

Использование синтезированной векторкардиограммы в диагностике гипертрофии правого желудочка у больных легочной гипертензией

Пособие для практикующих врачей

Е. В. Блинова, Т. А. Сахнова, Г. В. Рябыкина

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии»
Минздрава России, г. Москва

The use of synthesized vector cardiograms in the diagnosis of right ventricular hypertrophy in patients with pulmonary hypertension. Manual for practitioners

E. V. Blinova, T. A. Sakhnova, G. V. Ryabykina

National Medical Research Center for Cardiology, Moscow, Russia

В пособии представлены данные о возможностях, преимуществах и ограничениях метода синтезированной векторкардиограммы (ВКГ) в диагностике гипертрофии правых отделов сердца у больных с легочной гипертензией. Описаны способы получения синтезированной ВКГ из ЭКГ в 12 отведениях, способы визуализации сигналов ВКГ и количественные показатели, применяемые для диагностики гипертрофии правого желудочка и оценки ее тяжести. Подробно разбираются основные типы изменений ВКГ при гипертрофии правого желудочка и особенности ВКГ при разных формах прекапиллярной легочной гипертензии. Приведены данные о чувствительности и специфичности ВКГ критериев гипертрофии правого желудочка в разных группах больных. В приложении представлены примеры ЭКГ в 12 отведениях и синтезированной ВКГ у больных с разными формами прекапиллярной легочной гипертензии, в том числе на фоне терапевтического и интервенционного лечения.

Показания к применению метода

Показанием для применения синтезированной векторкардиограммы (ВКГ) с целью диагностики гипертрофии правого желудочка может быть нормальная или малоизменная электрокардиограмма в 12 отведениях у больного с подозрением на легочную гипертензию (ЛГ). Синтезированная ВКГ также может быть использована для динамического наблюдения за больными с гипертрофией правого желудочка в процессе лечения. Метод не имеет абсолютных противопоказаний. Ограничением применения количественных критериев гипертрофии правого желудочка (как и при анализе ЭКГ в 12 отведениях) могут

служить внутрижелудочковые блокады, особенно блокада левой ножки пучка Гиса, синдром предвозбуждения желудочков и электрокардиостимуляция желудочков в постоянном режиме. Диагностическая точность критериев может снижаться при ЛГ вследствие патологии левых отделов сердца.

Материально-техническое обеспечение метода

Метод реализован на приборе: модульная система для регистрации и дистанционной передачи ЭКГ EASY ECG производства компании «АТЕС МЕДИКА софт», Россия, регистрационное удостоверение РЗН 2013/1216 от 25.09.2013 года\

Описание метода

Получение векторкардиограммы из ЭКГ в 12 отведениях (синтезированная ВКГ)

В настоящее время имеется возможность математическим путем получать ВКГ из цифровой 12-канальной ЭКГ. Синтезированная ВКГ может анализироваться с помощью тех же диагностических алгоритмов, что и ВКГ, полученная с использованием традиционных скорректированных ортогональных отведений. Данная методика позволяет вычислять сложные пространственные параметры сигнала ЭКГ, использовать удобные способы визуализации и алгоритмы диагностики, разработанные для ВКГ. При этом нет необходимости в перестановке

Таблица 1
Коэффициенты обратной матрицы Дауэра и матрицы Корса для пересчета сигналов ортогональных отведений ЭКГ из сигналов ЭКГ в 12 отведениях

Обратная матрица Дауэра			Матрица Корса				
	X	Y	Z		X	Y	Z
I	0,16	-0,23	0,02	I	0,38	-0,07	0,11
II	-0,01	0,89	0,10	II	-0,07	0,93	-0,23
V1	-0,17	0,06	-0,23	V1	-0,13	0,06	-0,43
V2	-0,07	-0,02	-0,31	V2	0,05	-0,02	-0,06
V3	0,12	-0,11	-0,25	V3	-0,01	-0,05	-0,14
V4	0,23	-0,02	-0,06	V4	0,14	0,06	-0,20
V5	0,24	0,04	0,06	V5	0,06	-0,17	-0,11
V6	0,19	0,05	0,11	V6	0,54	0,13	0,31

Таблица 2
Среднеквадратичные ошибки (среднее значение и стандартное отклонение в мкВ) при аппроксимации компонент ВКГ системы Макфи-Парунгао и ее модуля по ЭКГ в 12 отведениях

X	Y	Z	Модуль ВКГ
69,3 ± 37,0	49,6 ± 25,9	84,7 ± 45,8	71,4 ± 33,1

Таблица 3
Коэффициенты конкордации параметров реальной и синтезированной ВКГ системы Макфи-Парунгао и 95% двусторонний доверительный интервал для коэффициентов

Угол QRS-T	VG	IRVH
0,95 (0,93; 0,97)	0,96 (0,95; 0,97)	0,96 (0,95; 0,98)

электродов, что снижает затраты труда и времени. Разные способы пересчета ВКГ из ЭКГ-12 начали предлагаться с 1980-х годов. Для получения синтезированной ВКГ из 12 отведений ЭКГ наиболее часто применяют обратную матрицу Дауэра, а также матрицу Корса (таблица 1).

