

Глава 6 ПОВЕРХНОСТНОЕ ЭКГ-КАРТИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА

И.П. Полякова

Известно, что “золотым стандартом” в диагностике нарушений ритма сердца (НРС) является инвазивное электрофизиологическое исследование (ЭФИ). Оно позволяет выявить механизм аритмии, детально характеризовать аритмогенную зону и процесс распространения возбуждения по миокарду [1, 2]. Однако в клинической практике наиболее широко используются неинвазивные методы исследования, которые обеспечивают диагностическую информативность в сочетании с возможностью многократного повторения, атравматичностью и необременительностью для пациента. Ведущим и наиболее распространенным методом инструментального исследования в диагностике различных видов НРС является электрокардиография – изучение электрической активности сердца путем анализа электрокардиограммы (ЭКГ) или использование других модифицированных электрокардиографических методов, преимущественно построенных с помощью компьютерных технологий [3–5].

Электрические потенциалы на поверхности тела человека, создаваемые токами, генерируемыми в сердце, были впервые измерены Waller более 100 лет назад. Тогда ЭКГ как зарегистрированная на поверхности тела в определенной точке электрическая активность сердца была одним из немногих инструментов для оценки работы сердца. И тем не менее, сегодня ЭКГ остается наиболее используемым диагностическим методом из-за его простоты и богатого информационного содержания. При нарушениях ритма, то есть во всех случаях, когда ритм не является нормальным синусовым ритмом, только ЭКГ может помочь выявить особенности электрофизиологического процесса в миокарде. Цели ЭКГ-исследования остались теми же, что и сто лет назад: измерить и визуализировать электрические потенциалы на поверхности тела и получить как можно больше сведений об электрофизиологическом состоянии всех отделов миокарда [3].

Помимо регистрации самих нарушений ритма в развитии электрокардиографического анализа

аритмий можно выделить три основных подхода, которые используются на протяжении последних десятилетий. Это верификация предвестников потенциально опасных аритмий, анализ пусковых факторов и выявление морфологического или функционального субстрата аритмий. Фундаментом для решения этих задач служат современные компьютерные технологии, на которых базируется развитие таких направлений электрокардиографии, как холтеровское мониторирование с анализом вариабельности ритма сердца, ЭКГ высокого разрешения (ЭКГ-ВР), спектрально-временное картирование и другие модификации ЭКГ-ВР [6].

Широко вошедшее в клиническую практику холтеровское мониторирование ЭКГ в течение суток и более позволяет выявлять нарушения ритма и оценивать их частоту. Оно используется для идентификации типа аритмии, оценки работы водителя ритма, определения возможных механизмов аритмии, оценки эффективности медикаментозных препаратов [6, 7].

Вариабельность ритма сердца рассматривается как результат совокупного действия функциональных систем, регулирующих работу сердца, и как индикатор адаптационных процессов. В настоящее время показателями, полученными различными методами анализа вариабельности ритма сердца, уделяется большое внимание как маркерам риска развития жизнеугрожающих аритмий вследствие постоянного изменения баланса симпатической и парасимпатической нервной системы (за достаточно продолжительный период от 5 минут до 24 часов) [6].

Возможностям ЭКГ-ВР в прогнозировании развития потенциально опасных аритмий посвящено большое количество исследований. Было доказано, что неинвазивная (с поверхности тела) регистрация поздних потенциалов желудочков отражает замедленную фрагментированную деполяризацию миокарда в области локализации субстрата для реализации механизма ре-ентри и является независимым фактором риска развития желудочковой тахикардии, фибрилляции желудочков и внезапной смерти у больных с инфарк-

том миокарда. В настоящее время временной анализ ЭКГ-ВР дополняется исследованием предсердной активности, спектральным анализом, спектрально-временным и спектрально-турбулентным картированием. Подтверждены данные о прогностическом значении поздних потенциалов желудочков и поздних потенциалов предсердий в развитии электрической нестабильности миокарда и, как следствие, жизнеугрожающих аритмий [8–12].

Несомненно, развитие всех перечисленных выше методов и получение с их помощью или с помощью комбинаций этих методов новых данных способствует диагностике аритмий и раннему выделению групп больных с повышенным риском развития жизнеугрожающих аритмий. Однако ни один из этих подходов не предоставляет возможности для локализации субстрата аритмии.

Естественно, локализовать нарушения электрофизиологического процесса в сердце, выявить в миокарде электрически неомогенную область как субстрат аритмии могут прямые отведения (электрограммы) непосредственно из различных участков миокарда во время интраоперационного картирования в ходе «открытой» операции на сердце или при инвазивном ЭФИ. Может ли неинвазивное электрокардиографическое исследование решать эту задачу с точностью, удовлетворительной для современных требований диагностики?

В ходе эволюции методов традиционной ЭКГ исследователи вели работы по диагностическо-

му совершенствованию систем электрокардиографических отведений и их информационной эффективности, пытались выделить наиболее полезные отведения. До сих пор в клинической практике используются довольно разнообразные системы отведений с поверхности тела человека.

Регистрация 12 отведений поверхностной ЭКГ включает в себя регистрацию во фронтальной плоскости трех двухполюсных отведений (I, II, III) и трех модифицированных униполярных отведений (aVR, aVL, aVF), а также регистрацию шести униполярных отведений с передней поверхности грудной клетки в горизонтальной плоскости (V_1-V_6). Эта методика обладает бесспорной практической ценностью и до настоящего времени является наиболее распространенной в клинических условиях. Редко используются в практике некоторые системы с меньшим числом отведений, например: 3-осевая геометрическая система Неба; системы с ортогональными корригированными (система Франка, система МакФи–Парунгао и др.) и некорригированными (система Трэтви; система Дехтяря) отведениями; система двухполюсных отведений по Гуревичу и др. [6].

До сих пор продолжается широкое обсуждение систем ЭКГ-отведений, сравниваются их физическая обоснованность, диагностическая информативность и практическая возможность использования в клинических условиях. Достоинствами корригированных ортогональных систем отведений являются их малое число, отсутствие зависимости от экстракардиальных факторов и

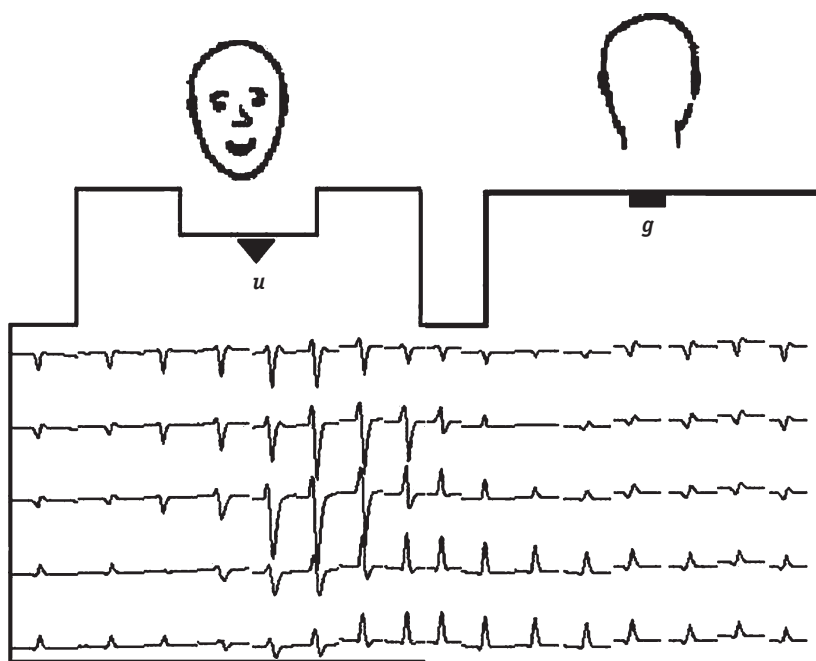


Рис. 6.1. Результаты регистрации 80 отведений ЭКГ у здорового обследуемого. На «развертке» поверхности грудной клетки сечение по правой заднеаксиллярной линии, показаны комплексы QRS в точках наложения 80 электродов. Обозначены среднестернальная (u) и вертебральная (g) линии

простота физической интерпретации. Однако оказалось, что информация, получаемая как от ортогональных отведений, так и от всех двупольных отведений, обеднена ввиду отсутствия чувствительности к недипольной локальной составляющей электрического поля сердца.

Отведения на поверхности грудной клетки V_1-V_6 были введены в дополнение к стандартным отведениям для оценки электрической активности сердца в горизонтальной плоскости вдоль переднезадней (V_1-V_4) и вдоль трансверсальной (V_5-V_6) оси. В начале использования отведения V_1-V_6 называли “полупрямыми”, так как они позволяли выявить патологические процессы в подлежащих областях миокарда. Морфологические характеристики ЭКГ-сигналов, регистрируемых в этих отведениях, отражают, прежде всего, электрическую активность миокарда передней и боковой стенок левого желудочка. Тем не менее, изменения процессов деполяризации/реполяризации в области задней стенки миокарда также могут проявляться в прекардиальных отведениях. Это подтверждается, например, фактом увеличения зубцов R и T в правых грудных отведениях при инфаркте миокарда задних отделов левого желудочка.

Для получения полной диагностической информации при проведении ЭКГ-исследований и для максимального отражения характера электрофизиологических процессов в сердце была предложена методика **поверхностного картирования сердца**, основанная на **регистрации множественных отведений ЭКГ** со всей поверхности грудной клетки. На рис. 6.1 представлены результаты поверхностного картирования (ПК) здорового обследуемого – комплексы QRS (80 отведений ЭКГ) на «развертке» поверхности грудной клетки в точках наложения электродов [13, 14].

В современных системах ПК одновременно регистрируется от 64 до 224 отведений. Ниже

