

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2011

УДК 616.11-089.843-77

ЭПИКАРДИАЛЬНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ: МИРОВОЙ ОПЫТ

*Л. А. Бокерия**, *О. Л. Бокерия*, *А. Х. Меликулов*, *З. Б. Махалдиани*, *Т. С. Базарсадаева*,
А. Ю. Заварина, *М. И. Берсенева*, *О. Н. Кислицина*, *У. А. Колесникова*, *К. А. Калысов*,
Л. А. Глушко, *А. Ш. Темирбулатова*

Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А. Н. Бакулева (дир. – академик РАМН Л. А. Бокерия)
РАМН, Москва

С каждым годом застойная сердечная недостаточность (СН) становится все более распространенным заболеванием. За последнее время лечение застойной СН значительно улучшилось, что привело к снижению летальности [5]. Однако, несмотря на оптимальную медикаментозную терапию, многие пациенты остаются симптомными и высокая летальность сохраняется [2, 5]. В настоящее время сердечная ресинхронизирующая терапия (СРТ) применяется для лечения пациентов с тяжелой сердечной недостаточностью, устойчивой к медикаментозной терапии и с признаками электромеханической диссинхронии [3, 5]. Первоначально в исследованиях по оценке СРТ использовали методику эпикардиальной имплантации левожелудочкового электрода посредством торакотомии [1], у этих пациентов были выявлены значительные улучшения показателей пика потребления кислорода (VO_2), функционального класса СН по NYHA и качества жизни. Однако в ходе этих исследований отмечены значительные осложнения, связанные непосредственно с торакотомией, в связи с чем в последующем для имплантации ЛЖ-электрода начали использовать трансвенозный доступ. У пациентов с синусовым ритмом для успешной СРТ требуется три трансвенозных электрода – в правое предсердие, правый желудочек и на эпикард ЛЖ через коронарный синус (КС) [4]. Было проведено несколько многоцентровых исследований, которые показали, что имплантация ресинхронизирующих устройств через трансвенозный доступ является эффективной процедурой, приводящей к значительному улучшению толерантности к физической нагрузке, функционального класса СН и пика VO_2 , а в последнее время – и к снижению летальности [5]. Тем не менее, согласно результатам крупных исследований, данная процедура требует длительного обучения; кроме того, в 8–10% случаев имплантация ЛЖ-электрода в коронарную вену невозможна [1, 5]. Даже после успешной постановки

ЛЖ-электрода в КС 30% пациентов не отвечают на СРТ должным образом. Это может быть связано с параметрами ЛЖ-электрода, например с высоким порогом стимуляции, а также со стимуляцией диафрагмального нерва или отсутствием соответствующих целевых вен. В последнее время в качестве альтернативы трансвенозному способу предложена имплантация ЛЖ-электрода через мини-торакотомии [1, 14]. Эти исследования подтвердили, что эпикардиальная стимуляция может быть адекватной, однако ни в одном из них не было проанализировано функциональное или клиническое улучшение при сравнении трансвенозного и эпикардиального способов имплантации ЛЖ-электрода.

СТИМУЛЯЦИЯ ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА НА УЧАСТКЕ С ПОЗДНЕЙ АКТИВАЦИЕЙ

Координированное сокращение камер сердца является главной целью сердечной ресинхронизирующей терапии. Блокада левой ножки пучка Гиса приводит к задержке сокращения свободной стенки ЛЖ по отношению к перегородке и ПЖ, что, в свою очередь, приводит к снижению систолической функции ЛЖ [32, 33], увеличению конечного диастолического объема (КДО) и напряжения ЛЖ [18, 23], отставанию диастолического расслабления [11, 23] и снижению эффективности сокращения ЛЖ [13, 31]. Стимуляция ЛЖ в отдаленном участке ЛЖ способствует синхронизации сокращения, приводящей к более эффективному и энергетически экономному сокращению миокарда, обратному геометрическому ремоделированию с уменьшением конечного диастолического объема и увеличением фракции выброса (ФВ). Результаты работ, проведенных G. Ansalone и соавт. с применением метода пульсовой доплерографии [10], были в дальнейшем подтверждены многими другими ретроспективными исследованиями, в которых использовались такие методы, как тканевая доплерография (TSI) [30], трехмерная

* Адрес для переписки: e-mail: leoan@online.ru

Результаты крупных исследований, в которых оценивалось влияние конкордантности ЛЖ-электрода и участка с поздней активацией на результат СРТ

