

© И. П. ПОЛЯКОВА, 2007

УДК 616.12-073.97:616.127:612.014.42

Диагностические возможности многоканального поверхностного ЭКГ-картирования

И. П. Полякова

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

Освещается одно из направлений современной электрокардиологии, исследующее электрическое поле сердца человека в норме и при различных клинических состояниях — многоканальное синхронное измерение поля. Кратко обсуждаются физиологическая основа метода исследования, аппаратное обеспечение, методы анализа данных и предоставления результатов. Показано, что диагностические возможности поверхностного ЭКГ-картирования в кардиологии имеют фундаментальный электрофизиологический базис. Обсуждаются причины, по которым метод не входит в широкую клиническую практику.

Ключевые слова: электрофизиологические свойства миокарда, электрическое поле сердца, поверхностное ЭКГ-картирование, диагностика кардиальной патологии.

Электрические потенциалы на поверхности тела человека, создаваемые токами, генерируемыми в сердце, были впервые измерены А. Waller (1889) более 100 лет назад [39]. В то время электрокардиограмма (ЭКГ) как зарегистрированная на поверхности тела в определенной точке электрическая активность сердца была одним из немногих инструментов для проверки работы сердца. И хотя сегодня существует множество методов изучения сердца, тем не менее ЭКГ остается наиболее используемым диагностическим методом из-за его простоты и богатого информационного содержания. Цели ЭКГ-исследования остались теми же, что и 100 лет назад: измерить и визуализировать электрические потенциалы на поверхности тела и интерпретировать интракардиальные электрические явления (так называемая обратная задача электрокардиологии).

Исследовательские работы, которые первоначально ставили своей целью просто объяснение формы на кривых ЭКГ при различных состояниях организма, по мере своего развития, на основе применения новых технических средств, привлечения физических теорий и математических методов расширились и превратили стандартную диагностическую методику в на-

учную дисциплину — электрокардиологию, различным аспектам которой регулярно посвящаются представительные международные научные мероприятия. Одно из направлений современной электрокардиологии, исследующее электрическое поле сердца человека в норме и при различных клинических состояниях сердца, — поверхностное ЭКГ-картирование (ПК). Это понятие включает многоканальное синхронное измерение поля, его адекватное графическое представление и диагностическую интерпретацию на основе непосредственного анализа формы и количественных параметров распределения соответствующей характеристики.

Электрокардиография является одним из наиболее распространенных методов инструментального исследования больных с кардиальной патологией. Все время эволюции традиционной ЭКГ исследователи вели поиск по диагностическому совершенствованию систем электрокардиографических отведений и их информационной эффективности, пытались идентифицировать наиболее полезные отведения. До сих пор в клинической практике используются довольно разнообразные системы отведений с поверхности тела человека.

ЭКГ-12, включающая три двухполюсных отведения и три модифицированных униполярных отведения во фронтальном плане, а также 6 униполярных отведений с передней стенки грудной клетки, обладает бесспорной практической ценностью и до настоящего времени остается наиболее используемой системой отведений. Редко применяются в практике некоторые системы с меньшим числом отведений, например, 3-осевая геометрическая система Неба, системы с ортогональными отведениями, корригированными (система Франка; система МакФи–Парунгао; система Шмитта–Симонсона) и некорригированными (система Трэтви; система Дехтяря) отведениями; такие системы двухполюсных отведений, как отведения по Гуревичу, отведения по Слопаку и Партилле, отведения по Клэтену, отведения по Эвансу, отведения по Пескадору.

Предпочтительность выбора одной из систем ЭКГ-отведений до сих пор подвергается широкому обсуждению в свете сравнительной оценки их физической обоснованности, диагностической информативности и практических возможностей использования в клинических условиях. Достоинствами корригированных ортогональных систем отведений являются их малое число, отсутствие зависимости от экстракардиальных факторов и простота их физической интерпретации. Однако, оказалось, что информация, получаемая от ортогональных отведений, как и от всех двухполюсных отведений, обеднена ввиду отсутствия чувствительности к недипольной локальной составляющей электрического поля сердца.

При регистрации униполярных отведений с передней поверхности грудной

клетки в образовании ЭКГ доминируют потенциалы близко расположенных передних участков миокарда, хотя потенциалы задней стенки миокарда при этом также не безразличны, это подтверждается, например, фактом увеличения зубцов *R* и *T* в правых грудных отведениях при инфаркте миокарда задних отделов левого желудочка [8]. Таким образом, избежать значительной потери диагностической информации при ЭКГ-исследовании можно, лишь применяя отведения, чувствительные к локальным областям сердца и/или к локальным нарушениям кардиального электрофизиологического процесса.

Для создания полной картины электрического поля сердца вводят регистрацию множественных отведений ЭКГ со всей поверхности грудной клетки, или поверхностное картирование сердца. На рисунке 1 представлены результаты ПК у здорового обследуемого – комплексы *QRS* (80 отведений ЭКГ) на развертке поверхности грудной клетки в точках наложения электродов.

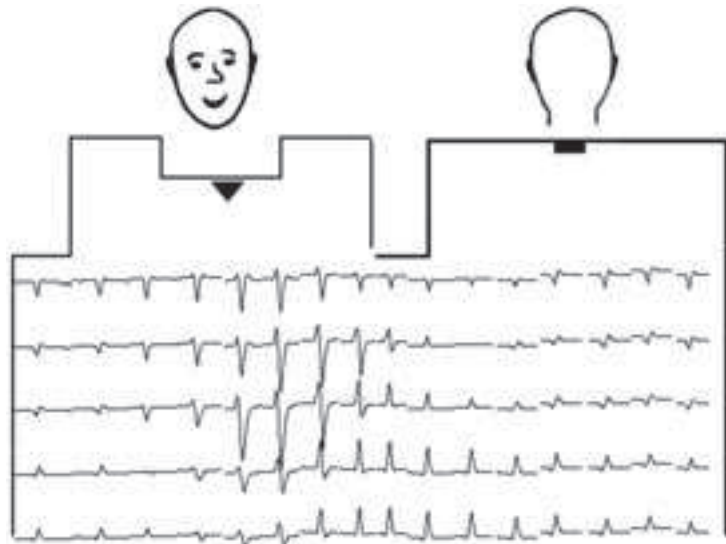


Рис.1. Результаты регистрации 80 отведений ЭКГ у здорового обследуемого.

На развертке поверхности грудной клетки, разрезанной по правой заднеаксиллярной линии, с обозначенными среднестеральной и позвоночной линиями, показаны комплексы *QRS* в точках наложения 80 электродов.