В связи с тем, что в НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова накоплен компьютерный архив, содержащий записи ВКГ в ортогональной корригированной системе отведений Макфи-Парунгао, охватывающий широкий круг сердечнососудистых заболеваний и содержащий более десяти тысяч записей, сотрудниками Института проблем передачи информации РАН совместно с НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова были разработаны линейные преобразования для получения сигналов системы Макфи-Парунгао из ЭКГ в 12 отведениях. Полученные преобразования для перехода от стандартных ЭКГ к ВКГ системы Макфи-Парунгао обеспечивали достаточно точное воспроизведение компонент, пространственных петель ВКГ и вторичных векторкардиографических параметров.

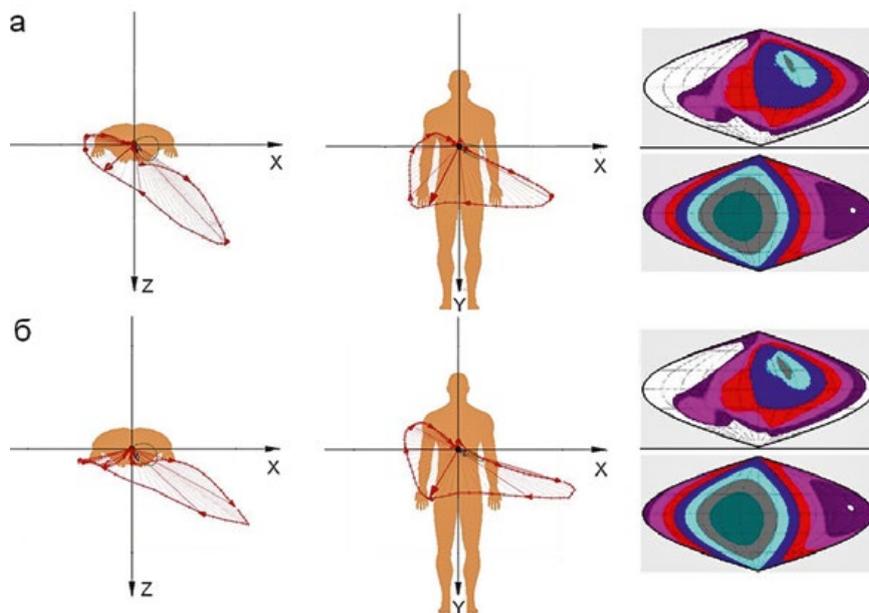


Рисунок 1. Обычные (а) и реконструированные (б) ВКГ и ДЭКАРТО.

Матрица линейного преобразования от ЭКГ в 12 отведениях к ВКГ системы Макфи-Парунгао приведена ниже.

Обычные и реконструированные ВКГ и ДЭКАРТО представлены на рис. 1.

В настоящее время построение синтезированной ВКГ реализовано в системе Easy ECG (Атес Медика, Россия)

Способы визуализации ВКГ сигналов

Сигналы ВКГ можно изображать несколькими способами: в виде отведений X, Y, Z ортогональной ЭКГ; в виде векторных петель; в виде дипольных карт (дэкартограмм).

Американская ассоциация кардиологов рекомендует следующую полярность отведений X, Y, Z: положительный полюс отведения X располагается слева; положительный полюс отведения Y — снизу; положительный полюс отведения Z — сзади. Однако для более удобного зрительного восприятия полярность отведения Z изменяют:

$$\hat{T}_{QT}^{S \rightarrow M} = \begin{bmatrix} 0.555 & -0.265 & -0.137 & 0.054 & 0.118 & -0.098 & 0.498 & 0.411 \\ -0.275 & 1.213 & 0.155 & -0.060 & 0.032 & 0.009 & -0.082 & 0.088 \\ 0.140 & -0.251 & -0.324 & -0.157 & -0.452 & -0.319 & -0.112 & 0.292 \end{bmatrix};$$

$$[X \ Y \ Z]^T = \hat{T}_{QT}^{S \rightarrow M} \cdot [I_1, I_{II}, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6]^T$$