Показатель	PV loop (кривая давление– объем)	TVI (скорость движения миокарда)	TSI (тканевая доплеро- графия)		STE			3DE (трехмерная эхография)
					Circumferential strain (круговой след)	Radial strain (радиальный след)		
Число пациентов	11	31	54	21	47	47	244	58
Продолжительность наблюдения, мес	Острый период	<1	6	Острый период	3	10	32	12
Класс СН по NYHA								
конкордантный	–	-0,5	-29%	–	-1,3	–	–	–
дискордантный	–	-0,3	-12%	–	-1,0	–	–	–
<i>p</i>	–	0,45	<0,001	–	0,2	–	–	–
КСО ЛЖ								
конкордантный	-6%	-28 мл	-23%	-26 мл	–	-42	-55	-32
дискордантный	0	-9 мл	-9%	0 мл	–	-27	-10	-21
<i>p</i>	0,04	0,004	<0,0001	<0,01	–	<0,001	<0,001	<0,01
ФВ								
конкордантный, %	30	9	23	12	9	12	10	10
дискордантный, %	0	2	-9	0	5	7	3	6
<i>p</i>	0,007	0,04	<0,0001	<0,01	<0,001	<0,01	<0,001	<0,01
<i>dp/dt</i> ЛЖ								
конкордантный	20%	–	–	–	–	–	–	–
дискордантный	0	–	–	–	–	–	–	–
<i>p</i>	0,02	–	–	–	–	–	–	–
Летальность								
конкордантный	–	–	–	–	–	–	1%	–
дискордантный	–	–	–	–	–	–	14%	–
<i>p</i>	–	–	–	–	–	–	0,048	–
Госпитальность								
конкордантный	–	–	–	–	–	–	12%	–
дискордантный	–	–	–	–	–	–	26%	–
<i>p</i>	–	–	–	–	–	–	0,21	–
Авторы	A. Dekker [20]	G. Ansalone [10]	R. T. Mur- phy [30]	N. R. Van de Veire (2008 г.)	M. Be- cker [16]	M. Be- cker [14]	C. Ypenburg [38]	M. Becker [15]

эхокардиография в режиме реального времени [16] и двухмерная эхокардиография (или тканевой след) для выявления участка с максимальным отставанием [14, 15]. Полученные данные указывают на то, что число больных, отвечающих на СРТ, увеличивается при конкордантном (соответствие кончика электрода участку миокарда с поздней активацией) расположении левожелудочкового электрода. Кроме того, улучшение функционального класса сердечной недостаточности и обратное ремоделирование ЛЖ, как показывают результаты крупных исследований, находятся в прямой зависимости от степени конкордантности между кончиком ЛЖ-электрода и участком с поздней активацией [27] (см. таблицу). На основании работ, в которых предполагается, что стимуляция заднебоковой и/или боковой стенки в большей степени приводит к обратному ремоделированию, чем стимуляция передней стенки, разработанная методика имплантации ЛЖ-электрода в основном направлена на имплантацию электрода в латеральную стенку

ЛЖ [27]. В исследовании, проведенном с использованием системы трехмерного картирования, R. H. Helm и соавт. на модели собак искусственно создавали сердечную недостаточность (тахистимуляция ПЖ или радиочастотная абляция левой ножки пучка Гиса) и показали, что СРТ эффективна на большом участке боковой стенки ЛЖ, а также в некоторых случаях при стимуляции передней и задней стенок ЛЖ [22]. Согласно результатам A. Dekker и соавт. [20], незначительное изменение участка стимуляции может иметь большое гемодинамическое значение (рис. 1). Инвазивное измерение кривой объем–давление во время имплантации эпикардиальной стимуляции разных участков ЛЖ показало значительную вариацию ударного объема и dp/dt_{max} при сдвиге участка стимуляции на 2 см. R. T. Murphy и соавт. [30] с помощью методики TSI обнаружили, что у большинства пациентов участок с поздней активацией находится на боковой стенке ЛЖ, но у определенного числа – на задней и нижней стенках, у еще меньшего