Если в традиционном электрокардиографическом исследовании ЭКГ-12 анализируются изменения интенсивности потенциала в определенных точках на поверхности торса, то при поверхностном ЭКГ-картировании на первое место выступает анализ интенсивности потенциалов в один момент сердечного цикла в разных точках пространства (рис. 2). В каждый момент времени (сердечного цикла) на поверхности тела существует распределение электрических потенциалов

(см. рис. 2, б). Можно оценивать моментное распределение потенциалов в заданный момент сердечного цикла (моменты 1 или 2 на рис. 2, а), серию таких картин-распределений в последовательные моменты сердечного цикла (моменты 1, 2 на рис. 2, в), изменения поверхностной картины, происходящие за весь сердечный цикл или в течение длительного промежутка времени. Если этот анализ обеспечивает достаточно тонкое пространственное разрешение кардиальных электро-

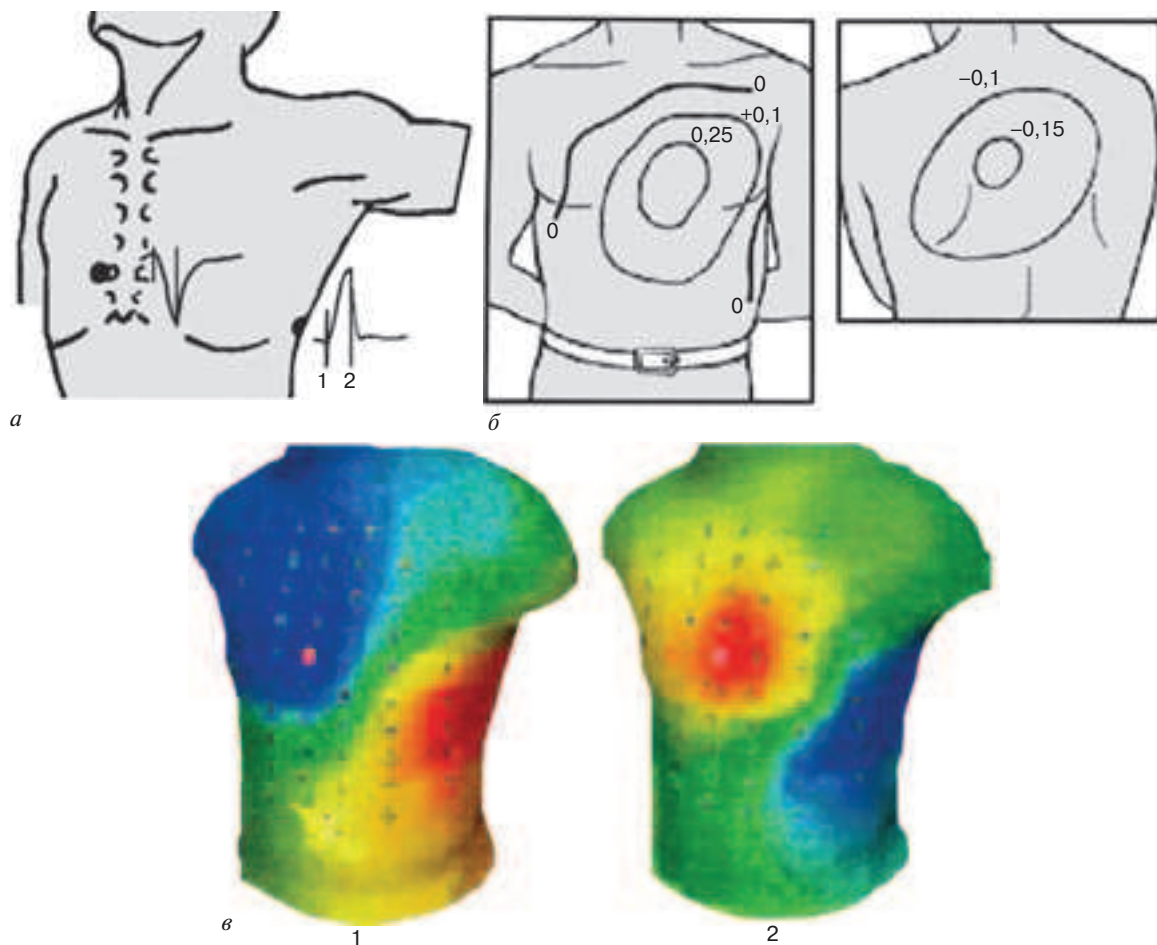


Рис. 2. Распределения электрического поля сердца на поверхности торса в последовательные моменты сердечного цикла здорового человека.

а – на поверхности торса показаны отведения ЭКГ V_1 и V_6 , отмечены моменты сердечного цикла 1 и 2 в начале и в середине фазы деполяризации желудочков; б – распределение потенциалов на поверхности тела человека в середине фазы деполяризации желудочков (момент 2); линиями соединены точки с равными значениями потенциала; в – изопотенциальные карты – распределения потенциалов на торсе человека в различные моменты сердечного цикла: 1 – распределение, соответствующее моменту 1 на рис. 2, а – началу фазы деполяризации желудочков; 2 – распределение, соответствующее моменту 2 на рис. 2, а – середине фазы деполяризации желудочков. Значения потенциала отображаются в виде цвета, характеризующего знак и амплитуду: синяя гамма соответствует отрицательным значениям, а красная – положительным; более интенсивный цвет отражает большее значение потенциала.

физиологических 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, то есть на топическую диагностику нарушений электрофизиологического процесса.

Последнее объясняет, например, повышенный интерес к диагностическим возможностям ПК при инфаркте миокарда, особенно при локализациях, трудно диагностируемых на ЭКГ-12, то есть возможностям топической диагностики патологического процесса (зона повреждения, переходная зона, анатомически сохранная структура) и его динамического наблюдения. Об этом говорят работы авторов, использующих различные системы ПК [4, 7, 12, 28, 29, 35].

Эволюция метода поверхностного картирования электрического поля сердца

С начала развития электрокардиографии отдельными авторами предпринимались попытки описания электрического поля сердца с помощью поверхностной регистрации ЭКГ от многих отведений с грудной клетки. Но все эти попытки не имели систематического характера. Интерес к ПК появился в связи с исследованиями, в которых решались фундаментальные вопросы генеза ЭКГ, и развитие этого метода наиболее активно начиналось в экспериментальных исследованиях [15, 34, 35, 37].

Сначала на изолированных препаратах сердца, помещенных в модели торса, а затем на интактных животных экспериментально была показана неадекватность распределения потенциалов, повторяющихся через сердечный цикл, дипольному распределению. В серии экспериментов на

животных были одновременно измерены поверхностные и эпикардиальные потенциалы [35]. Сначала собакам, а затем шимпанзе имплантировали предсердные и желудочковые электроды и контролировали процесс активации миокарда, одновременно регистрируя поверхностные потенциалы.

С помощью этих и других исследований получено качественное понимание электрической связи сердца и поверхности тела, было показано, что ПК может давать полезную информацию, относящуюся к множественным явлениям, которые нельзя отдифференцировать в системах с отдельными отведениями.

