

**С.В.Зубарев, М.П.Чмелевский, М.А.Буданова, М.А.Трукшина,
А.В.Рыжков, А.В.Пахомов, Т.А.Любимцева, В.К.Лебедева, Д.С.Лебедев**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО НЕИНВАЗИВНОГО ЭПИ- И ЭНДОКАРДИАЛЬНОГО КАРТИРОВАНИЯ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ВНУТРИЖЕЛУДОЧКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ

ФГБУ «Северо-западный Федеральный медицинский исследовательский центр МЗ РФ», Санкт-Петербург

С целью изучения возможностей неинвазивного эпи- и эндокардиального картирования сердца в диагностике диссинхронии миокарда левого желудочка при нарушениях внутрижелудочковой проводимости и проведения анализа методов анатомической визуализации обследован 41 пациент с полной блокадой левой ножки пучка Гиса.

Ключевые слова: хроническая сердечная недостаточность, неинвазивное картирование сердца, полная блокада левой ножки пучка Гиса, левый желудочек, диссинхрония, магнитно-резонансная томография, мультиспиральная компьютерная томография.

To analyze anatomical mapping techniques and explore potentialities of non-invasive surface epi- and endocardial mapping in the diagnosis of complete left ventricular myocardial dyssynchrony, 41 patients with complete left bundle branch block were examined.

Key words: heart failure, non-invasive surface epi- and endocardial mapping, left bundle branch block, left ventricular myocardial dyssynchrony, magnetic resonance imaging, multispiral computed tomography.

Начало 21 века связано с прорывом в разработках эффективных методов диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Однако существует целый ряд до конца не решенных проблем в кардиологии. Одним из таких вопросов остается проблема хронической сердечной недостаточности (ХСН). По данным эпидемиологических исследований известно, что в США ХСН 2-4 функционального класса (ФК) страдает 2,5% [1], в Европе 2% [2], в России 4,5% населения [3]. По данным ряда работ [4-5] 15% из всей популяции пациентов с ХСН имеют внутрижелудочковые нарушения проводимости. При анализе группы с ХСН 3-4 ФК внутрижелудочковые нарушения проводимости отмечались более чем у 30% пациентов. На фоне изменения ширины комплекса QRS за счет внутрижелудочковых блокад возможно формирование меж- и внутрижелудочковой диссинхронии, что в конечном итоге приводит к нарушению систолической и/или диастолической функций, митральной и трикуспидальной регургитации, лежащих в основе патогенеза ХСН. В исследовании IN-CHF registry было показано, что именно блокада левой ножки пучка Гиса (БЛНПГ) является независимым предиктором смерти у больных ХСН в течение года. В связи с этими данными наибольшее количество научных работ посвящено изучению именно БЛНПГ и выявлению желудочковой диссинхронии на ее фоне. Существует ряд методик оценки диссинхронии - от простой и максимально быстрой по данным 12 канальной ЭКГ до сложных инструментальных методов [6-8]. Получаемые цифры и данные диссинхронии важны, так как они используются в решении вопроса по тактике дальнейшего лечения пациента.

В настоящее время одним из ведущих способов коррекции диссинхронии является метод кардиоресинхронизирующей терапии (СРТ). Мета-анализ 5 рандомизированных многоцентровых исследований с участием 2292 больных подтвердил достоверное умень-

шение смертности на 38% вследствие ХСН, уменьшение количества госпитализаций на 54% по поводу ХСН [9]. Однако у 1/3 пациентов СРТ терапия не приводит к должному результату [10]. С учетом дороговизны СРТ устройств данная проблема носит значимый экономический характер. В связи с этим усовершенствование существующих и разработка новых способов диагностики в оценке диссинхронии и ее оптимальной коррекции экономически оправданы.

Одним из новых перспективных направлений в кардиологии по данному направлению является поверхностное неинвазивное эпи- и эндокардиальное картирование сердца (НИЭЭК). В мире над данной проблематикой работает целый ряд научных групп [11-13]. В России неинвазивное картирование проводится с использованием системы Amyscard 01C EP LAB (Амикард, Россия). Основной принцип методики - это решение обратной задачи электрокардиографии. Проводится вычислительная реконструкция потенциала электрического поля на поверхности миокарда по измеренному потенциалу на поверхности тела [14-18]. Поэтому целью данной работы явилось изучение возможностей неинвазивного эпи- и эндокардиального картирования сердца в диагностике диссинхронии миокарда левого желудочка при нарушениях внутрижелудочковой проводимости и проведение анализа методов анатомической визуализации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На базе ФГБУ СЗФМИЦ МЗ РФ обследован 41 пациент с БЛНПГ. Пациенты были либо кандидатами на СРТ, либо система СРТ была имплантирована ранее. В 1 группу вошли 13 пациентов, которым визуализация сердца проводилась методом магнитно-резонансной томографии (МРТ) до имплантации устройств. Во 2 группу вошли 28 пациентов с уже имплантированными