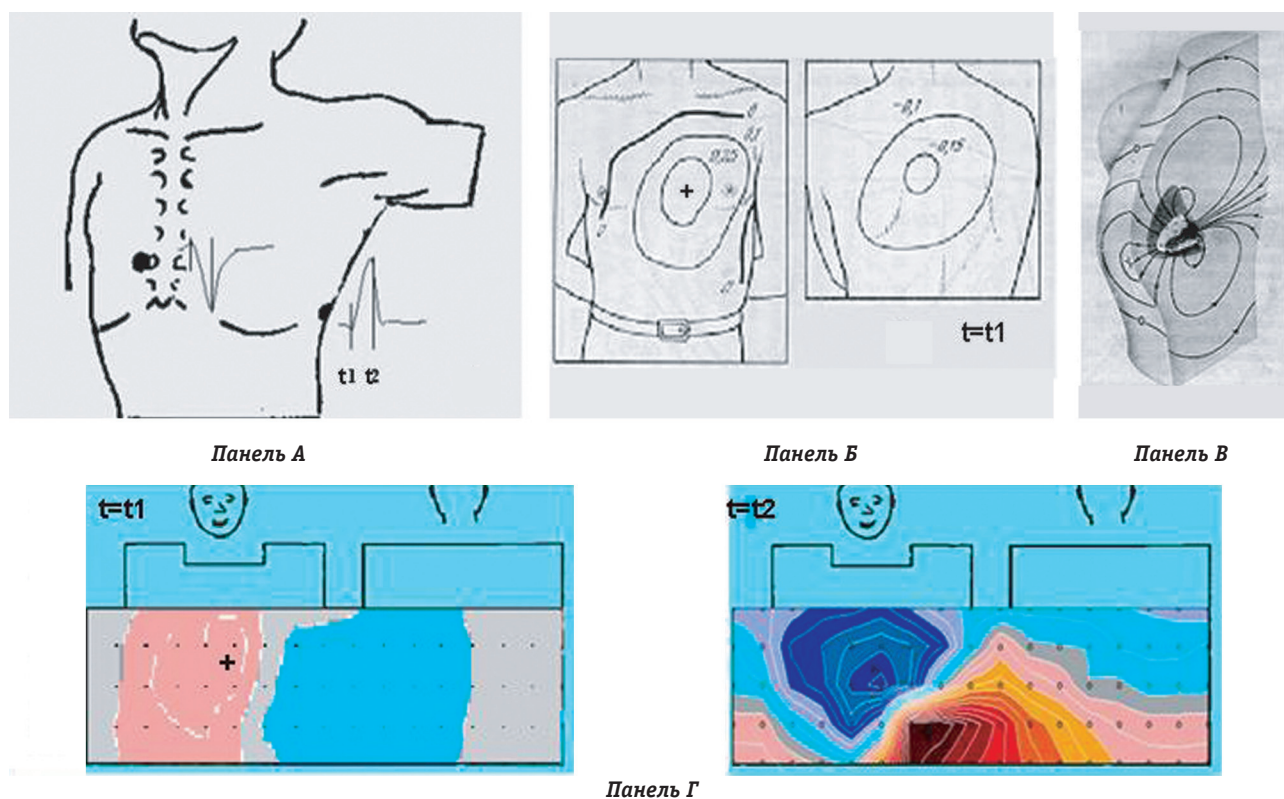


Рис. 6.2. Распределение электрического поля сердца на поверхности грудной клетки в последовательные моменты сердечного цикла у здорового человека. *Панель А* – на поверхности грудной клетки показаны отведения ЭКГ V_1 и V_6 , отмечены моменты сердечного цикла 1 и 2 в начале и в середине фазы деполяризации желудочков. *Панель Б* – распределение потенциалов на поверхности тела человека в начале фазы деполяризации желудочков (момент 1). Линиями соединены точки с равными значениями потенциала. *Панель В* – схематическое представление электрических процессов в миокарде в момент $t=t_1$. *Панель Г* – распределение потенциалов на развертке поверхности грудной клетки человека в различные моменты сердечного цикла на изопотенциальных картах. $t=t_1$ – изопотенциальная карта, соответствующая моменту 1 на панели А – началу фазы деполяризации желудочков; $t=t_2$ – изопотенциальная карта, соответствующая моменту 2 на панели А – концу фазы деполяризации желудочков. Знаками (•) обозначены точки наложения электродов. Линиями соединены точки с равными значениями потенциала, которые отображаются на карте в виде цвета, характеризующего знак и амплитуду: синяя гамма соответствует отрицательным значениям, а красная – положительным; более интенсивный цвет отражает большее значение потенциала. Знаками (+) и (–) обозначены соответственно максимальные и минимальные значения потенциала

будет обсуждаться проблема полного набора электродов, однако встает вопрос, каким образом можно проанализировать такое количество электрокардиограмм со всей поверхности грудной клетки?

Анализ традиционных 12 отведений ЭКГ включает в себя оценку интенсивности регистрируемых потенциалов в определенных участках на поверхности грудной клетки, интерпретацию их временных и амплитудных характеристик как в определенный момент времени, так и в динамике. Аналогичным образом возможно проанализировать данные, полученные при регистрации 64, 80 или 224 поверхностных отведений. Однако в этом случае у нас появляется возможность в каждый момент сердечного цикла проанализировать электрические потенциалы на всей поверхности грудной клетки, а ведь их распределение – моментная картина электрического поля, – является моментной картиной электрического поля сердца, моментным проявлением кардиального электрофизиологического процесса (рис. 6.2). В любой момент сердечного цикла – момент t_1 или t_2 (рис. 6.2, панель А) в точках на поверхности тела регистрируются потенциалы. Соединяя линиями равные значения потенциалов, мы получаем картину распределения электрических потенциалов на поверхности тела (рис. 6.2, панель В), которая является поверхностным отражением электрических процессов в миокарде (рис. 6.2, панель В). Можно рассматривать моментное распределение потенциалов в заданный момент сердечного цикла, серию таких картин-распределений в последовательные моменты сердечного цикла – моменты 1 и 2 (рис. 6.2, панель Г), изменения поверхностной картины, происходящие за весь сердечный цикл или в течение длительного промежутка времени.

Если анализ карт-распределений обеспечивает достаточно тонкое пространственное разрешение кардиальных электрофизиологических явлений, то появляется возможность выделения локальных дефектов электрофизиологических свойств миокарда и локальных нарушений последовательностей де- и реполяризации. В клиническом плане это говорит о том, что использование ПК в диагностике может быть, в первую очередь, нацеленным на выявление электрофизиологической неоднородности миокарда, т.е. на топическую диагностику нарушений электрофизиологического процесса.

Последнее объясняет, например, повышенный интерес к диагностическим возможностям ПК при инфаркте миокарда, особенно при локализациях, трудно диагностируемых на основании регистрации 12 отведений поверхностной ЭКГ. Здесь речь идет о возможностях топичес-

кой диагностики патологического процесса (зона повреждения, переходная зона, анатомически сохранная структура) и его динамике. Об этом говорят работы авторов, использующих различные системы ПК [15–17].

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, АНАЛИЗ ДАННЫХ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В течение достаточно долгого времени ПК активно развивалось в экспериментальных исследованиях, в которых решались фундаментальные вопросы генеза ЭКГ. И в настоящее время продолжают экспериментальные работы по исследованию метода ПК и его модификаций. Изучается электрическое поле сердца у животных с разными типами активации миокарда, при миокардиальных повреждениях, смоделированных различными способами; анализируется влияние на поверхностные потенциалы геометрического фактора, т.е. позиции сердца в грудной клетке, его изменения при дыхании, различных объемах крови и т.д.; проводится экспериментальный анализ нормального и аномального интрамурального и эпикардиального процесса возбуждения при стимуляции различных точек миокарда желудочков. Для выявления корреляции между поверхностными и внутрисердечными явлениями активно ведутся работы по анализу данных ПК, проводимого одновременно с ЭФИ и эндокардиальным стимуляционным картированием, с целью установить количественную связь между поверхностными и внутрисердечными электрическими явлениями [19–20].

Клиническое применение метода ПК началось с развитием компьютерных технологий, что предоставило возможность автоматизации картирования, численного анализа и накопления больших массивов данных, необходимых для обработки и визуального представления регистрируемых поверхностных потенциалов. Было создано множество различных устройств и компьютерных систем для ПК сердца. Как правило, они различались параметрами регистрации (число электродов, методы их наложения, регулярность сетки электродов и т.д.) (рис. 6.3).

Проблема выбора отведений, возникающая при разработке метода ПК на этапе сбора данных, обсуждалась в литературе в течение достаточно долгого времени. Поскольку задача ПК состоит в углубленном, по сравнению с традиционной электрокардиографией, изучении электрического поля сердца, в первых работах старались получить максимально полную пространственную запись ЭКГ. Опыт картирования показывает, что имеется пространственный избыток ЭКГ-отсче-

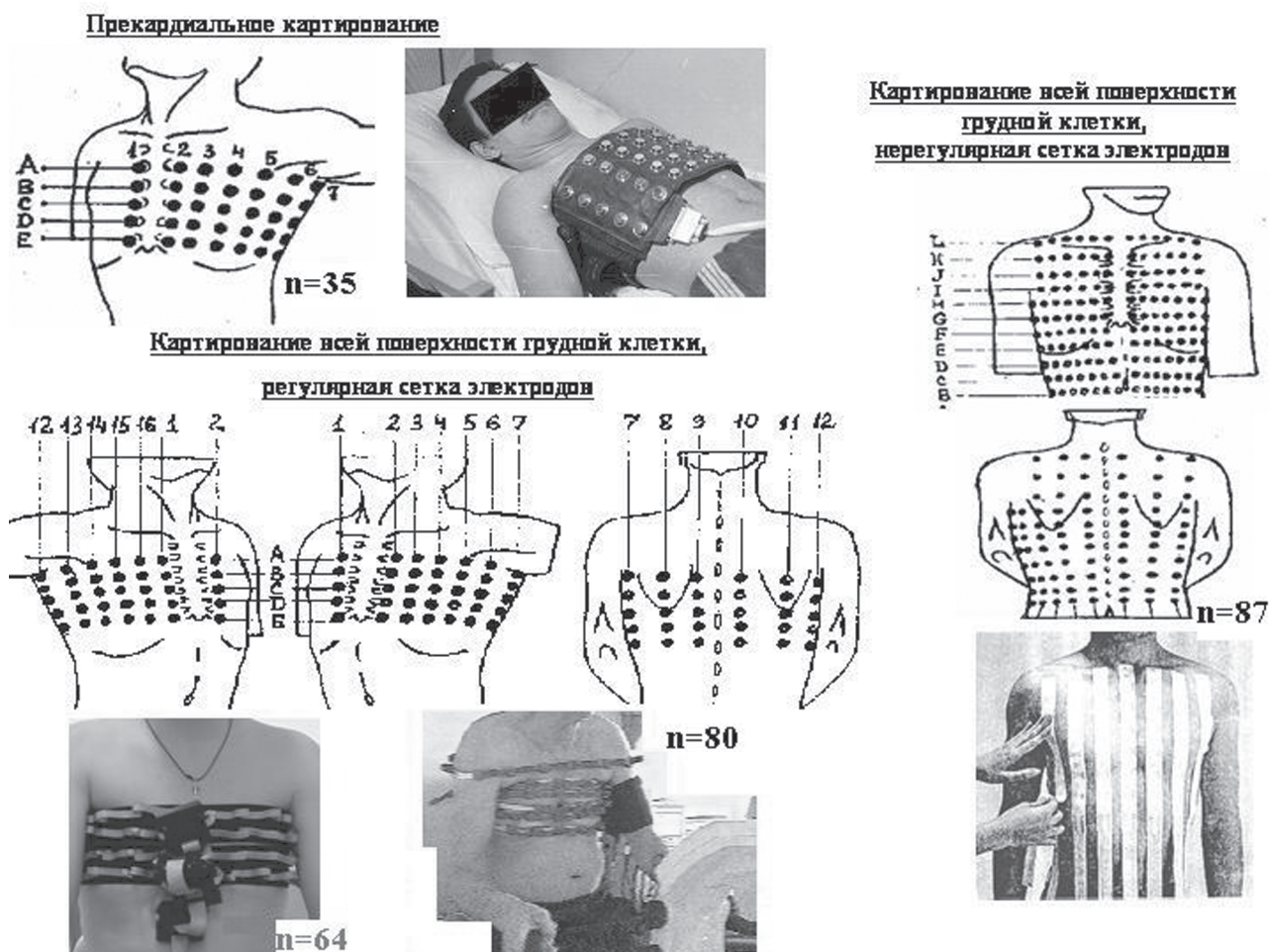


Рис. 6.3. Регистрирующая часть в системах поверхностного ЭКГ-картирования. Наборы электродов – число (n) и варианты их расположения на поверхности грудной клетки

тов. Так как исследователи достаточно часто наблюдали, что основная пространственно-высоко-частотная информация возникает на передней и боковой поверхности груди, многие стали уменьшать плотность записи со спины. В норме, действительно, значительные градиенты потенциала возникают в областях, близких к сердцу, преимущественно на передней части грудной клетки. В задних и латеральных областях в случае нормы изопотенциальные линии ровные, широко разделены и имеют простой вид. При аномальном течении электрических процессов в миокарде распределение электрического поля на поверхности грудной клетки может значительно деформироваться.

Методы наложения электродов очень разнообразны. На практике исследователи вынуждены идти на компромисс между необходимостью использовать достаточно большое число электродов и ограниченными техническими возможностями. Тем более, что в “Предварительных рекомендациях Европейского комитета по кар-

диологии” (NEMY, 1999) по системам поверхностного картирования предлагается использовать **не менее 64** одновременно (синхронно) регистрируемых отведений.