Экспериментальное изучение метода ПК показало его возможности для объективного понимания электрофизиологии сердца и для улучшения ЭКГ-диагностики. Таким образом подтвердилось хорошее отражение электрических процессов в сердце на поверхности тела, хотя, как справедливо отмечают отдельные авторы, нельзя их отождествлять, поскольку на свойства электрического генератора сердца существенным образом влияет тело как неомогенный объемный проводник, а также геометрическое строение соответствующей анатомической структуры сердца. Эти факты были отмечены и в экспериментах с одновременным измерением поверхностных и эпикардиальных потенциалов.

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, проводится экспериментальный анализ нормального и аномального интрамурального и эпикардиального процесса возбуждения при стимуляции различных точек миокарда желудочков и отображения неоднородности миокарда в поверхностных потенциалах. Активно ведутся работы по анализу данных ПК,

регистрируемых одновременно с ЭФИ и эндокардиальным стимуляционным картированием с целью установить количественную связь между поверхностными и внутрисердечными электрическими явлениями [13, 19, 23, 27, 33, 42].

В предыдущие годы было создано множество различных устройств и компьютерных систем для ПК сердца, различающихся, как правило, параметрами регистрации (число электродов, методы их наложения, регулярность сетки электродов и т. д.). Если в первые десятилетия основными были задачи получения качественного сигнала и обработки полученной информации, то к сегодняшнему дню главной стала задача выявления наиболее информативных показателей [4, 10, 12, 21, 30, 37].

Практическое применение метода ПК началось с развитием технологии интегральных схем и компьютерной техники, что предоставило возможность автоматизации картирования, численного анализа и накопления больших массивов данных, необходимых для обработки и визуального представления регистрируемых поверхностных потенциалов.

Проблема выбора отведений, возникающая при разработке метода ПК на этапе сбора данных, обсуждалась в литературе в течение достаточно долгого времени. В настоящее время сформированы определенные требования к компьютерной системе для регистрации и анализа множественных отведений ЭКГ от поверхности грудной клетки. В «Предварительных рекомендациях Европейского комитета по кардиологии» (NEMY, 1999) по системам поверхностного картирования предлагается использовать не менее 64 одновременно регистрируемых отведений. Область регистрации должна обязательно включать в себя всю переднебоковую поверхность грудной клетки между вторым и шестым межреберьями.

В практических реализациях вопроса о полном наборе электродов, то есть об их количестве и расположении, все исследо-

ватели вынуждены идти на компромисс между необходимостью использовать достаточно большое число электродов и техническими возможностями. При наличии соответствующего технического оборудования создаются системы с одновременной регистрацией большого числа отведений ЭКГ – до 224 [31–33].

На этапе сбора данных современные системы различаются только в способах регистрации. В качестве примера приведем специализированную компьютерную электрокардиологическую систему «Кардиаг» (Чехия), используемую в НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, где накоплен большой опыт проведения исследований – ПК у взрослых пациентов и у детей с различной кардиальной патологией. Данная система позволяет регистрировать ЭКГ одномоментно с 80 электродов на грудной клетке (см. рис. 1), 12 общепринятых отведений и ортогональные отведения по Франку с последующей обработкой на персональном компьютере IBM PC 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 по 16 электродов в 5 отдельных эластичных поясах и составляют регулярную сетку на поверхности грудной клетки пациента с первого по шестое межреберье. В системе «Кардиаг» набор эластичных поясов позволяет проводить исследование у пациентов разного возраста и с различными конституциональными особенностями. Минимальные размеры пояса с электродами дают возможность проводить исследование у детей 3–4 лет.

Для предоставления полученных данных используются карты распределения кардиоэлектрического потенциала на развертке поверхности торса с указанием анатомических ориентиров. Традиционным

является построение изопотенциальных карт в различные фазы сердечного цикла, изоинтегральных, разностных карт. На таких картах можно сразу увидеть зависимость амплитуд потенциалов от места наложения электродов. Часто получают динамическую последовательность таких карт во время сердечного цикла. В выше-названных «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. Необходимым является также анализ изоинтегральных карт, построенных на интервалах *QRS*, *ST–T*, *QRST*, для которых в каждой точке регистрации рассчитывается площадь под кривой ЭКГ (интеграл) на соответствующем интервале; точки с равными значениями площади соединяются линиями, образующими данную карту [3, 10, 11, 21, 22, 25, 35, 41].

Изоинтегральный анализ выявляет аномалии тех участков кардиоцикла, в которых изменение потенциала невелико или растянуто во времени, например, сегмента *ST*, интервала *ST–T*. По той же причине, однако, изоинтегральный метод обработки не может быть столь же чувствительным, как изопотенциальный, к выявлению аномалий комплекса *QRS*, на интервале которого происходит большое и быстрое изменение потенциала во времени. Как правило, системы ПК позволяют проводить комплексный взаимодополняющий анализ изопотенциальных и изоинтегральных карт.

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.

В зависимости от преследуемых целей анализ данных ПК осуществляется раз-

личными методами. Особенно эффективны подходы, основанные на определении электрофизиологических и биофизических параметров во взаимосвязи со структурными (анатомическими) параметрами сердца. Таким подходом является, например, характеристика электрического поля сердца, основанная на связи между распределением потенциала или его функции на поверхности тела и клиническими, электрофизиологическими и анатомическими данными, относящимися к определенному состоянию сердца. Сущность такого подхода состоит в описании формы и динамики распределений поверхностного потенциала за сердечный цикл. При этом учитываются экстремумы (глобальные и локальные) в соответствующих позициях, их амплитуды и моменты появления, наличие или отсутствие необычных признаков (особенностей карт) и т. п. По характеристикам экстремумов — положению, амплитуде, направлению движения, времени существования и скорости нарастания — можно судить о расположении в сердце основных фронтов возбуждения и потенциалов реполяризации, их величине, направлении и скорости движения. С учетом того, процессы в каких областях миокарда в основном отражаются в тех зонах на поверхности торса, где отмечены аномалии поверхностных распределений, можно делать прямые сопоставления этих аномалий. При этом можно не только определить изменение какого-то параметра карты, участок этого изменения, но и предположить характер сердечной патологии.

При практическом использовании ПК после визуальной проверки того, видны ли определенные детали карты, есть ли необычные признаки в форме и динамике распределений поверхностного потенциала за сердечный цикл, появляется необходимость сравнения построенных карт (в норме и при патологии, при исследовании с медикаментозной пробой или с нагрузкой, при динамическом наблюдении

пациента и т. д.). Для этого 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 путем осреднения амплитуд потенциала в определенный момент сердечного цикла или значений площади в каждом отведении для достаточно большого числа объектов в контрольной группе.