ми СРТ устройствами, которым была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). В период обследования все пациенты были клинически стабильны и получали оптимальную медикаментозную терапию. Группы пациентов достоверно не отличались по полу, возрасту, генезу заболеваний, количественным данным размеров левого желудочка (ЛЖ), фракции выброса (ФВ) ЛЖ. Клинико-диагностические параметры групп представлены в табл. 1. Всем пациентам выполнено НИЭЭК с использованием системы Amucard 01C EP LAB (Амикард, Россия). Исследование проводилось в несколько этапов.

На первом этапе при НИЭЭК проводилась многоканальная запись поверхностной ЭКГ. Для этих целей использовались 8-ми контактные полоски из вспененного материала производства FIAB S.p.A. (Италия) с рентген-непрозрачными электродами ЭКГ, содержащими хлорид серебра (AgCl), при проведении МСКТ

Таблица 1.

Исходные клиничко-диагностические параметры исследуемых групп

	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=28)	p
Пол, м/ж	7/6	21/7	0,18
Возраст, лет	60,5±6,8	61,2±6,4	0,8
ИБС (ПИКС) / ДКМП, n	6/7	14/14	0,8
II/III ФК ХСН (NYHA)	5/8	9/19	0,7
ФВ ЛЖ, %	24,7±3,7	25,3±6,5	0,8
КДД ЛЖ, мм	73,1±9,0	74,7±8,6	0,6
КСД ЛЖ, мм	62,2±10,8	63,8±10,7	0,7
КДО ЛЖ, мм	313±99,7	320,9±127,6	0,8
КСО ЛЖ, мм	235,5±78,5	242,1±114,0	0,9
Длительность QRS, мс	205,3±19,3	191,9±28,8	0,14
СР/ФП, %	100/0	82/18	-
CRT-P/CRT-D, %	0/100	17/83	-

здесь и далее, ИБС - ишемическая болезнь сердца, ПИКС - постинфарктный кардиосклероз, ДКМП - дилатационная кардиомиопатия, ФК - функциональный класс, ХСН - хроническая сердечная недостаточность, КДД, КСД, КДО, КСО - конечные диастолические и систолические размеры и объёмы левого желудочка (ЛЖ), СР - синусовый ритм, ФП - фибрилляция предсердий.

и карбоновыми электродами при проведении МРТ. Электродные полоски накладывались продольно равномерно по всей окружности грудной клетки. Стандартное количество электродов для проведения исследования составляло 240. Помимо записи поверхностных униполярных ЭКГ одновременно осуществлялась 12 канальная запись стандартной ЭКГ. Руки у пациентов находились вдоль туловища в расслабленном виде для минимизации помех во время записи ЭКГ. В группе 2 с имплантированными устройствами запись собственного ритма осуществлялась при временном ингибировании стимуляции.

На втором этапе пациентам проводилась визуализация сердца с помощью МСКТ или МРТ в том же положении рук, что и регистрация ЭКГ. МРТ проводилась на аппарате MAGNETOM Trio A Tim (Siemens, Германия) с использованием контраста Магневист (Байер Фарма АГ, Германия). МСКТ проводилась на аппарате Somatom Definition 128 (Siemens, Германия) с использованием контраста Ультравист 370 (Schering AG, Германия). Записывались серии бесконтрастного сканирования торса и контрастного сканирования сердца. Данные томографии импортировались в программу обработки системы Amucard.

На третьем этапе проводилось построение трехмерных анатомических эпи/эндокардиальных моделей желудочков с использованием специализированного программного пакета [19]. У всех пациентов для модели торса использовалась бесконтрастная серия, а для модели сердца использовалась серия с контрастированием. В 5 случаях использовали как контрастные, так и бесконтрастные серии для построения анатомической модели сердца. Это было выполнено для изучения возможности построения 3D модели желудочков только с помощью бесконтрастных серий. На построенных индивидуальных эпи/эндокардиальных анатомических моделях желудочков сердца проводилось условное маркерное деление ЛЖ согласно 17 сегментарной модели (рис. 1), предложенной American Heart Association Writing Group on Myocardial Segmentation and Registration for Cardiac Imaging [20, 21]. Условная середина каждого сегмента ЛЖ также дополнительно обозначалась желтым маркером. Деление ЛЖ на сегменты было необходимо для четкого определения зон ранней и поздней активации.

