

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСПЕРСИОННОГО ЭКГ-АНАЛИЗА В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ КОРОНАРОАНГИОПЛАСТИКИ

С.И. Федорова, В.П. Пронина, Т.Ю. Лебедева, М.В. Вишнякова, А.В. Ващенко, А.М. Григорьева, И.Н. Беляева

ГУ МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского

Изучен новый неинвазивный метод дисперсионного картирования миокарда. С его помощью обследовано 87 больных ИБС и приобретенными пороками сердца в процессе проведения коронарографии и коронарной ангиопластики. Оценивалась электрическая нестабильность миокарда, развивающаяся вследствие ишемии/гипоксии на этапах коронарографии и ангиопластики, по критериям дисперсионных отклонений и цветовой индикации квазиэпикарда. Дисперсионное картирование является высокочувствительным методом оценки состояния миокарда и его электрофизиологических характеристик при коронарографии и ангиопластике.

**Ключевые слова:** коронарография, коронароангиопластика, ишемия миокарда, электрокардиография, функциональная диагностика, дисперсионное картирование миокарда.

### APPLICATION OF DISPERSION ECG-ANALYSIS IN CONDITIONS OF CORONAROANGIOPLASTY

S.I. Fiodorova, V.P. Pronina, T.Yu. Lebedeva, M.V. Vishnyakova, A.V. Vashchenko, A.M. Grigoriyeva, I.N. Belyayeva

M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI)

New non-invasive method of dispersion myocardial mapping was studied. Using this method, 87 patients with ICD and acquired heart defects were examined during coronarography and coronary angioplasty. Electric myocardial instability was estimated that developed owing to ischemia/hypoxia at the stage of coronarography and angioplasty according to criteria of dispersion deviations and color indication of quasi-epicardium. Dispersion mapping is a highly sensitive method of myocardial condition estimation as well as of its electrophysiological characteristics during coronarography and angioplasty.

**Key words:** coronarography, coronaroangioplasty, myocardial ischemia, electrocardiography, functional diagnosis, dispersion mapping of myocardium.

Интервенционные вмешательства на коронарных артериях (КА) и расширение их возможностей в современной кардиологии предъявляют новые требования к распознаванию скрытой ишемии миокарда и определению риска развития потенциально опасных нарушений сердечного ритма в случаях возникновения осложнений – спазма коронарных артерий, диссекции, тромбоза. Контроль за состоянием миокарда в процессе коронарографии и коронароангиопластики традиционно осуществляется с помощью электрокардиографии, которая по праву считается основным инструментальным неинвазивным методом выявления ишемии миокарда.

На ранних стадиях ишемии миокарда в первую очередь происходит изменение электрофи-

зиологических свойств миокардиоцитов и, соответственно, трансмембранного потенциала [1]. Развивающаяся после эпизода ишемии или перенесенного инфаркта миокарда электрофизиологическая альтернация клеток и их мембран приводит к формированию зон с внутриклеточными мембранными нарушениями и нестабильным функционированием ионных каналов, изменению возбудимости клеток проводящей системы сердца. Таким образом, электрофизиологическая альтернация становится чувствительным индикатором патологических процессов, происходящих на уровне клеточных мембран [2].

Одним из перспективных направлений развития электрокардиографии на современном этапе является изучение электрического потенциала

сердца, комплексный анализ дисперсии QRS, интервала QT и зубца Р [4].

Среди методов, определяющих электрофизиологические свойства миокарда, в частности, в условиях его ишемии, заслуживает внимания новый метод неинвазивного дисперсионного ЭКГ-картирования сердца. Он основан на регистрации и формировании информационно-топологической модели электрических микроальтернатив ЭКГ-сигнала и реализует новый неинвазивный способ контроля электрической нестабильности миокарда посредством использования ЭКГ-отведений от конечностей. В итоге формируемая дисперсионная карта в виде «портрета сердца» отражает отклонения метаболизма миокарда от нормы. Характеристики низкоамплитудных колебаний являются диагностическими маркерами приближающейся структурной перестройки миокарда, которые позволяют получить информацию о патологическом процессе уже на ранних стадиях его развития. Установлено, что при возникновении патологии миокарда дисперсионные показатели изменяются раньше, чем элементы стандартной ЭКГ [4].

Целью настоящей работы явилась оценка возможностей нового метода дисперсионного картирования ЭКГ в выявлении электрической нестабильности миокарда как предиктора его ишемии/гипоксии, возникающей в процессе интервенционных вмешательств на коронарных артериях.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее исследование включены 87 больных с ИБС и приобретенными пороками сердца, среди которых преобладали мужчины (94,3%) в возрасте 36-64 лет (в среднем  $51,1 \pm 7,3$  года). Группу контроля составили 20 практически здоровых лиц, сопоставимых по полу и возрасту с группой больных. Всем пациентам проведена коронарография, и с учетом полученных результатов 10 больным (11,5%) выполнено стентирование КА.

