

## **В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ**

**И.Ш.Хасанов**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ИМПЛАНТАТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОТЕРАПИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ СЕРДЦА**

*Фонд Макса Шальдаха, Центр медицинской физики и техники, Университет Эрланген-Нюрнберг  
им. Фридриха-Александра, Эрланген, Германия*

*Рассматриваются новые диагностические и лечебные возможности современных электрокардиостимуляторов, связанные со стимуляцией с замкнутым контуром регуляции, основанной на оценке ударного объема сердца, и удаленном мониторинге состояния пациента.*

**Ключевые слова:** электрокардиостимулятор, кардиовертер-дефибриллятор, ресинхронизирующая терапия, внутрисердечная электрограмма, ударный объем, замкнутый контур регуляции, удаленный мониторинг

*Novel pacemaker diagnostic and curative potentialities of modern pacemakers connected with pacing using the closed circuit of control based on the stroke volume assessment and remote monitoring of the patient state are considered.*

**Key words:** cardiac pacemaker, cardioverter-defibrillator, resynchronizing treatment, intracardiac electrogram, stroke volume, closed control loop, remote monitoring

Нарушения ритма сердца снижают качество жизни больных, ускоряют развитие заболеваний сердца, таят опасность внезапной сердечной смерти. Восстановление физиологического ритма сердца является приоритетной задачей аритмологии, ведущим направлением которой остается электрокардиотерапия. Электрокардиотерапия, понимаемая, в основном, как постоянная электростимуляция сердца, возникла и успешно развивается благодаря электрической природе процессов лежащих в основе работы сердца, которые, с одной стороны, дают возможность мониторировать его работу на основе сигналов ЭКГ и внутрисердечных электрограмм (ВЭГМ), а с другой - воздействовать на него с помощью электрических импульсов.

В последние годы четко оформилась концепция, которая определяет подход и границы применения электрокардиотерапии сердца, ресинхронизацию работы сердца с помощью электрических стимулов. Этот подход является логическим развитием клинического опыта применения двухкамерных электрокардиостимуляторов (ЭКС), обеспечивающих физиологическую ресинхронизацию работы предсердий и желудочков. Создание надежных и удобных в обращении электродов для установки в коронарном синусе позволило приступить к широкому клиническому применению методов трехкамерной (биатриальной и бивентрикулярной) стимуляции сердца. Положительный лечебный эффект бивентрикулярной стимуляции, достигнутый у больных сердечной недостаточностью (СН), стимулировал ведущих разработчиков и производителей ЭКС к созданию многокамерных приборов, в том числе, имплантируемых кардиовертеров-дефибрилляторов (ИКД).

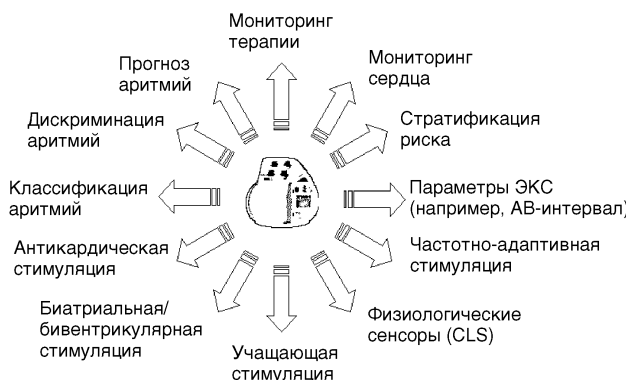
Успехи применения постоянной электрокардиостимуляции, совершенствование технологии производства электродов и пейсмекеров привели к широкому распространению этого вида лечения. С одной стороны, современные кардиостимуляторы существенно расширяют возможности лечения, с другой стороны, предъявляют повышенные требования к качеству наблюдения паци-

ентов. Необходима оптимальная организация этого процесса. Рекомендации по электрокардиотерапии и последующему амбулаторному ведению пациентов постоянно уточняются с учетом возможностей современной медицинской техники и предложений комиссий экспертов, основанных на постоянно ведущихся многочисленных клинических исследованиях. Целью этих рекомендаций является определение точных показаний к электрокардиотерапии, помощь в выборе режимов физиологической стимуляции, а также в усовершенствовании амбулаторного наблюдения.

