSystem Pro Electrophysiological Recording System (Bard Electrophysiology, USA). 3DE was performed using TomTec and Philips Qlab 3DQ Advanced software (Philips Medical Systems, USA).

Results. Three-dimensional parametric imaging of LV regional segmental excursion and myocardial contractility using 3DE revealed statistically significant difference in semi-quantitative parameters such as ExcAvg (p<0.001), ExcMax (p=0.001), ExcMin (p<0.001) and LV ejection fraction based on 3D modelling (p=0.003) while endocardial pacing was more beneficial. During the course of endocardial stimulation, the 3DE dyssynchrony index estimated at the 2nd stimulation site was also significantly lower (p=0.03). Identical dyssynchrony parameters valid for the 16 and 12-segment 3D models (SDI-16, Tmsv-12SD) (at p=0.06) demonstrated only a tendency for significant difference. The duration of QRS complex at the time of endocardial pacing was significantly shorter (<190 [179;215] ms) (p=0.0008). Semi-quantitative and quantitative 3DE parameters showed the benefit of endocardial pacing resulting in cardiac contractility improvement with less dyssynchrony and LV volume reducing during intraoperative period.

Conclusion. Endocardial pacing has potential benefit over the epicardial pacing represented by intraoperative dynamics of LV global and local contractility, intraventricular dyssynchrony estimated by 3DE and also ECG criteria. 3DE is helpful in more precise and reproducibile determining of late activation zone for target LV lead placement that is more manoeuvrable in case of endocardial stimulation.

Key words: cardiac resynchronization therapy; endocardial pacing; epicardial pacing; left ventricular lead; three-dimensional real-time echocardiography; mechanical dyssynchrony

Conflict of interest: none.

Funding: The study was funded by the state task № 122041500020-5

Received: 28.03.2023 **Revision received:** 21.09.2023 **Accepted:** 16.10.2023

Corresponding author: Arzu Mamedova, E-mail: arzu.mamedova.phd@gmail.com

A.I.Mamedova - ORCID 0000-0003-2852-0684, N.A.Prikhod'ko - ORCID 0000-0002-5304-8003, T.A.Lyubimceva - ORCID 0000-0002-8651-7777, A.V.Kozlenok - ORCID 0000-0002-2435-4286, D.S.Lebedev - ORCID 0000-0002-2334-1663

For citation: Mamedova AI, Prikhod'ko NA, Lyubimceva TA, Kozlenok AV, Lebedev DS. Real-time three-dimensional transthoracic echocardiography in quantification of left ventricular dyssynchrony. *Journal of Arrhythmology*. 2024;31(1): 5-13. <https://doi.org/10.35336/VA-1193>.

На сегодняшний день сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) успешно применяется у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) II-IV функционального класса по NYHA (New York Heart Association), с фракцией выброса (ФВ) менее 35% и расширением комплекса QRS на поверхностной электрокардиографии (ЭКГ) более

130 мс. Неполное соответствие электрофизиологических признаков эхокардиографическим (ЭхоКГ), сохраняющийся высокий процент нереспондеров на терапию служит причиной постоянного поиска факторов, которые определяют эффективность СРТ. К наиболее частым причинам недостаточного ответа на СРТ или его отсутствия можно отнести: несовер-

шенство критериев отбора больных, большой объем рубцового поражения миокарда, субоптимальные параметры программирования устройства, нецелевые позиции желудочковых электродов и низкий процент истинной бивентрикулярной стимуляции. Нередко встречается невозможность имплантации левожелудочкового (ЛЖ) электрода в целевую зону из-за особенностей анатомии коронарного синуса. Все это диктует необходимость поиска альтернативных вариантов стимуляции, к которым относятся хирургические эпикардиальные (миниторакотомические или торакокопические) или эндоваскулярные эндокардиальные (трансапикальные или транссептальные, через межжелудочковую перегородку методики) [1-3]. Учитывая ограничение торакокопического метода (необходимость общего анестезиологического пособия у пациентов с тяжелой ХСН, зачастую невозможности оптимального позиционирования электрода, риска хирургических и инфекционных осложнений), в последнее время появляется все больше работ, посвященных поиску альтернативных эндокардиальных методов имплантации электродов [1-10]. Существуют противоречивые данные, что эндокардиальная стимуляция имеет ряд преимуществ:

- более быстрое распространение возбуждения по миокарду ЛЖ,
- отсутствие извращенного паттерна активации ЛЖ,
- лучше наполнение и систолическая функция ЛЖ [11],
- лучше острый гемодинамический эффект [12],
- эпикардиальная стимуляция может быть более аритмогенной, чем эндокардиальная [13], так как способствует увеличению продолжительности интервала QT и увеличению трансмуральной дисперсии реполяризации [14],
- желудочковый электрический шторм чаще при эпикардиальной стимуляции [15];
- эндокардиальная стимуляция снижает дисперсию реполяризации [16] по сравнению со стимуляцией из эпикардиально расположенных ветвей коронарного синуса.

В качестве основной методики для интраоперационной оценки эффективности стимуляции и сопоставления с зонами наиболее поздней активации [17-24] была выбрана 3Д-ЭхоКГ из-за удобства применения, высокой воспроизводимости и наглядности.

Цель исследования: сравнение эндокардиальной и эпикардиальной левожелудочковой стимуляции при помощи ЭКГ-синхронизированной трехмерной эхокардиографии в режиме реального времени.