Коронарография и стентирование осуществлялись по стандартной методике на приборе «INTEGRIS Allura» («Philips») с использованием контраста Ультравист. Всем пациентам проводилась постоянная медикаментозная поддержка, включающая реланиум, седуксен, фентанил, нитроглицерин внутривенно капельно в течение всей процедуры. За три дня до стентирования больные получали плавикс 75 мг, аспирин 100 мг;

непосредственно перед процедурой внутривенно струйно вводился гепарин (10 000 ЕД) [3].

В процессе коронарографии и стентирования выполнялась контрольная регистрация стандартной ЭКГ в 12 отведениях. Динамическая регистрация дисперсионного картирования ЭКГ-сигнала осуществлялась на всех этапах коронарографии и стентирования коронарных артерий при помощи прибора «КардиоВизор-06с», в котором отведения от конечностей (I, II, III, aVR, aVL, aVF) являются датчиками для извлечения сигналов низкоамплитудных колебаний поверхностных потенциалов. Основные амплитуды колебаний ЭКГ-сигнала, используемые в анализе (дисперсия колебаний между наибольшим и наименьшим значениями варьирующей величины), составляют 3-5% от амплитуды зубца R. Анализ узкополосных флуктуаций поверхностных потенциалов проводится в стандартной полосе частот от 0 до 200 Гц. На протяжении 30 секунд формируется дисперсионная карта по амплитудам микроальтернатив QRS-комплекса. Информация о дисперсионных изменениях выводится на экран дисплея в виде дисперсионной карты, так называемого «портрета сердца», который представляет собой компьютерную реконструкцию рассчитанных средних характеристик этой амплитудной дисперсии и трехмерную визуализацию электромагнитного излучения миокарда на поверхности квазиэпикарда [3]. Дисперсионное картирование оценивали по интегральному индексу изменений миокарда (ИИИМ, %) на наиболее значимых эпизодах процесса коронарографии.

Этапы выполнения дисперсионного картирования соответствовали протоколу коронарографии и стентирования, включающему исследование до коронарографии, во время введения контраста в правую и левую коронарные артерии, после завершения коронарографии, во время раздувания баллона, установки стента и после завершения стентирования. Регистрация микроальтернатив QRS-комплекса проводилась каждые три минуты с учетом временного периода, необходимого для построения в реальном масштабе времени дисперсионного «портрета сердца». Количество обследований на приборе «КардиоВизор-06с» у каждого пациента составило в среднем 26 съемов, при этом в процессе исследования было зарегистрировано более 2000 «портретов сердца».

На основе количественного анализа дисперсии низкоамплитудных колебаний ЭКГ-сигнала (530 мкВ) на определенных временных интервалах кардиоцикла P-QRS-T программным путем проводился математический расчет микроальтернаций. Формировалась компьютерная реконструкция дисперсионных отклонений на поверхности квазиэпикарда с цветовой индикацией в виде дисперсионной карты отклонений – «портрета сердца»: зеленый цвет – норма, красный – ишемия.

В методе дисперсионного картирования ЭКГ-динамику средних амплитуд измеряемых микроколебаний на протяжении P-QRS-T-комплекса отражают так называемые дисперсионные характеристики на определенных участках кардиоцикла. Они имеют вид функций времени и рассчитываются автоматически по девяти анализируемым группам отклонений (G1-G9), определяющим степень выраженности и локализацию электрофизиологических нарушений в миокарде предсердий и желудочков в фазах деполяризации и реполяризации.

Интегральным показателем степени дисперсионных отклонений от нормы является индекс «Миокард» в диапазоне от 0 до 100%. Он выводится на экран дисплея через 30 секунд от начала запуска программы прибора. Нормальные значения ИИИМ составляют 0-14%, при выраженной патологии происходит увеличение ИИИМ до 100%. Изменения величины ИИИМ сопровожда-

ются изменением цвета квазиэпикарда: норма – ровный зеленый цвет; отклонение от нормы – изменение цвета от желтого до красного. Чем больше величина площади квазиэпикарда окрашена красным цветом, тем значимее выраженность дисперсионных отклонений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В контрольной группе были низкие значения индексов дисперсионных отклонений, не превышающие 15%, т.е. вся площадь дисперсионного «портрета сердца» показывала индикацию зеленым цветом.

По результатам коронарографии все пациенты были разделены на три группы. Первую из них составили лица без патологии коронарных артерий; в нее вошли 10 больных с приобретенными пороками сердца. Во вторую группу вошли больные с поражениями КА (трехсосудистые стенозы и множественные стенозы правой коронарной артерии) – 77 больных с ИБС. Десяти из них была выполнена коронарная ангиопластика, и они составили третью группу.