Терапевтический эффект постоянной электростимуляции сердца основан на восстановлении хронотропной сердечной функции и/или последовательности сокращений сердечных камер. Он определяется правильным подбором модели ЭКС и заданием различных программируемых временных интервалов (базовый интервал, гистерезисный интервал, рефрактерные периоды предсердий и желудочков, атриовентрикулярный (АВ) интервал и т.п.). По мере расширения режимов постоянной электростимуляции, появления новых принципов и сенсоров для физиологической адаптации частоты сердечных сокращений (ЧСС), совершенствования алгоритмов работы приборов постоянно расширяется область применения ЭКС (рис. 1). Естественно, что новые области применения ставят множество новых задач, которые должна решать и уже решает электрокардиотерапия сердца. Это не только традиционное лечение брадикардии, но и лечение различных форм тахикардии (предсердной и желудочковой), лечение СН и других заболеваний сердца. Новые решения предлагает медицинская техника, открывающая небывалые возможности диагностики и лечения благодаря широкому применению новейших технологий.

#### **«CLOSED LOOP STIMULATION»**

Современная терапевтическая концепция основана на поддержке сердечно-сосудистой системы в ее главной задаче, стабилизации адекватной перфузии, а не просто на борьбе с отдельными симптомами болезни. Та-



**Рис. 1. Совершенствование диагностических и терапевтических функций современных электрокардиостимуляторов постоянно расширяет область их применения.**

кой подход реализован в CLS (Closed Loop Stimulation - стимуляция с замкнутым контуром регуляции) методе, основанном на изменении частоты электростимуляции сердца и постоянном контроле параметра, который дает информацию о сократимости миокарда [1, 2]. Клинические результаты демонстрируют, что стимуляция на основе CLS-принципа оказывает физиологическую поддержку сердечно-сосудистой системе. Так, восстановленный баланс различных сердечно-сосудистых и нейрогуморальных механизмов не только обеспечивает модуляцию сердечного ритма в соответствии с уровнем нагрузки, но и улучшает состояние пациентов с заболеваниями миокарда. При этом возникают предпосылки для прерывания процесса структурных изменений и инициации восстановительных процессов в миокарде.

Технически, изменения инотропного состояния миокарда оцениваются CLS-стимулятором посредством измерения униполярного внутрисердечного импеданса, форма сигнала которого, в значительной степени, зависит от динамики миокарда вблизи кончика электрода (рис. 2 - см. на цветной вклейке). Пейсмекер подает слабые бифазные импульсы тока (существенно ниже порога стимуляции) на кончик желудочкового электрода и измеряет разность потенциала между электродом и корпусом прибора (такая конфигурация измерений называется униполярной). Изменения сократимости миокарда отражаются в изменениях морфологии сигнала импеданса, измеряемого таким образом в каждом цикле сердечных сокращений.

Дальнейшее развитие метода стимуляции на основе сигнала внутрисердечного импеданса связано с применением электродов для коронарного синуса и трехкамерных систем с функцией бивентрикулярной стимуляции. Как было показано ранее [3, 4], сигнал импеданса содержит информацию не только о динамике сокращения миокарда, но и об ударном объеме (УО) сердца. Умение извлечь информацию об этом важном гемодинамическом параметре с помощью электрокардиостимулятора, т.е. создание своего рода внутрисердечного плетизмографа, открывает новые возможности для мониторинга состояния пациента и оптимизации электротерапии сердца. Применение электрода в коронарном синусе для измерения внутрисердечного импеданса в левом желудочке (ЛЖ) сердца имеет ряд преимуществ, прежде всего, благодаря: а) бо-

лее простой геометрии ЛЖ и, соответственно, более легкой интерпретации результатов измерения импеданса; б) прямому мониторингу УО ЛЖ, наиболее важного гемодинамического параметра сердца.