Однако и сегодня бывают ситуации, когда регистрацию электрических потенциалов на поверхности грудной клетки можно осуществить только последовательно (несинхронно). На рис. 6.4 представлены результаты ПК у пациента в возрасте 4,5 мес с синдромом Вольфа–Паркинсона–Уайта (или синдром WPW). Поскольку у младенцев затруднено использование специальных регистрирующих устройств для ПК, то в данном случае исследование проводили, последовательно накладывая по 4 специальных “детских” электрода на поверхность грудной клетки с записью на 4-канальный электрокардиограф. Таким образом, всего было зарегистрировано 27 ЭКГ-отведений. Синхронизация данных проводилась по референтному отведению V_6 , которое регистрировалось постоянно. Полученные данные вводились через аналогово-цифровой

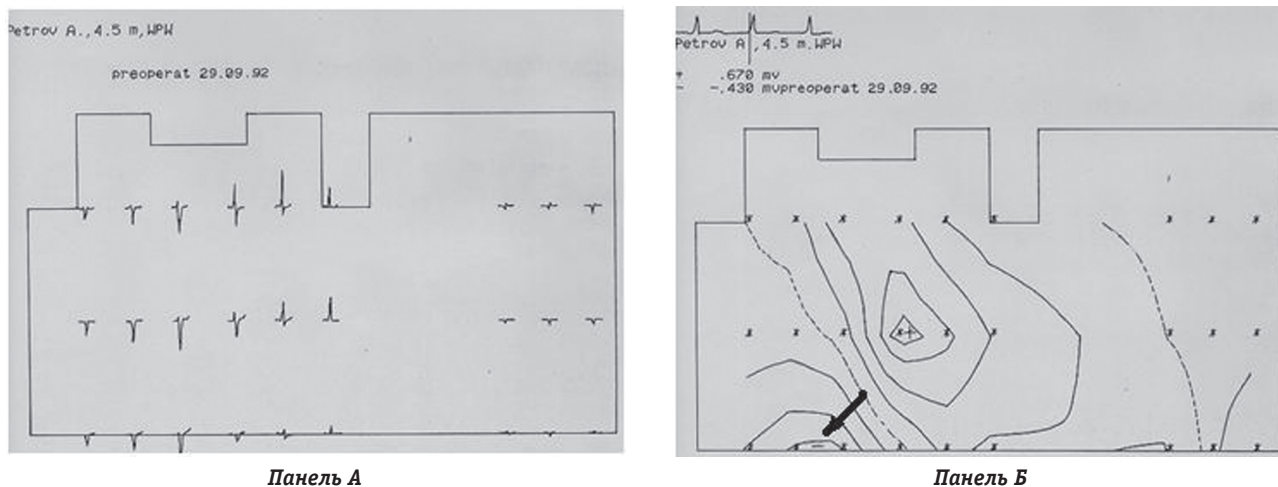


Рис. 6.4. Результаты поверхностного картирования пациента П., 4,5 мес (НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН). *Панель А* – групповая запись 27 отведений ЭКГ (по 3 отведения + синхроотведение). На «развертке» поверхности грудной клетки – комплексы QRS в точках наложения электродов. *Панель Б* – изопотенциальная карта на «развертке» поверхности грудной клетки в начале фазы деполяризации желудочков. Соответствующий момент сердечного цикла показан маркером на синхроотведении над картой. Обозначения те же, что на рис. 6.2

преобразователь в компьютер, где в режиме «off-line» проводились соответствующие обработка и анализ [21–24].

В настоящее время сформированы определенные требования к компьютерной системе для регистрации и анализа множественных отведений ЭКГ с поверхности грудной клетки. Современная система для поверхностного ЭКГ-картирования должна обеспечивать одномоментную регистрацию ЭКГ не менее чем в 64 точках на поверхности грудной клетки. Область регистрации должна обязательно включать в себя всю переднебоковую поверхность грудной клетки между II и VI межреберьем.

В качестве примера приведем специализированную компьютерную электрокардиологическую систему «Кардиаг» (Чехия), используемую в НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН, Детском НПЦ нарушений сердечного ритма на базе ФГУ «МНИИ педиатрии и детской хирургии Росмедтехнологий», Главном военном клиническом госпитале им. Н.Н. Бурденко. В этих учреждениях накоплен большой опыт проведения исследований – ПК у пациентов с нарушениями ритма сердца. Данная система позволяет регистрировать ЭКГ одномоментно с 80 электродов на грудной клетке: 12 общепринятых отведений и ортогональные отведения по Франку с последующей обработкой на персональном компьютере в режиме «on-line». Конструкция регистрирующей части позволяет проводить исследование при положении пациента как лежа, так и сидя, а также одновременно с проведением стресс-тестов, фармакологических тестов, велоэргометрии или чреспищеводной электростимуляции сердца (ЧПЭС). 80 поверхностных электродов

размещаются в 5 отдельных эластичных поясах (по 16 в каждом) и составляют регулярную сетку на поверхности грудной клетки пациента с I по VI межреберье. В системе «Кардиаг» набор эластичных поясов позволяет проводить исследование у пациентов разного возраста и с различными конституциональными особенностями. Минимальные размеры пояса с электродами позволяют проводить исследование у детей 3–4 лет.

Во всех современных системах ПК для представления полученных данных используются карты распределения кардиоэлектрического потенциала на «развертке» поверхности грудной клетки с указанием анатомических ориентиров. Традиционным является построение **изопотенциальных** контурных карт. На рис. 6.4, *панель Б* представлена изопотенциальная карта на «развертке» поверхности грудной клетки в начале фазы деполяризации желудочков. Знаками (*) обозначены точки наложения электродов. Линиями соединены точки с равными значениями потенциала; знаками (+) и (–) обозначены, соответственно положительные и отрицательные экстремальные значения потенциала. Соответствующий момент сердечного цикла показан маркером на синхроотведении над картой.

Часто получают динамическую последовательность таких карт во время сердечного цикла. В вышеназванных «Предварительных рекомендациях Европейского комитета по кардиологии» (NEMY, 1999) предлагается использовать в системах ПК карты на прямоугольной «развертке» поверхности грудной клетки с обозначением аксиллярных областей и середины грудины.

На изопотенциальных картах можно сразу увидеть зависимость амплитуд потенциалов от

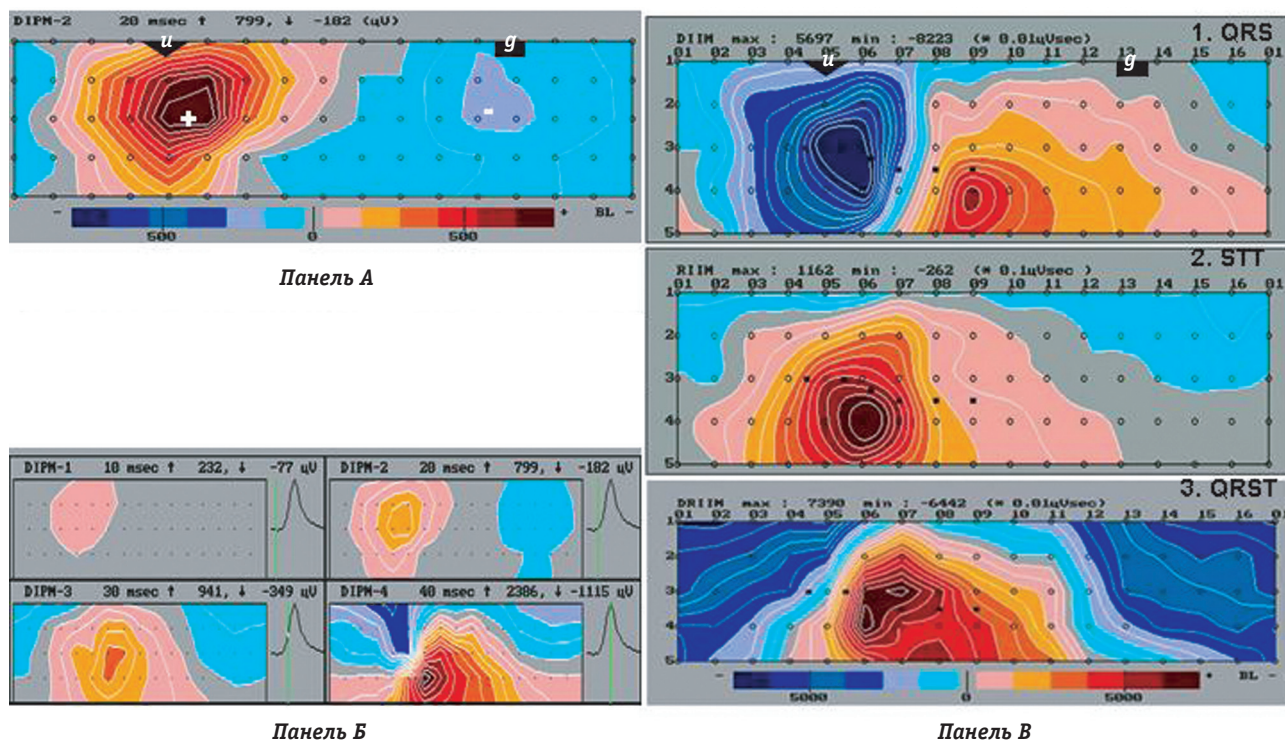


Рис. 6.5. Поверхностные изопотенциальные и изоинтегральные карты. *Панель А* – изопотенциальная карта на схеме «развертки» поверхности грудной клетки (сечение по правой заднеподмышечной линии). Знак (o) обозначает точки наложения электродов; момент сердечного цикла, которому соответствует карта, указан в цифровой форме (здесь – 20-я мс от начала комплекса QRS); знак (u) – положение стеральной линии, знак (g) – положение вертебральной линии. Значения потенциала отображаются на карте в виде цвета, характеризующего знак и амплитуду: синяя гамма соответствует отрицательным значениям, а красная – положительным; более интенсивный цвет отражает большее значение потенциала. Максимальное (799 мкВ) и минимальное (-0,182 мкВ) значения потенциала указаны также в цифровой форме. *Панель Б* – последовательность изопотенциальных карт (в интервале от 10 до 40 мс от начала комплекса QRS с шагом 10 мс). *Панель В* – изоинтегральные карты на интервалах ST-T и QRST, комплексов QRS. В каждой точке регистрации рассчитывается площадь под кривой ЭКГ (интеграл): 1) на комплексе QRS; 2) на интервале ST-T; 3) на интервале QRST. Линиями соединены точки с равными значениями площади. Обозначения на схеме «развертки» поверхности грудной клетки те же, что на предыдущих рисунках. Аббревиатуры DIIM, RIIM и DRIIM обозначают интервалы сердечного цикла, на которых рассчитывалась площадь. Здесь это соответственно интервалы ST-T или QRST, комплекс QRS (Depolarization and Repolarization IsoIntegral Map). Максимальные и минимальные значения площади представлены также в цифровой форме

точки наложения электродов. В распределении потенциалов на поверхности грудной клетки (в изопотенциальной карте) в каждый момент сердечного цикла отражается моментная картина электрофизиологического процесса в сердце: нормальная или anomальная.

