

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОПОЛЮСНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ЭКГ-КАРТИРОВАНИЯ У БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА

Профессор А.В. СТРУТЫНСКИЙ, к.м.н. Е.В. ЦЫГАНКОВ,
к.м.н. А.Б. ГЛАЗУНОВ, к.м.н. А.Н. КАЛЛАЕВА, Д.В. ВИНОГРАДОВА

*Российский государственный медицинский университет, Москва,
Российская Федерация*

Обсуждаются диагностические возможности многополюсного поверхностного ЭКГ-картирования сердца при различных формах ИБС. Показана информативность и наглядность метода построения карт разности электрических потенциалов, получаемых с помощью компьютерной процедуры вычитания из картограмм больного ИБС усредненной картограммы здоровых лиц.

Многополюсное поверхностное ЭКГ-картирование сердца (Body Surface Mapping — BSM) является одним из наиболее информативных методов исследования электрической активности миокарда. Метод позволяет получить максимальную информацию об особенностях электрического поля сердца (ЭПС) в любой момент деполяризации и реполяризации желудочков.

В настоящее время автоматическая регистрация распределения электрических потенциалов на поверхности тела осуществляется с помощью сложных компьютерных систем, например Predictor BSM-32 (США) или Cardiac (Чехия). Униполярные электроды (от 90 до 192) располагаются на передней, задней и боковых поверхностях грудной клетки, а также на животе. Получаемая таким образом пространственно-временная и амплитудно-временная информация [1] может быть представлена в виде нескольких разновидностей картограмм:

1) изопотенциальные (моментные) картограммы распределения потенциалов, представляющие собой как бы «временные срезы» ЭПС следующих друг за другом моментов сердечного цикла [4];

2) интегральные картограммы распределения площадей комплекса QRS, сегмента RS-T и всего комплекса QRST [5-7];

3) изоинтегральные картограммы распределения сумм площадей под кривой ЭКС за любой интересующий период сердечного цикла [1; 8];

4) изохронные картограммы (карты распределения времени активации сердечной мышцы), позволяющие визуализировать процесс распространения возбуждения по сердечной мышце [2; 4].

Во всех работах, посвященных поверхностному ЭКГ-картированию сердца, подчеркивается ряд существенных преимуществ этого метода перед стандартной ЭКГ в 12 отведениях. К ним относятся: 1) использование большого числа отведений (90-192), располагающихся на всей поверхности грудной клетки, что дает возможность получить максимальную информацию об особенностях структуры ЭПС [1; 9-10]; 2) возможность синхронизации всех электрокардиосигналов и представления данных не

в традиционной (аналоговой) форме, а в виде последовательных (моментных), интегральных и изоинтегральных картограмм распределения потенциалов, что позволяет подробно изучить динамику процессов де- и реполяризации миокарда [1; 11]; 3) возможность изучения мультиполюсного генератора сердца и более точной оценки локальной электрической активности сердечной мышцы [1; 5; 12-14].

Начало широкому применению метода поверхностного ЭКГ-картирования для диагностики ИБС было положено в 1971 г. D. Reid et al. [7], опубликовавшими первое сообщение о возможностях использования системы картирования при остром ИМ. В 1972 г. R. Maroko et al. [6] описали классический метод прекардиального картирования с использованием 35 униполярных отведений, расположенных в прекардиальной области.

В дальнейшем наибольшее число работ было посвящено диагностике острого ИМ и рубцовых изменений миокарда [5; 12-15]. В настоящее время можно считать доказанным, что применение ЭКГ-картирования при ИМ способствует существенному повышению качества его электрокардиографической диагностики. В результате этого появились рекомендации Европейского комитета по неинвазивному исследованию миокарда (European Committee's Concerted Action, Noninvasive Evaluation of the Myocardium — NEMY), освещающие различные аспекты применения ЭКГ-картирования, в том числе и при ИМ. Описаны диагностические и прогностические критерии ИМ различной локализации [16], которые оказались действенными не только у больных с классической ЭКГ-картиной ИМ, но и в тех сложных случаях, когда стандартная ЭКГ₁₂ оказывалась малоинформативной, например при ИМ без зубца Q [17; 18], ИМ, развившемся на фоне блокады ножек пучка Гиса [19; 20], или при ИМ передней части МЖП, нижнедиафрагмального или переднебазального сегментов ЛЖ [2; 17].