Для применения изложенного выше принципа оценки гемодинамики в приборах, предназначенных для широкой клинической практики [5], остается решить ряд технических задач измерения и обработки сигнала импеданса, включая прикладные математические задачи создания оптимального алгоритма работы пейсмекера с функцией определения УО сердца.

## УДАЛЕННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА - HOME MONITORING

С момента своего зарождения электротерапия сердца является междисциплинарной областью науки и техники. Всё новые технологии находят свое применение в таких имплантатах как ЭКС и ИКД. Воздействие некоторых из них является настолько революционным, что появляются новые сферы медицинского сервиса. Так произошло с внедрением достижений мобильных телекоммуникационных систем в изделия и практику работы ряда передовых изготовителей медицинской техники. Один из вариантов нового медицинского сервиса создан фирмой BIOTRONIK, которая назвала его Home Monitoring (домашний мониторинг). Суть метода [6] заключается в установлении телеметрической связи между электронным имплантатом (ЭКС или ИКД) и так называемым прибором пациента (Cardio Messenger), модифицированным мобильным телефоном, для создания единой коммуникационной системы имплантат - сервисный центр - лечащий врач (рис. 3 - см. на цветной вклейке).

Прибор пациента получает телеметрические сообщения от имплантата - регулярные (запрограммированные в определенное время суток, с определенной периодичностью) и триггерные (запущенные важным с клинической точки зрения событием, например, эпизодом аритмии) - и передает их через систему мобильной телефонной связи в сервисный центр фирмы. Спустя несколько минут сервисный центр отправляет лечащему врачу обработанные данные в форме одностороннего факса «Cardio Report» (рис. 4) или в электронной форме через Интернет. Врач, наблюдающий пациентов с помощью функции удаленного мониторинга «Home Monitoring», имеет индивидуальный доступ к информации о своих пациентах на сайте сервисного центра. Для этого у него имеется пароль, с помощью которого он может в любое время посмотреть данные своих пациентов как обзорно, так и во всех деталях. На стартовой странице особо выделены пациенты, на которых необходимо обратить внимание в связи с триггерным сообщением, вызванным эпизодом аритмии (рис. 5 - см. на цветной вклейке).

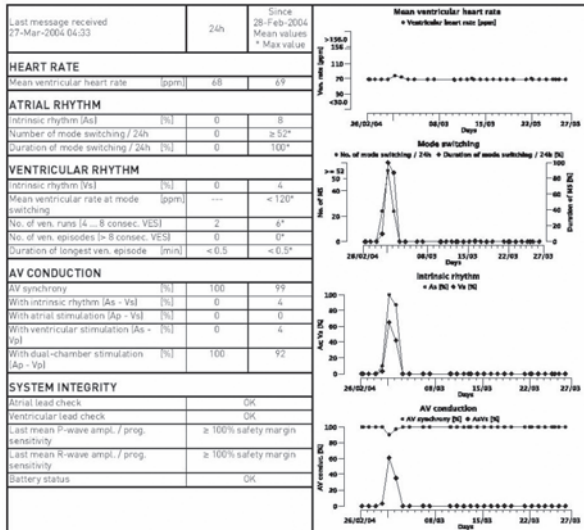
Таким образом, врач получает постоянный оперативный доступ к разносторонней информации о состоянии пациента и его ЭКС или ИКД без какого-либо участия пациента. Он своевременно получает данные об опасных эпизодах аритмий и изменениях терапии, о состоянии имплантата [7], и в случае необходимости или какой-либо потенциальной угрозы может внести коррективы в ход лечения пациента, вызвав его на внеочередное амбулаторное обследование [8]. У пациентов с ИКД

# Cardio Report Home Monitoring Service



|                                     |                                                          |                                                                               |  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--|
| To: Dr. Christian Wichmann          |                                                          | BIOTRONIK Service Center<br>Tel.: +49 30 68905-2440<br>Fax: +49 30 68905-2941 |  |
| Report<br>from 27-Mar-2004<br>04:33 | Patient ID:<br>Implant / Implant SN:<br>Philos DR-T / 75 | Patient device SN:<br>78                                                      |  |

## Trend report



**Рис. 4.** После обработки данных, поступивших с имплантата, сервисный центр отправляет врачу Кардиоотчет.

сообщение генерируется и передается незамедлительно после прекращения каждого эпизода тахикардии. Такая функция ЭКС или ИКД не только повышает безопасность электрокардиотерапии для пациента, но и создает технические предпосылки для применения новых диагностических методов.