На этапе до коронарографии в 1-й группе (без поражения КА) исходный уровень ИИИМ колебался от 15 до 25%, причем преобладали пациенты с ИИИМ менее 20%. Во 2-й группе (со стенозами КА) исходный ИИИМ составлял от 20 до 70%, и преобладали значения ИИИМ, превышающие 40% (рис. 1).

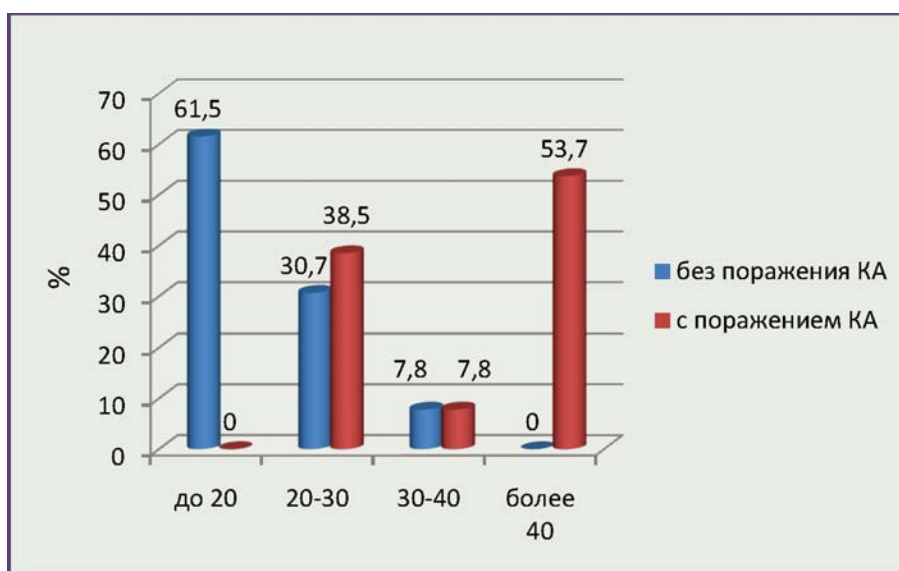


Рис. 1. Значения ИИИМ до коронарографии в группах с поражением и без поражения коронарных артерий.

Величина ИИИМ до коронарографии у пациентов со стенозами КА была достоверно выше, чем у больных без стенозов ( $p < 0,005$ ). Во время коронарографии (независимо от ее диагностических результатов) при введении контраста в коронарные артерии и по мере их заполнения контрастом в 82% случаев отмечалось изменение цветовой гаммы «портрета сердца» в сторону красной индикации. Фиксировалось повышение ИИИМ от исходного уровня в среднем на 15%. Полученная дисперсионная карта («портрет сердца») сопровождалась изменениями на стандартной ЭКГ в виде нестабильности сегмента ST-T, преходящих блокад в системе левой ножки пучка Гиса, желудочковой экстрасистолии.

У пациентов 1-й группы на этапе введения контраста и тугого заполнения КА отмечалось возрастание ИИИМ на 2-45% независимо от значений его исходного уровня. После завершения процедуры контрастирования в 94,5% величина ИИИМ возвращалась к исходному уровню, в остальных случаях сохранялось его повышение на 3% от исходных значений.

Во 2-й группе больных на этапе введения контраста и тугого заполнения КА отмечалось возрастание ИИИМ на 5-20% от исходного уровня. У 92,3% больных после завершения процедуры контрастирования величина ИИИМ возвращалась к исходному значению, а в 7,7% сохранялось ее увеличение на 10%.

Средние показатели ИИИМ до и после процедуры коронарографии были достоверно выше у больных со стенозами КА. Однако более выраженная реакция на введение контраста (от исходного ИИИМ) отмечалось в группе пациентов без поражения КА (табл. 1).

Увеличению ИИИМ при введении контраста сопутствовало появление красного цвета квази-

эпикарда, отражающего электрическую нестабильность миокарда в процессе коронарографии, которая, с учетом данных ЭКГ, была расценена как проявление гипоксии/ишемии миокарда в ответ на кратковременную спастическую реакцию коронарных артерий и повышенный симпатно-адреналовый ответ на введение контраста. На этапе завершения коронарографии случаи неполного (относительно исходного уровня) восстановления цветовой гаммы квазиэпикарда дисперсионного «портрета сердца» и величины ИИИМ свидетельствовали о более выраженной электрической нестабильности миокарда.

Количественный анализ дисперсионных характеристик желудочков сердца был проведен с использованием ранговых (градационных) критериев G3-G6, которые фиксируются в отдельном протоколе программы и отражают появление и распространенность флуктуаций в процессах де- и реполяризации правого и левого желудочков (ПЖ и ЛЖ).