Схема деления ЛЖ на 17 сегментов в применении к условной объемной модели ЛЖ.

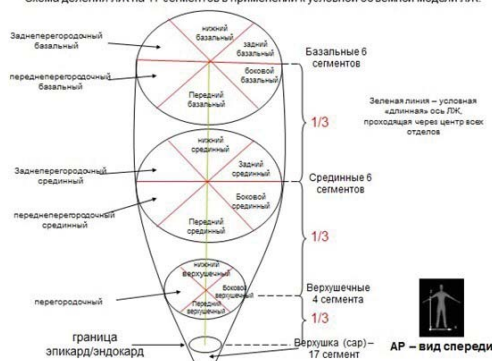


Рис. 1. Деление левого желудочка на сегменты в применении к 3D модели.

На четвертом этапе у всех пациентов на маркированных по сегментам эпи/эндокардиальных моделях желудочков изучались различные карты. Построение карт осуществлялось в автоматическом режиме. Расчет осуществлялся для одного типичного QRS комплекса с ПБЛНПГ. Изначально анализировались изопотенциальные карты. Данные карты визуализируют распределение потенциала электрического

поля на поверхности сердца в каждый момент сердечного цикла. Положительные значения времени активации, указывающие на позднюю зону возбуждения, кодируются теплыми цветами (красный, оранжевый, желтый). В группах определяли позднюю зону активации при БЛНПГ. В группе 2 дополнительно проводили сопоставление места имплантации ЛЖ и ПЖ электродов с зоной ранней активации при изолированной стимуляции ЛЖ и ПЖ соответственно.

Вторым видом карт, использованным в работе, были изохронные карты, построенные по биполярным электрограммам методом Activation Directional Mapping (ADM). Метод ADM основан на интегрировании и реконструкции направлений моментных векторов активации миокарда (240 отведений ЭКГ). Изохронные карты, построенные данным методом, отображают на одном изображении последовательность возбуждения миокарда на протяжении выделенного фрагмента, а именно всего QRS комплекса. Область поздней активации на данных картах окрашивается холодными цветами (голубой, синий, фиолетовый). С помощью изохронных карт проводилась оценка поздней зоны активации при БЛНПГ, оценка внутрижелудочковой диссинхронии, а также осуществлялся расчет времени стандартного отклонения активации ЛЖ (SD12 ЛЖ). Для этих целей у каждого пациента из условных центров (см. рис. 1) всех 6 базальных и всех 6 срединных сегментов ЛЖ брались значения для оценки времени активации сегментов в мс от начала QRS комплекса и последующего расчета SD12.

Третьим видом карт, использованным в работе, были карты распространения активации, построенные по методу ADM. Красным цветом закрашивается область сердца, условно соответствующая фронту волны возбуждения, остальные области закрашиваются фоновым цветом. Данные карты реконструируются на основе изохронных карт. В нашей работе карты распространения активации использовались для оценки межжелудочковой задержки (МЖЗ). МЖЗ оценивалась как время между началом активации ПЖ и началом активации ЛЖ на эндокардиальной модели желудочков. Активация ЛЖ оценивалась от начала возбуждения ЛЖ до окончания возбуждения на эпикарде или эндокарде.

Также всем пациентам были выполнены стандартное эхокардиографическое (ЭхоКГ) исследование для оценки размеров, объемов ЛЖ, ФВ ЛЖ и тканевая доплерография (ТД ЭхоКГ) для оценки показателей меж- и внутрижелудочковой диссинхронии. Исследование проводилось на аппарате Vivid 6 (GE, США).

Статистический анализ

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи пакета статистических программ

Statistica v.8. Первым этапом анализа показателей была проверка на нормальность распределения выборки количественных показателей с использованием теста Шапиро-Уилка. Для непрерывных переменных с нормальным распределением были рассчитаны среднее значение и его стандартное отклонение ($M \pm SD$), при отклонении от нормального распределения - медиана и межквартильное расстояние $Me[IQR]$. Параметры, не

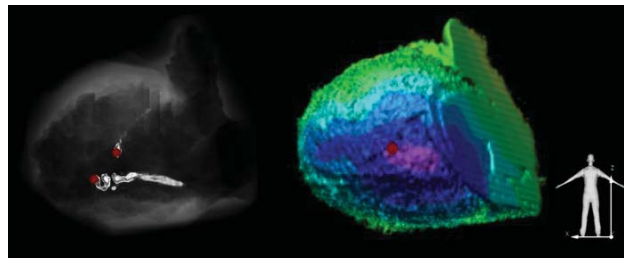


Рис. 2. Сопоставление положения кончика ЛЖ электрода (красный маркер) и максимального запаздывания свободной стенки ЛЖ (фиолетовый цвет на изохронной карте эпикардиальной модели желудочков) при БЛНПГ.