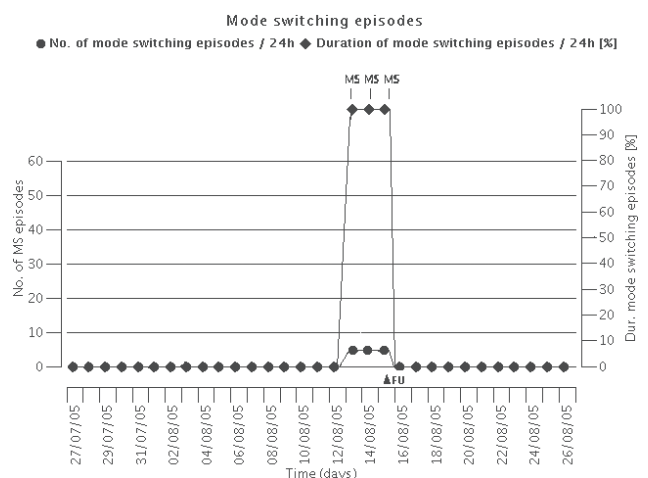
Открывая индивидуальную папку каждого пациента, врач видит как весь список сообщений, так и детали каждого из них. Ему предоставляется возможность непрерывного (почти, в режиме реального времени) мониторинга пациента, в отношении состояния имплантата, собственного ритма пациента, эпизодов смены режима стимуляции (Mode Switch), АВ синхронности, возникновения АВ-блокады, предсердной аритмии и т.п. Это позволяет своевременно обнаруживать проблемы имплантата, рано детектировать предсердные и желудочковые аритмии, мониторировать эффективность медикаментов, оптимизировать программу имплантата.

К концу 2005 года электронные имплантаты (ЭКС и ИКД) с функцией «Home Monitoring» были имплантированы более чем 25,000 пациентам в 22 странах мира, в том числе и в России. Накоплен богатый клинический опыт, проведены и продолжают различные мультицентровые исследования с применением соответствующих имплантатов. Клинические преимущества их применения определяются как актуальностью, так и объемом передаваемых с имплантата данных. Объем передаваемых данных, несомненно, будет меняться как количественно, так и качественно по мере улучшения технических возможностей имплантатов и средств мобильной телекоммуникации. Сегодня, помимо данных о состоянии прибора (состоянии батареи и электродов) передается обширная информация о состоянии пациента: об амплитуде измеряемых сигналов в предсердии (зубца Р) и желудочке (зубца R), среднем желудочковом ритме, доле стимулированных событий (в предсердиях и желудочках), доле собственного АВ-проведения, эпизодах желудочковой тахикардии (число и продолжительность), эпизодах переключения режима стимуляции «Mode Switch» (число и продолжительность), желудочковом ритме при переключения режима стимуляции «Mode Switch».