Так, при наличии рубцовых изменений передней части МЖП наиболее характерные изменения моментных (изопотенциальных) карт распределения электрических потенциалов были обнаружены

в самом начале периода деполяризации желудочков на протяжении 15–20 мс от начала комплекса QRS [2]. Например, поражение *верхней передней части МЖП* характеризуется высоким расположением начальной негативной зоны, ранним перемещением ее против часовой стрелки в правую часть картограммы и локализацией начального максимума положительного потенциала в нижней части картограммы. При инфаркте *нижней части МЖП* начальная негативная зона смещена вниз и несколько вправо, а начальный максимум положительных потенциалов — высоко вверх в правую супрастернальную область. Очень рано (через 5–10 мс от начала деполяризации желудочков) наблюдается движение негативной зоны вправо по часовой стрелке. При трансмуральном поражении *нижнедиафрагмального сегмента ЛЖ* наблюдаются смещение начальной негативной зоны вправо в среднюю и правую часть картограммы и миграция максимума положительного потенциала вверх и влево (после 20–25 мс от начала комплекса QRS).

A.J. McClelland et al. [21] подчеркивают, что чувствительность ЭКГ-картографического выявления острого ИМ даже в первые часы после ангинозного приступа достигает 64% и специфичность — 94%, тогда как чувствительность стандартной ЭКГ₁₂ не превышает 32% при специфичности 98%.

Наиболее наглядным способом картографической диагностики ИМ с зубцом Q оказался метод построения так называемых карт разности электрических потенциалов [1–3], получаемых с помощью компьютерной процедуры вычитания из картограмм больного ИМ усредненной картограммы пациентов контрольной группы (без ИМ). В результате на изоинтегральных картах первых 40 мс деполяризации желудочков получают большие по протяженности области негативного потенциала, соответствующие локализации инфаркта (рис. 1). По нашим данным, чувствительность такого способа диагностики ИМ с зубцом Q достигает 88,9–100% [2; 17].

В последние годы продолжают активно разрабатываться новые диагностические критерии острого ИМ. Так, S.J. Maynard et al. [22] разработали критерии ЭКГ-картографической диагностики ИМ на фоне пол-

ной блокады левой ножки пучка Гиса, а Е.З. Голухова с соавт. предложила ЭКГ-картографическую методику выявления постинфарктного рубца у пациентов с полной блокадой левой ножки пучка Гиса [20].

Особый интерес вызывают исследования, в которых рассматриваются диагностические возможности ЭКГ-картирования при ИМ без зубца Q. Так, в 1984 г. Н. Hirai et al. [23] и J. Osugi et al. [24] обследовали с помощью поверхностного ЭКГ-картирования соответственно 32 больных с передним и 24 больных с задним «мелкоочаговым» ИМ в рубцовой стадии. Результаты исследований показали, что у 81–83% из этих пациентов картограммы имели патологические отклонения.

De Ambroggi et al. [12], также используя технику вычитания карт, показали, что у больных, перенесших «мелкоочаговый» ИМ, с отсутствием волны Q на стандартной ЭКГ₁₂, на изоинтегральных картах первых 40 мс желудочковой деполяризации выявлялось локальное уменьшение положительного потенциала, связанное с очаговым снижением электрической активности миокарда в зоне нетрансмурального некроза. Этот картографический признак обладал высокой чувствительностью и специфичностью (80 и 87% соответственно) и хорошо соответствовал по локализации тому сегменту ЛЖ, где локализовался постинфарктный рубец.

Наши исследования, выполненные с использованием автоматической системы многополосного ЭКГ-картирования сердца PREDICTOR BSM-32 (США), также показали, что у 81,1% пациентов с документированным не-Q-ИМ на изоинтегральных картах разности первой, средней и/или последней трети деполяризации желудочков выявлялась отчетливая деформация изоэлектрических линий в виде формирования ограниченной зоны с амплитудой потенциалов в 1,5–2 раза меньшей, чем амплитуда окружающих ее областей. В ряде случаев на картах разности определялась небольшая негативная зона, окруженная со всех сторон областью положительных потенциалов (рис. 2). Во всех случаях локализация этих зон соответствовала сегментам ЛЖ с нарушенной локальной сократимостью (гипокинезией), определяемой при эхокардиографическом исследовании [17].