Таблица 2.

Сопоставление показателей НИЭЭК и ТД ЭхоКГ

	НИЭЭК	ТД ЭхоКГ	КК
МЖЗ, мс	79±17,9	74,9±18,3	r=0,45, p=0,003
SD12 ЛЖ, мс	24,2±6,1	36,7±14,2	r=0,4, p=0,016

здесь и далее, КК - коэффициент корреляции, МЖЗ - межжелудочковая задержка

Таблица 3.

Характеристика различных типов томографии

	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=28)
Время исследования, мин	46,7±8,3	15,3±1,7*
Контрастный агент	Магневист	Ультравист 370
Объем контраста, мл	19,6±1,4	83,4±11,9**
ЭКГ синхронизация - да/нет, %	0/100	96/4
Количество срезов торса	144[16]	160[16,5] ***
Количество срезов сердца	96[0]	272,9[60] *
Толщина срезов торса, мм	2,5[0]	3[0] *
Толщина срезов сердца, мм	2[0]	0,76[0]*
Лучевая нагрузка при бесконтрастном сканировании торса, мГрей	Нет	1,4±0,4
Лучевая нагрузка при контрастном сканировании сердца, мГрей	Нет	32±12*#
Оценка рубцовых, поствоспалительных изменений, жизнеспособности миокарда ЛЖ, %	100	0
Визуализация электродов СРТ, %	0****	100
Изучение коронарного кровотока	Невозможно	Возможно

где, * - $p < 0,05$, ** - доза контраста при МСКТ рассчитывалась исходя из веса пациента, но максимально вводимый объем не превышал 100 мл, *** - медиана и межквартильное значение, **** - при использовании не МРТ совместимых электродов, # - достоверно в сравнении с бесконтрастным сканированием торса

имеющие нормального распределения, сравнивались тестом Манн-Уитни. Корреляция осуществлялась по методу Пирсона для показателей с нормальным распределением. Качественные переменные представлены в виде абсолютного и относительного числа наблюдений. Значения P менее 0,05 принимались статистически значимыми.

Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ СЗФМИЦ МЗ РФ.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Зона поздней активации при ПБЛНПГ на срединно-базальном уровне ЛЖ выявлена в 32% случаев (у 13 пациентов) на задней стенке, в 32% ($n=13$) - на боковой стенке, в 34% ($n=14$) - и на задней и на боковой стенках и в 2% ($n=1$) в верхушке ЛЖ. Эпицентр поздней зоны активации на свободной стенке ЛЖ при ПБЛНПГ может являться местом оптимальной имплантации ЛЖ электрода (рис. 2). Всем пациентам были рассчитаны МЖЗ и SD12 ЛЖ как методом НИЭЭК, так и ТД ЭхоКГ. При изучении корреляции показателей полученных этими способами выявлена слабая положительная связь (табл. 2).

Проведение МР томографии занимало достоверно больше времени по сравнению с МСКТ (46,7 и 15,3 мин соответственно, $p=0,027$), однако не требовало ЭКГ-синхронизации и введения йод-содержащего контрастного вещества. В свою очередь, при проведении МСКТ с контрастным усилением количество получаемых срезов было достоверно больше, чем при выполнении МРТ (272,9 и 96 соответственно, $p<0,0001$), что облегчало построение анатомических моделей сердца и улучшало качество визуализации внутрисердечных структур, правого и левого желудочковых электродов. Подробная характеристика проведения различных типов томографии представлена в табл. 3.

При использовании МСКТ без контрастного усиления удалось построить эпи/эндокардиальные модели

желудочков сопоставимые по качеству с контрастными исследованиями. При этом хуже визуализировались атриовентрикулярные клапаны и выходные тракты желудочков, но, в целом, изображение оказалось удовлетворительным для проведения анализа (рис. 3). Обработка данных заняла в 1,5 раза больше времени, однако поглощенная доза ионизирующего облучения при бесконтрастном исследовании оказалась в 23 раза меньше, чем при МСКТ с использованием контрастного вещества (1,4 мГр против 32 мГр).