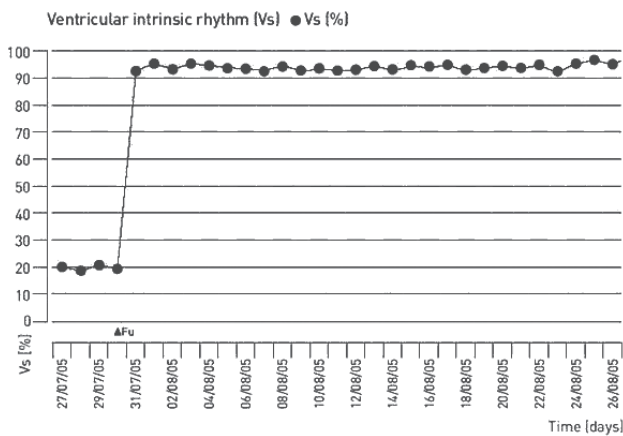
Важно то, что функция Home Monitoring дает возможность врачу вмешаться в ход терапии до того, как состояние пациента ухудшится в результате непредвиденных осложнений. Например, при мониторинге передаются данные об эпизодах переключения режима стимуляции «Mode Switch» (рис. 6), и благодаря этому можно на ранней стадии обнаружить развитие фибрилляции предсердий (ФП), которая во многих случаях не сопровождается ярко выраженными симптомами, заметными самому пациенту, но увеличивает число госпитализаций в медицинской практике до 76% [9].

Другим важным клиническим преимуществом удаленного мониторинга является наличие многочисленных трендов. Наблюдение тренда сердечных событий (собственных предсердных As и желудочковых Vs, стимулированных предсердных Ap и желудочковых Vp) может быть эффективно использовано для оптимизации терапии, например для снижения доли стимулированных желудочковых событий у пациентов с синдромом слабости синусового узла (СССУ), которые не нуждаются в постоянной стимуляции желудочков (рис. 7). В соответствии с современной концепцией электрокардиотерапии, основанной на принципе ресинхронизации электрической и механической функций сердца, целесообразно максимально ограничивать время стимуляции желудочков из верхушки правого желудочка (ПЖ), т.к. вызванная стимуляцией десинхронизация может увеличивать риск госпитализации больных сердечно-сосудистыми заболеваниями, например, с СН [10].

Для электротерапии больных СН применяется ресинхронизация электрической и механической функций сердца на основе бивентрикулярной стимуляции, получившая аббревиатуру CRT - Cardiac Resynchronization



**Рис. 6.** Функция Home Monitoring выявляет эпизоды переключения режима стимуляции «Mode Switch», что позволяет на ранней стадии выявить развитие мерцательной аритмии.



**Рис. 7. Тренд собственных желудочковых событий Vs (ventricular sensed) может быть использован для оптимизации терапии, например для снижения доли стимулированных желудочковых событий у пациентов с синдромом слабости синусового узла (СССУ), которые не нуждаются в постоянной стимуляции желудочков.**

Therapy. Функция Home Monitoring помогает добиться эффективности этого метода лечения благодаря тому, что имплантат передает такие важные для оценки состояния больного СН параметры, как средняя за сутки ЧСС, средняя ЧСС в покое, активность пациента в течение дня, количество желудочковых экстрасистол, долю (burden) ФП в %. Оценивая долю событий типа Vs + CRT (собственная активность ПЖ + стимул в ЛЖ) и Vp + CRT (стимул в ПЖ + стимул в ЛЖ), которая свидетельствует об успешной ресинхронизирующей терапии, врач может внести коррективы в программу стимуляции, добиваясь оптимизации терапии.

В распоряжении врача оказывается обширная база данных и экспертные знания сервисного центра наряду с его вычислительной мощностью. Уже сейчас, современные модели ЭКС и ИКД в состоянии запоминать десятки минут ВЭГМ, снимаемых одновременно в нескольких камерах сердца. Функция Home Monitoring получила важную опцию - передачу в сервисный центр отрезков ВЭГМ (рис. 8 - см. на цветной вклейке). Передача сигналов ВЭГМ с высоким разрешением и почти в реальном масштабе времени откроет широкие перспективы для поиска новых сенсоров и разработки математических методов оценки состояния пациента и его сердечно-сосудистой системы с помощью электронных имплантатов [11, 12].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение состояния миокарда является одной из ключевых задач диагностики и лечения кардиологических больных. В решении этой задачи лежит ключ к развитию методов ранней диагностики сердечной недостаточности и оценки рисков сердечных аритмий. Достоверное определение текущего состояния миокарда открывает путь к созданию методов и приборов, способных путем превентивного воздействия на миокард предотвращать развитие нарушений ритма сердца.