Среди больных ИБС контрольной группы (без ИМ) локальные зоны снижения электрической активности миокарда ЛЖ, преимущественно в области МЖП, были обнаружены только у 16,7%. Таким образом, чувствительность диагностики не-Q-ИМ с помощью методики построения изоинтегральных карт разности потенциалов составила 81,1%, специфичность — 83,3% и положительная предсказательная ценность — 93,5%.

Таким образом, применение ЭКГ-картирования при ИМ способствовало существенному повышению качества электрокардиографической диагностики этого патологического состояния. Кроме того, большим

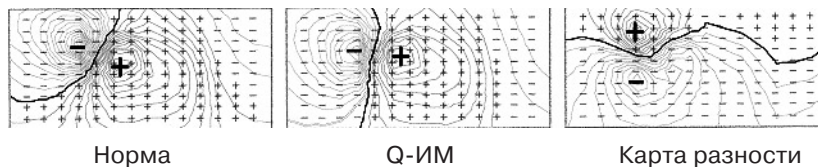


Рис. 1. Интегральная карта QRS у пациента с Q-ИМ нижних сегментов ЛЖ

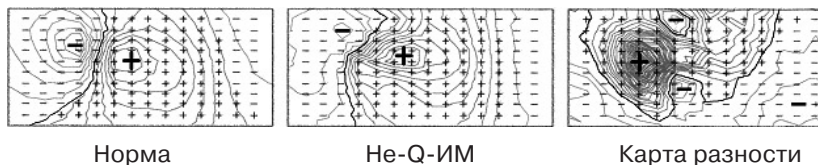


Рис. 2. Интегральная карта QRS пациента с не-Q-ИМ

достижением стала возможность прижизненного картографического определения массы некроза [25].

Особое значение имеют результаты использования методики поверхностного ЭКГ-картирования сердца для диагностики *хронических форм ИБС*, поскольку в последние годы продемонстрирована сравнительно низкая чувствительность к ишемии стандартной ЭКГ₁₂, которая, по данным ряда исследователей (даже при проведении функциональных нагрузочных тестов), является информативной лишь в 52–70% случаев [2–3; 26]. К сожалению, в большинстве работ, посвященных использованию методики ЭКГ-картирования у больных стенокардией, авторы ограничивались изучением традиционных критериев ишемии миокарда в виде изменений конечной части желудочкового комплекса — сегмента RS-T и зубца Т. Тем не менее более чем у половины больных с нормальной ЭКГ₁₂ в покое обнаруживалось патологическое расположение минимума потенциалов в период RS-T [3; 13].

Так, использование многовариантного статистического анализа поверхностных карт распределения потенциалов комплекса QRS и периода формирования сегмента RS-T и зубца Т позволило более чем в 90% случаев классифицировать карты больных ИБС и здоровых лиц [7; 13; 27]. L.Green et al. [3] с помощью сложной компьютерной техники и математического анализа с использованием 216 независимых коэффициентов было проведено сравнение моментных изопотенциальных карт всего периода QRST, зарегистрированных в покое у здоровых лиц и у больных ИБС. Сходные результаты получены в других работах [27]: чувствительность и специфичность метода ЭКГ-картирования в выявлении ИБС превышала 90%, причем авторы подчеркивают тот факт, что при традиционной визуальной качественной оценке карты большинства больных ИБС были неотличимы от нормы.

Информативность количественного анализа поверхностных карт распределения потенциалов у больных ИБС существенно повышается при использовании функциональных нагрузочных тестов. Так, K.Fox et al. [28] показали, что у 85% больных с верифицированной ИБС на картограммах, зарегистрированных в процессе нагрузочного теста, можно обнаружить обширные зоны депрессии RS-T.