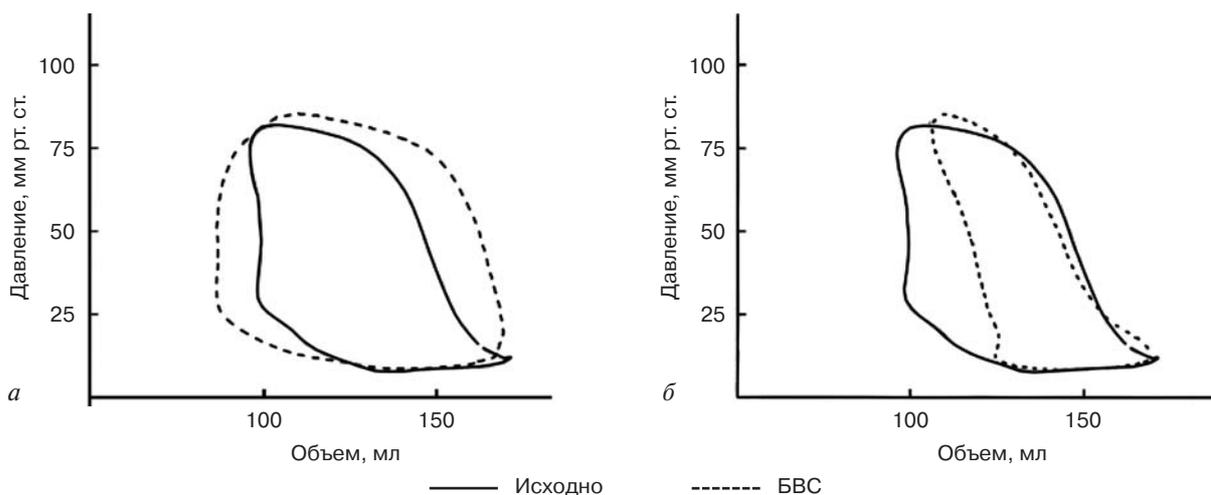


Рис. 1. Изменение кривой давление—объем при стимуляции различных участков ЛЖ:
 а – на оптимальном участке; б – на неоптимальном

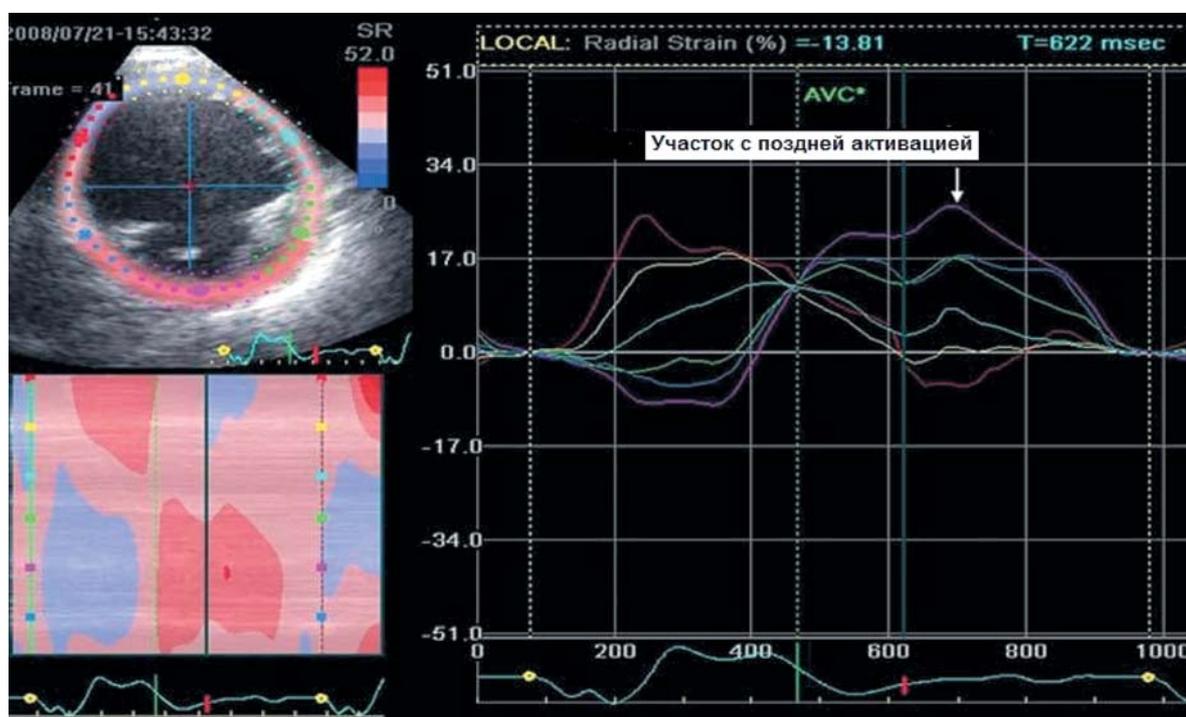


Рис. 2. Определение участка максимальной диссинхронии методом тканевой доплерографии

числа больных этот участок находился в передней и переднеперегородочной стенке ЛЖ. G. Ansalone и соавт. [10] и M. Becker и соавт. при использовании трехмерной эхокардиографии и тканевого следа [15, 16] получили примерно одинаковые результаты, показывающие, что около 40% больных имели участок с поздней активацией не в боковой и заднебоковой стенках. Недавние исследования продемонстрировали, что обратное ремоделирование ЛЖ, клинический ответ, летальность и госпитализация находятся в прямой зависимости от конкордантности между участком стимуляции и участком максимальной диссин-

хронии ЛЖ, определенным методом радиального анализа тканевого следа [8] (рис. 2). Это историческое исследование впервые показало, что прогноз оптимального расположения ЛЖ-электрода клинически благоприятен. С целью имплантации ЛЖ-электрода в оптимальную позицию необходим индивидуальный подход к каждому пациенту и определение участка максимальной диссинхронии миокарда. Предоперационное исследование анатомии коронарного синуса и определение участка максимальной диссинхронии позволяют выявить тех пациентов, которым показано хирургическое лечение.