Исходные значения критериев G3-G6 дисперсионных характеристик процессов де- и реполяризации у пациентов 2-й группы (с поражением КА) преобладали над соответствующими значениями дисперсионных характеристик в 1-й группе (без поражения КА).

На этапе введения контраста наблюдалось увеличение дисперсионных отклонений G3, G4 показателей деполяризации правого и левого желудочков у больных 1-й и 2-й групп. В период реполяризации у больных 1-й группы отмечено уменьшение дисперсионных отклонений G5 правого желудочка, при этом наблюдалось увеличение дисперсионных критериев G6 левого желудочка. У больных 2-й группы на этапе введения контраста в период реполяризации увеличивались дисперсионные отклонения

Таблица 1

**Динамика ИИИМ на этапах коронарографии у больных с поражением и без поражения коронарных артерий, %**

| Этапы коронарографии | 1-я группа<br>(без поражения КА) | 2-я группа<br>(с поражением КА) | p<br>(по сравнению<br>с исходным уровнем) |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| До коронарографии    | 19,0±1,5                         | 30,2±3,8                        | <0,0001                                   |
| Контраст в правой КА | 28,4±3,6                         | 35,5±4,4                        | >0,05                                     |
| Контраст в левой КА  | 24,9±3,3                         | 33,0±3,6                        | >0,05                                     |
| После коронарографии | 19,8±2,0                         | 34,1±4,0                        | <0,004                                    |

G5, G6 в миокарде обоих желудочков. После завершения коронарографии у больных 1-й группы показатели дисперсии деполяризации G3, G4 продолжали увеличиваться, а показатели реполяризации G5, G6 – уменьшаться. У больных 2-й группы показатели дисперсии деполяризации G3, G4 снижались, но не достигали исходного уровня, в то время как показатели дисперсии реполяризации G5, G6 продолжали возрастать (табл. 2).

Определена достоверность различий у пациентов 1-й и 2-й групп в дисперсионных отклонениях G5, G6, характеризующих процесс реполяризации правого и левого желудочков во время и после коронарографии.

Анализ полученных данных показал, что на этапах введения контраста и после завершения процедуры коронарографии наблюдалось более выраженное нарушение процессов реполяризации у больных ИБС со стенозами КА, в отличие от больных с пороками сердца без стенозов КА.

Динамика величин дисперсионных отклонений G5, G6 при коронарографии свидетельствует о том, что при введении контраста в коронарные артерии происходит электрическая альтерна-

ция миокарда в конце фазы деполяризации и начале фазы реполяризации, отражающих ишемию и гипоксию кардиомиоцитов. Индикатором этих изменений становится увеличение ИИИМ и появление красного цвета квазиэпикарда.

Десяти пациентам с ИБС после ранее выполненной коронарографии было проведено стентирование (3-я группа). Эти больные составили две подгруппы: 3А, куда вошли четыре пациента со стенозом правой КА более 70%, и 3Б – шесть больных со стенозом левой КА более 80%, окклюзией ее ветвей, осложненными аневризмой левого желудочка и острым инфарктом миокарда с зубцом Q. На фоне медикаментозной подготовки к процедуре стентирования исходный уровень ИИИМ колебался в подгруппе 3А от 11 до 22%, в подгруппе 3Б – от 18 до 36%. Средние значения ИИИМ в 3Б-подгруппе были выше, чем в 3А. На этапах стентирования при раздувании баллона в правой и левой коронарных артериях у больных 3-й группы отмечались неустойчивые значения ИИИМ.

При анализе показателя ИИИМ до и после стентирования отмечено его достоверное снижение после завершения процедуры у больных подгруппы 3А и увеличение этого показателя у паци-

Таблица 2

**Динамика дисперсионных отклонений на этапах коронарографии у больных с поражением и без поражения коронарных артерий**

| Группы больных                   | Этапы коронарографии |             |             |
|----------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
|                                  | до                   | во время    | после       |
| Без поражения коронарных артерий |                      |             |             |
| деполяризация:                   |                      |             |             |
| G3 ПЖ                            | 231,2±99,7           | 254,7±103,5 | 275,5±81,5  |
| G4 ЛЖ                            | 141,0±52,5           | 173,3±68,0  | 226,7±150,5 |
| реполяризация:                   |                      |             |             |
| G5 ПЖ                            | 118,0±41,5           | 102,8±42,5  | 41,0±23,5   |
| G6 ЛЖ                            | 79,3±42,1            | 88,8±41,0   | 36,6±25,0   |
| С поражением коронарных артерий  |                      |             |             |
| деполяризация:                   |                      |             |             |
| G3 ПЖ                            | 304,8±207,0          | 315,2±160,0 | 258,4±109,0 |
| G4 ЛЖ                            | 191,2±170,0          | 207,6±109,0 | 179,8±106,0 |
| реполяризация:                   |                      |             |             |
| G5 ПЖ                            | 121,8±114,3          | 139,2±91,0  | 201,4±139,0 |
| G6 ЛЖ                            | 103,8±75,0           | 112,8±74,0  | 145,4±120,0 |

ентов подгруппы 3Б в среднем на 7% от исходного уровня (рис. 2).