На рис. 6.5, *панель А* показаны наиболее используемые формы изопотенциальных поверхностных карт, построенных в системе «Кардиаг». Здесь и на последующих иллюстрациях изопотенциальная карта строится на прямоугольной схеме «развертки» поверхности грудной клетки, «разрезанной» по правой заднеподмышечной линии; знак (o) обозначает точки наложения электродов; знак (u) – положение стеральной линии, знак (g) – положение вертебральной линии; момент сердечного цикла, которому соответствует карта, указан в цифровой форме (здесь – 20-ая мс от начала комплекса QRS). Значения потенциала отображаются на карте в виде цвета, характе-

ризующего знак и амплитуду: синяя гамма соответствует отрицательным значениям, а красная – положительным; более интенсивный цвет отражает большее значение потенциала. Максимальное (+799 мкВ) и минимальное (-0,182 мкВ) значения потенциалов указаны также в цифровой форме. На рис. 6.5, *панель В* – последовательность изопотенциальных карт в начале процесса деполяризации от 10 до 40 мс комплекса QRS с шагом 10 мс.

Также часто в клинической практике используют изоинтегральные карты: в каждой точке регистрации рассчитывается площадь (интеграл) под кривой ЭКГ на выбранном интервале. Линии, соединяющие точки с равными значениями площади, образуют изоинтегральную карту. Например, изоинтегральные карты на интервале j-QRS (расчет площади комплекса j-QRS во всех отведениях на поверхности грудной клетки) обладают очень высо-

кой информативностью в диагностике очаговых изменений миокарда желудочков; изоинтегральные карты на интервале ST (расчет площади сегмента ST во всех отведениях на поверхности грудной клетки) обладают очень высокой информативностью в диагностике ИБС. Изоинтегральные карты на всем интервале ST-T дают полезную информацию об аномалиях реполяризации.

На рис. 6.5, панель B показаны **изоинтегральные карты** на интервалах ST-T, QRST и комплексе QRS. В каждой точке регистрации рассчитывается площадь под кривой ЭКГ комплекса QRS, на интервалах ST-T и QRST соответственно. Линиями соединены точки с равными значениями площади. Обозначения на схеме развертки поверхности грудной клетки те же, что на рис. 6.4, панель A. Аббревиатура DRITM обозначает интервал сердечного цикла, на котором рассчитывалась площадь, здесь – это интервал QRST (Depolarization and Repolarization IsoIntegral Map). Значения площади под кривой ЭКГ на интервале QRST отображаются на карте в виде цвета, характеризующего знак и амплитуду: синяя гамма соответствует отрицательным значениям, а красная – положительным; более интенсивный цвет отражает большее значение потенциала. Максимальное (73,90 мкВ×с) и минимальное (–64,42 мкВ×с) значения площади указаны также в цифровой форме.

В повседневной клинической практике часто встает задача сравнения результатов ПК и решения вопроса, являются ли наблюдаемые особенности в распределении электрического поля случайными, находящимися в границах допустимых отклонений, или нет? При практическом использовании ПК вначале проводится визуальная проверка: видны ли определенные детали карты, есть ли необычные признаки в форме и динамике распределений поверхностного потенциала за сердечный цикл. Для сравнения построенных карт (нормы и патологии, при исследовании с медикаментозной пробой или с нагрузкой, при динамическом наблюдении пациента и т.д.) используется построение **разностной карты**, которую получают вычитанием контрольной карты из только что построенной. При этом в качестве контрольной может выступать «средняя нормальная» карта или карта обследуемого пациента, полученная ранее – до нагрузки или до операции и т.п. Среднюю, или «нормальную», карту получают усреднением амплитуд потенциала в каждой точке на поверхности грудной клетки для достаточно большого числа объектов в контрольной группе.

Несмотря на то что экспериментальной и клинической кардиологией накоплен значительный

опыт в оценке карт электрического поля сердца, проблемы анализа данных ПК и разработки физиологических критериев анализа остаются весьма актуальными.

Для построения прямой наглядной картины электрических событий в сердце было бы целесообразно рассмотреть вопросы, связанные с решением обратной задачи электрокардиологии, т.е. из поверхностных ЭКГ получить характеристики электрического генератора сердца и распределения потенциалов, генерируемых сердцем, на основе соответствующих биофизических моделей электрического кардиального генератора.

Решению обратной задачи электрокардиологии посвящено много исследований, от известных фундаментальных до самых современных [30]. Развитие компьютерных технологий, современных математических методов анализа многомерных данных служит базой для поиска новых способов оценки электрического генератора сердца и создаваемого им электрического поля (рис. 6.6).

Для визуализации электрофизиологических процессов в миокарде и их нарушений существуют различные модельные построения электрического генератора сердца, при этом совокупность реально существующих истинных клеточных генераторов заменяется эквивалентным источником тока, создающим такой же электрический потенциал вне сердца, как и истинный генератор. Чтобы оценить нормальные и аномальные, соответствующие патологическому состоянию миокарда, параметры кардиогенератора численными методами, электрические процессы в сердце приходится оценивать в рамках некоторой модели, достаточно упрощенной, чтобы иметь возможность получить конечное решение. Таким образом, модель кардиогенератора должна быть достаточно проста, но, с другой стороны, адекватна поставленной задаче.

Трудности применения этих подходов связаны, среди прочих причин, и с необходимостью геометрического описания поверхностей сердца и грудной клетки и особенностей их взаимного расположения. Помимо этого, существуют значительные трудности модельного описания сложных электрофизиологических явлений в патологически измененном миокарде. Однако уже сегодня внушают оптимизм результаты, полученные в последние годы в Кливлендском университете группой исследователей под руководством Y. Rudy. В результате их многолетних исследований построена программа трехмерной реконструкции электрических процессов в сердце человека из неинвазивных измерений (“electrocardiographic imaging”) [10, 25, 26]. Здесь регистрация 224 поверхностных ЭКГ дополняется геометрической информацией о

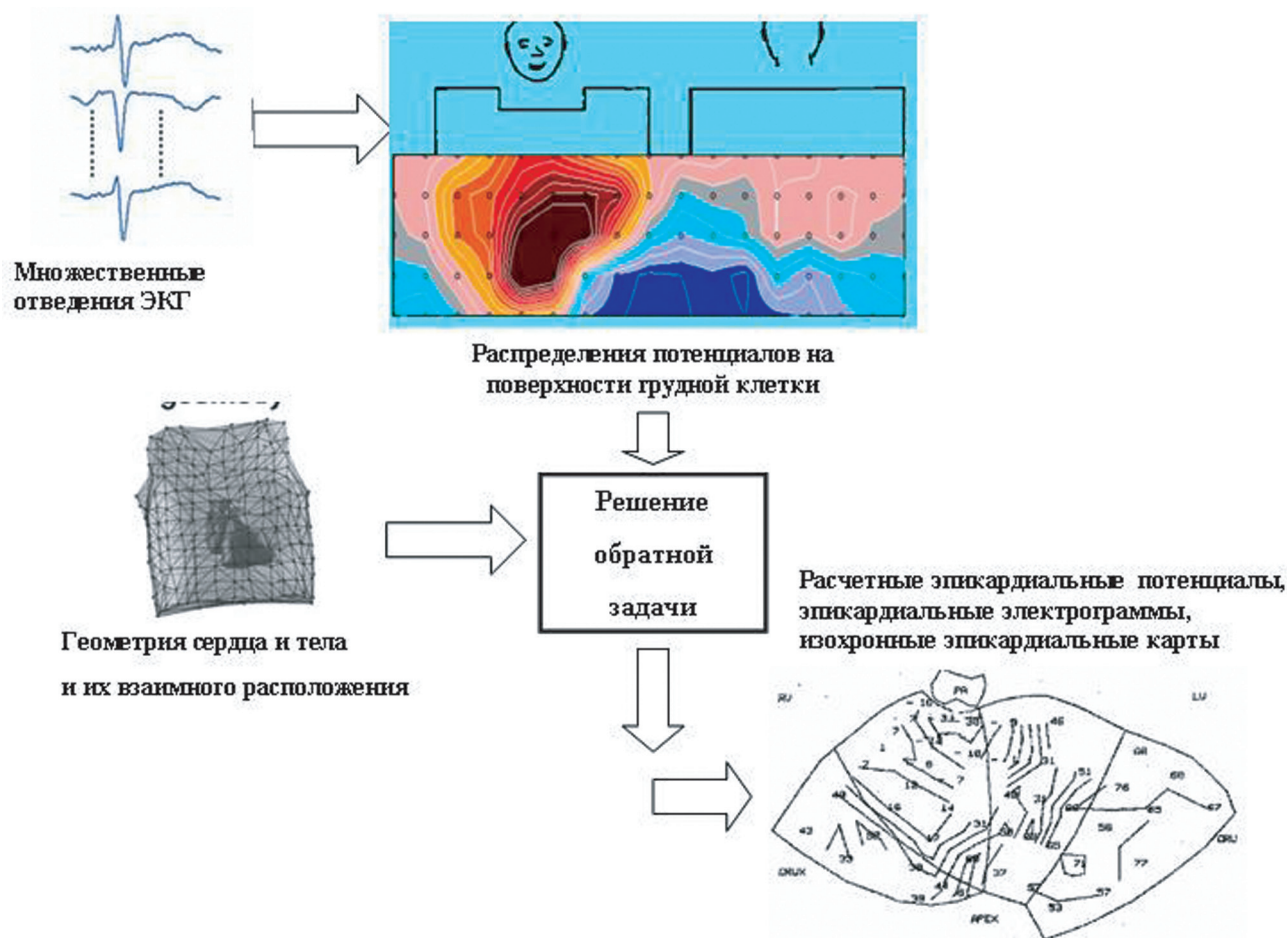


Рис. 6.6. Решение обратной задачи электрокардиологии в терминах эпикардальных потенциалов

поверхностях сердца и тела и их взаимном расположении, полученной средствами компьютерной томографии. Вначале алгоритмы были опробованы в экспериментальных исследованиях. В настоящее время опубликованы первые результаты построения “electrocardiographic imaging” процессов предсердной и желудочковой активации и желудочковой реполяризации в нормальном сердце человека и в сердце с нарушениями проводимости (блокада правой ветви пучка Гиса); процесса фокальной активации, инициированной правой или левой желудочковой стимуляцией, и процессов, возникающих при трепетании предсердий, сопоставленные с результатами инвазивных электрофизиологических исследований у пациентов с соответствующей патологией [25, 26].

То, что достигнуто этой группой исследователей, оценивают как истинную кульминацию технологического прогресса и наиболее значительный шаг вперед со времени начальных подходов к обратной задаче электрокардиологии [25, 26].

Подчеркнем, что “обратные задачи” (не только в кардиологии) не имеют однозначного решения. Группа ученых под руководством Y. Rudy

смогла подойти к численному решению электрокардиологической обратной задачи, вводя ограничения, с помощью современных средств получения изображений и самых современных технологий регистрации. На основании этого появляется возможность рассчитать с высокой степенью точности карты эпикардальных потенциалов из потенциалов, зарегистрированных на поверхности тела. Как сообщают авторы (R. Ghanem и соавт., 2005), в предсказанных и действительно измеренных паттернах эпикардальной активации достигается точность до 1 см. Отметим, что полученные (на трех больных) результаты сравнения расчетных и реально измеренных эпикардальных потенциалов имели погрешности, которые были обусловлены тем, что расчетные данные для интактной грудной клетки сравнивались с данными, измеренными при открытии грудной клетки; кроме того, эпикардальные карты активации не обеспечивают полную картину трехмерной сердечной активации. Тем не менее, то что полученные данные так хорошо согласуются, свидетельствует о многообещающих возможностях “electrocardiographic imaging” [27, 28].

Несмотря на значимость полученных результатов, уровень использованных технологий, сложность математического аппарата и необходимой диагностической информации не позволяют широко использовать в повседневной клинической практике данный подход.