Таблица 1.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общая характеристика пациентов исследуемой группы

Количество больных, n	12
Количество стимулируемых точек	88
Возраст, годы	68,5 [63;73,5]
Мужской пол, n (%)	10 (83%)
Ишемический генез ХСН, n (%)	6 (50%)
Неишемический генез ХСН, n (%)	6 (50%)
Ишемическая болезнь сердца, n (%)	11 (91%)
Анамнез инфаркта миокарда, n (%)	6 (50%)
Реваскуляризация в анамнезе, n (%)	8 (67%)
Без реваскуляризации в анамнезе, n (%)	4 (33%)
II ф.к. ХСН (NYHA), n (%)	3 (25%)
III ф.к. ХСН (NYHA), n (%)	7 (58%)
IV ф.к. ХСН (NYHA), n (%)	2 (17%)
Длительность QRS, мс	171 [158,5; 181]
КДО ЛЖ, мл	240 [177; 275,5]
КСО ЛЖ, мл	174,5 [117,5; 212,5]
ФВ ЛЖ, %	27 [18; 28]
Митральная регургитация, n (%)	9 (75%)
Легкая митральная регургитация, n (%)	7 (58%)
Умеренная митральная регургитация, n (%)	2 (17%)
Протезирование митрального клапана, n (%)	1 (8%)
8 изолированных точек стимуляции, n (%)	9 (75%)
6 изолированных точек стимуляции, n (%)	2 (17%)
4 изолированных точек стимуляции, n (%)	1 (8%)

Примечания: здесь и далее ХСН - хроническая сердечная недостаточность, ф.к. - функциональный класс. КДО - конечно-диастолический объем, КСО - конечно-систолический объем, ЛЖ - левый желудочек, ФВ - фракция выброса.

В экспериментальное исследование включены 12 пациентов с синусовым ритмом, медикаментозно компенсированной ХСН II-IV класса, ФВ менее 35% и длительностью комплекса QRS более 150 мс, подготовленных к имплантации СРТ устройства. Всем пациентам были выполнены стандартная ЭКГ, ЭхоКГ, тест шестиминутной ходьбы, коронарография, по показаниям: магнитно-резонансная томография сердца для определения объема жизнеспособного миокарда. Характеристика больных представлена в табл. 1. Все пациенты были проинформированы и дали согласие на участие в исследовании. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской Декларации и одобрено локальным Этическим комитетом (заседание №35 от 28.02.2018 г).

Имплантация системы СРТ проводилась под рентгеноскопическим контролем с применением стандартных рентгенологических проекций (прямая, левая косая, правая косая). Правопредсердный электрод позиционировался в ушко правого предсердия, правожелудочковый электрод - в область МЖП, верхушку правого желудочка. ЛЖ эпикардиальный квадриполярный электрод Quartet (St.Jude Medical, США) имплантировался в одну из ветвей коронарного синуса. Для выполнения эндокардиальной стимуляции выполняли пункцию правой бедренной артерии и проводили в ЛЖ временный управляемый десятиполюсный

диагностический электрод ретроградным трансаортальным доступом. Амплитуда калибровалась в зависимости от порога стимуляции и сопоставлялась с таковой при эпикардиальной стимуляции: номинально 3-3,5 В или в два раза больше порога стимуляции. Под флюороскопическим контролем последовательно выполнялось сопоставление стимулирующего полюса электрода с точками эпикардиальной стимуляции. Была проведена временная изолированная ЛЖ стимуляция из каждой точки с регистрацией длительности и морфологии стимулированного комплекса QRS, выполнением чреспищеводной 3Д-ЭхоКГ.

ЭхоКГ контроль осуществлялся чреспищеводно на аппарате Philips CX50 (Philips Medical Systems, США) с заведением 3Д-матричного X5-1 (Philips, США) чреспищеводного датчика. Исследование выполнялось по сокращенному протоколу с выведением среднепищеводной проекции, в позиции левых камер в 2-х, 3-х и 4-х камерных проекциях и выполнением 3Д-ЭхоКГ, с оптимальной частотой кадров, разверткой изображения за 2 и 4 сердечных сокращения и двухмерной спекл-трекинг ЭхоКГ. Все кадры, полученные в различных режимах ЭхоКГ, при каждой стимуляции сохранялись для последующей обработки. Анализ данных был произведен при помощи программных пакетов TomTec и Philips Qlab 3DQ Advanced (Philips Medical Systems, США). С помощью спекл-трекинг ЭхоКГ рассчитан индекс глобальной продольной деформации, а при анализе 3Д-ЭхоКГ данных произведена оценка глобальной и сегментарной систолической функции, визуализация полярных карт, наложенных на 16-сегментную модель сердца, с определением зон наиболее поздней активации, посегментная оценка времени достижения минимального регионарного объема с определением общего систолического индекса диссинхронии, который обладает высокой прогностической ценностью в описании МД [19, 21, 23] и для определения которого необходимо рассчитать стандартное отклонение интерва-

лов между началом комплекса QRS и моментом достижения минимального регионарного систолического объема для 16-сегментной модели ЛЖ (Tmsv16-SD). Данный показатель аналогично рассчитывается для 12- и 6-сегментной модели. Дополнительно определена максимальная разница времени между началом QRS и моментом достижения минимального регионарного систолического объема (Tmsv16-Dif, Tmsv12-Dif, Tmsv6-Dif). Все выше названные параметры нормализованы в виде процентного соотношения к длительности QRS. Для визуализации регионарного движе-