В группе 1 по данным МРТ у 7 пациентов выявлены поствоспалительные изменения в миокарде ЛЖ, у 6 пациентов выявлены рубцовые изменения ЛЖ различных локализаций. На основании этих данных левожелудочковый электрод при имплантации СРТ устройства устанавливался исходя из жизнеспособности миокарда. При сопоставлении положения электродов имплантированного устройства с зоной ранней активации на фоне стимуляции в группе 2 были получены данные по точности НИЭЭК, представленные в табл. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Метод НИЭЭК является достаточно трудоемким с большими затратами времени на обработку и анализ информации. В настоящее время применяются две основные методики визуализации, используемые для создания анатомического шаблона - это МРТ и МСКТ. МРТ не сопряжена с лучевой нагрузкой, используется не йодсодержащий контраст. Данная методика дополнительно отражает поствоспалительные и рубцовые изменения, а также глубину повреждения миокарда, что дает представление о его жизнеспособности. Это является ценной информацией у кандидатов на СРТ терапию, так как способствует повышению количества респондеров. МСКТ связана с лучевой нагрузкой на пациента и использованием йод-содержащего контраста, который ввиду гепато- и нефротоксичности, возможности аллергических реакций может быть опасным для больных с ХСН. В то же время контрастная МСКТ

позволяет добиться наилучшего качества анатомической модели. Как показано в данном исследовании, использование бесконтрастной МСКТ позволяет также добиться удовлетворительного качества изображения, избежать использования контрастного вещества и в 23 раза снизить лучевую нагрузку на пациента. Достичь этого возможно ценой увеличения времени построения анатомической модели на системе Amuscad. Таким образом, у врача есть выбор, использовать МРТ или МСКТ в качестве визуализирующей методики у каждого конкретного пациента.

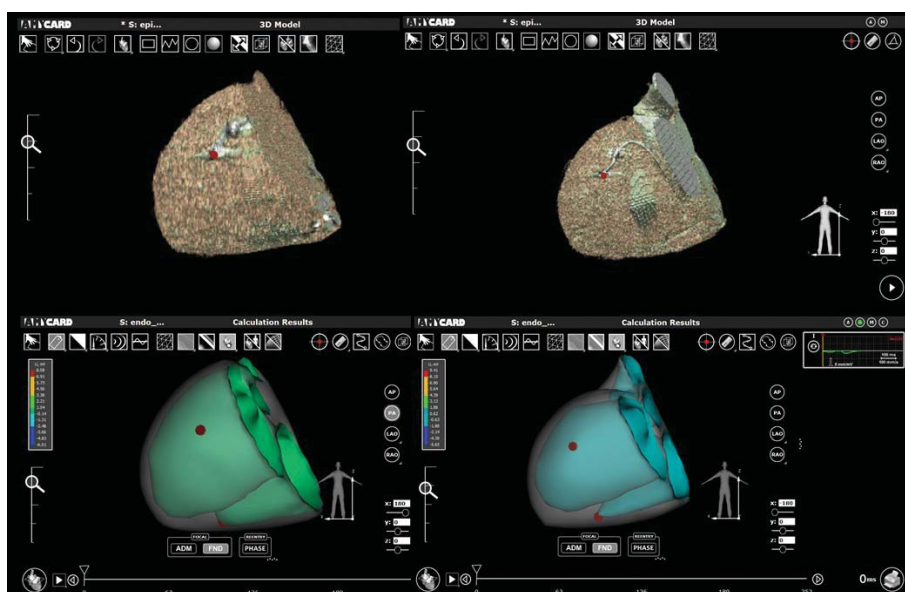


Рис. 3. Сравнение бесконтрастных (левый ряд) и контрастных МСКТ моделей (правый ряд) сердца.

На основании полученных результатов, мы предлагаем алгоритм выбора визуализирующей методики при проведении НИЭЭК. При наличии металлических имплантатов показана МСКТ, при их отсутствии - МРТ. У больных с полиорганной недостаточностью или аллергией на йод предпочтительна только МСКТ без контраста или МРТ.

Возможность визуализации положения кончика электрода и, соответственно, точки стимуляции позволила изучить точность неинвазивного картирования. НИЭЭК продемонстрировала достаточно высокую достоверность диагностики на свободной стенке ЛЖ, верхушке ПЖ. Низкая точность в переднеперегородочном отделе МЖП и ВППЖ вероятно связана со сложной геометрией и вытекающими математическими трудностями расчета в данных областях, а также минимальной выборкой исследований. Следует также не забывать, что в данном исследовании мы оценивали только стандартные точки имплантации электродов. Проведенное ранее многоцентровое исследование [22] по верификации НИЭЭК на большей выборке пациентов показало более высокие результаты по точности в выходном тракте правого желудочка и переднеперегородочной области.