Без преувеличения можно сказать, что развитие электрокардиотерапии сегодня происходит так же бурно, как оно происходило и в период ее зарождения и затем, позднее, в период начала широкого применения достижений микроэлектроники в медицинской технике. Происходят не только и не столько количественные изменения, связанные с созданием многокамерных систем стимуляции, что существенно расширяет область применения методов электротерапии сердца. Важно то, что технические возможности современных приборов для электрокардиотерапии создают предпосылки для получения новых данных о природе процессов, происходящих в сердце на органном и клеточном уровне, о взаимосвязи различных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы. На этой основе развиваются представления о физике сердца, которые в свою очередь служат базой для разработки новых диагностических методов и алгоритмов работы электронных имплантатов.

Глубокое понимание физических процессов, лежащих в основе сердечной деятельности, физики сердца, и знание принципов регуляции сложных биологических систем необходимы для выработки новых концепций электрокардиотерапии. Современные подходы основаны на попытках интеграции терапевтических приборов в замкнутый контур регуляции сердечно-сосудистой системы с целью восстановления утраченных функций сердца (таких как, например, хронотропная функция) и положительного ремоделирования миокарда.

Нет сомнений в том, что синергетический эффект достижений различных технологий, продемонстрированный на примере мобильных средств связи, даст толчок к созданию не только новых областей медицинского сервиса, но и пересмотру роли электронных имплантатов в лечении, сохранении и обеспечении здоровья человека.

## ЛИТЕРАТУРА

- Boheim G, Schaldach M. Rate-Responsive Pacemaker with Intracardiac Volume Feedback Control. BME-Austria 88, Graz, June 9-11, 1988. Conference Proceedings: 116.
- Schaldach M. PEP-gesteuerter Herzschrittmacher. // Biomed Technik 1989; 34: 177-184.
- Rushmer RF, Crystal DK, Wagner C, Ellis RM. Intracardiac Impedance Plethysmography. // Am J Physiol. 1953; 174 (1): 171-174.
- Baan J, Jong TTA, Kerkhof PLM et al. Continuous stroke volume and cardiac output from intraventricular dimensions obtained with impedance catheter. // Cardiovasc Res 1981; 15: 328-334.
- Lippert M, Zima E, Czygan G, Merkely B. Intracardiac impedance as hemodynamic sensor: feasibility study. // Biomed Technik 2003; 48 (Erganzungsband 1): 248-249.
- Schaldach M, Hutten H. Telecardiology-optimizing the diagnostic and therapeutic efficacy of the next implant generation. // Progress in Biomedical Research 1998; 3: 1-4.
- Wallbruck K, Stellbrink C, Santini M. et al. The Value of Permanent Follow-up of Implantable Pacemakers - First Results of an European Trial. // Biomed Tech (Berl) 47 (Suppl 1): 950-953.
- Scholten MF, Thornton AS, Theuns DA et al. Twidder's syndrome detected by Home Monitoring Device. // PACE 2004; 27: 1151-1152.
- The Atrial Fibrillation Follow-up Investigation of Rhythm

Management (AFFIRM) Investigators. A Comparison of Rate Control and Rhythm Control in Patients with Atrial Fibrillation. // New England Journal of Medicine 2002; 347 (23): 1825-1833.

10. Sweeney MO, Hellkamp AS, Ellenbogen KA et al. Circulation 2003; 107 (23): 2932-2937.

11. Anosov O, Berdyshev S, Khassanov I. et al. Wave prop-

agation in the atrial myocardium: Dispersion properties in the normal state and before fibrillation. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2002; 49 (12): 1642-1645.

12. Khassanov I, Anosov O, Hensel B, Petersen S. Equivalent dispersion dependence - a new diagnostic algorithm concept for pacemakers. Progress in Biomedical Research 2004; 9 (1): 11-15.