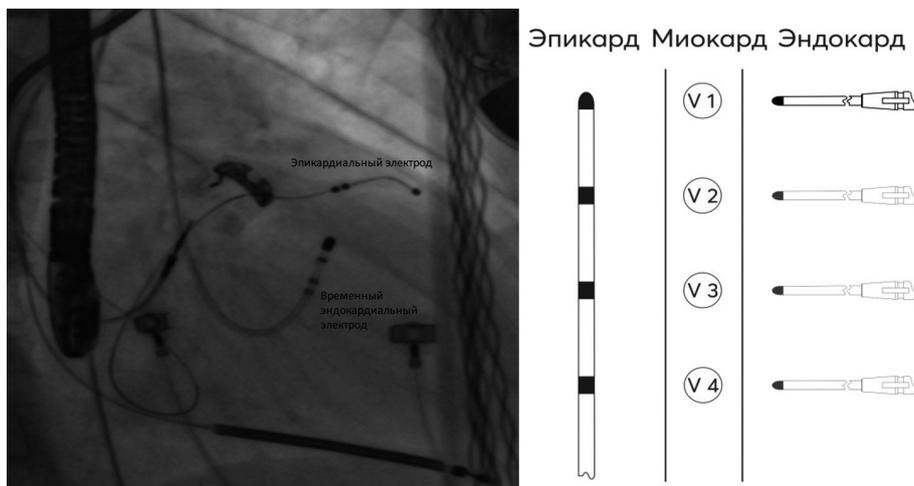


Рис. 1. Имплантация квадриполярного эпикардиального и временного эндокардиального электрода (правая косая позиция) и схематическое изображение сопоставления точек стимуляции при эпи- и эндокардиальной стимуляции, где V1, V2, V3, V4 - точки изолированной ЛЖ стимуляции.

Таблица 2.

Сравнение значений основных параметров ЭКГ и ЭхоКГ для эпикардиальной и эндокардиальной стимуляции

	Эпикардиальная ЭКС	Эндокардиальная ЭКС	P
QRS, мс	218 [197;246]	190 [179;215]	0,0008
3D КДО, мл	172 [134,3;189,6]	177 [142,6;189,3]	0,22
3D КСО, мл	133,6 [101;158,8]	138,3 [104,8;156,3]	0,82
3D ФВ, %	23,1 [21;25]	25,2 [22;29,8]	0,009
ExcAvg, мм	2,7[1,7;3,7]	4,9 [3,6;6,4]	0,0002
ExcMax, мм	10,2 [7,9;13,5]	14,2 [11,4;15,9]	0,0036
ExcMin, мм	-6,9 [-9,5;-3,2]	-3,2 [-5; -1,9]	0,0004
ExcSD, мм	3,8 [2,9;5,4]	5,3 [3,6;5,6]	0,08
Tmsv-16SD, мс	17 [10,4;24,7]	11,4 [6,3;21,7]	0,13
Tmsv-12SD, мс	16,5 [8,4;25,7]	13,4 [1,2;21]	0,21
Tmsv-6SD, мс	17,2 [7,1;27,9]	13 [1,1;25,3]	0,21
Tmsv-16Dif, мс	48,5 [27;68,2]	50,9 [20,7;69,2]	0,7
Tmsv-12Dif, мс	39,4 [24,3;64,8]	50,1 [5,3;68,1]	0,7
GLS, %	-4,5 [-7;0,6]	-8,1 [-9,3;-6,4]	0,004

Примечания: ExcAvg, ExcMax, ExcMin, ExcSD - среднее, максимальное, минимальное значения и стандартное отклонение экскурсии эндокарда к центральной оси соответственно, Tmsv-16SD, Tmsv-12SD, Tmsv-6SD - время достижения минимального регионарного объема для 16-, 12- и 6-сегментной модели ЛЖ, Tmsv-16Dif и Tmsv-12Dif - максимальная разница времени между началом QRS и моментом достижения минимального регионарного систолического объема для 16- и 12-сегментной модели, GLS - глобальная продольная деформация.

ния эндокарда к центральной оси, проведенной от базальных отделов до верхушки, по кривым «время - объем» рассчитаны параметры экскурсии эндокарда (ExcAvg, ExcSD, ExcMax, ExcMin, выраженные также при помощи цветовой кодировки (голубой цвет кодирует движение к центральной оси, красный - от нее, черный - отсутствие движения) [24-29].

Статистический анализ

Статистическая обработка данных ЭКГ мониторинга и расчетных данных, полученных при помощи 3Д-ЭхоКГ и STE, осуществлялась при помощи пакета статистических программ Statistica 10 (StatSoft Inc., version 10.0.228.8, Oklahoma, USA) и 13 (StatSoft Inc., Trial version, Oklahoma, USA) с использованием непараметрических математических критериев Колмогорова-Смирнова (если за основание выбиралась вся выборка, 88 точек), Вилкоксона для парных зависимых выборок (за основание выбиралась 2 выборки по 44 точки, в зависимости от типа стимуляции). Данные представлены в виде Me [25-й перцентиль; 75-й перцентиль] или абсолютно числа (%). Для определения зависимости между выходными данными применялся метод смешанного статистического дисперсионного анализа ANOVA, с возможностью нивелирования индивидуальных характеристик пациента, которые были объединены в группу случайных эффектов, чтобы избежать статистических ошибок (в связи с тем, что данные собира-

лись у одного и того же пациента до 8 раз). Корреляционный анализ для непараметрических критериев проводился по Спирмену. Значения p менее 0,05 принимались статистически значимыми.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

У 12 пациентов было исследовано от 4 до 8 точек стимуляции для каждого, суммарно составивших выборку из 88 исследуемых точек. У 9 пациентов были изучены все 4 эпикардиальные и 4 эндокардиальные точки стимуляции, у 2 пациентов - лишь по 2 точки, и у 1-го - по 3 в связи с высокими порогами стимуляции или из-за анатомических особенностей коронарного синуса. Схема выполнения исследования представлена на рис. 1. Осложнений при имплантации системы СРТ и эндокардиальной левожелудочковой стимуляции выявлено не было.