Поверхностное ЭКГ-картирование во время нагрузочного теста имеет преимущества перед стандартной ЭКГ₁₂, поскольку у 25% больных зона максимальной посленагрузочной депрессии RS-T локализовалась вне позиций обычных грудных отведений. При этом чувствительность ЭКГ-картирования в диагностике ИБС составила 72%. K.Ikeda et al. [4] с помощью многополосной системы из 87 отведений установили, что при проведении дипиридамоловой пробы ишемическая депрессия сегмента RS-T возникла столь же часто, как и при пробе с физической нагрузкой (чувствительность критерия RS-T при обоих тестах составила 61%). S.Yasui et al. [29] обнаружили тесную корреляцию посленагрузочных смещений сегмента RS-T с тяжестью течения заболевания, регионарной асинергией сердечной мышцы

и дефектом перфузии ²⁰¹Tl, выявляемых соответственно при вентрикулографии и скинтиграфии миокарда. По данным I.Kubota et al. [8], у больных с асинергией нижнедиафрагмальной стенки депрессия сегмента RS-T пропорциональна степени сужения коронарных артерий (КА) ($r = 0,845$, $p < 0,001$).

Однако, несмотря на преимущества картирования сегмента RS-T перед стандартной ЭКГ₁₂, использование этими и другими авторами лишь традиционных ЭКГ-критериев ишемии миокарда в виде депрессии или элевации сегмента RS-T не позволило существенно повысить чувствительность метода картирования при функциональных нагрузочных пробах: около 10–40% больных с гемодинамически значимым сужением КА не могли быть отнесены к группе страдающих ИБС. Это диктует необходимость использования других ЭКГ-критериев диагностики ишемии миокарда, а также разработки новых методов количественного анализа картограмм.

С целью повышения информативности функциональных нагрузочных тестов у больных ИБС нами был разработан метод динамического многополосного ЭКГ-картирования сердца (1990–2000), заключающийся в подробном качественном и количественном анализе динамики ЭПС в процессе нагрузочного теста [2; 9; 30]. Для описания полученной информации мы использовали методику построения карт разности потенциалов, получаемых с помощью компьютерной процедуры вычитания двух картограмм, зарегистрированных в процессе проведения нагрузочного теста.

Было показано, что характер посленагрузочных изменений ЭПС у больных с верифицированной ИБС принципиально отличается от такового у пациентов контрольной группы (без ИБС). Так, при отсутствии признаков атеросклеротического сужения КА у пациентов контрольной группы на фоне нагрузочного теста закономерно выявлялось достоверное уменьшение амплитуды положительных и углубление амплитуды отрицательных потенциалов на интегральных, изопотенциальных и моментных картах периода деполяризации желудочков (комплекс QRS) и ускорение электрической активации желудочков. В результате этого на картах разности электрических потенциалов определялась обширная негативная область (область отрицательной разности потенциалов). Такая динамика ЭПС у пациентов контрольной группы отражает, вероятно, физиологическое уменьшение КДО и КСО желудочков, возникающее на фоне любого нагрузочного теста, сопровождающегося умеренной тахикардией и активацией симпатико-адреналовой системы (САС).

Главной особенностью динамики ЭПС у больных ИБС во время нагрузочного теста явилась ее отчетливая локальная деформация, которая выражалась в появлении ограниченной зоны положительной разности потенциалов, которая, как правило, с 3–4 сторон была окружена областью негативного потенциала. Такая картина ЭПС выявлялась обычно на высоте нагрузочного теста на протяжении 18–40 мс в период деполяризации желудочков (комплекс QRS) и отражала возникновение локального нарушения проведе-

ния электрического импульса в области преходящей ишемии, что приводило к локальному увеличению асинхронизма возбудительного процесса и, как следствие, к увеличению амплитуды положительных потенциалов в зоне ишемии (рис. 3). Локализация этой зоны на картограммах хорошо соответствовала локализации области преходящей ишемии миокарда, обнаруженной у этих больных при скintiграфии миокарда с ^{201}Tl .

Чувствительность такой методики выявления преходящей ишемии миокарда во время нагрузочного теста, по нашим данным, достигает 94%, специфичность — 96%, а диагностическая точность — 95%.