Пример успешного проведения стентирования правой КА по динамике «портрета сердца» представлен галереей «портретов сердца» на рис. 3.

У пациентов подгруппы 3А (с поражением правой КА) отмечено значительное исходное увеличение дисперсионных отклонений G3, характеризующих деполяризацию правого желудочка. У пациентов подгруппы 3Б (с поражением левой КА) выявлено исходное преимущественное увеличение дисперсионных отклонений G6, характеризующих реполяризацию левого желудочка. Анализ дисперсионных отклонений G3, G4 и G5, G6 де- и реполяризации желудочков после установки стентов показал, что у пациентов со стенозом правой КА происходит уменьшение степени дисперсионных отклонений миокарда в периоды де- и реполяризации как левого, так и правого желудочков. В подгруппе 3Б после стентирования выявлено достоверное увеличение степени дисперсионных отклонений в период деполяризации правого желудочка на 20% и левого – на 40%, дисперсионные отклонения в период реполяризации в правом желудочке сохраняются на прежнем уровне, в левом – уменьшаются на 60% (рис. 4).

Таким образом, у пациентов с поражением левой КА после стентирования сохраняется нарушение симметрии деполяризации правого и левого желудочков сердца вследствие выраженной

электрической нестабильности миокарда, обусловленной более значительным поражением левой КА и, соответственно, тяжелым течением ИБС, осложненной аневризмой ЛЖ и перенесенными острыми инфарктами миокарда.

Анализ результатов дисперсионного картирования при проведении коронарографии и ангиопластики выявил достоверную динамику дисперсионных критериев, которая характеризует электрическое состояние миокарда и позволяет получить наиболее раннюю информацию о развитии его электрической нестабильности и начавшемся процессе ишемии.

Компьютерная реконструкция внешней поверхности сердца и спроецированные на его эпикард изменения цветовой индикации позволяют быстро визуально воспринимать появляющуюся информацию в виде галереи «портретов сердца» и своевременно реагировать на динамику состояния миокарда.

Дисперсионное картирование является высокочувствительным методом оценки состояния миокарда и его электрофизиологических характеристик при коронарографии и ангиопластике. Метод доступен, неинвазивен, комфортен для пациента, что существенно расширяет возможности его применения. Однако реализация такой перспективы требует модификации прибора и, прежде всего, введения непрерывного автоматического режима регистрации и контроля текущей электрической нестабильности миокарда.