ВЛИЯНИЕ МИОКАРДИАЛЬНОГО РУБЦА И РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ЖИВОГО МИОКАРДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕСИНХРОНИЗИРУЮЩЕЙ ТЕРАПИИ

Предположение, что ответ на СРТ может находиться в прямой зависимости от распространенности жизнеспособного миокарда и в обратной зависимости от распространенности рубца, подтвердилось большим числом пациентов, не отвечающих на СР-терапию, среди больных, перенесших инфаркт миокарда [33]. Анализируя результаты исследования MIRACLE, G. Woo и соавт. показали, что уменьшение КДО ЛЖ и улучшение ФВ ЛЖ более выражены у пациентов с идиопатической дилатационной кардиомиопатией, чем с ишемической [37]. Восстановление систолической функции после реваскуляризации миокарда происходит в обратной пропорции к трансмуральному распространению рубца, вовлеченного сегмента миокарда [24]. Как и при реваскуляризации, ответ на СРТ, скорее всего, зависит от локализации и распространенности рубца и жизнеспособности миокарда. В исследовании E. C. Adelstein и S. Saba [6], в которое были включены пациенты с ишемией миокарда, была проведена с позитронно-эмиссионная томография с использованием таллия-201, показавшая, что распространенность рубца отрицательно коррелирует с увеличением ФВ ЛЖ после имплантации ресинхронизирующего устройства. Эти же авторы продемонстрировали, что недостаточная перфузия ЛЖ отрицательно влияет на результаты СРТ [7]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) может быть полезна для прогноза лечения, так как доказана отрицательная корреляция между распространенностью рубца и степенью улучшения ФВ и обратного ремоделирования ЛЖ в 6-месячном сроке после операции [36, 38] (рис. 3). В исследовании R. Sciagra и соавт. [34]

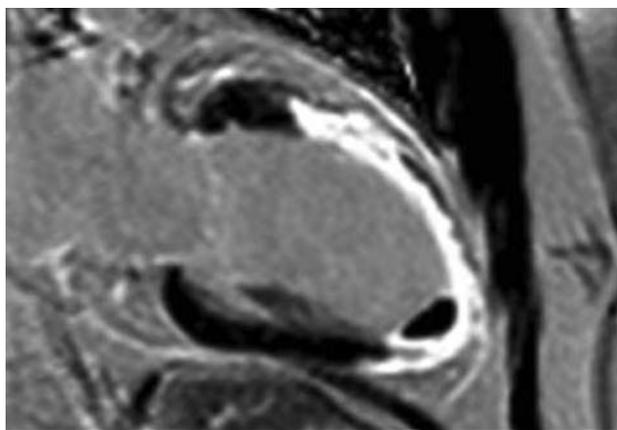


Рис. 3. Визуализация обширного рубца ЛЖ на МР-томограмме

было выявлено, что пациенты с недостаточным коронарным кровотоком имеют незначительное обратное ремоделирование ЛЖ, недостаточный клинический ответ, что доказывается пробой с 6-минутной ходьбой, а также низкие показатели по шкале качества жизни. Все вышеперечисленные исследования показывают, что чем больше распространен рубец, тем менее эффективна СРТ.

СПОСОБЫ ИМПЛАНТАЦИИ ЛЕВОЖЕЛУДОЧКОВОГО ЭЛЕКТРОДА

Вопрос о том, куда лучше имплантировать ЛЖ-электрод, всегда связан с вопросом, какой способ имплантации ЛЖ-электрода является более предпочтительным. Исторически сложилось так, что ПЖ- и ПП-электроды имплантировали трансвенозным доступом, а ЛЖ-электрод — открытым. Такой подход требует общей анестезии и боковой торакотомии. Подобные операции у пациентов с выраженной сердечной недостаточностью в раннем послеоперационном периоде сопровождались большим количеством осложнений [12, 19]. С развитием методов ретроградной катетеризации коронарного синуса, средств доставки ЛЖ-электрода и его усовершенствованием трансвенозный доступ стал привычной техникой для имплантации устройств СРТ, несмотря на то что имплантация ЛЖ-электрода в большую коронарную вену сердца у некоторых пациентов может быть по-прежнему сложной.