Использование поверхностного ЭКГ-картирования в клинической практике

Для построения прямой наглядной картины электрических событий в сердце было бы целесообразно рассмотреть вопросы, связанные с решением обратной задачи электрокардиологии, то есть из поверхностных ЭКГ получить характеристики электрического генератора сердца на основе соответствующих биофизических моделей. Решению обратной задачи электрокардиологии посвящено много исследований, от известных, фундаментальных, до самых современных [15, 21, 38, 40]. В самом деле, очень привлекательно решение в терминах эпикардиальных потенциалов, то есть оценка электрических потенциалов на поверхности сердца по измеренным потенциалам на поверхности торса. Через распределения этих потенциалов, построенных для ряда последовательных моментов сердечного цикла, можно перейти к построению изохронных карт на поверхности, аппроксимирующей эпикардиальную (рис. 3). Напомним, что реальные изохронные карты анализируются при интраоперационном эпикардиальном картировании для оценки последовательности охвата сердца возбуждением и локализации нарушений этого процесса.

Трудности применения этих подходов связаны, в первую очередь, с необходимостью

геометрического описания поверхностей сердца и торса и их взаимного расположения. Помимо этого, существуют значительные трудности модельного описания сложных электрофизиологических явлений в патологически измененном миокарде. Однако развитие современных математических методов анализа многомерных данных служит основанием для поиска новых способов оценки электрического генератора сердца и создаваемого им электрического поля. Ярким примером служат результаты, полученные в последние годы в Кливлендском университете группой исследователей под руководством Y. Rudy. В результате многолетних исследований ими создана программа трехмерной реконструкции электрических процессов в сердце человека из неинвазивных измерений («electrocardiographic imaging») [31–33]. В ней регистрация 224 поверхностных ЭКГ дополняется геометрической информацией о поверхностях сердца и тела и их взаимном расположении, полученной средствами компьютерной томографии. Вначале алгоритмы были апробированы в экспериментальных исследованиях [19, 23]. 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 [24, 31, 32]. Основываясь на знании электрофизиологических событий, происходящих в сердце больного, и анализе поверхностных распределений потенциалов или их функций (интеграле и др.), можно выделить количественные картографические признаки, характерные для

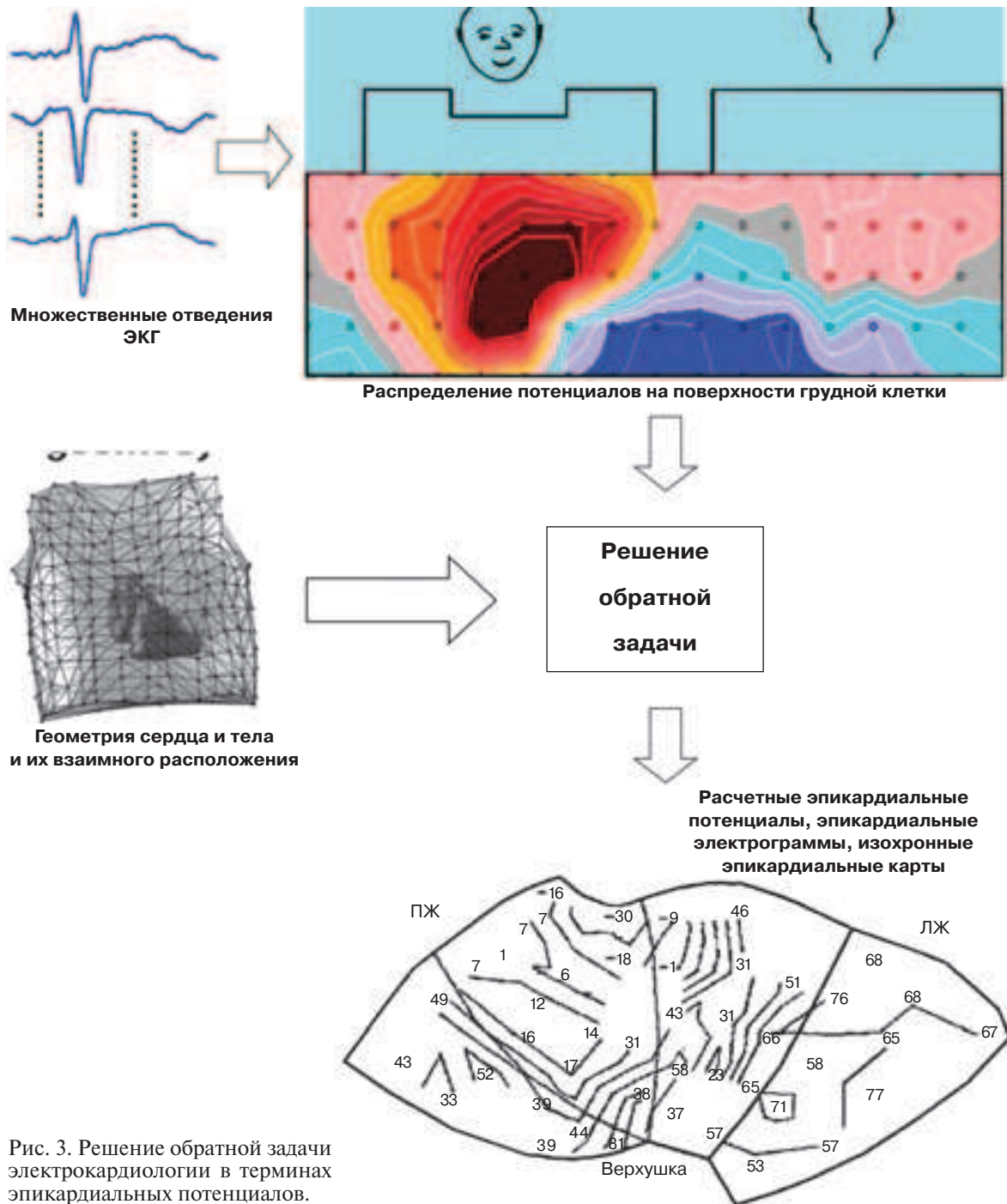


Рис. 3. Решение обратной задачи электрокардиологии в терминах эпикардиальных потенциалов.

карт пациентов с определенными формами нарушений ритма сердца.