НИЭЭК визуализирует позднюю зону активации при БЛНПГ, эпицентр которой на свободной стенке ЛЖ может являться местом оптимальной имплантации ЛЖ электрода. Оценка показателей меж- и внутрижелудочковой диссинхронии крайне важна. При сопоставлении данных была выявлена прямая положительная корреляция показателей МЖЗ и внутрижелудочковой диссинхронии по показателю SD12 в сравнении цифр по данным картирования и ТД-ЭхоКГ.

При анализе литературных данных выявлено, что система Amyscard обладает рядом достоинств по сравнению с зарубежными аналогами [23-25]. А именно, позволяет проводить оценку не только на эпикарде, но и на

эндокарде, позволяет оценивать МЖЗ и более детально внутрижелудочковую диссинхронию. Кроме того данная система работает и с КТ и с МРТ изображениями.

Таким образом, возможно использование как МРТ, так и МСКТ при неинвазивном эпи/эндокардиальном картировании. Картирование визуализирует позднюю зону активации при БЛНПГ, эпицентр которой на свободной стенке ЛЖ может являться местом оптимальной имплантации ЛЖ электрода. Существует прямая корреляция показателей меж- и внутрижелудочковой диссинхронии при сопоставлении данных картирования с данными тканевой доплерографии. Картирование может быть альтернативной методикой в оценке диссинхронии при крайне низкой визуализации эхокардиографического изображения. Требуется дальнейшее научное развитие и усовершенствование методики НИЭЭК.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность всему отделению компьютерной томографии ФГБУ СЗФМИЦ МЗРФ и отдельно К.С.Петрову и М.В.Самохваловой за помощь в организации и проведении исследований.

Таблица 4.

Результаты верификации точности НИЭЭК при картировании с МСКТ

Локализация электрода	n	Отклонение, мм*
Верхушка ПЖ	25	3,24±1,5
Срединные отделы ЛЖ	7	6,7±1,9
Базальные отделы ЛЖ	21	6,5±3,7
Боковая стенка ПЖ	1	8
Выходной тракт ПЖ	1	20
Передний отдел МЖП	1	31

где, ПЖ - правый желудочек, * - отклонение зоны ранней активности от точки стимуляции

ЛИТЕРАТУРА

1. E.Braunwald. Research Advances in Heart Failure: A Compendium //Circulation Research 2013 July 25; 113:633-645.
2. Brignole M, Auricchio A, Baron-Esquivias G. et al. 2013 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy // European Heart Journal (2013) 34, 2281-2329.
3. Мареев В.Ю., Агеев Ф.Т., Арутюнов Г.П. и др. Национальные рекомендации ОССН, РКО и РНМОТ по диагностике и лечению ХСН (четвертый пересмотр) // Журнал Сердечная Недостаточность. 2013г, Том 14, N7(81).
4. Havranek E, Masoudi F, Westfall K. et al. Spectrum of heart failure in older patients: results from the National Heart Failure project // Am Heart J 2002; 143:412-417.
5. Shenkman H, McKinnon J, Khandelwal A. et al. // Circulation 2000; 102 (18 Suppl II): abstract 2293.
6. Трукшина М.А., Ситникова М.Ю. Взаимосвязь диссинхронии миокарда с продолжительностью комплекса QRS и этиологией сердечной недостаточности у пациентов с клинически выраженной ХСН // Российский кардиологический журнал, №2 (100), 2013: стр. 6-11.
7. Лишманов Ю.Б., Ефимова И.Ю., Минин С.М. и др. Радионуклидные методы в назначении и оценке эффективности ресинхронизирующей терапии у пациентов с хронической сердечной недостаточностью // Вестник аритмологии, № 70, 2012, стр. 29-34.
8. Лебедева В.К., Любимцева Т.А., Трукшина М.А., Лебедев Д.С. Влияние оптимизации межжелудочковой задержки сердечной ресинхронизирующей терапии на показатели гемодинамики с использованием поверхностной ЭКГ // Вестник аритмологии № 70, 2012, стр. 44-49.
9. Клинические рекомендации по проведению электрофизиологических исследований, катетерной абляции и применению имплантированных антиаритмических устройств 2013 г, стр.96-123.
10. Abraham WT, Fisher WG, Smith AL, et al. Cardiac resynchronization in chronic heart failure // N Engl J Med. 2002; 346(24): 1845-1853.
11. Ghanem RN, Jia P, Ramanathan C. et al. Noninvasive Electrocardiographic Imaging (ECGI): Comparison to intraoperative mapping in patients // Heart Rhythm. 2005 April; 2(4): 339-354.