В одном из первых исследований, в котором авторы обобщили 6-летний опыт бивентрикулярной стимуляции, показано, что общий успех имплантации ЛЖ-электрода в КС составил 88% (116 пациентов), хотя уровень повторного вмешательства был достаточно высокий в связи со смещением ЛЖ-электрода, увеличением порога его стимуляции, стимуляцией диафрагмального нерва и инфекцией. Обучение персонала и технологические разработки позволили повысить уровень успеха имплантации ЛЖ-электрода в КС с 69% в первый год до 98% в последний год этого исследования [1]. В исследовании MIRACLE попытки имплантировать ЛЖ-электрод в КС трансвенозным способом у 8% пациентов не увенчались успехом. У 6% пациентов произошла диссекция и/или перфорация коронарной вены во время имплантации ЛЖ-электрода. Гемоперикард и остановка сердца наблюдались в 1,2% случаев, два пациента умерли в результате осложнений, связанных с имплантацией в течение месяца после процедуры. В более позднем исследовании CARE-HF, которое включало 450 пациентов, успех имплантации ЛЖ-электрода составил 95,9% случаев [5]. Ранние послеоперационные осложнения (в первые 24 ч) отмечены у 10% пациентов

и в основном были связаны со смещением электрода и диссекцией, перфорацией коронарного синуса. Более поздние осложнения (в период от 24 ч до 30 дней после операции) зарегистрированы у 5,5% пациентов; в значительной степени они были обусловлены дислокацией электрода [20]. На сегодняшний день опыт показывает, что трансвенозный способ имплантации – эффективный, хорошо переносимый пациентами метод. Успех процедуры – более 90%, с 1,5% летальностью от различных причин в течение 30 дней и 10% риском повторной процедуры в связи с дислокацией ЛЖ-электрода, экстракардиальной стимуляцией или инфекцией [26].

Несмотря на то что имплантация ЛЖ-электрода в основные вены сердца через коронарный синус является технически возможной, успех процедуры не обеспечивает 100% клинического и эхокардиографического ответа на СРТ. В частности, локализация коронарной вены, использованная для имплантации ЛЖ-электрода, зависит от индивидуальной анатомии коронарных вен. В одном исследовании имплантация ЛЖ-электрода в целевую вену (а именно в боковую, переднебоковую, или заднебоковую) была достигнута лишь в 70% случаев. С. Alonso и соавт. сообщили, что в 36% случаев ЛЖ-электрод был имплантирован в переднюю и среднюю сердечные вены [9]. По данным Easytrak Registry (2001 г.), в 67% случаях ЛЖ-электрод был имплантирован в боковую или заднюю коронарные вены [8]. S. G. Molhoek и соавт. сообщают, что у 35% пациентов ЛЖ-электрод был имплантирован в заднюю вену и 28% – в боковую вену [29]. Было отмечено, что только у 64,8% (35 из 54) и 55,2% (32 из 58) пациентов соответственно позиция ЛЖ-электрода соответствовала участкам поздней активации миокарда ЛЖ, то есть имелась конкордантность кончика ЛЖ-электрода с участком миокарда с наиболее поздней активацией [14–16]. Поэтому, несмотря на возможные технические нововведения в плане имплантации ЛЖ-электрода через КС, анатомия вен сердца может ограничить имплантацию ЛЖ-электрода и стимуляцию нужного участка миокарда ЛЖ. Прямой хирургический доступ к эпикарду ЛЖ может преодолеть эти ограничения и обеспечить стимуляцию оптимального участка ЛЖ.

R. Koos и соавт. [25] ретроспективно сравнили прямую имплантацию ЛЖ-электрода в эпикард ЛЖ через боковую мини-торакатомию с трансвенозным доступом. У пациентов, которые подверглись хирургической имплантации, повторные вмешательства были значительно реже, но у них увеличилось количество койко-дней, проведенных в стационаре, медленнее наступало улучшение функциональных возможностей и наблюдалась

тенденция к более высокой летальности за 12-месячный период наблюдения. Эти различия были связаны с расположением ЛЖ-электрода в передней стенке ЛЖ во время операции. Тенденция к более высокой летальности также была описана E. G. Daoud и соавт. [19], которые сообщили об увеличении ранней летальности после торакатомии, хотя это и не является универсальной находкой в исследованиях, посвященных хирургической имплантации СРТ. H. Maig и соавт. [28], рассматривая технические аспекты имплантации ЛЖ-электрода, не обнаружили никаких различий в показателях летальности в раннем послеоперационном периоде между пациентами с ресинхронизирующими устройствами, имплантированными посредством трансвенозного или хирургического способа. У 25 из 79 пациентов, которым выполнена трансвенозная имплантация ЛЖ-электрода, обнаружили осложнения следующего характера: невозможность имплантации, диссекция КС, потеря навязки, стимуляция диафрагмы или дислокация электрода. Для сравнения: после хирургической имплантации наблюдалось только смещение электрода ($p < 0,05$). Кроме того, интраоперационное использование электрофизиологических и гемодинамических показателей по оптимизации позиции ЛЖ-электрода позволило имплантировать его в область ветви тупого края огибающей ветви у всех 16 пациентов.