Сегодня в диагностике аритмий большинство практических критериев ПК пока еще построено на традиционном анализе поверхностных карт, алгоритм которого приведен на рис. 6.7. Для топической и дифференциальной диагностики нарушений ритма сердца (шаг 4) необходима регистрация хотя бы одного сердечного сокращения с манифестацией аритмии (шаг 1). Например, любого комплекса QRS при манифестирующем синдроме предвозбуждения; хотя бы одного комплекса QRS с признаками предвозбуждения при интермиттирующем синдроме предвозбуждения; хотя бы одного стимулированного комплекса QRS с признаками предвозбуждения при проведении чреспищеводной стимуляции у пациента с латентной формой синдрома предвозбуждения; хотя бы одного не синусового сокращения при экстрасистолии. Далее (шаг 2) анализируется интересующий интервал PQRS или, например QRST, производится идентификация его основных элементов. Анализ изопотенциальной карты и/или последователь-

ности карт (шаг 3) дает возможность сделать заключение о локализации аритмогенной зоны.

Для выявления и локализации нарушений реполяризации миокарда (шаг 5) анализируют синусовое сокращение. Как правило, это анализ изопотенциальных и/или изоинтегральных карт на интервале ST-T и анализ изоинтегральной карты на всем интервале QRST. Выявление значимых нарушений процесса реполяризации и сформированной зоны неоднородности или негетогенности миокарда позволяет оценить аритмическую уязвимость миокарда.

ТОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА НАРУШЕНИЙ РИТМА СЕРДЦА

При нарушениях ритма сердца, обусловленных нарушением формирования или проведения импульса, локализовать аритмогенную зону с высокой точностью позволяют изопотенциальные карты или моментные распределения электрических потенциалов на поверхности грудной клетки. Динамика негативной и позитивной зон потенциала за весь сердечный цикл является отражением динамики волновых фронтов в миокарде; траектории движения экстремумов потенциала (глобальных или дополнительных) на изопотенциальных картах комплекса QRS соответствуют распространению волны эпикардальной желудочковой активации; нарушения электрофизиологического процесса в миокарде желудочков (нарушения процессов де- и реполяризации миокарда) отражаются на этих картах, что и позволяет локализовать области миокарда, в которых возникают эти нарушения.

ПК у здоровых обследуемых

Для правильной интерпретации карт поверхностных потенциалов и решения вопроса, можно ли отнести поверхностные карты обследуемого к картам практически здорового человека, необходимо знать нормальные конституционально-позиционные варианты поверхностных распределений электрического поля сердца человека.

Основные свойства моментных изопотенциальных и изоинтегральных поверхностных карт у обследованных людей без кардиальной патологии изучались и продолжают изучаться различными авторами [29]. Они хорошо соответствуют общеизвестной последовательности активации предсердий и желудочков, подробно изложенной в ряде экспериментальных и клинических работ.

Распределение потенциалов в фазе деполяризации желудочков носит преимущественно дипольный характер. Такие основные характерные признаки, как локализация начальной негатив-



Рис. 6.7. Алгоритм анализа данных поверхностного ЭКГ-картирования при диагностике аритмий

ной зоны (на спине) и начальной положительной зоны (прекардиальная область), недипольность или мультиполюсность карт в определенные моменты сокращения желудочков, место и время появления и исчезновения дополнительных экстремумов, траектория движения экстремумов потенциала (глобальных или дополнительных) на изопотенциальных картах в течение комплекса QRS, достаточно однозначно объясняются с точки зрения нормальной электрофизиологии сердца. Физиологический базис всех трансформаций изопотенциальных карт в периоды, соответствующие волне P, комплексу QRS, сегменту ST-T и волне T, обсуждается в указанной выше литературе.

Распределение потенциалов электрического поля сердца на поверхности грудной клетки как у конкретного испытуемого, так и от одного испытуемого к другому, подвержено изменениям, обусловленными физиологическими факторами. Для оценки нормальных конституционально-позиционных вариантов поверхностных распределений электрического поля сердца человека проводился ряд масштабных исследований [29]. Помимо этого, большинство авторов, исследующих возможности ПК в кардиологической диагностике, формировали группы нормы для сравнительного анализа.

Исследование электрического поля сердца у детей не выявило существенных отличий от взрослых. Особенности распространения возбуждения в миокарде желудочков были отмечены только у детей младшего возраста (до 1 года), что отражало физиологическое преобладание правого желудочка в сердце новорожденного. Было показано, что в течение первого года жизни происходит заметная эволюция интегральных карт комплекса QRS и интервала ST-T и изменение направления соответствующих векторов в течение первого года жизни, когда изменяется соотношение времени деполяризации правого и левого желудочков. К 9-му месяцу жизни ребенка картина распределения электрического поля сердца на поверхности тела становится такой же, как у взрослых. У подростков отмечаются незначительные изменения соотношений амплитудных характеристик преимущественно между мужчинами и женщинами, что объясняется изменениями в геометрии положения сердца в грудной клетке. У здоровых людей старше 40 лет также отмечены несущественные половые различия в характере электрического поля сердца, обусловленные особенностями возрастных изменений [31].

Совокупные исследования показывают, что картина поверхностных распределений потенциалов зависит от конституциональных особеннос-

тей обследованных. В большой группе волонтеров от 10 до 80 лет возрастные особенности наблюдались только на картах лиц старше 50 лет и проявлялись они в виде смещения положительных экстремумов на картах QRS. Распределения поверхностных потенциалов у мужчин и женщин разного возраста отличались незначительно по амплитудным значениям QRS-потенциалов. Характер поверхностных распределений, локализация положительных и отрицательных экстремумов на всех видах карт, траектория их движения в течение сердечного цикла и другие особенности карт, которые рассматривались выше, не зависели от возраста и пола. У маленьких детей старше 1 года возрастные особенности поверхностных карт выражаются в амплитудных значениях потенциала и его экстремумов.

При нарушении формирования или проведения импульса аномальный характер электрофизиологического процесса в локальной области миокарда будет проявляться на поверхности грудной клетки аномальным распределением потенциалов в соответствующие моменты сердечного цикла. *Каков бы ни был механизм аритмии, аномальное начало процесса деполяризации в определенной зоне миокарда желудочков проявляется в соответствующей проекции на поверхность грудной клетки появлением аномальных начальных значений потенциала.* В первую очередь на изопотенциальных картах рассматривают положение экстремумов потенциала (максимальное положительное и минимальное отрицательное значения потенциала), их динамику и динамику негативной и позитивной зон потенциала за весь сердечный цикл, являющуюся отражением динамики волновых фронтов в миокарде; кроме того, время их появления, амплитуду и траекторию движения за весь сердечный цикл глобальных и дополнительных экстремумов, ранних потенциалов реполяризации и т.д.

В связи с интенсивным развитием нефармакологических методов лечения нарушений ритма сердца и совершенствованием соответствующего оборудования возможность локализации аритмогенной зоны в сердце неинвазивным путем с необходимой для хирурга или электрофизиолога точностью сегодня уже не является первоочередной задачей, поскольку пациент обязательно проходит процедуру инвазивного ЭФИ. Хотя, подчеркнем, что точная локализация патологического процесса является одним из условий разработки успешной схемы не только интервенционного, но и консервативного лечения различных клинко-электрокардиографических форм нарушений ритма сердца. При этом даже при такой манифестации нарушений элект-

трофизиологического процесса в миокарде, как синдромы предвозбуждения или желудочковые аритмии (ЖА) различного генеза, традиционные ЭКГ-исследования с регистрацией 12 отведений позволяют судить о локализации аритмогенной зоны лишь приблизительно.

И все же целесообразно подробнее рассмотреть возможности ПК в топической диагностике манифестирующих синдромов предвозбуждения, поскольку полученная высокая диагностическая точность дает основание применить используемые методы анализа для решения других задач топической диагностики.

Топическая диагностика синдромов предвозбуждения желудочков

Для синдромов предвозбуждения желудочков существует большое число алгоритмов топической диагностики дополнительного предсердно-желудочкового соединения (ДПЖС) на основании регистрации 12 отведений ЭКГ. Они позволяют по характеристикам 12 отведений ЭКГ определять морфологию комплексов QRS, полярность начальных 40 мс дельта-волны и др., а также локализацию ДПЖС с высокой точностью. Однако сравнительный анализ показал, что традиционная ЭКГ высокоинформативна только при правосторонних переднесептальных ДПЖС (точность топической диагностики приближается к 100%). Наоборот, при задних и заднесептальных ДПЖС (частые локализации) чувствительность топической диагностики по 12 отведениям ЭКГ существенно снижается (до 50%). Кроме того, у пациентов с синдромом предвозбуждения миокарда желудочков при одной и той же локализации ДПЖС могут наблюдаться существенные изменения ЭКГ в зависимости от степени предвозбуждения.

Таким образом, вышеназванные алгоритмы определения локализации ДПЖС не являются исчерпывающими из-за неоднозначности построенных диагностических критериев, в особенности при задних париетальных и парасептальных ДПЖС; возможность топической диагностики септальных ДПЖС даже не обсуждается. Использование полученных критериев позволяет достичь точности определения манифестирующего ДПЖС, в среднем в 65–70% случаев. Тем не менее, необходимость однозначного суждения о локализации парасептальных и перегородочных ДПЖС, а также затруднения в проведении диагностики у больных с комплексами QRS менее 0,12 с и узкой дельта-волной (менее 0,04 с) послужили основанием для использования в решении задачи топической диагностики ДПЖС методов поверхностного картирования как наиболее чувствительного к пространственным особенностям электрического поля сердца [22–24].

В работах различных авторов в качестве критерия локализации ДПЖС исследовались значение и позиция начального амплитудного минимума на поверхности грудной клетки больного в области проекции предсердно-желудочковой борозды (ПЖБ) в первые 0–40 мс комплекса QRS, когда локализация начального устойчивого минимума отражает область преэкситации.

Было показано, что выявление особенностей поверхностных изопотенциальных карт при манифестирующем синдроме WPW обеспечивает топическую диагностику до 1/30 периметра ПЖБ с высокой точностью (до 95%), включая локализацию септального дополнительного пути [33]. Алгоритм топической диагностики манифестирующего синдрома предвозбуждения по данным ПК был сформулирован следующим образом:

- определение положения начального минимума потенциала ($-0,1 \div -0,15$ мВ) в области проекции ПЖБ на поверхность грудной клетки;
- оценка аномальности процесса реполяризации миокарда желудочков;
- при предположении о локализации дополнительного пути проведения в парасептальной или септальной зонах – проверка недипольности карт начальной деполяризации миокарда желудочков;
- оценка времени прорыва (“breakthrough”) возбуждения на эпикард правого желудочка.

Была показана селективная чувствительность топической диагностики методом ПК: точность неинвазивной локализации манифестирующего ДПЖС зависит от локализации диагностируемого ДПЖС. Последнее можно объяснить зависимостью критериев локализации от анатомического взаимоположения ПЖБ и поверхности грудной клетки.

На рис. 6.8 представлены распределения потенциалов на поверхности грудной клетки в период деполяризации миокарда желудочков (QRS) у пациентов с манифестирующим синдромом WPW и различными локализациями ДПЖС в свободной стенке правого и левого желудочков (рис. 6.8, вверху) и парасептальной правой и заднесептальной областях (рис. 6.8, внизу). Характеристики соответствующих карт различны и позволяют точно локализовать ДПЖС.

Высокая точность локализации манифестирующего ДПЖС сохраняется и в “особых” случаях проведения исследования. На рис. 6.4 представлены результаты ПК у пациента в возрасте 4,5 мес с манифестирующим синдромом предвозбуждения. Как упоминалось выше, регистрация 27 ЭКГ с последующей синхронизацией данных проводилась последовательно (см. рис. 6.4,

панель А). Рис. 6.4, панель Б – изопотенциальная карта на «развертке» поверхности грудной клетки в начале фазы деполяризации желудочков. Стрелкой показано положение устойчивого начального минимума потенциала, соответствующего правой задней локализации ДПЖС.