12. Berger T, Pfeifer B, Hanser FF et al. Single-Beat Non-invasive Imaging of Ventricular Endocardial and Epicardial Activation in Patients Undergoing CRT // Plos One 2011, January 27.
13. Liu C, Skadsberg ND, Ahlberg SE et al. Estimation of global ventricular activation sequences by noninvasive 3-dimensional electrical imaging: validation studies in a swine model during pacing // J Cardiovasc Electrophysiol. 2008 May; 19(5): 535-540.
14. Malmivuo Y, Plonsey R "Bioelectromagnetism" Oxford University Press 1995.
15. Шакин В.В. Вычислительная электрокардиография М.: Наука 1981.
16. Титомир Л.И., Кнеппо П. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. М.: Наука. Физмат лит 1999.
17. Титомир Л.И., Трунов В.Г., Айду Э.И.И. Неинвазивная электрокардиотопография М.: Наука 2003.
18. Rudy Y, Messinger-Rapport BJ. The inverse problem in electrocardiography: solutions in terms of epicardial potentials // Crit Rev Biomed Eng. 1988; 16(3):215-68.
19. Ревিশвили А.Ш., Калинин В.В., Ляджина О.С., Фетисова Е.А. Верификация новой методики неинвазивного электрофизиологического исследования сердца, основанной на решении обратной задачи электрокардиографии // Вестник аритмологии 2008; 51: 7-13.
20. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for health-care professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association // Circulation. 2002 Jan 29; 105(4):539-42.
21. Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al. Recommendations for Chamber Quantification: A Report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, Developed in Conjunction with the European Association of Echocardiography, a Branch of the European Society of Cardiology // Journal of the American Society of Echocardiography. 2005 Dec 18; Issue 12:1440-1463.
22. Revishvili A.S, Wissner E, Lebedev D.S. et al. Validation of the mapping accuracy of a novel non-invasive epicardial and endocardial electrophysiology system // Europace Journal. 2015, Feb 2.
23. Trayanova N. Whole-Heart Modelling: Applications to Cardiac Electrophysiology and Electromechanics // Circulation Research 2011, 108: 113-128.
24. Varma N, Jia P, Rudy Y. Electrocardiographic imaging of patients with heart failure with left bundle branch block and response to cardiac resynchronization therapy // J Electrocardiol. 2007 Nov-Dec;40(6 Suppl):S174-8
25. Ploux S, Lumens J, Whinnett Z et al. Noninvasive Electrocardiographic Mapping to Improve Patient Selection for Cardiac Resynchronization Therapy Beyond QRS Duration and Left Bundle Branch Block Morphology // Journal of the American College of Cardiology 2013, Vol. 61, No. 24.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО НЕИНВАЗИВНОГО ЭПИ- И ЭНДОКАРДИАЛЬНОГО КАРТИРОВАНИЯ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ВНУТРИЖЕЛУДОЧКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ

С.В.Зубарев, М.П.Чмелевский, М.А.Буданова, М.А.Трукинина, А.В.Рыжков, А.В.Пахомов, Т.А.Любимцева, В.К.Лебедева, Д.С.Лебедев

С целью анализа методов анатомической визуализации и изучения возможностей поверхностного неинвазивного эпи- и эндокардиального картирования (НИЭЭК) в диагностике диссинхронии миокарда левого желудочка (ЛЖ) обследован 41 пациент с полной блокадой левой ножки пучка Гиса (ПБЛНПГ). Пациенты были либо кандидатами на сердечную ресинхронизирующую терапию (СРТ), либо система СРТ была имплантирована ранее. В 1 группу вошли 13 пациентов, которым визуализация проводилась методом магнитно-резонансной томографии (МРТ) до имплантации устройств. Во 2 группу вошли 28 пациентов с уже имплантированными СРТ устройствами, которым была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). Всем пациентам выполнено НИЭЭК с использованием системы Amyscard 01C EP LAB (Швейцария). На маркированных по сегментам эпи/эндокардиальных моделях желудочков строились различные карты (изопотенциальные, изохронные и карты распространения активации, построенные по методу ADM). С помощью данных карт оценивалась поздняя зона активации ЛЖ при ПБЛНПГ, рассчитывалась межжелудочковая задержка (МЖЗ) и показатель SD12 для ЛЖ, оценивалось отклонение ранней зоны активации от точки правожелудочковой (ПЖ) и ЛЖ стимуляции.