При сравнении всех эпикардиальных точек со всеми эндокардиальными точками стимуляции значимые различия продемонстрированы по полуколичественным параметрическим индексам сегментарной и общей сократимости миокарда ЛЖ, рассчитанных с помощью 3Д-ЭхоКГ: ExcAvg, мм, ExcMax, мм, ExcMin, мм, по ФВ, %, а также по показателям глобального продольного двумерного стрейна, % и по длительности комплекса QRS, мс. По данным, рассчитанным при анализе ЭКГ-мониторирования, 2Д спекл-трекинг ЭхоКГ и 3Д-ЭхоКГ, были выявлены следующие результаты (табл. 2).

Длительность стимулированного QRS варьировала от 137 до 312 с медианой 204 [184;240] мс. Максимальная длина QRS регистрировалась при стимуляции базальных отделов ЛЖ (точка 4 - проксимальный контакт электрода). Для эндокардиальной стимуляции длительность QRS была значимо меньше и составила 190 [179;215] мс, для эпикардиальной - 218 [197;246], ($p=0,0008$, при $p < 0,05$).

При более детальном рассмотрении, в каждой сопоставленной точке сравнения, значимые различия продемонстрированы в точке 2 стимуляции ($p=0,033$), при $p < 0,05$ (рис. 2). Показатель глобальной деформации составил $-6,5[-10,9; -15,4]$ для всей выборки, и значимо различался ($p=0,004$) для эпикардиальной ($-4,5 [-7;0,6]$) и эндокардиальной ($-8,1 [-9,3; -6,4]$) стимуляции. Значимые различия продемонстрированы и при анализе в различных точках стимуляции. В точке 1 ($p=0,003$) и 2 ($p=0,004$) при $p < 0,005$ (рис. 3).

Показатели 3Д-ЭхоКГ

Систолический индекс диссинхронии или индекс диссинхронии или Tmsv-16SD, варьировал от 6,90 до 38,20. Среднее значение по выборке составило $24,15 \pm 3,75$, для эпикардиальной стимуляции - $17,8 \pm 5,4$, для эндокардиальной - $13,9 \pm 5,7$. Значимых различий не выявлено, но продемонстрирована тенденция к преимуществу эндокардиальной

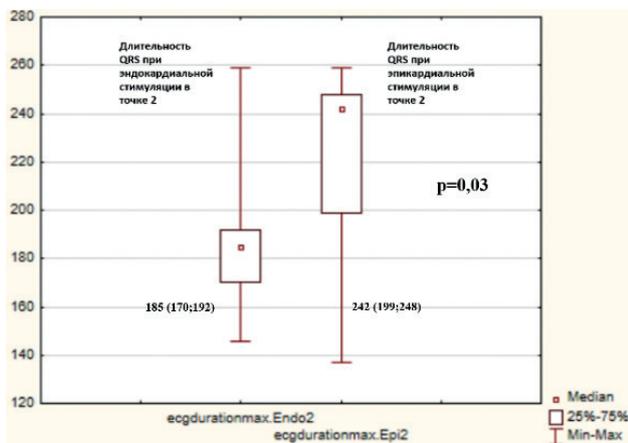


Рис. 2. Диаграмма размаха, демонстрирующая разницу длительности QRS для эндо- и эпикардиальной стимуляции.

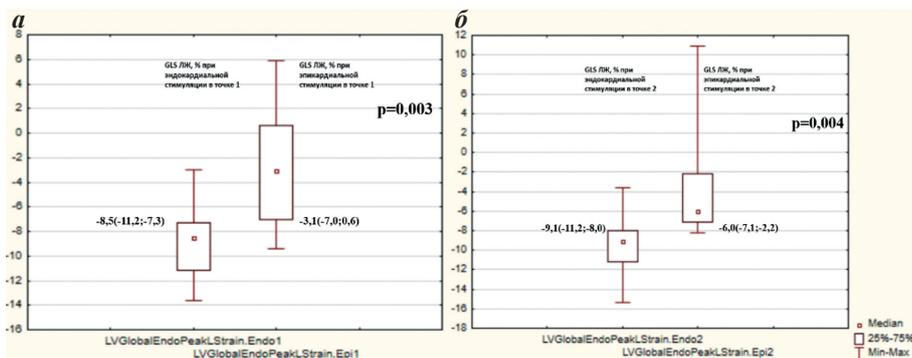


Рис. 3. Диаграммы размаха, демонстрирующие разницу значений глобальной продольной деформации (GLS) для эндо- и эпикардиальной стимуляции в точках 1 (а) и 2 (б).

стимуляции над эпикардиальной ($p=0,06$) при $p < 0,05$. Однако по такому же показателю, рассчитанному для 6 сегментной модели, в точке стимуляции 2 выявлено значимое различие в пользу эндокардиальной стимуляции ($p=0,018$) при $p < 0,05$, что проиллюстрировано на диаграмме размаха ниже (рис. 4).

Полученные полуколичественные параметрические трехмерные индексы сегментарной экскурсии и сократимости миокарда, такие как $ExcAvg$ ($p < 0,001$), $ExcMax$ ($p=0,001$), $ExcMin$ ($p < 0,001$), а также показатели ФВ ЛЖ с использованием трехмерной эхокардиографии ($p=0,003$) [18] значительно различались в зависимости от метода стимуляции, показывая преимущество эндокардиальной стимуляции. Для $ExcAvg$ в точках 1 и 2 ($p=0,021$ и $p=0,011$) (рис. 5), для $ExcMax$ в точках 1 и 4 ($p=0,02$ и $p=0,03$), для $ExcMin$ в точке 2 ($p=0,011$) (рис. 6).