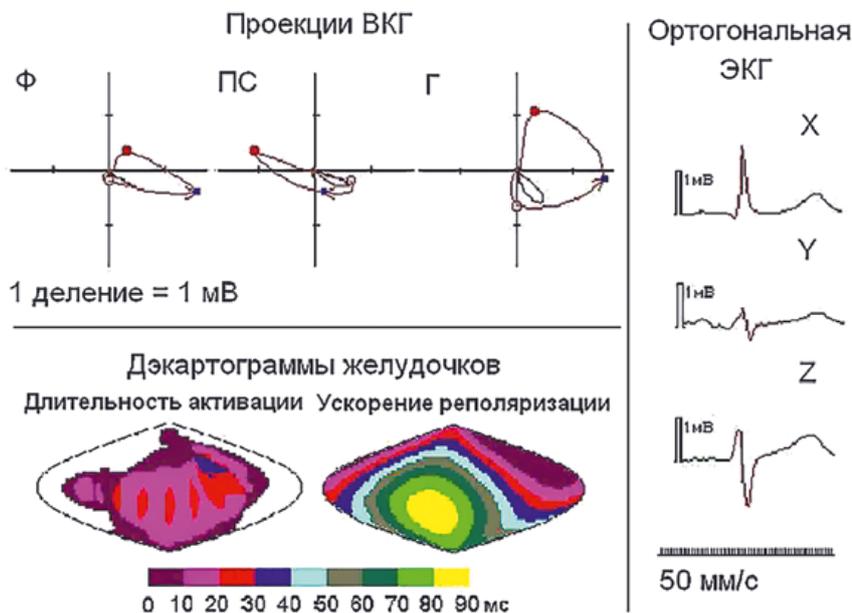


Рисунок 2. Ортогональные ЭКГ, векторкардиограммы и дэкартограммы в норме. Ф — фронтальная плоскость; ПС — правая сагиттальная плоскость; Г — горизонтальная плоскость; X, Y, Z — отведения ортогональной ЭКГ.

положительный полюс спереди, отрицательный — сзади.

Векторкардиографические петли (векторкардиограммы) изображают в трех взаимно перпендикулярных плоскостях: фронтальной, сагиттальной и горизонтальной. Фронтальная плоскость образована осями X и Y; сагиттальная — осями Y и Z; горизонтальная — осями X и Z.

Дипольная электрокардиотопография (сокращенно — ДЭКАРТО) позволяет изобразить ВКГ сигналы в виде дипольных карт (дэкартограмм). Информация изображается на сфере, окружающей сердце. До начала деполяризации желудочков вся эта сфера находится в состоянии покоя. С началом комплекса QRS на сфере появляется диск красного цвета — «область активации». Положение и радиус диска в каждый момент времени соответствуют направлению и величине моментного вектора сердца. Когда «область активации» изменяет свое положение, на сфере остается ее след — «деполяризованная область».

При построении дэкартограмм сферу проецируют на плоскость в виде изоареальной проекции овальной формы. При этом площади участков сохраняются неискаженными, но возникают угловые искажения:

области активации и деполяризации выглядят не как диски, а как участки вытянутой формы.

При развертке на плоскость сфера разрезается по меридиану, обращенному к правому боку испытуемого. Средняя вертикальная линия карты соответствует левому боку испытуемого. Переднее полушарие сферы изображается слева от средней линии, заднее полушарие — справа.

На моментных дэкартограммах показано, как располагаются области покоя, активации и деполяризации в данный момент времени. Суммарные дэкартограммы изображают ту же информацию более компактно. Карта прихода активации показывает, в какое время от начала комплекса QRS область активации появилась в соответствующем месте сферы. На карте длительности активации показано время, в течение которого область активации проецировалась на одно и то же место.

Карта ускорения реполяризации является изображением электрокардиографического желудочкового градиента, она характеризует весь период QRST в целом. На ней показаны два полюса, между которыми существует разность в длительностях процесса реполяризации, и приве-

дена величина этой разности в миллисекундах. Чем больше значение ускорения реполяризации в данной области, тем процесс реполяризации в этой области миокарда короче, чем в противоположной.

На рис. 2 представлены ортогональные ЭКГ, векторкардиограммы и дэкартограммы в норме.

Количественные показатели, применяемые для диагностики ГПЖ
Критерии ортогональной ЭКГ:

При развитии ГПЖ на ортогональной ЭКГ увеличиваются амплитуда зубца S в отведении X и амплитуда зубца R в отведении Z (при положительном полюсе отведения Z спереди). Также по аналогии с критерием Соколова-Лайона на ЭКГ в 12 отведениях вычисляется суммарный показатель $Sx+Rz$ (сумма амплитуды зубца S в отведении X и амплитуды зубца R в отведении Z). Количественными критериями ГПЖ являются:

- амплитуда зубца S в отведении X больше 0,4 мВ
- суммарный показатель $Sx+Rz$ больше 1,1 мВ

ВКГ критерии:

- более 70% площади петли QRS в горизонтальной плоскости располагается в передних и правых квадрантах
- более 20% площади петли QRS в горизонтальной плоскости располагается в правом заднем квадранте
- более 20% площади петли QRS во фронтальной плоскости располагается в правом нижнем квадранте
- компонента X вектора полуплощади петли QRS (DHx) меньше 0,5 мВ

Вектор полуплощади петли QRS (DH) — это вектор, исходящий из начальной точки петли QRS, который делит петлю QRS на две равные по площади части. Компонента X вектора полуплощади петли QRS — это проекция DH на ось X. При ГПЖ значение параметра DHx уменьшается.