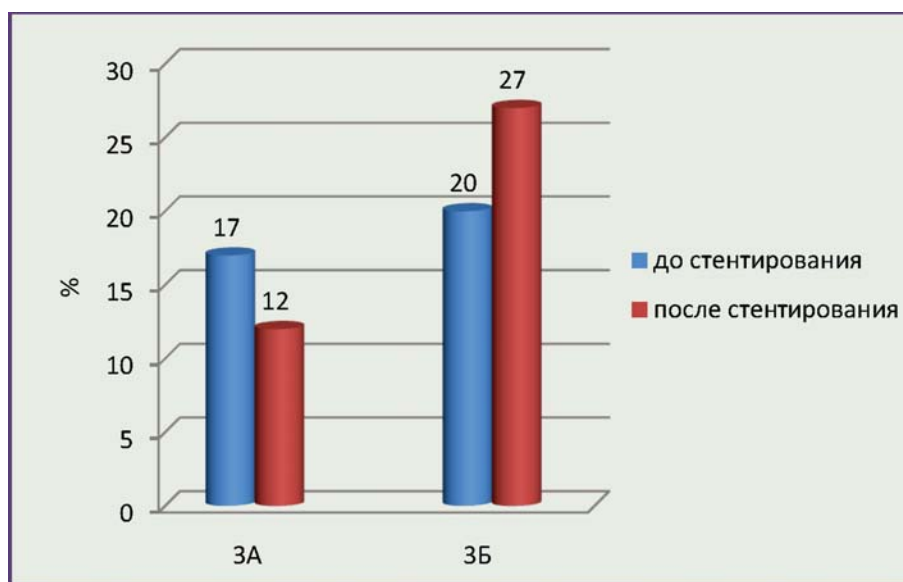
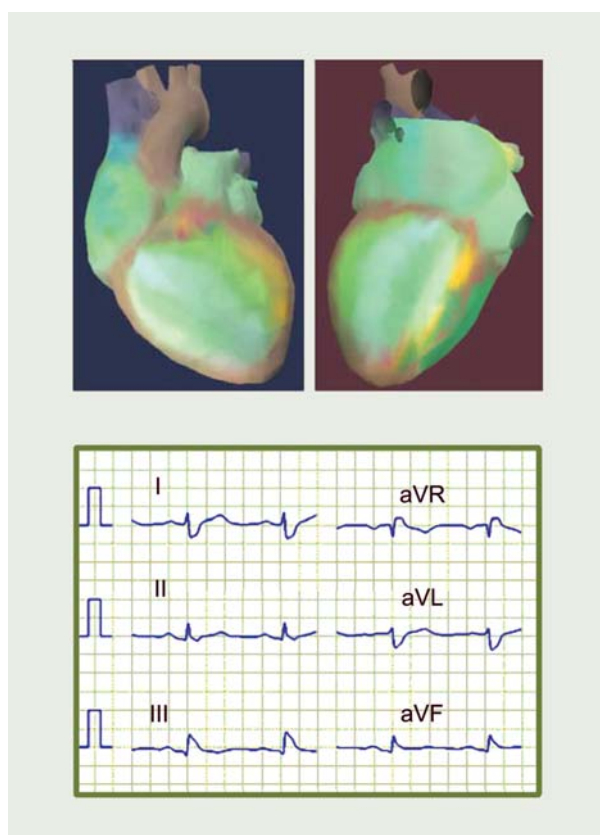
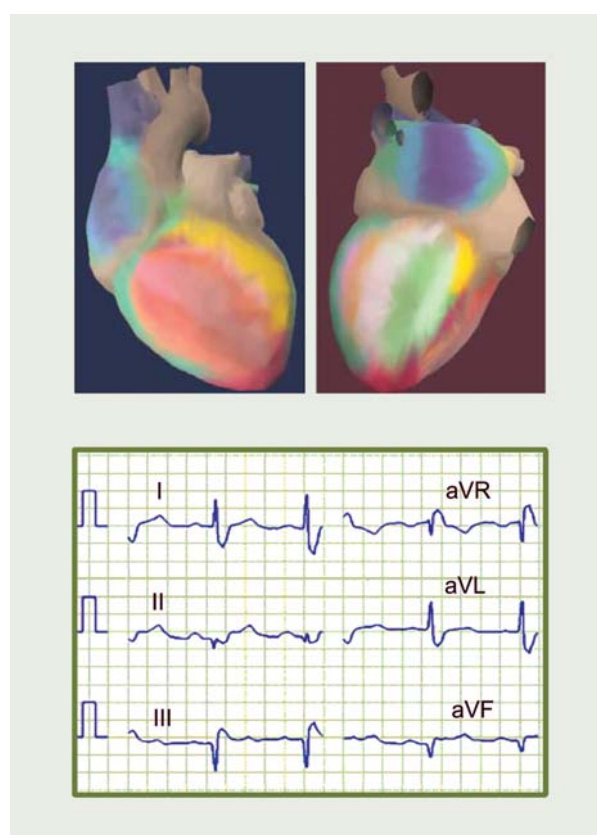


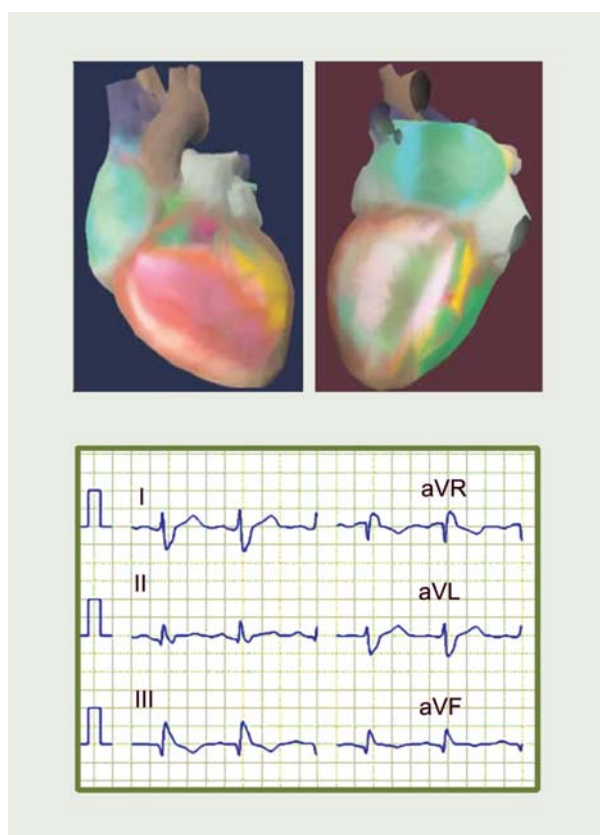
Рис. 2. Динамика ИИИМ до и после стентирования.