Полученные этой группой исследователей результаты оценивают как истинное достижение технологического прогресса и наиболее значительный шаг вперед со времени начальных подходов к обратной за-

даче электрокардиологии [16]. Подчеркнем, что обратные задачи (не только в кардиологии) не имеют однозначного решения. Группа под руководством Y. Rudy смогла подойти к численному решению электрокардиологической обратной задачи, вводя ограничения, основанные

на использовании современных средств получения изображений и новейших технологий регистрации. Таким образом, появилась возможность рассчитать с высокой степенью точности карты эпикардиальных потенциалов из значений потенциалов, зарегистрированных на поверхности тела. По сообщению авторов [23], действительно измеренные паттерны эпикардиальной активации соответствуют предсказанным с точностью до 1 см. Отметим, что полученные (при исследовании трех больных) результаты сравнения расчетных и измеренных эпикардиальных потенциалов имели погрешности, которые были обусловлены тем, что расчетные данные для интактного торса сравнивались с данными, измеренными при открытой грудной клетке, кроме того, эпикардиальные карты активации не обеспечивают полной картины трехмерной сердечной активации. Тем не менее тот факт, что данные так хорошо согласуются, свидетельствует о возможностях «electrocardiographic imaging».

Несмотря на значимость полученных результатов, уровень использованных технологий, сложный математический аппарат и объем необходимой диагностической информации не позволяют широко использовать данный подход в повседневной клинической практике.

Однако даже упрощенный подход, о котором говорилось выше, с характеристикой электрического поля сердца, основанной на связи между распределением потенциала или его функции на поверхности тела и клиническими, электрофизиологическими и анатомическими данными, относящимися к определенному состоянию сердца, оказывается достаточно эффективным. В клинической практике ПК используется у пациентов с нарушениями ритма сердца для топической и дифференциальной диагностики, выявления и локализации нарушений реполяризации миокарда и, следовательно, оценки аритмической уязвимости миокарда (рис. 4, 5) [3, 10, 11, 25, 30, 35, 37, 41]. Широкий

спектр имеет применение ПК в диагностике ИБС: оценка локализации и размера зоны инфаркта миокарда, в том числе осложненного нарушениями проводимости, выявление, локализация и оценка объема ишемии при проведении ПК одновременно со стресс-тестами, оценка эффективности медикаментозного, интервенционного и хирургического лечения ИБС (рис. 6, 7) [1, 3, 5, 6, 14, 25, 26, 30, 35, 37, 41]. Многие исследования подтвердили высокую чувствительность метода в диагностике этих заболеваний.

На рисунке 7 в качестве иллюстрации последнего пункта приведены данные ПК, выполняемого в ходе динамического наблюдения у пациента, перенесшего протезирование аортального клапана (ПАК), аортокоронарное шунтирование (АКШ) и повторную интервенционную процедуру – транслюминальную баллонную ангиопластику (ТЛБАП) рестенозированной передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) левой коронарной артерии. Показаны разностные (нагрузка-покой) изоинтегральные карты,

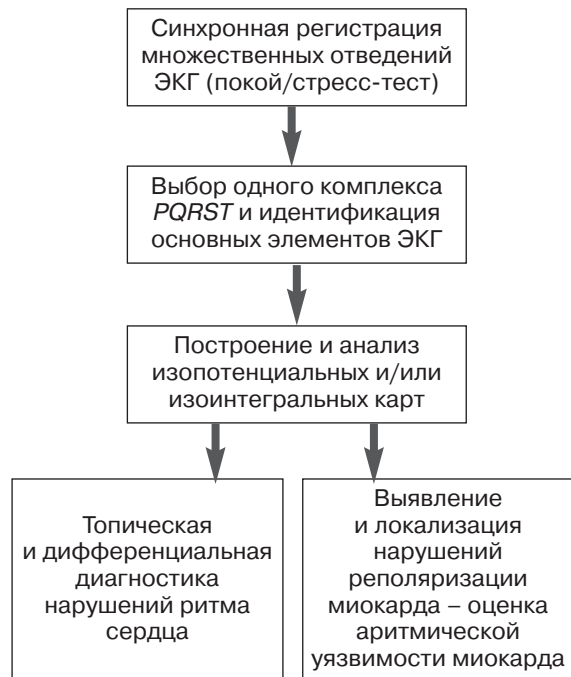
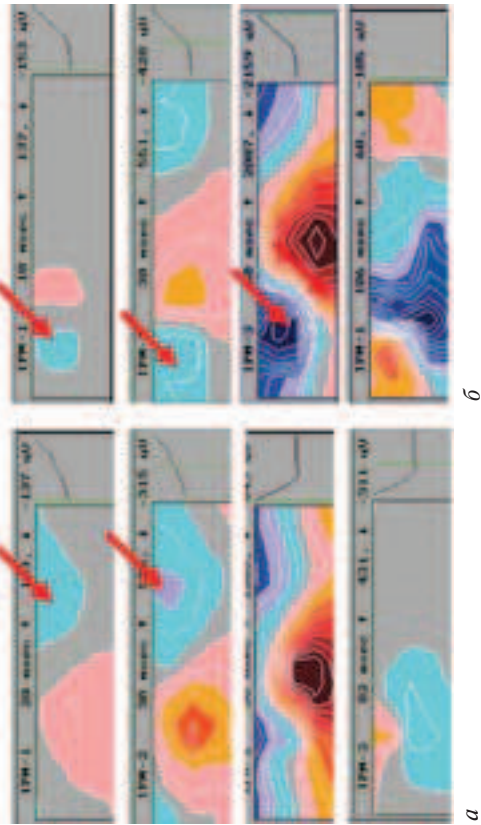


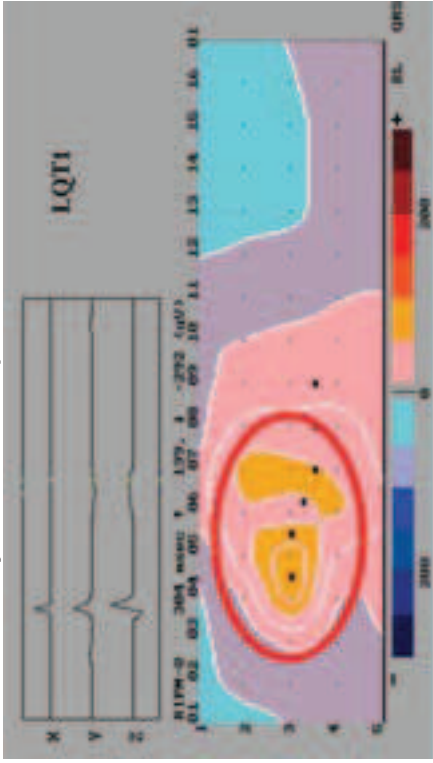
Рис. 4. Возможности метода поверхностного ЭКГ-картирования в диагностике аритмий.