Таким образом, все полученные полуколичественные параметрические 3Д-ЭхоКГ индексы сегментарной экскурсии, сократимости и диссинхронии миокарда, а также данные ЭКГ методов оценки внутрижелудочковой диссинхронии и глобальной деформации были лучше при эндокардиальной стимуляции. Данные, полученные при использовании различных, применимых в данной модели, математических критериев, оказались сопоставимы.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Технически СРТ представлена тремя стимулирующими электродами, два из которых стимуляционные, расположенные в правых камерах, а последний предназначен для ЛЖ стимуляции. Практический интерес представляет позиционирование именно ЛЖ электрода, которое при «классической» трансвенозной методике имплантации ограничено анатомией венозного русла и возможностью фиксации его в целевой вене [26, 27]. О влиянии расположения желудочковых электродов на эффективность СРТ впервые заговорил Е.К. Heist соавт. (2005). В исследовании Ф.М. Merchant и соавт. (2010) было показано достоверное увеличение смертности, уменьшение степени обратного ремоделирования ЛЖ и усугубление функционального класса ХСН в группе с апикальной позицией ЛЖ электрода [29]. На заре использования СРТ устройств применялась лишь прямая визуализирующая методика (рентгенография либо рентгеноскопия), которая использовалась во время имплантации устройства или при подозрении на дислокацию, перелом электродов, но при динамическом наблюдении за пациентами оказалась не так удобна [30]. В работах С. Ypenburg и соавт. [31] были предприняты попытки оптимизации выбора зоны стимуляции на базе детерми-

нации зон механической диссинхронии миокарда на основании зон поздней активации [32], полученных с помощью тканевой доплерографии. В исследовании TARGET также была подтверждена зависимость клинических и гемодинамических параметров от сопоставления полюса ЛЖ электрода с зоной поздней активации [32, 33]. В настоящее время существуют методики трехмерной ЭхоКГ с более точными и воспроизводимыми результатами определения зон поздней активации миокарда ЛЖ и индекса внутрижелудочковой диссинхронии для определения целевого сегмента для стимуляции ЛЖ [18, 25].

Итоговое расположение левожелудочкового электрода, прежде всего, зависит от анатомии вен коронарного синуса, наличия или отсутствия у пациента диафрагмальной стимуляции, а также свойств и стабильности положения самого электрода [34, 35]. В 8-10% случаев, по различным данным, наблюдается невозможность имплантации ЛЖ электрода трансвенозным способом [34, 35]. Одним из активно изучаемых вариантов изолированной левожелудочковой (ЛЖ) стимуляции является методика эндокардиальной стимуляции с помощью различных типов эндокардиальных электродов [36] и безэлектродных систем [38, 39]. По имеющимся данным эндокарди-

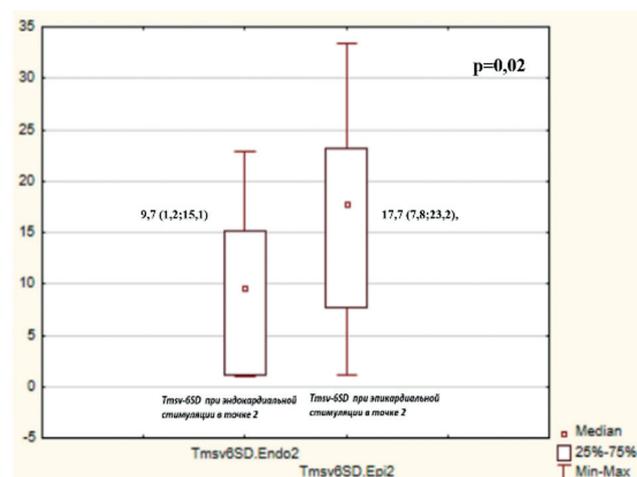


Рис. 4. Диаграмма размаха, демонстрирующая значимые различия по 3Д показателю диссинхронии для 6-сегментной модели ($Tmsv-6SD$) для эндо- и эпикардиальной стимуляции.

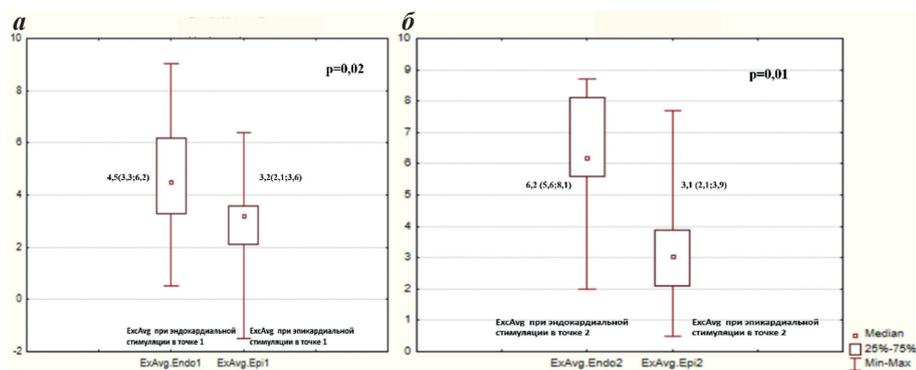


Рис. 5. Диаграммы размаха, демонстрирующие значимые различия по усредненному 3Д показателю сегментарной сократимости левого желудочка ($ExcAvg$) для эндо- и эпикардиальной стимуляции в точках 1 (а) и 2 (б).