При подозрении на синдром предвозбуждения в латентной форме и проведении чреспищеводного ЭФИ для выявления преэкситации одновременное проведение ПК позволяет локализовать латентное ДПЖС, даже если признаки предвозбуждения желудочков при учащающейся предсердной стимуляции проявляются кратковременно, поскольку достаточно одного зарегистрированного комплекса QRS с проведением по аномальному пути, чтобы проанализировать поверхностные изопотенциальные карты по разработанному алгоритму.

На рис. 6.9 показаны ЭКГ и результаты ПК, проведенного одновременно с чреспищевод-

ной электрической стимуляцией сердца у больной З., 40 лет, с латентной формой синдрома предвозбуждения. Приведены изопотенциальные карты, соответствующие началу комплекса QRS, при нормальном (рис. 6.9, панель А) и при стимулированном (рис. 6.9, панель Б) сокращении сердца. Анализ последовательности изопотенциальных карт на интервале QRS позволяет сделать заключение о локализации латентного ДПЖС (в данном случае ДПЖС левой задней парасептальной локализации).

Отметим, что для упрощенной топической диагностики синдрома предвозбуждения была предложена система небольшого числа нетрадиционных отведений ЭКГ [22–24]. Такие отведения выбирались согласно выводу о необходимости поиска на поверхности грудной клетки (на проекции ПЖБ) самого раннего отрицательного отклонения дельта-волны. Система была опробована на взрослых пациентах и детях с манифес-

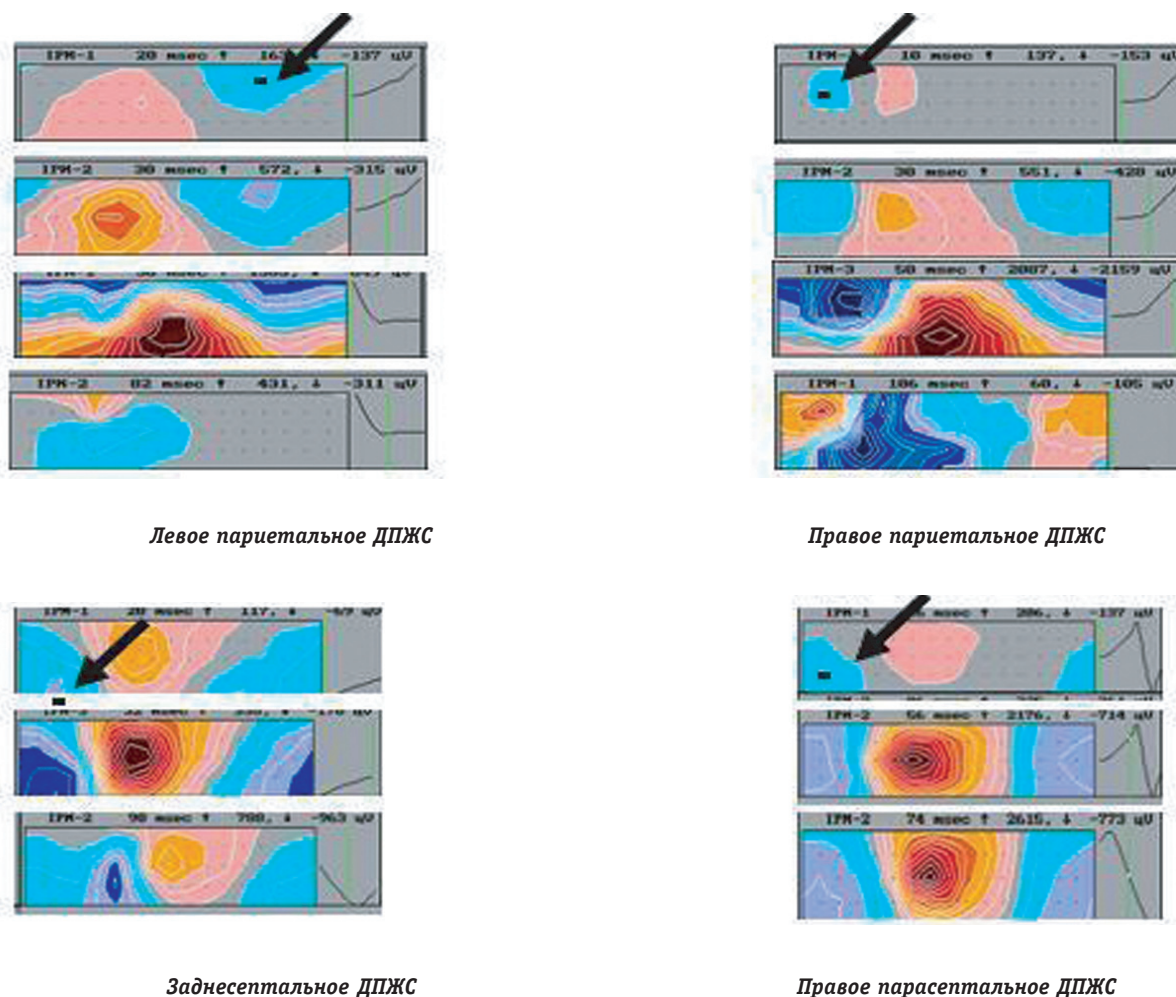


Рис. 6.8. Поверхностные распределения потенциалов у пациентов с манифестирующим синдромом предвозбуждения и различной локализацией аритмогенной зоны. Последовательности изопотенциальных карт в одинаковые моменты комплекса QRS. Стрелками показаны диагностически значимые начальные отрицательные экстремумы потенциалов

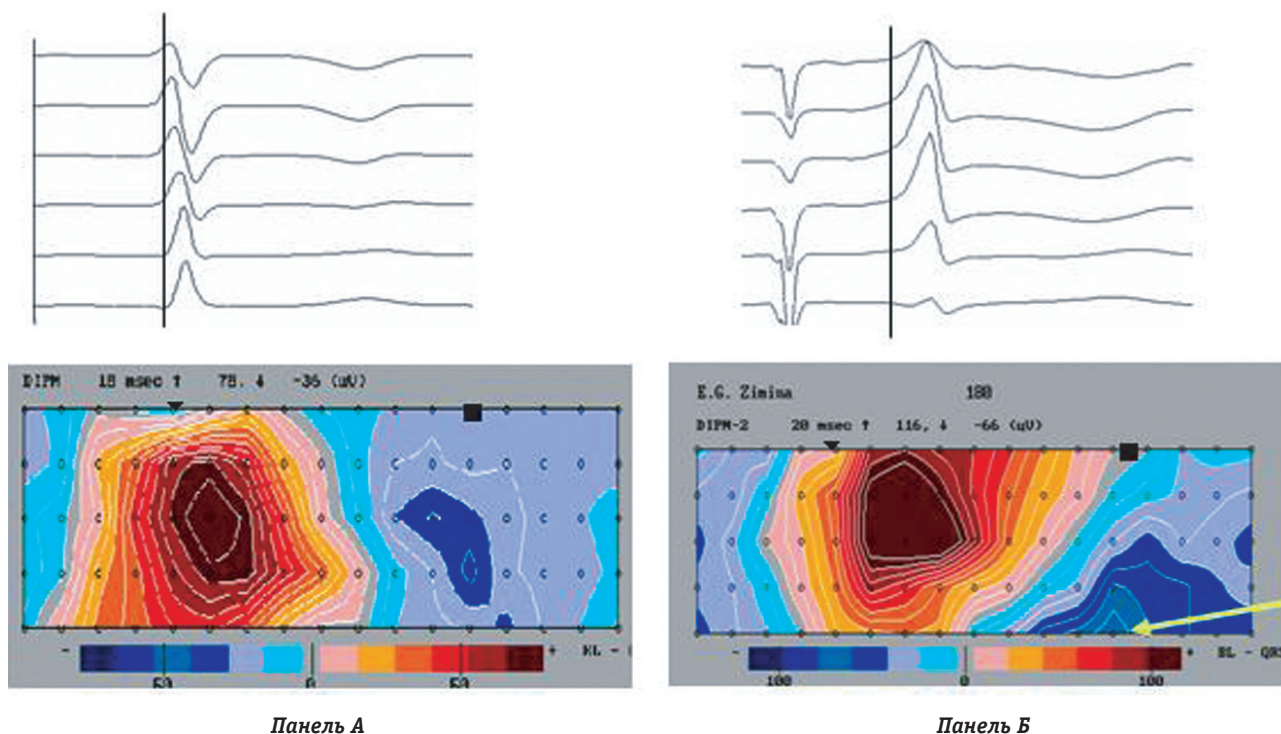


Рис. 6.9. Результаты поверхностного картирования, проведенного одновременно с чреспищеводной электрической стимуляцией сердца у больной с латентной формой синдрома предвозбуждения (НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН). Панель А – нормальная электрическая активность сердца. Панель Б – электрическая активность сердца на фоне проведения ЧПЭКС. Вверху представлены грудные отведения ЭКГ. Внизу – изопотенциальные карты. Стрелкой показан диагностически значимый начальный отрицательный экстремум потенциала

тирующим синдромом предвозбуждения. Неинвазивная топическая диагностика осуществляется в таком случае путем выявления начального отклонения на ЭКГ в нетрадиционных отведениях. Она достаточно проста и возможна без компьютерного анализа (рис. 6.10).

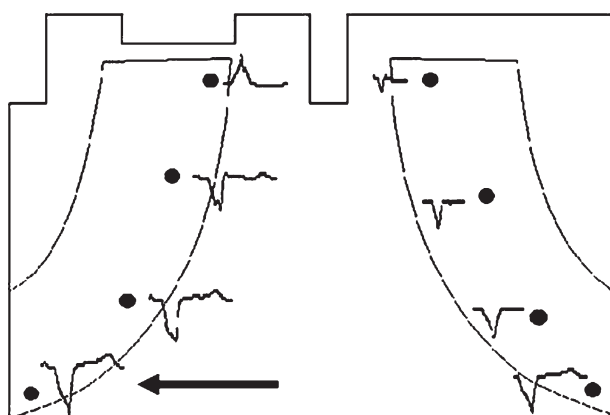


Рис. 6.10. Нетрадиционные отведения ЭКГ с поверхности грудной клетки у пациента с манифестирующим синдромом WPW и правой задней локализацией ДПЖС (НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН). Стрелкой показано отведение ЭКГ с самым ранним отрицательным отклонением дельта-волны

Топическая диагностика желудочковых нарушений ритма

Во взрослой кардиологии принято разделять коронарогенные и некоронарогенные желудочковые аритмии, причем в 85–90% случаев они имеют ишемическую природу. В педиатрии ишемические изменения встречаются крайне редко и в 75% случаев в детской кардиологии желудочковые тахикардии расцениваются как идиопатические.

По анатомической локализации аномального электрофизиологического очага возбуждения в миокарде желудочков выделяют правожелудочковую и левожелудочковую тахикардии. Правожелудочковая тахикардия составляет до 70% от всех видов идиопатических желудочковых тахикардий. Электрофизиологическая классификация желудочковых тахикардий универсальна и не зависит от возраста пациентов.

Распознавание ЖА по ЭКГ имеет ряд ограничений. Хотя желудочковые тахикардии подробно описаны и характеризуются рядом электрокардиографических критериев, постановка диагноза на основании 12 отведений ЭКГ остается достаточно непростой задачей.