Авторы пришли к выводу, что хирургическая имплантация эпикардального электрода – это безопасный и надежный метод, который имеет преимущества в отношении осложнений, связанных с ЛЖ-электродом, и необходимости повторных операций. Возможность прямой хирургической имплантации ЛЖ-электрода позволяет преодолеть ограничения трансвенозного способа его имплантации, такие как вариация анатомии КС, и позволяет использовать большую часть поверхности ЛЖ для стимуляции. Таким образом, хирургический доступ имплантации ЛЖ-электрода является терапией спасения при невозможности выполнения таковой посредством трансвенозного доступа.

Был предложен альтернативный метод – трансептальная имплантация ЛЖ-электрода в эндокард ЛЖ. Исследование было проведено у небольшой группы пациентов ($n = 10$). Данная методика технически выполнима [35]. Также в литературе описан единственный случай имплантации ЛЖ-электрода в эндокард боковой свободной стенки ЛЖ через верхушку ЛЖ, что кажется также возможным, но в последствии может осложниться обширными перикардальными спайками [35]. Очевидно, безопасность и эффективность обеих вышеописанных методик в настоящее время

недостаточно изучены, однако они могут быть предложены в качестве альтернативы хирургической имплантации ЛЖ-электрода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имплантация ЛЖ-электрода по-прежнему имеет ряд проблем в отношении проведения эффективной СРТ. В дополнение к диссинхронии ЛЖ, являющейся главным фактором, определяющим ответ на СРТ, влияние распространенности миокардиального рубца и порога стимуляции на рубце на эффект СРТ до конца не изучено. Оценка участка с поздней активацией, анатомии коронарных вен, распространенности и локализации миокардиального рубца перед имплантацией ресинхронизирующего устройства является важной для получения максимального эффекта от проводимой терапии. Прицельная имплантация ЛЖ-электрода в участок с максимальной задержкой активации в значительной степени ограничена анатомией коронарных вен, что сказывается на клиническом ответе на СРТ. Таким образом, у некоторых пациентов хирургический способ имплантации ЛЖ-электрода в оптимальный участок ЛЖ может быть предпочтительнее. Однако для оценки методик имплантации ЛЖ-электрода в наиболее оптимальный участок ЛЖ, а также последующей оценки эффективности СРТ необходимо проведение крупных рандомизированных исследований.