альная стимуляция приводит к более быстрой и физиологичной активации ЛЖ по сравнению со стандартной эпикардиальной стимуляцией, меньше ее проаритмогенный эффект, ниже риск желудочкового электрического шторма и лучше острый гемодинамический эффект [12-15]. В исследовании ALSYNC, несмотря на некоторые ограничения, такие как отсутствие контрольной группы, значимые отличия когорты пациентов, которым СРТ система имплантировалась повторно, 5 (3,6%) случаев ишемического инсульта и 14 (10,3%) транзиторной ишемической атаки, продемонстрирована эффективность эндокардиальной стимуляции ЛЖ у пациентов, которые являются нереспондерами, или у больных с техническими сложностями установки ЛЖ электрода [36]. Дополнительным преимуществом эндокардиальной стимуляции является отсутствие ограничений в выборе точки имплантации из-за анатомических вариантов строения коронарного синуса.

Использование различных типов электродов для эндокардиальной стимуляции имеет некоторые ограничения, такие как необходимость постоянной антикоагулянтной терапии. Хотя риск тромбоэмболических осложнений и острого нарушения мозгового кровообращения (2,5 случая на 100 пациентов в год) [3] близок к риску острого нарушения мозгового кровообращения в группе пациентов с ХСН и ФВ ЛЖ <28% [41].

В то же время, появление беспроводных систем ЛЖ эндокардиальной стимуляции спровоцировало новую волну интереса к изучению данного вопроса (исследования SOLVE-CRT, 2021-2023), так как эндотелизация устройства полностью снимает вопрос о пожизненной антикоагулянтной терапии и риске острого нарушения мозгового кровообращения [38, 39].

В нашей работе для эндокардиальной ЛЖ стимуляции был использован временный диагностический ЛЖ электрод, доставленный ретроаортальным способом. Для эпикардиальной стимуляции использовался квадрупольный электрод, с управляемым вектором стимуляции. Для оценки параметров левожелудочкового ответа применялась трехмерная ЭхоКГ в режиме реального времени с оценкой показателей глобальной и сегментарной сократимости миокарда, таких как Tmsv16-SD, Tmsv12-SD, Tmsv6-SD, Tmsv16-Dif, Tmsv12-Dif и Tmsv6-Dif для оценки внутрижелу-

дочковой механической диссинхронии и параметры сегментарной сократительной способности (ExcAvg, ExcSD, ExcMax, ExcMin, Excursion Threshold), измеренные в мм, выраженных также при помощи цветовой кодировки и выявлением зон наиболее поздней активации [24-30].

Таким образом были изучены и сравнены параметры левожелудочкового ответа на эндо- и эпикардиальную стимуляцию и продемонстрировано достоверное преимущество эндокардиальной стимуляции в рамках интраоперационного исследования при помощи оценки данных глобальной и сегментарной сократимости миокарда, уменьшения длительности QRS, как критерия электрической диссинхронии и значимого снижения одного из показателей механической диссинхронии (Tmsv-6). По систолическому индексу диссинхронии получены более скромные результаты, что может быть обусловлено малой выборкой.

Эндокардиальная ЛЖ стимуляция может рассматриваться как альтернатива эпикардиальной стимуляции у повторных пациентов, в случае отсутствия ответа на СРТ или у пациентов, с аномалиями или отсутствием ветвей коронарного синуса в целевой зоне. Изучение и разработка методики требует дальнейшего накопления материала.

Ограничения исследования

Ограничением исследования является малая выборка. Дизайн не предполагал использование навигации для точного оппозитного позиционирования эндокардиальных и эпикардиальных электродов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эндокардиальная стимуляция в остром опыте имеет преимущество с точки зрения лучшего ЛЖ ответа, уменьшения степени диссинхронии, уменьшения объемов ЛЖ по данным трехмерной ЭхоКГ в режиме реального времени.
2. Длительность комплекса QRS при эндокардиальной стимуляции достоверно меньше, что подтверждает большую скорость распространения возбуждения миокарда ЛЖ.
3. Эндокардиальная стимуляция не ограничена в выборе позиции в целевой зоне ЛЖ, в отличие от эпикардиальной, при которой анатомия коронарного синуса определяет возможности выбора точки стимуляции.