Точечная и дифференциальная диагностика манифестирующего синдрома предвозбуждения миокарда желудочков

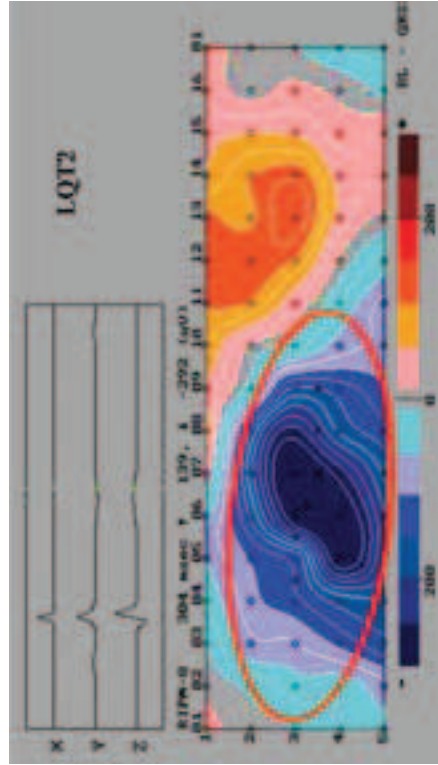


а

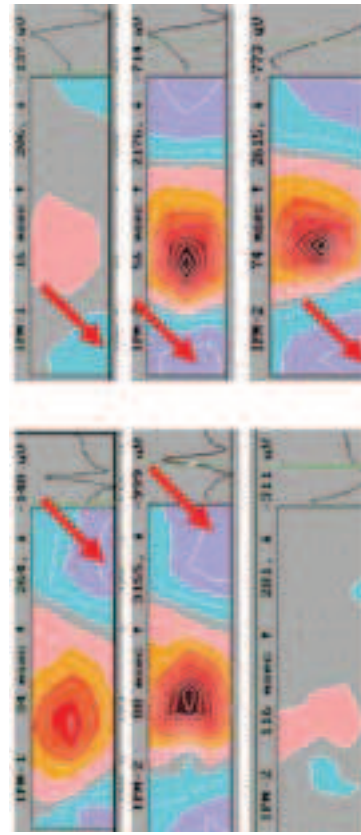
Выявление и локализация нарушений реполяризации миокарда у пациентов с идиопатическим синдромом удлиненного интервала Q-T



д



е



б

Рис. 5. Поверхностные распределения потенциалов у пациентов с нарушениями ритма сердца.

а – дополнительное предсердно-желудочковое соединение (ДПЖС) левой локализации; б – правой локализации; в – задней левой парасептальной локализации; г – задней правой парасептальной локализации; стрелками показаны диагностически значимые отрицательные экстремумы потенциалов; д, е – локализация нарушений реполяризации миокарда у пациентов с идиопатическим синдромом удлиненного интервала Q-T, тип I (д) и тип II (е).

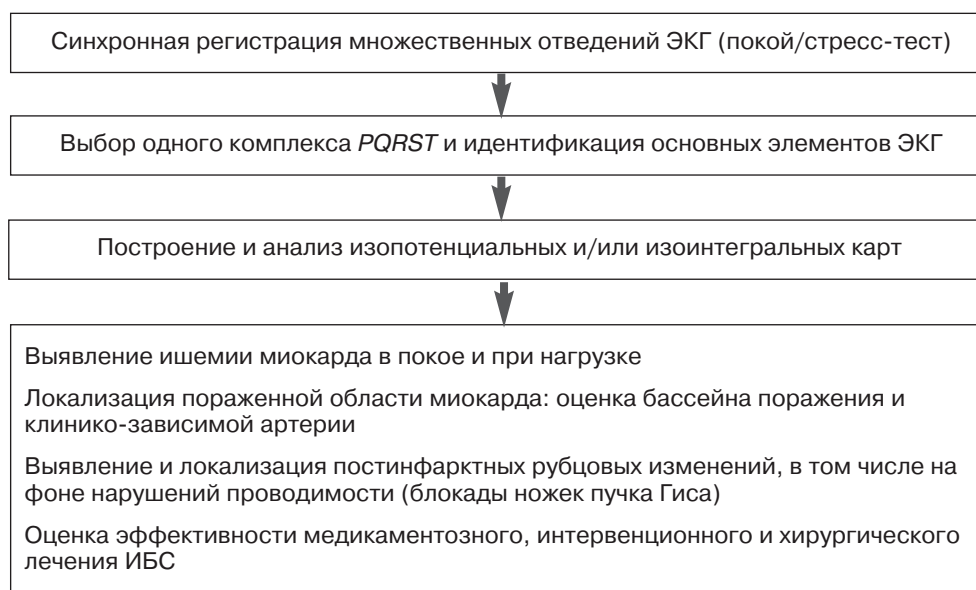


Рис. 6. Возможности метода поверхностного ЭКГ-картирования в диагностике ИБС.

рассчитанные на сегменте *ST* при проведении ПК одновременно с велоэргометрией; на разностной карте обозначены синим цветом зоны депрессии сегмента *ST*, возникающей при нагрузке.

Сопоставление возможностей традиционного метода ЭКГ-12 и ПК в получении информации о кардиальных электрических явлениях и диагностике кардиальной патологии приводится в таблице [30].

Сопоставление информационного и диагностического содержания ЭКГ-12 и поверхностного ЭКГ-картирования

Диагностическая и электрофизиологическая информация	ЭКГ-12	Поверхностное картирование со множественными отведениями ЭКГ
	Главные дипольные составляющие	Дипольные и мультипольные составляющие
<i>Информация о кардиальных электрических процессах</i>		
Построение модели электрического источника	–	+
Локализация	+	++
Мониторинг	+	–
<i>Диагностическая информация</i>		
Острый инфаркт миокарда	+	–+
Старый Q-инфаркт	+	++
Старый не-Q-инфаркт	–	++
Старый инфаркт с нарушениями проводимости	–+	+
Гипертрофии	+	++
Нарушения в/ж проведения	+	++
Дополнительные соединения	+	++
Локализация эктопической активности	+	++
Оценка эффективности инвазивной процедуры	–+	+