В связи с современным расширением показаний к использованию РЧА как метода выбора в

лечении нарушений ритма сердца у больных с идиопатической ЖА, в последние годы пристальный интерес вызывает возможность точной неинвазивной топической диагностики желудочковых нарушений ритма. Аритмогенный фокус при некоронарогенных ЖА у больных, поступающих на РЧА, чаще всего выявляется в выходных трактах правого и левого желудочков (более 80% больных, поступающих на РЧА). В ряде опубликованных за последние годы работ представлены исследования, направленные на повышение качества топической диагностики ЖА данной локализации на основании традиционной ЭКГ [32]. ЭКГ-критериями локализации аритмогенного фокуса из различных зон выходных трактов явились морфология и продолжительность комплекса QRS в стандартных и грудных отведениях ЭКГ, локализация переходной зоны в грудных отведениях и направление электрической оси сердца. В этих работах были предложены алгоритмы определения локализации аритмии из выводных отделов желудочков на основании морфологии экстрасистолических комплексов, позволяющие определять локализацию источника ЖА с точностью до 89%. Тем не менее, предложенные критерии не охватывают все возможные локализации аритмогенных зон и, кроме того, морфология желудочкового комплекса может быть изменена при наличии областей ишемического повреждения, выраженного отклонения электрической оси сердца, блокады внутрижелудочкового проведения и т.д., что затрудняет топическую диагностику даже при ПК [32].

Вопрос о возможности топической диагностики ЖА с другими локализациями аритмогенного фокуса по 12 отведениям ЭКГ остается открытым. Хотя топическая диагностика ЖА, исходящих из других зон миокарда желудочков, а также из различных отделов проводящей системы (т.н. фасцикулярные ЖА), является важным моментом как в предоперационной подготовке, так и при рациональном выборе консервативной терапии, возможность ее проведения по 12 отведениям ЭКГ в литературе не обсуждается.

Распространение хирургических и инвазивных методов лечения аритмий существенно повысило требования к точности неинвазивной топической диагностики нарушений ритма сердца, что обусловило появление целого ряда работ по использованию различных модификаций ПК для выявления аритмогенных зон в дооперационном периоде и в ходе операции РЧА [33].

Были описаны характерные распределения потенциалов периода деполяризации миокарда желудочков при преждевременных сокра-

щениях различной локализации и показана высокая точность топической диагностики аритмогенной зоны методом ПК у больных с ЖА. Комплексный алгоритм оценки локализации ЖА из выводных отделов желудочков был предложен в работе S. Kamakura и соавт. (1998). В ряде работ было показано, что использование ПК не только повысило эффективность предоперационной топической диагностики ЖА, но и способствовало повышению точности позиционирования абляционного электрода, что привело к улучшению результатов РЧА у различных групп больных с ЖА в отдаленном периоде [34].

Практически все из перечисленных выше работ были посвящены проблемам топической диагностики ЖА у взрослых пациентов. В то же время в детской популяции, где экстрасистолия является наиболее распространенным нарушением ритма сердца (Л.М. Макаров, 2002), имеется немного данных о применении ПК в детской кардиологии [7].

В исследовании Л.А. Калинина (2006) был разработан алгоритм топической диагностики некоронарогенных желудочковых аритмий у детей на основе метода ПК, позволяющий осуществить оценку локализации ЖА в выводных отделах правого и левого желудочков, миокарде желудочков, межжелудочковой перегородке и проводящей системе (передняя и задняя ветви левой ножки пучка Гиса). В алгоритм топической диагностики включались следующие параметры изопотенциальных карт:

- локализация отрицательных и положительных экстремумов потенциала в первые 20 мс процесса деполяризации желудочков и соотношение их амплитуд;
- траектория движения экстремумов в течение начальных 50–70 мс;
- время распространения волны возбуждения на различные отделы сердца в соответствии с их проекциями на поверхность грудной клетки в течение первой половины комплекса QRS.

Сопоставление с результатами инвазивного ЭФИ, проводимого как первый этап процедуры радиочастотной абляции ЖА, показало совпадение с данными ЭФИ в 83–91% в зависимости от локализации (рис. 6.11).

Выявление электрической негомогенности миокарда у пациентов с нарушениями ритма сердца

В традиционной электрокардиографии не ставится задача диагностики аритмии вне ее манифестации, т.е. нельзя обсуждать возможный субстрат аритмии в период регистрации пра-

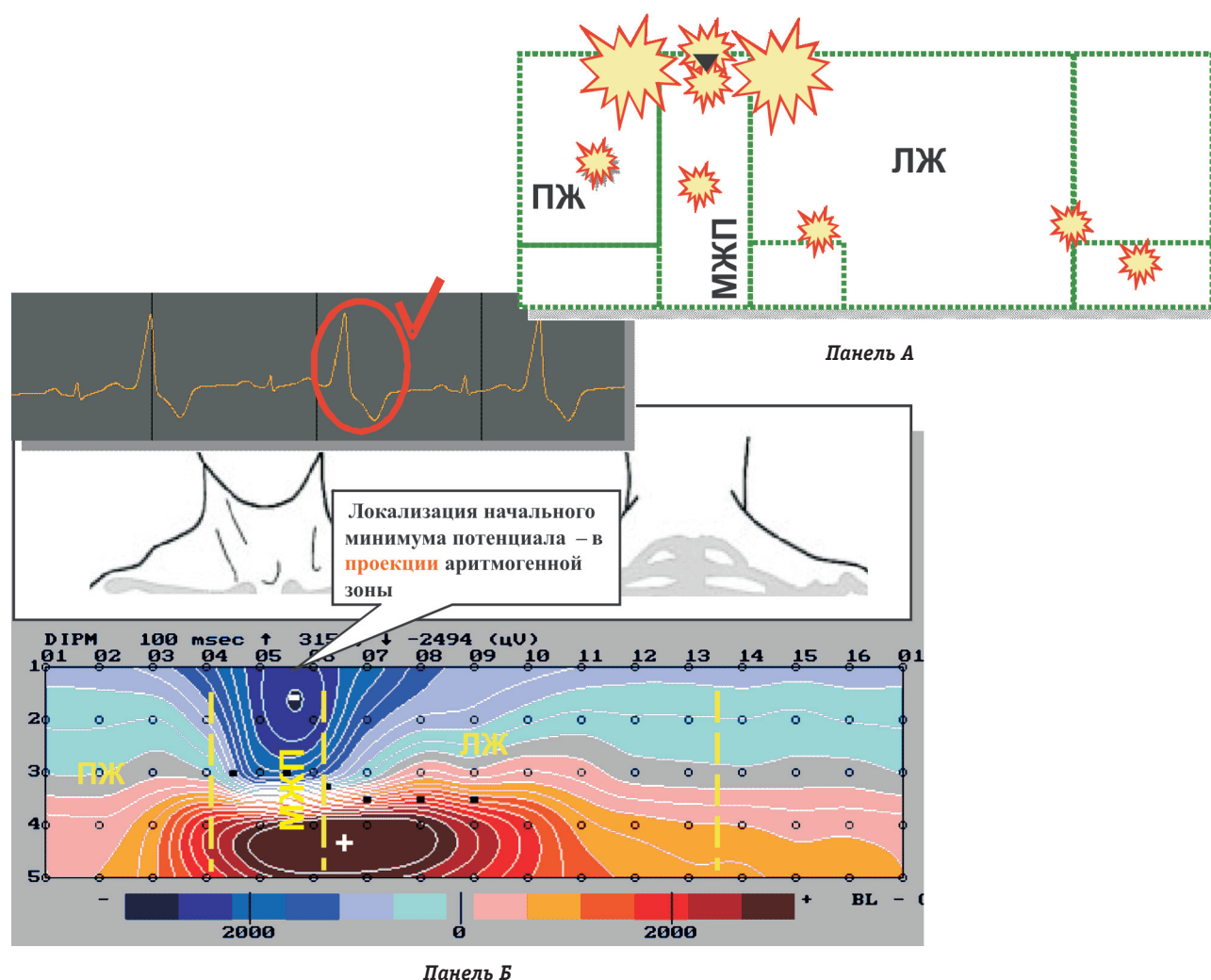


Рис. 6.11. Топическая диагностика аритмогенной зоны у детей с ЖЭ и ЖТ. Совпадение с данными инвазивного ЭФИ составило 83–91% в зависимости от локализации эктопического фокуса. *Панель А* – на «развертке» поверхности грудной клетки представлена локализация начальных отрицательных потенциалов деполяризации желудочков при экстрасистолическом сокращении. *Панель Б* – изопотенциальная карта в первые 20 мс экстрасистолического сокращения у пациентки 14 лет с желудочковой экстрасистолией (ЖЭ локализована в переднебазальных отделах межжелудочковой перегородки слева). ПЖ – правый желудочек; ЛЖ – левый желудочек; МЖП – межжелудочковая перегородка

вильного синусового ритма. В то же время локальная электрофизиологическая неоднородность или негомогенность миокарда желудочков занимает одно из ключевых мест в структуре аритмогенеза как основа для субстрата функционального блока проведения и предиктора жизнеугрожающих нарушений сердечного ритма. При этом большое внимание уделяется исследованию особенностей электрофизиологического процесса в миокарде больных с желудочковыми нарушениями ритма различного генеза в межприступный период и особое внимание – выявлению локальных зон неоднородности процесса реполяризации миокарда желудочков [35, 36].

Возможна ли диагностика локальных структурных нарушений в миокарде при различных ЖА методом ПК?

Достаточно ожидаемы результаты ПК у пациентов с ишемической болезнью сердца и ЖА, у которых основным электрофизиологическим субстратом для возникновения желудочковых тахикардий является электрическая негомогенность миокарда (участки невозбудимой ткани, выраженное нарушение проводимости, дисперсия проводимости и рефрактерности, повышение автоматизма и т.д.), обусловленная эпизодами ишемии или постинфарктным кардиосклерозом. Исследования диагностических возможностей метода ПК в локализации аномалий реполяризации при ишемической болезни сердца и создание соответствующих диагностических критериев проводились с начала применения ПК в клинике. Все критерии, как правило, построены на анализе изопотенциальных и/или изоинтегральных карт на интервале ST-T и

анализе изоинтегральной карты на всем интервале QRST.

При проведении ПК у пациентов с аритмогенной дисплазией правого желудочка в межприступных периодах были выявлены интересные особенности распределений потенциалов, соответствующих интервалу ST-T. Эти особенности являлись неспецифическими признаками данной кардиомиопатии. Однако специальные математические методы (например, метод главных компонент) позволили выделить ряд параметров, которые могут являться маркерами электрической уязвимости миокарда и являться прогностическими факторами развития жизнеугрожающих тахиаритмий.

У пациентов с идиопатическими ЖА при ПК в межприступных периодах (на фоне синусового ритма) на поверхности грудной клетки были выявлены аномальные области процессов реполяризации миокарда желудочков. Было показано (Л.А. Калинин, 2006), что ПК у детей с различными клинико-электрокардиографическими вариантами желудочковых аритмий позволяет в 62% случаев в ходе нормального синусового сокращения выявить нарушения процесса реполяризации в проекции аритмогенной зоны. Аномальности распределений проявлялись в увеличении и смещении зон электронегативности на поверхности грудной клетки и изменении амплитуд отрицательных экстремумов, при этом методы анализа данных ПК позволяют выразить эти отклонения от нормы в количественной форме [37].

Приведенные данные свидетельствуют о возможном наличии в миокарде желудочков у больных с идиопатическими ЖА изменений органического характера (скрытого морфологического субстрата аритмии), проявляющихся на функциональном уровне как локальная неоднородность электрофизиологических свойств миокарда электрического поля сердца и, в ряде случаев, как нарушение процесса реполяризации на ЭКГ.