Данная статья подготовлена при поддержке гранта в рамках выполнения государственного контракта с Федеральным агентством по науке и инновациям от 30.07.09 № 383П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокерия, Л. А. Использование торакоскопической техники для имплантации ресинхронизирующих эпикардиальных электродов в левый желудочек / Л. А. Бокерия, З. Б. Махалдиани, М. Б. Биниашвили // *Анналы аритмологии*. — 2006. — № 1. — С. 64–67.
2. Бокерия, Л. А. Механизмы потери синхронизации при имплантации бивентрикулярных систем / Л. А. Бокерия, А. Ш. Ревшвили, Ф. Г. Рзаев и др. // *Анналы аритмологии*. — 2006. — № 1. — С. 40–44.
3. Бокерия, Л. А. Механизмы электромеханического ремоделирования при хронической сердечной недостаточности / Л. А. Бокерия, В. А. Базаев, А. Х. Меликулов и др. // *Анналы аритмологии*. — 2006. — № 1. — С. 5–10.
4. Бокерия, Л. А. Технические аспекты имплантации бивентрикулярных устройств у пациентов с застойной сердечной недостаточностью. Оптимизация методик для повышения безопасности и эффективности / Л. А. Бокерия, В. А. Базаев, О. Л. Бокерия, В. В. Чумаков // *Анналы аритмологии*. — 2006. — № 1. — С. 34–39.
5. Бокерия, О. Л. Ресинхронизационная терапия при застойной сердечной недостаточности — мнения экспертов и предварительные результаты последних рандомизированных исследований / О. Л. Бокерия // *Анналы аритмологии*. — 2006. — № 1. — С. 11–20.
6. Adelstein, E. C. Baseline scintigraphic abnormalities by myocardial perfusion imaging predict echocardiographic response to cardiac resynchronization therapy in nonischemic cardiomyopathy / E. C. Adelstein, S. Saba // *Clin. Cardiol.* — 2008. — Vol. 31. — P. 217–224.
7. Adelstein, E. C. Scar burden by myocardial perfusion imaging predicts echocardiographic response to cardiac resynchronization therapy in ischemic cardiomyopathy / E. C. Adelstein, S. Saba // *Am. Heart J.* — 2007. — Vol. 153. — P. 105–112.
8. Alonso, C. Electrocardiographic predictive factors of long-term clinical improvement with multisite biventricular pacing in advanced heart failure / C. Alonso, C. Leclercq, F. Victor et al. // *Am. J. Cardiol.* — 1999. — Vol. 84. — P. 1417–1421.
9. Alonso, C. Six year experience of transvenous left ventricular lead implantation for permanent biventricular pacing in patients with advanced heart failure: technical aspects / C. Alonso, C. Leclercq, F. R. d'Almones et al. // *Heart.* — 2001. — Vol. 86. — P. 405–410.
10. Ansalone, G. Doppler myocardial imaging to evaluate the effectiveness of pacing sites in patients receiving biventricular pacing / G. Ansalone, P. Giannantoni, R. Ricci et al. // *J. Am. Coll. Cardiol.* — 2002. — Vol. 39. — P. 489–499.
11. Ariel, Y. Load-dependent relaxation with late systolic volume steps: servo-pump studies in the intact canine heart / Y. Ariel, W. H. Gaasch, D. K. Bogen, T. A. McMahon // *Circulation.* — 1987. — Vol. 75. — P. 1287–1294.
12. Auricchio, A. Effect of pacing chamber and atrioventricular delay on acute systolic function of paced patients with congestive heart failure. The Pacing Therapies for Congestive Heart Failure Research Group. The Guidant Congestive Heart Failure Research Group / A. Auricchio, C. Stellbrink, M. Block et al. // *Circulation.* — 1999. — Vol. 99. — P. 2993–3001.
13. Baller, D. Comparison of the effects of right atrial, right ventricular apex and atrioventricular sequential pacing on myocardial oxygen consumption and cardiac efficiency: a laboratory investigation / D. Baller, H. G. Wolpers, J. Zipfel et al. // *Pacing Clin. Electrophysiol.* — 1988. — Vol. 11. — P. 394–403.
14. Becker, M. Impact of left ventricular lead position in cardiac resynchronization therapy on left ventricular remodeling. A circumferential strain analysis based on 2D echocardiography / M. Becker, R. Kramann, A. Franke et al. // *Eur. Heart J.* — 2007. — Vol. 28. — P. 1211–1220.
15. Becker, M. Impact of left ventricular lead position on the efficacy of cardiac resynchronization therapy: a two-dimensional strain echocardiography study / M. Becker, A. Franke, O. A. Breithardt et al. // *Heart.* — 2007. — Vol. 93. — P. 1197–1203.
16. Becker, M. Relation of optimal lead positioning as defined by three-dimensional echocardiography to long-term benefit of cardiac resynchronization / M. Becker, R. Hoffmann, F. Schmitz et al. // *Am. J. Cardiol.* — 2007. — Vol. 100. — P. 1671–1676.
17. Bleeker, G. B. Effect of posterolateral scar tissue on clinical and echocardiographic improvement after cardiac resynchronization therapy / G. B. Bleeker, T. A. Kaandorp, H. J. Lamb et al. // *Circulation.* — 2006. — Vol. 113. — P. 969–976.
18. Burkhoff, D. Influence of pacing site on canine left ventricular contraction / D. Burkhoff, R. Y. Oikawa, K. Sagawa // *Am. J. Physiol.* — 1986. — Vol. 251. — P. H428–H435.
19. Daoud, E. G. Implantation techniques and chronic lead parameters of biventricular pacing dual-chamber defibrillators / E. G. Daoud, S. J. Kalbfleisch, J. D. Hummel et al. // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* — 2002. — Vol. 13. — P. 964–970.
20. Dekker, A. L. Epicardial left ventricular lead placement for cardiac resynchronization therapy: optimal pace site selection with pressure-volume loops / A. L. Dekker, B. Phelps, B. Dijkman et al. // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 2004. — Vol. 127. — P. 1641–1647.
21. Gras, D. Implantation of cardiac resynchronization therapy systems in the CARE-HF trial: procedural success rate and safety / D. Gras, D. Bocker, M. Lunati et al. // *Europace.* — 2007. — Vol. 9. — P. 516–522.
22. Helm, R. H. Three dimensional mapping of optimal left ventricular pacing site for cardiac resynchronization / R. H. Helm, M. Byrne, P. A. Helm et al. // *Circulation.* — 2007. — Vol. 115. — P. 953–961.
23. Heyndrickx, G. R. Effects of asynchrony on myocardial relaxation at rest and during exercise in conscious dogs / G. R. Heyndrickx, P. J. Vantrimpont, M. F. Rousseau, H. Pouleur // *Am. J. Physiol.* — 1988. — Vol. 254. — P. H817–H822.
24. Kim, R. J. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction / R. J. Kim, E. Wu, A. Rafael et al. // *N. Engl. J. Med.* — 2000. — Vol. 343. — P. 1445–1453.