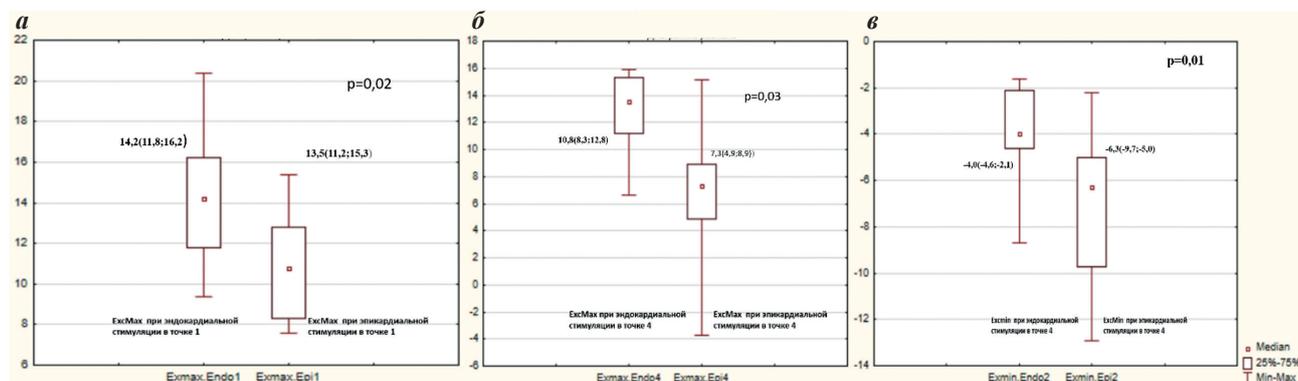


Рис. 6. Диаграммы размаха, демонстрирующие значимые различия по 3Д показателям максимальной ExcMax для точек 1 (а) и 4 (б) и минимальной ExcMin в точке 2 (в) экскурсии эндокарда левого желудочка для эндо- и эпикардиальной стимуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушев АД, Лебедев ДС, Михайлов ЕН, и др. Альтернативные подходы при имплантации левожелудочковых электродов для ресинхронизирующей терапии. *Вестник аритмологии*. 2019; 26(3): 57-64. [Vakhrushev AD, Lebedev DS, Mikhaylov EN, et al. Alternative techniques of left ventricle lead implantation for cardiac resynchronization therapy. *Journal of arrhythmology*. 2019;26(3): 57-64(In Russ)].
2. Ревিশвили АШ, Ступаков СИ. Сердечная ресинхронизирующая терапия: эволюция показаний и современная концепция клинического применения. *Лечебное дело. Новости Кардиологии*. 2014; 1: 37-47 [Revishvili ASH Stupakov SI Cardiac resynchronization therapy: Evolution of indications and modern approach. *Lechebnoye delo. Cardiology section*. 2014; 1: 37-47. (In Russ)].
3. Gamble JHP, Herring N, Ginks M, et al. Endocardial left ventricular pacing for cardiac resynchronization: systematic review and meta-analysis. *Europace*. 2018; 20(1): 73-81. <https://doi.org/10.1093/europace/euw381>.
4. Bracke FA, van Gelder BM, Dekker LRC, et al. Left ventricular endocardial pacing in cardiac resynchronization therapy: Moving from bench to bedside. *Netherlands Heart Journal*. 2012; 20(1): 118-124. <https://doi.org/10.1007/s12471-011-0210-5>.
5. De Teresa E., Chamoro JL, Pupon A, et al. An Even More Physiological Pacing: Changing the Sequence of Ventricular Activation. Proceedings of the VIIth World Congress on Cardiac Pacing, Ed. by Steinbach. Vienna.1983: 95-100.
6. Derval N, Steendijk P, Gula LJ, et al. Optimizing hemodynamics in heart failure patients by systematic screening of left ventricular pacing sites: the lateral left ventricular wall and the coronary sinus are rarely the best sites. *Journal of American College Cardiology*. 2010; 55(6): 566-75. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.08.045>.
7. Fakhar ZK, Mumohan SV, Christopher RP, et al. Targeted left ventricular lead placement to guide cardiac resynchronization therapy: the TARGET study: a randomized, controlled trial. *Journal of American College Cardiology*. 2012; 59(17): 1509-18. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.12.030>.
8. Lewi GF, Golds M R. Developments in Cardiac Resynchronization Therapy. *Arrhythmia & Electrophysiology Review*. 2015; 4(2): 122-8. <https://doi.org/10.15420/aer.2015.04.02.122>.
9. Spragg DD, Dong J, Fetis B, et al. Optimal left ventricular endocardial pacing sites for cardiac resynchronization therapy in patients with ischemic cardiomyopathy. *Journal of American College Cardiology*. 2010; 56(10): 774-81. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.06.014>.
10. Vernooy K, van Deursen CJM, Strik M, et al. Strategies to improve cardiac resynchronization therapy. *Nature Reviews Cardiology*. 2014; 11(8): 481-93. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2014.67>.
11. Garrigue S, Jais P, Espil G, et al. Comparison of chronic biventricular pacing between epicardial and endocardial left ventricular stimulation using Doppler tissue imaging in patients with heart failure. *Journal of American College Cardiology*. 2001; 88(8): 858-862. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(01\)01892-6](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(01)01892-6).
12. Ginks MR, Lambiase PD, Duckett SG, et al. A simultaneous X-Ray/MRI and noncontact mapping study of the acute hemodynamic effect of left ventricular endocardial and epicardial cardiac resynchronization therapy in humans. *Circulation: Heart Failure*. 2011; 4(2): 170-179. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.110.958124>.
13. Mendonca CC, Neic A, Gillette K, et al. Left ventricular endocardial pacing is less arrhythmogenic than conventional epicardial pacing when pacing in proximity to scar. *Heart Rhythm*. 2020; 17(8): 1262-1270. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2020.03.021>.
14. Fish, JM, Di Diego JM, Nesterenko, V, et al. Epicardial Activation of Left Ventricular Wall Prolongs QT Interval and Transmural Dispersion of Polarization: Implication for Biventricular Pacing. *Circulation*. 2004; 109(17): 2136-42. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000127423.75608.A4>.
15. Nayak HM, Verdino RJ, Russo AM, et al. Ventricular tachycardia storm after initiation of biventricular pacing: Incidence, clinical characteristics, management and outcome. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2008; 19(7): 708-705. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01122.x>.
16. Scott PA, Yue AM, Watts E, et al. Transseptal Left Ventricular Endocardial Pacing Reduces Dispersion of Ventricular Repolarization. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 2011; 34(10): 1258-66. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03138.x>.
17. Nesser H, Sugeng L, Corsi C, et al. Volumetric analysis of regional left ventricular function with real-time three-dimensional echocardiography: validation by magnetic resonance and clinical utility testing. *Heart*. 2007; 93(5): 572-578. <https://doi.org/10.1136/hrt.2006.096040>.
18. Thomas B, Franke A, Monaghan MJ, et al. Three-dimensional Echocardiography. 2nd Edition, Springer. 2015; 79-105.
19. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation*. 2002; 105(4): 539-452. <https://doi.org/10.1161/hc0402.102975>.
20. Zhang H, Abiose AK, Campbell DN, et al. Novel indices for left-ventricular dyssynchrony characterization based on highly automated segmentation from real-time 3D echocardiography. *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2013; 39(1): 72-88. <https://doi.org/10.1016/j.ultras-medbio.2012.08.019>.
21. Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, et al. Results of the predictors of response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation*. 2008; 117(20): 2608-2616. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.743120>.
22. Abduch MC, Alencar A, Mathias W, et al. Cardiac Mechanics Evaluated by Speckle Tracking Echocardiography. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2014; 102(4): 403-12. <https://doi.org/10.5935/abc.20140041>.
23. Мамедова АИ, Любимцева ТА, Лебедев ДС и др. Трехмерная эхокардиография в режиме реального времени в оценке левожелудочковой диссинхронии.