В настоящее время получены данные, свидетельствующие о том, что во взрослой популяции значительная часть “идиопатических” ЖА имеют вторичную природу и возникают на фоне недиагностированных заболеваний миокарда, таких как ранние стадии аритмогенной дисплазии сердца, аритмогенный вариант малосимптомного миокардита, дилатационная кардиомиопатия. Была показана возможность выявления анатомических аномалий методом магнитно-резонансной томографии у больных с “идиопатическими” желудочковыми тахикардиями. Большое внимание уделяется экспериментальным исследованиям с целью выяснения природы аритмогенного субстрата.

Чувствительность ПК в отношении выявления локальных кардиальных структурных изменений и возможности их количественной оценки может играть важную роль не только в выявлении аритмогенного субстрата, но и в оценке степени выраженности специфических патологических изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день традиционное электрокардиографическое исследование не позволяет с высокой точностью локализовать в сердце больного аритмогенную зону – как зону эктопической активности, так и зону с измененными электрофизиологическими свойствами миокарда, превращающими ее в субстрат аритмии. Применение новых методов, основанных на возможностях компьютерных технологий, расширяет диагностические возможности врачей-кардиологов, электрофизиологов и кардиохирургов в исследовании сердечно-сосудистой системы. Даже такой наиболее известный и широко используемый метод, как электрокардиография, приобретает новые возможности в неинвазивной оценке функциональных и структурных нарушений сердца.

Из представленных выше данных видно, что метод ПК позволяет неинвазивно оценить время возбуждения отдельных участков миокарда, получить подробную характеристику электрического поля сердца в любой момент сердечного цикла, что не является доступным большинству современных методов неинвазивной диагностики. Подчеркнем, что при использовании этого метода появляется возможность не только локализовать отклонение электрофизиологического процесса от нормального, но и выразить это отклонение от нормы в количественной форме.

И все же, несмотря на достаточно очевидные возможности ПК в выявлении электрофизиологической неоднородности миокарда и в топической диагностике нарушений электрофизиологического процесса различного генеза, эта процедура все еще рассматривается в рамках научно-исследовательской. Так, например, ПК не обсуждается в дополнениях к руководству American College of Cardiology/American Heart Association Guideline Updates по лечению пациентов с инфарктом миокарда и заболеваниями сердца. Кроме того, ПК не входит в перечень American Heart Association (2005) как тест для выявления повреждения сердца или как один из неинвазивных тестов для диагностики заболеваний сердца.

Такая ситуация объясняется тем, что как раз в той области кардиологической диагностики, где ПК вызывает особый интерес (диагностика ИБС

и острого коронарного синдрома), получены противоречивые данные исследований. ПК рассматривалось как метод диагностики острого коронарного синдрома, особенно острого инфаркта миокарда. S. Carley с соавт. (2005) проводили сравнение возможностей ПК и ЭКГ-диагностики в постановке диагноза острого инфаркта миокарда у пациентов отделения интенсивной терапии. Авторы пришли к заключению, что ПК имеет большую чувствительность, но меньшую специфичность при диагностике острого инфаркта миокарда. Байесовский анализ показал, что использование ПК у пациентов отделения интенсивной кардиологии может приводить к гипердиагностике острого инфаркта миокарда [14].

Дополнительно к этому, исследование Н. Hänninen и соавт. (2003) показало, что ПК в настоящее время может служить методом оценки электрофизиологических изменений в сердце у пациентов с острым коронарным синдромом и помочь в неинвазивной локализации и оценке размера поврежденной области миокарда. Однако, по мнению авторов, требуется проведение дополнительных исследований, чтобы стандартизировать роль ПК в диагностической оценке острого коронарного синдрома [17].

Таким образом, показано, что диагностические возможности синхронной регистрации множественных отведений ЭКГ со всей поверхности грудной клетки имеют фундаментальное электрофизиологическое обоснование. Однако в настоящее время включение этой методики в перечень обязательных для клиники диагностических средств еще не доказано.

Можно предположить, что данная ситуация объясняется высокими требованиями к техническим характеристикам многоканальной измерительной ЭКГ-аппаратуры, а также трудоемкостью процедуры ПК.

Необходимость преодолеть эту неопределенную ситуацию очевидна. Потребность любой кардиологической клиники в расширенном электрокардиографическом исследовании косвенно подтверждается тем, что в течение десятилетий проводятся исследования, посвященные построению карт по данным ПК прекардиальных отведений, информативных при различных формах кардиальной патологии.

Очевидно, что только полная система отведений со всей поверхности грудной клетки может обеспечивать получение информации, необходимой для диагностики широкого спектра кардиальной патологии.

Несомненно и то, что технологический прогресс, совершенствование необходимых аналитических средств и автоматизация диагностического заключения расширят возможности

применения поверхностного ЭКГ-картирования в практической медицине уже в ближайшем будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокерия Л.А., Ревитшвили А.Ш., Ардашев А.В., Кочович Д.З. Желудочковые аритмии (современные аспекты консервативной терапии и хирургического лечения), М.: Медпрактика-М, 2002, 272 с.
2. Бокерия Л.А. Нарушения ритма сердца. Рук-во "Сердечно-сосудистая хирургия", под ред. В.И.Бураковского, Л.А. Бокерия, М.: Медицина, 1996; 473–537.
3. Мадел В. Аритмии сердца. М., Медицина, 1996.
4. Кечкер М.И. Руководство по клинической электрокардиографии, М., 2000. – 395 с.
5. Кушаковский М.С. Аритмии сердца – С-Петербург, "Фолиант", 1998.
6. Голухова Е.З. Неинвазивная аритмология, М., 2002.
7. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. М.: Медпрактика-М, 2002, 276 с.
8. Fuller MS, Punske B et al. Estimates of repolarization dispersion from electrocardiographic measurements. *Circulation* 2000; 102:685–92.
9. Peeters HA, Groenewegen A, Schoonderwoerd BA, Wever EF, Grimbergen CA, Hauer RN, Rohles de Medina EO. Body-surface QRST integral mapping. Arrhythmogenic right ventricular dysplasia versus idiopathic right ventricular tachycardia. *Circulation* 1997; 95(12):2668–76.
10. Rudy Y, Burnes JE. Noninvasive electrocardiographic imaging. *Annals Noninvasive Electrocardiol* 1999; 4(3):340–358.
11. Schmitt C, Ndrepepa G, Deisenhofer I, Schneider M. Recent advances in cardiac mapping techniques. *Curr Cardiol Rep* 1999; 1:149–56.
12. Zipes DP, Jalife J (eds). *Cardiac electrophysiology. From cell to bedside*, Saunders Co, Philadelphia, 1995.
13. Мирончик В.В. Практическая электрокардиотопография: ВООК–Минск, БелНИИ Кардиологии, 1998, 160 с.
14. Carley SD, Jenkins M, Jones KM. Body surface mapping versus the standard 12 lead ECG in the detection of myocardial infarction amongst emergency department patients: A Bayesian approach. *Resuscitation* 2005; 64(3):309–314.
15. Braunwald E, Antman EM, Beasley JW, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for the management of patients with unstable angina and non-ST-segment elevation myocardial infarction – summary article: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines (Committee on the Management of Patients with Unstable Angina). *J Am Coll Cardiol* 2002; 40(7):1366–1374.
16. Green LS, Lux RL, Haws CW. et al. Effects of age, sex and body habitus on QRS and ST-T potential map of 1100 normal subjects. *Circulation* 1985; 71(2):244–254.
17. Hanninen H, Nenonen J, et al. Perspectives on body surface mapping in acute ischemic syndromes. *Int J Bioelectromagnetism* 2003; 5(1):4–6.
18. Maynard SJ, Menown IBA, Manoharan G, Allen J, Anderson J. Body surface mapping improves early diagnosis of acute myocardial infarction in patients with chest pain and left bundle branch block. *Heart* 2003; 89:998–1002.
19. van Dessel PF, van Hemel NM, de Bakker JM, Linnenbank TA, Potse M, Jessurun ER, Groenewegen A, Wever EF. Relation between body surface mapping and endocardial spread of ventricular activation in postinfarction heart. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2001; 12(11):1232–41.
20. Medvegy M, Duray G, Pinter A, Preda I. Body surface mapping: Historical background, present possibilities, diagnostic challenges. *ANE* 2002; 7(2):139–151.
21. Бокерия Л.А., Ревитшвили А.Ш., Полякова И.П., Кулакова Г.В. Новый метод топической диагностики дополнительных путей проведения у больных с синдромом Вольфа–Паркинсона–Уайта. *Кардиология* 1989; 7:49–53.

22. Полякова И.П. Поверхностное картирование сердца у больных с синдромом Вольфа–Паркинсона–Уайта (алгоритмическое и программное обеспечение и клиническое применение). Автореферат дисс канд биол наук, М., 1990.
23. Bernadic M, Hatala R, Kaltenbrunner W, Tysler M, Steinbach K, Hulin I. Location of atrial and ventricular insertions of accessory atrioventricular pathways using surface ECG mapping and its importance in catheter ablation therapy. *Bratisl Lek Listy* 1995; 96(4):210–6.
24. Bockeria LA, Revishvii AS, Poliakova IP. Body surface mapping and nontraditional ECG leads in patients with Wolff–Parkinson–White syndrome. *PACE* 1990; 13: 1111–1115.
25. Ramanathan C, Jia P, Ghanem RN, Kyungmoo R, Rudy Y. Activation and repolarization of the normal human heart under complete physiological conditions. *Proc Natl Aca Sci* 2006; 103(16):6309–6314.
26. Ramanathan C, Ghanem RN, Jia P, Rudy Y. Noninvasive electrocardiographic imaging for cardiac electrophysiology and arrhythmia. *Nature Medicine*. 2004; 10:422–428.
27. Ghanem RN, Jia P, Ramanathan C, Ryu K, Markowitz A, Rudy Y. Noninvasive electrocardiographic imaging: comparison to intraoperative mapping in patients. *Heart Rhythm* 2005; 2:339–354.
28. Ghanem RN, Burnes JE, Waldo AL, Rudy Y. Imaging dispersion of myocardial repolarization II. Noninvasive reconstruction of epicardial measures. *Circulation* 2001; 104:1306.
29. Taccardi B. Body surface mapping and cardiac electric sources. A historical survey. *J Electrocardiol* 1990; 23:150–4.
30. Wang Y, Rudy Y. Application of the method of fundamental solutions to potential-based inverse electrocardiography. *Ann Biomedical Engineering* 2006; 34:1272–1288.
31. Watanabe Y. The state of body surface mapping in Japan. *J Electrocardiol* 1995; 28:110–120.
32. Ревишвили А.Ш., Рзаев Ф.Г., Носкова М.В. Топическая диагностика желудочковых нарушений ритма у пациентов с некоронарогенными заболеваниями миокарда. *Вестник аритмологии* 2002; 24.
33. Ito S, Tada H, Naito S, Kurosaki K, Ueda M, Hoshizaki H, Miyamori I, Oshima S, Taniguchi K, Nogami A. Development and validation of an ECG algorithm for identifying the optimal ablation site for idiopathic ventricular outflow tract tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2003; 14(12):1280–6.
34. Kamakura S, Shimizu W, Matsuo K, Taguchi A, Suyama K, Kurita T, Aihara N, Ohe T, Shimomura K. Localization of optimal ablation site of idiopathic ventricular tachycardia from right and left ventricular outflow tract by body surface ECG. *Circulation* 1998; 98:1525–1533.
35. Das BB, Sharma J. Repolarization abnormalities in children with a structurally normal heart and ventricular ectopy. *Pediatr Cardiol* 2004; 25(4):354–6.
36. Corrado D, Basso C, Thiene G. Sudden cardiac death in young people with apparently normal heart. *Cardiovasc Res* 2001; 50(2):399–408.
37. Калинин Л.А. Неинвазивная топическая диагностика желудочковых нарушений ритма сердца у детей. Автореферат дисс канд мед наук, М., 2006.