Таким образом, применение методики автоматизированного ЭКГ-картирования сердца во время нагрузочного теста позволяет в большинстве случаев визуализировать область преходящей ишемии мио-

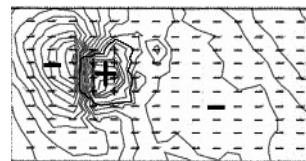


Рис. 3. Карта разности пациента с индуцированной ишемией ЛЖ

карда, индуцированной внутривенным введением дипиридамола или физической нагрузкой. Появление на картах разности электрических потенциалов ограниченной зоны положительных значений потенциалов служит, следовательно, своеобразным маркером преходящей ишемии миокарда.

Литература

1. *Flowers N.C., Horan L.G.* Body surface mapping including relationships with endocardial and epicardial mapping // *Ann. NY Acad. Sci.*— 1990.— Vol. 601(7).— P.148–179.
2. *Струтынский А.В.* Диагностические возможности моментного, изохронного и интегрального картирования сердца при основных клинико-электрокардиографических синдромах: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук.— М., 1989.— 39 с.
3. *Green L.S., Lux R.L., Nawes S.W.* Detection and localization of coronary artery disease with body surface mapping in patients with normal electrocardiograms // *Circulation.*— 1987.— Vol. 76(6).— P.1290–1297.
4. *Ikeda K., Yamaki M., Honma K.* Use of body surface electrocardiographic mapping to localize the asynergic site in previous myocardial infarction // *J. Electrocardiol.*— 1990.— Vol. 23(1) — P. 13–22.
5. *Рябыкина Г.В.* Метод автоматизированного картирования множественных отведений ЭКГ и его значение для дифференциации основных форм поражения миокарда: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук.— М., 1989.— 35 с.
6. *Maroko P.P., Libby P., Covell J.W.* Precordial ST segment elevation mapping: an atraumatic method for assessing alterations in the site of myocardial ischemic injury // *Am. J. Cardiol.*— 1972.— Vol. 29.— P. 223–230.
7. *Reid D.S., Pelides L.S., Shillingford J.P.* Surface mapping of R3–T segment in acute myocardial infarction // *Br. Heart J.*— 1971.— Vol. 33.— P. 370–374.
8. *Kubota I., Ikeda K., Kanaya T.* Noninvasive assessment of left ventricular wall motion abnormalities by QRS isointegral maps in previous anterior infarction // *Am. Heart J.*— 1985.— Vol. 109(3).— P. 464–471.
9. *Цыганков Е.В.* Повышение информативности велоэргометрического и дипиридамолового тестов у больных ИБС с помощью количественного анализа результатов многополюсного ЭКГ-картирования сердца: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— М., 2000.— 24 с.
10. *Miyakoda A., Kitamura H., Kimugawa T.* Diagnostic value of R-wave amplitude increase during treadmill exercise testing for detecting coronary artery disease // *Jpn. Circ. J.*— 1990.— Vol. 54(12) — P. 1503–1510.
11. Исследование электрофизиологических свойств миокарда с использованием методов ЭКГ высокого разрешения и поверхностного картирования при проведении стресс-теста / *Л.И. Титомир, С.В. Грачев, Н.М. Кушова, А.Б. Кузнецов* // ЭКГ высокого разрешения.— М.: Трианда-Х, 2003 — С. 207–224.
12. *De Ambroggi L.* Clinical application of cardiac electromaps // *Electromappe cardiache.*— 1983.— Vol. 1(1).— P. 11–20.
13. *Frost P.H., Verter J., Miller D.* Serum lipids and lipoproteins after myocardial infarction: associations with cardiovascular mortality and experience in the Aspirin Myocardial Infarction Study // *Am. Heart. J.*— 1987.— Vol. 113(6).— P. 1356–1364.
14. *Ikeda K., Kubota I., Igarashi A.* Detection of local abnormalities in ventricular activation sequence by body surface isochrone mapping in patients with previous myocardial infarction // *Circulation.*— 1985.— Vol. 72(4).— P. 801–809.
15. *Голухова У.З.* Многоканальное поверхностное компьютерное ЭКГ-картирование в диагностике ишемической болезни сердца и нарушений ритма // Неинвазивная аритмология.— М. Изд-во НИЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН, 2002.— С. 38–72.
16. *Дмитриев Д.В.* Раннее прогнозирование клинического течения острого инфаркта миокарда: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— М., 1989.— 21 с.
17. *Адель Ханю Жуж.* Диагностика острого «не-Q-инфаркта миокарда» с помощью поверхностного ЭКГ-картирования сердца: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— М., 1999.— 26 с.
18. *Hirai H., Ohta T., Kinoshita A.* Body surface isopotential maps in old anterior myocardial infarction undetectable by 12-lead electrocardiograms // *Am. Heart J.*— 1984.— Vol. 108.— P. 975–983.
19. *Сивцева А.И.* Особенности электрического поля сердца и диастолической функции левого желудочка при блокадах ножек пучка Гиса: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.— М.— 2000.— 21 с.
20. Поверхностное картирование в диагностике рубцовых изменений миокарда у больных ишемической болезнью сердца на фоне блокады левой ножки пучка Гиса / *Е.З. Голухова, И.П. Полякова, А.И. Кулямин, М.Г. Адамьян* // Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий.— М., 1999.— С. 260–261.