25. *Koos, R.* Comparison of left ventricular lead placement via the coronary venous approach *versus* lateral thoracotomy in patients receiving cardiac resynchronization therapy / R. Koos, A. M. Sinha, K. Markus et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2004. – Vol. 94. – P. 59–63.
26. *Leon, A. R.* 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 / A. R. Leon, W. T. Abraham, A. B. Curtis et al. // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2005. – Vol. 46. – P. 2348–2356.
27. *Macias, A.* Effect of the left ventricular pacing site on echocardiographic parameters of ventricular dyssynchrony in patients receiving cardiac resynchronization therapy / A. Macias, J. J. Gavira, E. Alegria et al. // *Rev. Esp. Cardiol.* – 2004. – Vol. 57. – P. 138–145.
28. *Mair, H.* Surgical epicardial left ventricular lead versus coronary sinus lead placement in biventricular pacing / H. Mair, J. Sachweh, B. Meuris et al. // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* – 2005. – Vol. 27. – P. 235–242.
29. *Molhoek, S. G.* Comparison of benefits from cardiac resynchronization therapy in patients with ischemic cardiomyopathy *versus* idiopathic dilated cardiomyopathy / S. G. Molhoek, J. J. Bax, L. van Erven et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2004. – Vol. 93. – P. 860–863.
30. *Murphy, R. T.* Tissue synchronization imaging and optimal left ventricular pacing site in cardiac resynchronization therapy / R. T. Murphy, G. Sigurdsson, S. Mulamalla et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2006. – Vol. 97. – P. 1615–1621.
31. *Owen, C. H.* The effects of ventricular pacing on left ventricular geometry, function, myocardial oxygen consumption, and efficiency of contraction in conscious dogs / C. H. Owen, D. J. Esposito, J. W. Davis, D. D. Glower // *Pacing Clin. Electrophysiol.* – 1998. – Vol. 21. – P. 1417–1429.
32. *Prinzen, F. W.* Mapping of regional myocardial strain and work during ventricular pacing: experimental study using magnetic resonance imaging tagging / F. W. Prinzen, W. C. Hunter, B. T. Wyman, E. R. McVeigh // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 1999. – Vol. 33. – P. 1735–1742.
33. *Prinzen, F. W.* Redistribution of myocardial fiber strain and blood flow by asynchronous activation / F. W. Prinzen, C. H. Augustijn, T. Arts et al. // *Am. J. Physiol.* – 1990. – Vol. 259. – P. H300–H308.
34. *Sciagra, R.* Myocardial perfusion imaging using gated SPECT in heart failure patients undergoing cardiac resynchronization therapy / R. Sciagra, M. Giaccardi, M. C. Porciani et al. // *J. Nucl. Med.* – 2004. – Vol. 45. – P. 164–168.
35. *Van Gelder, B. M.* Transseptal endocardial left ventricular pacing: an alternative technique for coronary sinus lead placement in cardiac resynchronization therapy / B. M. Van Gelder, M. G. Scheffer, A. Meijer, F. A. Bracke // *Heart Rhythm.* – 2007. – Vol. 4. – P. 454–460.
36. *White, J. A.* Delayed enhancement magnetic resonance imaging predicts response to cardiac resynchronization therapy in patients with intraventricular dyssynchrony / J. A. White, R. Yee, X. Yuan et al. // *J. Am. Coll. Cardiol.* – 2006. – Vol. 48. – P. 1953–1960.
37. *Woo, G. W.* Ventricular reverse remodeling and 6-month outcomes in patients receiving cardiac resynchronization therapy: analysis of the MIRACLE study / G. W. Woo, S. Petersen-Stejskal, J. W. Johnson et al. // *J. Interv. Card. Electrophysiol.* – 2005. – Vol. 12. – P. 107–113.
38. *Ypenburg, C.* Effect of total scar burden on contrast-enhanced magnetic resonance imaging on response to cardiac resynchronization therapy / C. Ypenburg, S. D. Roes, G. B. Bleeker et al. // *Am. J. Cardiol.* – 2007. – Vol. 99. – P. 657–660.