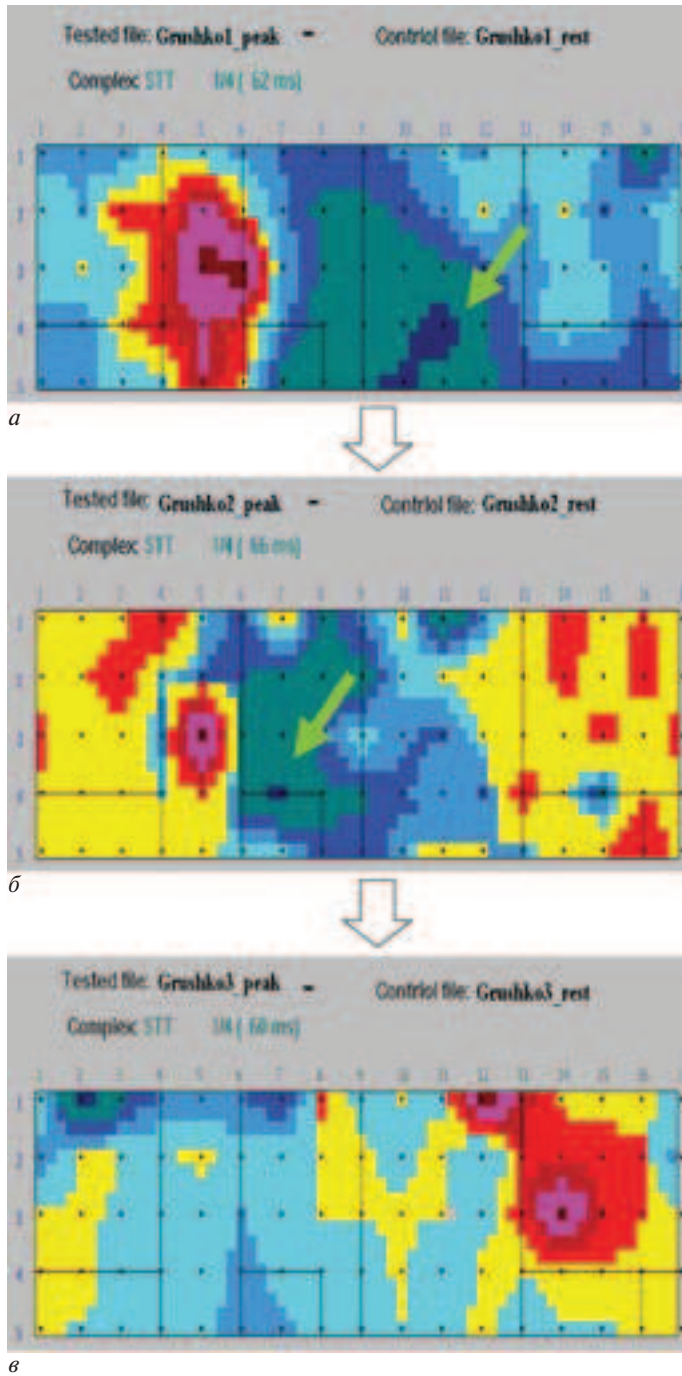


Рис. 7. Результаты поверхностного картирования, выполняемого одновременно с велоэргометрией, в ходе динамического наблюдения пациента, перенесшего протезирование аортального клапана (ПАК) и аортокоронарное шунтирование (АКШ) и повторную интервенционную пародедуру – транслюминальную баллонную ангиопластику (ТЛБАП) рестенозированной передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) левой коронарной артерии. Показаны разностные (нагрузка–покой) изоинтегральные карты, рассчитанные на сегменте *ST*; синим цветом обозначены зоны депрессии сегмента *ST*, возникающей при нагрузке.

a – исследование до операции ПАК плюс АКШ (ПМЖВ, ОВ); нагрузка 75 Вт: ишемические изменения верхушки, передней стенки и наиболее выраженные – боковой стенки ЛЖ и верхушечной трети; *б* – исследование перед ТЛБАП (ПМЖВ); нагрузка 75 Вт: возврат стенокардии, ишемические изменения верхушки, переднеперегородочной и передней стенки ЛЖ; *в* – исследование после ТЛБАП (ПМЖВ); нагрузка 100 Вт: проба отрицательная.

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 остается научно-исследовательской.

ПК не обсуждается в дополнениях к руководству American College of Cardiology/American Heart Association Guideline Updates по лечению пациентов с ИМ и заболеваниями сердца [18]. Кроме того, ПК не входит в перечень American Heart Association (2005 г.) 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, получены противоречивые результаты исследований. ПК рассматривалось как метод диагностики острого коронарного синдрома, особенно острого инфаркта миокарда [20, 29], S. Carley и соавт. [20] проводили сравнение возможностей ПК и ЭКГ-12 в постановке диагноза острого инфаркта миокарда у пациентов с характерными симптомами из отделения интенсивной терапии. Авторы пришли к заключению, что ПК имеет большую чувствительность, но меньшую специфичность при диагностике острого инфаркта миокарда. Байесовский анализ показал, что применение ПК у пациентов отделения интенсивной кардиологии может приводить к сверхдиагностике острого инфаркта миокарда.

Кроме того, работа H. Hänninen и соавт. [26] показала, что ПК в настоящее время может служить средством исследования электрофизиологических проявлений на поверхности тела пациентов с острым коронарным синдромом. Улучшение характеристик этих проявлений может помочь в неинвазивной локализации и оценке размера инфарктированной области миокарда. Однако, по мнению авторов, требуется проведение дополнительных исследований, чтобы установить роль ПК в диагностической оценке острого коронарного синдрома.

Таким образом, исследования показали, что диагностические возможности обсуждаемой электрокардиологической технологии — синхронной регистрации множественных отведений ЭКГ со всей поверхности грудной клетки имеют фундаментальный электрофизиологический базис, однако в настоящее время включение этой методики в перечень обязательных для клиники диагностических средств еще не доказано. Существенными препят-

ствиями для использования в клинике являются сложность и высокие требования к техническим характеристикам многоканальной измерительной ЭКГ-аппаратуры, а также трудоемкость процедуры и специфика работы персонала. Несомненно, технологический прогресс, совершенствование необходимых для этой методики аналитических средств и автоматизация диагностического заключения расширят применение поверхностного ЭКГ-картирования в практической медицине.

Л и т е р а т у р а

1. *Амиров Р. З.* Электрокардиотопография. — М., 1965.
2. *Бокерия Л. А., Голухова Е. З., Асланиди И. П.* и др. Опыт применения поверхностного многоканального ЭКГ-картирования в диагностике ишемической болезни сердца и оценке результатов интервенционных процедур и хирургической реваскуляризации миокарда // Бюлл. НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН. — 2004. — Т. 5, № 3. — С. 113–122.
3. *Голухова Е. З.* Неинвазивная аритмология. — М., 2002.
4. Инструментальные методы исследования в кардиологии: Руководство / Под ред. Г. И. Сидоренко. — Минск, 1994.
5. *Колесов В. И.* Хирургия венечных артерий сердца. — Л.: Медицина, 1977.
6. *Круглова М. В.* Возможности метода поверхностного многоканального ЭКГ-картирования в диагностике ишемической болезни сердца и оценке результатов интервенционных процедур: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2005.
7. *Милославская Т. Я.* Динамика показателей сегмента ST, их корреляция с амплитудными характеристиками комплекса QRS при инфаркте миокарда по данным интегральной топографии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — Казань, 2000.
8. *Орлов В. Н.* Руководство по электрокардиографии. — М.: Мед. информ. агентство, 1997.
9. *Полякова И. П.* Поверхностное картирование сердца у больных с синдромом Вольфа–Паркинсона–Уайта (алгоритмическое и программное обеспечение и клиническое применение): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1990.
10. *Полякова И. П.* Современные проблемы электрокардиологии: 1. Поверхностное ЭКГ-картирование и неинвазивная оценка электрофизиологических свойств миокарда // Клин. физиол. кровообр. — 2005. — № 2. — С. 29–36.
11. *Полякова И. П.* Исследование электрофизиологических свойств миокарда и диагностика нарушений ритма сердца методом поверхностного