Возможно использование как МРТ, так и МСКТ при неинвазивном картировании. При использовании МСКТ с бесконтрастной серией сердца удалось построить аналогичные эпи/эндокардиальные модели желудочков как при использовании контрастной серии. Предложен алгоритм выбора визуализирующей методики при проведении НИЭЭК в зависимости от клинической ситуации. НИЭЭК продемонстрировала достаточно высокую точность диагностики на свободной стенке ЛЖ и верхушке ПЖ. Зона поздней активации при ПБЛНПГ на срединно-базальном уровне ЛЖ выявлена в 32% (у 13 пациентов) на задней стенке, в 32% (у 13 пациентов) на боковой стенке, в 34% (у 14 пациентов) и на задней и на боковой стенках и в 2% (у 1 пациента) в верхушке ЛЖ. Эпицентр поздней зоны активации на свободной стенке ЛЖ при ПБЛНПГ может являться местом оптимальной имплантации ЛЖ электрода. МЖЗ оценена методом НИЭЭК $79 \pm 17,9$ мс и с помощью тканевой доплер эхокардиографии (ТД-ЭхоКГ) $74,9 \pm 18,3$ мс с положительной корреляцией $r = 0,45$ и $p = 0,003$. Показатель SD12 определен для ЛЖ методом НИЭЭК $24,2 \pm 6,1$, по ТД-ЭхоКГ $36,7 \pm 14,2$ с положительной корреляцией $r = 0,4$ и $p = 0,016$. Картирование может быть альтернативной методикой в оценке диссинхронии при крайне низкой визуализации ЭхоКГ изображения. Требуется дальнейшее научное развитие и усовершенствование методики НИЭЭК.

IMPROVING NONINVASIVE METHODOLOGY OF SURFACE EPI- AND ENDOCARDIAL MAPPING IN PATIENTS WITH IMPAIRED INTRAVENTRICULAR CONDUCTION

*S.V. Zubarev, M.P. Chmelevsky, M.A. Budanova, M.A. Trukshina, A.V. Ryzhkov,
A.V. Pakhomov, T.A. Lyubimtseva, V.K. Lebedeva, D.S. Lebedev*

To analyze anatomical mapping techniques and explore potentialities of non-invasive surface epi- and endocardial mapping (NEEM) in the diagnosis of complete left ventricular myocardial dyssynchrony, 41 patients with complete left bundle branch block (LBBB) were examined. The study subjects were either candidates to cardiac resynchronization therapy (CRT) or the CRT system has been implanted to them earlier.

Magnetic resonance imaging (MRI) was performed before implantation of the CRT devices in 13 patients of Group I. Multispiral computed tomography (MSCT) was performed to 28 patients of Group II with already implanted devices. NEEM was performed in all study subjects using the Amicard 01C EP LAB system (Switzerland). Different maps (including isopotential, isochronous, and activation distribution maps constructed using the ADM technique) were built on segment-marked epi/endocardial ventricular models. With the aid of the maps, the late activation zone of the left ventricle (LV) in LBBB was assessed, interventricular (ventriculo-ventricular, VVD) delay and SD12 for LV were calculated; deviation of the early activation zones from the point of the right ventricle (RV) or LV pacing was assessed.

During the non-invasive mapping, both MRI and MSCT can be used. When using MSCT with non-contrasted cardiac series, epi/endocardial models were built similar to those made when using contrast media. An algorithm is suggested of selection of imaging techniques during NEEM based on the subject's clinical state. NEEM showed sufficiently high diagnostic accuracy on the LV free wall and the RV (right ventricle) apex.

The late activation zone in case of LBBB on the medial basal (mid-basal) level of LV was found in 32% of patients (n=13) in the posterior wall, in 32% of patients (n=13) in the lateral wall, in 34% of subjects (n=14) in the posterior and lateral walls, and in 2% of patients (n=1) in the left ventricular apex. The epicenter of late activation on the LV free wall in case of LBBB may be considered the optimal place for the LV electrode implantation. VVD was assessed with the aid of NEEM as 79 ± 17.9 ms and using tissue Doppler echocardiography (TD ehcoCG) as 74.9 ± 18.3 ms with the positive correlation ($r=0.45$, $p=0.003$). SD12 was assessed for LV as 24.2 ± 6.1 s using the NEEM technique and as 36.7 ± 14.2 s using TD echoCG, with the positive correlation: $r=0.4$, $p=0.016$. Mapping can be an alternative technique of evaluation of dyssynchrony in case of extremely poor visualization of echoCG images. Further scientific research and improvement of NEEM technique is required.