а



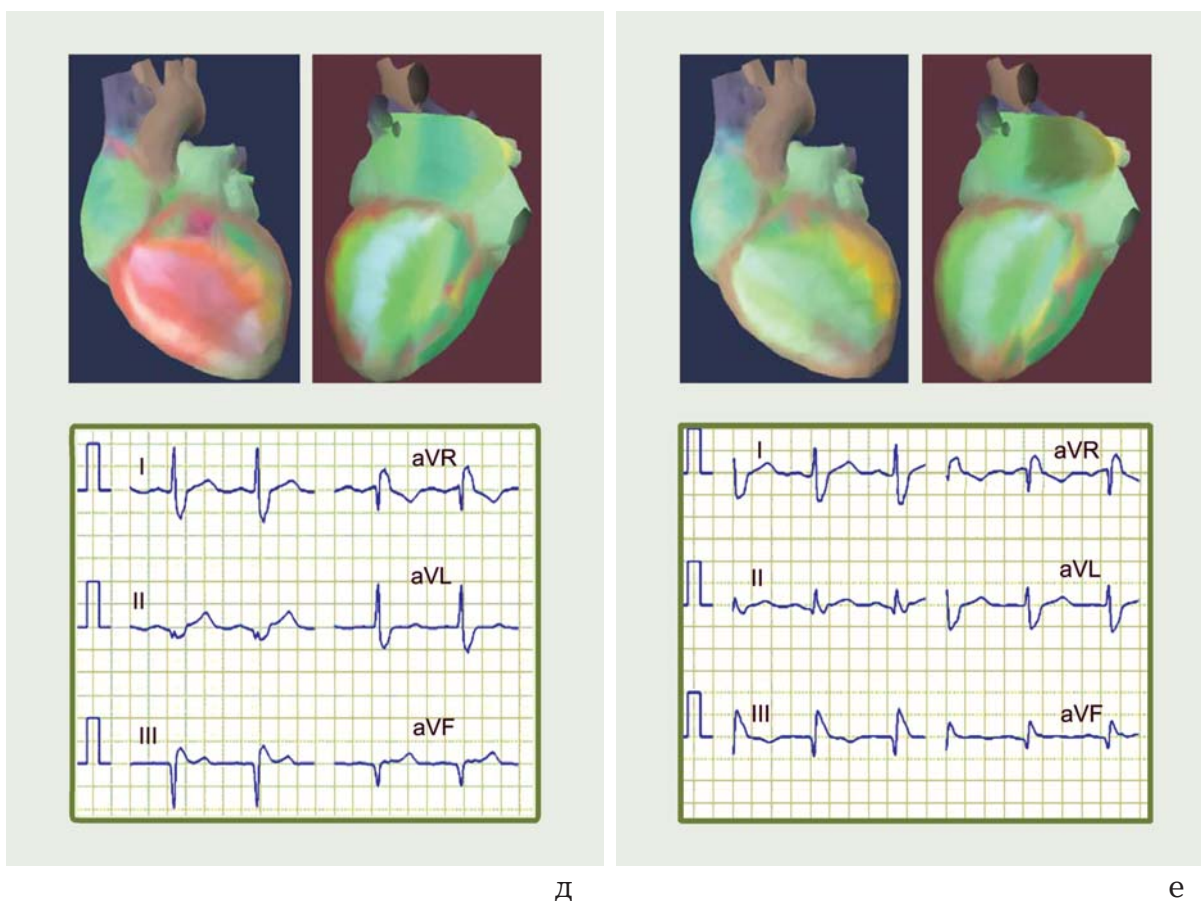
б



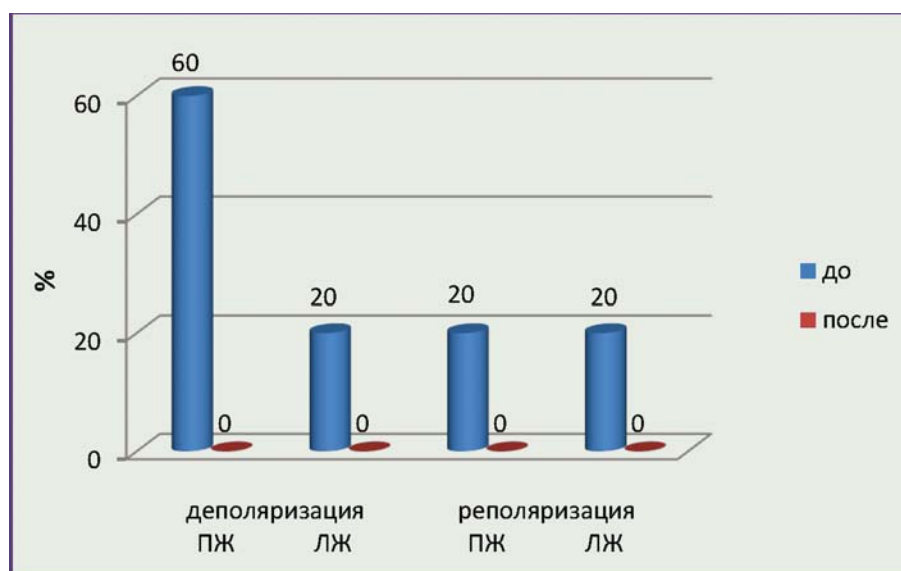
в



г



**Рис. 3.** «Портреты сердца» на этапах стентирования (регистрация ЭКГ: V=25 мм/с; 1 мВ=10 мм): а – до начала стентирования: ИИИМ=19%; б – контраст в правой КА: ИИИМ=24%; в – установка стента в правой КА: ИИИМ=29%; г – контраст в левой КА: ИИИМ=55%; д – баллонная дилатация правой межжелудочковой ветви: ИИИМ=29%; е – после завершения стентирования: ИИИМ= 17%.



а

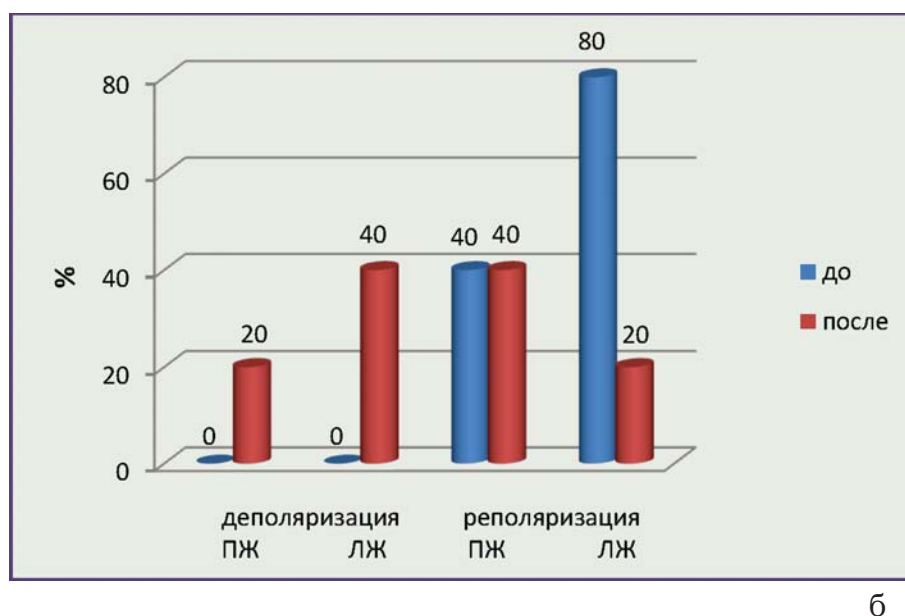


Рис. 4. Динамика дисперсионных отклонений процессов де- и реполяризации правого и левого желудочков до и после стентирования: а – подгруппа 3А; б – подгруппа 3Б.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Г.Г., Азизова О.А., Булгакова Е.Ю. и др. Оценка тяжести течения и отдаленного прогноза острого коронарного синдрома при использовании методов ЭКГ высокого разрешения, дисперсионного картирования и интенсивности свободнорадикальных процессов // Вестн. РУДН. – 2007. – № 4. – С. 61-66.
2. Иванов Г.Г., Булгакова Е.Ю., Сбеиган С. и др. Методы ЭКГ высокого разрешения и дисперсионного картирования в оценке тяжести состояния и прогноза у больных с острым коронарным синдромом // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: IX науч.-практич. конф. – М., 2007. – С. 97-117.
3. Рентгеноэндоваскулярная хирургия ИБС // Руководство по рентгеноэндоваскулярной хирургии сердца и сосудов / Под ред. Л.А. Бокерия, Б.Г. Алекяна. – Т. 3. – М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2008.
4. Рябыкина Г.В., Сула А.С., Щедрин Е.В. Опыт использования прибора КардиоВизор в кардиологической практике // Кардиол. вестн. – 2006. – № 1.
5. Сула А.С., Рябыкина Г.В., Гришин В.Г. Метод дисперсионного картирования ЭКГ. Биофизические основы метода дисперсионного картирования // Новые методы электрокардиографии / Под ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркина. – М., 2007. – С. 369-425.