- Трансляционная медицина. 2023; 10(1): 14-24. [Mamedova AI, Lubimceva TA, Lebedev DS et al. Real-time three dimensional tte in quantification of left ventricular dyssynchrony. *Translational Medicine*. 2023; 10(1): 14-24. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2023-10-1-14-24>.
24. Smiseth OA, Torp H, Opdahl A, et al. Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *European Heart Journal*. 2016; 37(15): 1196-207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>.
25. Kapetanakis S, Kearney MT, Siva A, et al. Real-time three-dimensional echocardiography: a novel technique to quantify global left ventricular mechanical dyssynchrony. *Circulation*. 2005; 112(7): 992-1000. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.104.474445>.
26. Stavrakis S., Lazzara R., Thadani U., et al. The benefit of Cardiac Resynchronization Therapy and QRS Duration: A Meta-Analysis. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 2011; 23(2), 163-168. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2011.02144.x>.
27. Exner DV, Auricchio A, Singh JP. Contemporary and future trends in cardiac resynchronization therapy to enhance response. *Heart Rhythm*. 2012; 9(8 Suppl.): 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2012.04.022>.
28. Heist EK. Left Ventricular Endocardial Cardiac Resynchronization Therapy Is Here, But Where Should We Place the Lead? *JACC: Clinical Electrophysiology*. 2018; 4(7): 869-71. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2018.04.009>.
29. Merchant FM, Heist EK, McCarty D, et al. Impact of segmental left ventricle lead position on cardiac resynchronization therapy outcomes. *Heart Rhythm*. 2010; 7(5): 639-44. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2010.01.035>.
30. Jackson LR, Piccini JP, Daubert JP, et al. Localization of pacing and defibrillator leads using standard x-ray views is frequently inaccurate and is not reproducible. *Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology*. 2015; 43(1): 5-12. <https://doi.org/10.1007/s10840-015-9984-5>.
31. Ypenburg C, Van De Veire N, Westenberg JJ, et al. Noninvasive Imaging in Cardiac Resynchronization Therapy-Part 2: Follow-up and Optimization of Settings. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 2008; 31(12): 1628-39. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2008.01237.x>.
32. Khan FZ, Virdee MS, Palmer CR, et al. Targeted Left Ventricular Lead Placement to Guide Cardiac Resynchronization Therapy: the TARGET study: a randomized, controlled trial. *Journal of the American College of Cardiology*. 2012; 59(17): 1509-18. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.12.030>.
33. Auricchio A, Prinzen FW. Update on the pathophysiological basics of cardiac resynchronization therapy. *Europace*. 2008; 10(7): 797- 800. <https://doi.org/10.1093/europace/eun127>.
34. León AR, Abraham WT, Curtis AB, et al. Safety of transvenous cardiac resynchronization system implantation in patients with chronic heart failure: combined results of over 2,000 patients from a multicenter study program. *Journal of the American College of Cardiology*. 2005; 46(12): 2348-2356. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.08.031>.
35. Elliott MK, Mehta VS, Sidhu BS, et al. Endocardial left ventricular pacing. *Herz*. 2021; 46(6): 526-532. <https://doi.org/10.1007/s00059-021-05074-7>.
36. Morgan JM, Biffi M, Gellér L, et al. ALSYNC Investigators. ALternate Site Cardiac ResYNChronization (ALSYNC): a prospective and multicentre study of left ventricular endocardial pacing for cardiac resynchronization therapy. *European Heart Journal*. 2016; 37(27): 2118-27. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv723>.
37. Melgaard L, Gorst-Rasmussen A, Lane DA, et al. Assessment of the CHADS-VASC score in predicting ischemic stroke, thromboembolism, and death in patients with heart failure with and without atrial fibrillation. *JAMA*. 2015; 314(10): 1030-8. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.10725>.
38. Sieniewicz BJ et al. Real-world experience of leadless left ventricular endocardial cardiac resynchronization therapy: A multicenter international registry of the WiSE-CRT pacing system. *Heart Rhythm*. 2020; 17(8): 1291-97. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2020.03.002>.
39. Sidhu BS, Elliott MK, Wijesuriya N et al. Leadless left ventricular endocardial pacing for cardiac resynchronization therapy A systematic review and meta-analysis. *Heart Rhythm*. 2022; 19(7): 1176-1183. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2022.02.018>.