- картирования: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 1999.
12. Практическая электрокардиотопография: Руководство / Под ред. В. В. Мирончика. – Минск: БелНИИ кардиологии, 1998.
 13. *Рощевский М. П., Шмаков Д. Н.* Активация миокарда. – М.: Наука, 2003.
 14. *Струтынский А. В.* Диагностические возможности моментного, изохронного и интегрального картирования сердца при основных клинико-электрокардиографических синдромах: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1990.
 15. Теоретические основы электрокардиологии / Под ред. К. В. Нельсона, Д. Б. Гезеловица. – М.: Медицина, 1979.
 16. American Heart Association. Tests to diagnose heart disease. – Dallas, TX: American Heart Association, 2005.
 17. *Berberi E. J.* Electrocardiographic imaging: A confluence of technologies and research communities // *Heart Rhythm.* – 2005. – Vol. 2, № 4. – P. 355–356.
 18. *Braunwald E., Antman E. M., Beasley J. W.* 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. Amer. Coll. Cardiol.* – 2002. – Vol. 40, № 7. – P. 1366–1374.
 19. *Burnes J. E., Ghanem R. N., Waldo A. L., Rudy Y.* Imaging dispersion of myocardial repolarization, I. Comparison of body-surface and epicardial measures // *Circulation.* – 2001. – Vol. 104. – P. 1299.
 20. *Carley S. D., Jenkins M., Jones K M.* Body surface mapping versus the standard 12 lead ECG in the detection of myocardial infarction amongst emergency department patients: A Bayesian approach // *Resuscitation.* – 2005. – Vol. 64, № 3. – P. 309–314.
 21. Comprehensive electrocardiology. Theory and practice in health and disease. – NY.: Pergamon Press, 1989.
 22. *Flowers N. C., Horan L. G.* Body surface potential mapping // *Cardiac electrophysiology. From cell to bedside* / Eds D. P. Zipes, J. Jalife. – Philadelphia: Saunders Co, 1995. – P. 1049–1067.
 23. *Ghanem R. N., Burnes J. E., Waldo A. L., Rudy Y.* Imaging dispersion of myocardial repolarization, II. Noninvasive reconstruction of epicardial measures // *Circulation.* – 2001. – Vol. 104. – P. 1306.
 24. *Ghanem R. N., Jia P., Ramanathan C.* et al. Noninvasive electrocardiographic imaging: comparison to intraoperative mapping in patients // *Heart Rhythm.* – 2005. – Vol. 2. – P. 339–354.
 25. *Green L. S., Abildskov J. A.* Clinical applications of body surface potential mapping // *Clin. Cardiol.* – 1995. – Vol. 18, № 5. – P. 245–249.
 26. *Hänninen H., Nenonen J., Mäkijärvi M.* et al. Perspectives on body surface mapping in acute ischemic syndromes // *Int. J. Bioelectromagnetism.* – 2003. – Vol. 5, № 1. – P. 4–6.
 27. *Mac-Leod R. S., Lux R. L., Taccardi B.* A possible mechanism for electrocardiographically silent changes in cardiac repolarization // *J. Electrocardiol.* – 1998. – Vol. 30 (Suppl.). – P. 114–121.
 28. *Maynard S. J., Menown I. B. A., Manoharan G.* et al. Body surface mapping improves early diagnosis of acute myocardial infarction in patients with chest pain and left bundle branch block // *Heart.* – 2003. – Vol. 89. – P. 998–1002.
 29. *McClelland A. J., Owens C. G., Menown I. B.* et al. Comparison of the 80-lead body surface map to physician and to 12-lead electrocardiogram in detection of acute myocardial infarction // *Amer. J. Cardiol.* – 2003. – Vol. 92, № 3. – P. 252–257.
 30. *Medvegy M., Duray G., Pinter A., Preda I.* Body surface mapping: Historical background, present possibilities, diagnostic challenges // *ANE.* – 2002. – Vol. 7, № 2. – P. 139–151.
 31. *Ramanathan C., Ghanem R. N., Jia P., Ryu Kand Y. Rudy.* Noninvasive electrocardiographic imaging for cardiac electrophysiology and arrhythmia // *Nat. Med.* – 2004. – Vol. 10. – P. 422–428.
 32. *Ramanathan C., Jia P., Ghanem R. N.* et al. Activation and repolarization of the normal human heart under complete physiological conditions // *Proc. Natl. Aca. Sci.* – 2006. – Vol. 103, № 16. – P. 6309–6314.
 33. *Rudy Y., Burnes J. E.* Noninvasive electrocardiographic imaging // *Ann. Noninvas. Electrocardiol.* – 1999. – Vol. 4, № 3. – P. 340–358.
 34. *Schmitt C., Ndrepepa G., Deisenhofer I., Schneider M.* Recent advances in cardiac mapping techniques // *Curr. Cardiol. Rep.* – 1999. – Vol. 1. – P. 149–156.
 35. *Shenasa M.* (ed.) *Cardiac Mapping.* – NY: Blackwell Science, 2003.
 36. *Spach M. S., Barr M. C., Lanning C. F.* et al. Origin of body surface QRS and T wave potentials from epicardial potential distributions in the intact chimpanzee // *Circulation.* – 1977. – Vol. 55. – P. 268–278.
 37. *Taccardi B.* Body surface mapping and cardiac electric sources. A historical survey // *J. Electrocardiol.* – 1990. – Vol. 23 (Suppl.). – P. 150–154.
 38. *Titomir L. I., Kneppo P.* Bioelectric and Biomagnetic Fields. Theory and Applications in Electrocardiol. – CRC Press, Boca Raton etc., 1994.
 39. *Waller A. D.* On the electromotive changes connected with the beat of the mammalian heart, and of the human heart in particular // *Phil. Trans. R. Soc.* – 1889. – Vol. 180. – P. 169–194.
 40. *Wang Y., Rudy Y.* Application of the method of fundamental solutions to potential-based inverse electrocardiography // *Ann. Biomed. Engin.* – 2006. – Vol. 34. – P. 1272–1288.
 41. *Watanabe Y.* The state of body surface mapping in Japan // *J. Electrocardiol.* – 1995. – Vol. 28. – P. 110–120.
 42. *Zickler P.* Cardiac mapping // *Biomed. Instrum. Technol.* – 1997. – Vol. 31, № 2. – P. 173–175.
 43. *Zipes D. P., Jalife J.* (eds) *Cardiac electrophysiology. From cell to bedside.* – Philadelphia: Saunders Co, 1995.

Поступила 28.02.2007