Д.С.Лебедев

## СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА СТИМУЛЯЦИЮ ПРАВОГО ЖЕЛУДОЧКА: ОПЫТ БИВЕНТРИКУЛЯРНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П.Павлова, ГМПБ №2, Санкт-Петербург

*Рассматриваются недостатки электрокардиостимуляции верхушки правого желудочка и способы их преодоления: увеличение атриовентрикулярной задержки, применение специальных режимов программирования приборов, стимуляция межжелудочковой перегородки и бивентрикулярная электрокардиостимуляция.*

**Ключевые слова:** электрокардиостимуляция, правый желудочек, атриовентрикулярное проведение, хроническая сердечная недостаточность, фибрилляция предсердий, бивентрикулярная стимуляция

*The disadvantages of pacing of the right ventricular apex are considered. The following ways of their overcoming are discussed: increased atrioventricular delay, use of specific regimen of the device programming, pacing of the interventricular septum, and biventricular pacing.*

**Cardiac pacing, right ventricle, atrioventricular conduction, heart failure, atrial fibrillation, biventricular pacing**

Кардиостимуляция уже многие годы позволяет проводить электротерапию нарушений автоматизма и проводимости. Однако формальная нормализация частоты сердечных сокращений и устранение риска смерти от «остановки сердца» уже давно перестали быть главной задачей, решаемой с помощью имплантации электрокардиостимулятора (ЭКС). Сегодняшний день ставит задачи улучшения качества жизни, социальной, бытовой и трудовой реабилитации [1]. Каковы пути улучшения результатов постоянной электрокардиостимуляции?

Из исследований проведенных еще в 90-х годах нам известно, что DDD/R режим стимуляции превосходит режим VVI/R в долгосрочной перспективе за счет снижения риска развития фибрилляции предсердий (ФП) и/или прогрессирования хронической сердечной недостаточности (ХСН). Одно из этих исследований - Danish Pacemaker Study. Исследовались группы AAI и VVI режимов стимуляции у больных с синдромом слабости синусового узла (СССУ). В группе AAI была лучше выживаемость и более низкая частота развития сердечной недостаточности. Так было показано, что нативное проведение лучше (Andersen HR, et al., 1997). Не режим ли стимуляции является ключевым?

Начало XXI века принесло нам результаты новых клинических исследований режимов стимуляции. Среди них:

- DAVID Trial. Исследование проводилось у больных со сниженной фракцией выброса, которые были кандидатами на имплантацию кардиовертера-дефибриллятора (ИКД) и им имплантировались одно- и двухкамерные устройства. Результаты исследования оказались неожиданными. DDDR режим с частотой 70 в минуту, который

считался наиболее физиологичным, был хуже, чем VVI с частотой 40 в минуту. В группе DDDR процент стимуляции правого желудочка был 80%. Исследование показало, что стимуляция правого желудочка была менее выгодна, чем собственный ритм у больных с выраженной дисфункцией правого желудочка [2].

- MOST Trial - исследование по выбору режима стимуляции у больных с дисфункцией синусового узла. Частота госпитализаций в исследовании не зависела от режима стимуляции, но была связана с преобладанием правожелудочковой стимуляции, когда процент стимуляции был более 40% [3].

- DANISH II Study - проводило сравнение групп AAI, DDD (с короткой атриовентрикулярной (AB) задержкой) и DDD (с длинной AB задержкой) у больных с дисфункцией синусового узла. Количество эпизодов фибрилляции предсердий в отдаленные сроки было достоверно меньше в группе AAI (Nielsen J. et al., 2003). «Функционально» AAI/R режим превосходил DDD/R, когда процент стимуляции правого желудочка превышал 40%.

Таким образом, стало понятно что, стимулируя правый желудочек, мы повышаем риск развития фибрилляции предсердий, прогрессирования сердечной недостаточности, увеличиваем количество госпитализаций, снижаем качество жизни наших больных.

В тоже время выявлены значительные изменения внутрисердечной гемодинамики, значительно более плохой прогноз, низкое качество жизни у больных с нарушениями внутрижелудочковой проводимости (в первую очередь с блокадой левой ножки пучка Гиса). Активно начала внедряться бивентрикулярная стимуляция как метод лечения сердечной недостаточности у больных с