21. Comparison of the 80-lead body surface map to physician and to 12-lead electrocardiogram in detection of acute myocardial infarction / A.J. McClelland, C.G. Owens, I.B. Menown et al. // *Am. J. Cardiol.*— 2003.— Vol. 92(3).— P. 252–257.
22. Body surface mapping improves early diagnosis of acute myocardial infarction in patients with chest pain and left bundle branch block / S.J. Maynard, I.B. Menown, G. Manoharan et al. // *Heart.*— 2003.— Vol. 89(9).— P. 998–1002.
23. Hirai H., Ohta T., Kinoshita A. Body surface isopotential maps in old anterior myocardial infarction undetectable by 12-lead electrocardiograms // *Am. Heart J.*— 1984.— Vol.108.— P. 975–983.
24. Osugi J., Ohta T., Toyama J. Body surface isopotential maps in old inferior myocardial infarction undetectable by 12 lead electrocardiogram // *J.Electrocardiol.*— 1984.— Vol. 17 (1) — P. 55.
25. Виноградов А.В., Дмитриев Д.В., Арутюнов Г.П. Определение массы и скорости образования инфаркта миокарда в реальном масштабе времени // *Кардиология.*— 1988.— № 4.— С. 24–27.
26. Michaelides A.P., Psomadaki Z.D., Dilaveris P.E. Improved detection of artery disease by exercise electrocardiography with the use of precordial leads // *ACP J. Club.*— 1999.— P. 131–146.
27. Krukoff M.W., Evans A.K., Pieper K.S. Principal component analysis of 32 lead body surface maps: a promising noninvasive approach to the detection of coronary artery disease at rest // *Circulation.*— 1991.—Vol. 84(4). Suppl. II.— P. 11–236.
28. Fox K.M., Selwyn A.P., Shillingford J.P. A method for precordial surface mapping of the exercise electrocardiogram // *Brit. Heart J.*— 1978.— Vol. 40(12).— P. 1339–1343.
29. Yasui S., Kubota I., Ohyama T. Quantitative evaluation of treadmill test induced ST-T segment changes using body surface mapping // *Jap. Circulat. J.*— 1981.—Vol.45.— P. 1208–1211.
30. Диагностические возможности поверхностного ЭКГ-картирования сердца при различных клинико-электрокардиографических синдромах / А.В. Струтынский, А.А. Рейснер, Е.В. Цыганков и др. // *Рос. кардиол. журн.*— 1999.— № 2 — С. 62–67.

Поступила 08.12.2003

DIAGNOSTIC CAPABILITIES OF MULTIPOLE SUPERFICIAL ECG-MAPPING IN CORONARY ARTERY DISEASE

A.V. Strutynsky, E.V. Tsygankov, A.B. Glasunov, A.N. Kallayeva, D.V. Vinogradova

S u m m a r y

The authors discuss the capabilities of multipole superficial ECG-mapping in various forms of coronary artery disease (CAD). Informativity and clearness of the technique of mapping difference of electrical potentials obtained using a computed procedure of subtraction of mean map of healthy subjects from the map of CAD patient are shown.