Дэкартографический критерий

На карте длительности активации по мере развития ГПЖ сначала начинает увеличиваться площадь и длительность активации в правых задних

частях сферы, максимальная область активации смещается вправо и назад, появляются области с длительностью активации больше 40 мс. При тяжелой ГПЖ область активации проецируется преимущественно на правые части сферы, длительность активации резко увеличена.

Индекс длительности активации правого желудочка (IRVH) вычислялся как соотношение длительности активации в правом полушарии сферы и общей длительности активации, умноженное на модуль вектора, компоненты которого равны величинам зубцов Sx и Rz ортогональной ЭКГ.

Критерием ГПЖ является IRVH больше 600 усл.ед.

Количественные показатели, применяемые для оценки тяжести ГПЖ

Угол между интегральными векторами пространственных петель QRS и T. Параметр является угловой характеристикой, определяющей взаиморасположение в пространстве векторных петель T и QRS. Значение данного параметра имеет выраженную тенденцию к увеличению при развитии гипертрофии желудочков (больше 90°).

Пространственные компоненты VG-X, VG-Y и VG-Z вектора ускорения реполяризации (желудочкового градиента), направленного влево, вниз и вперед. Вектор ускорения реполяризации — это декартографический показатель, который представляет собой желудочковый градиент, нормированный на вольтаж комплекса QRS. Желудочковый градиент — это

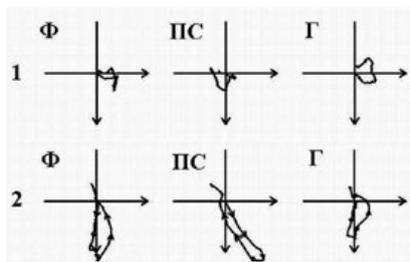


Рисунок 3. Петля P во фронтальной (Ф), правой сагитальной (ПС) и горизонтальной (Г) плоскостях в норме (1) и при увеличении правого предсердия (2).

вектор, компонентами которого являются площади под кривой QRST в отведениях X, Y, и Z. Компоненты VG-X, VG-Y и VG-Z вектора ускорения реполяризации — это проекции вектора ускорения реполяризации на оси X, Y и Z. При ГПЖ значение VG-X уменьшается до 23 мс и меньше, VG-Y уменьшается до 12 мс и меньше, VG-Z уменьшается по модулю до -2 мс.

Увеличение правого предсердия

В норме деполяризация предсердий начинается в синусовом узле и распространяется радиально сначала на правое предсердие, а затем на левое. Поэтому начальные векторы петли P, обусловленные возбуждением правого предсердия, направлены вниз, влево и вперед, а конечные векторы петли P, обусловленные возбуждением левого предсердия, направлены вниз, влево и назад.

При увеличении правого предсердия (рис. 3) основная часть петли P в горизонтальной плоскости располагается спереди, петля записывается против часовой стрелки. Максимальный вектор петли P направ-

лен вперед. В правой сагитальной плоскости петля P расположена снизу и спереди, записывается по часовой стрелке. Во фронтальной плоскости петля P узкая, расположена снизу, записывается против часовой стрелки или в форме восьмерки.

По данным НИИК им. А. Л. Мясникова, при использовании системы отведений МакФи-Парунгао для диагностики увеличения предсердий можно использовать пространственную площадь петли P (SPxyz) больше 0,03 мВ², интегральный вектор петли P (AP) больше 6,9 мВ*с, а также диаметр (наибольший размер) петли в плоскости наилучшего приближения Dp (мВ) больше 0,18 мВ.

Основные типы ВКГ при ГПЖ

Изменения ВКГ при ГПЖ разнообразны. Характер изменений ВКГ при ГПЖ зависит от степени тяжести гипертрофии. Изменения ВКГ при ГПЖ можно делить на три основных типа: при типах А и В петля QRS смещена вперед, а при типе С — назад.

Тип А изменений ВКГ при ГПЖ (рис. 4) наблюдается при наиболее тяжелом поражении сердца. При этом типе ВКГ петля QRS смещается вперед и вправо (в сторону свободной стенки правого желудочка), и ее большая часть находится в переднем правом нижнем октанте. По форме петля QRS часто бывает широкой. Максимальный вектор QRS обычно направлен вперед и вправо. Продолжительность петли QRS может быть увеличена.

В горизонтальной плоскости большая часть петли QRS расположена спереди и справа, запись петли идет

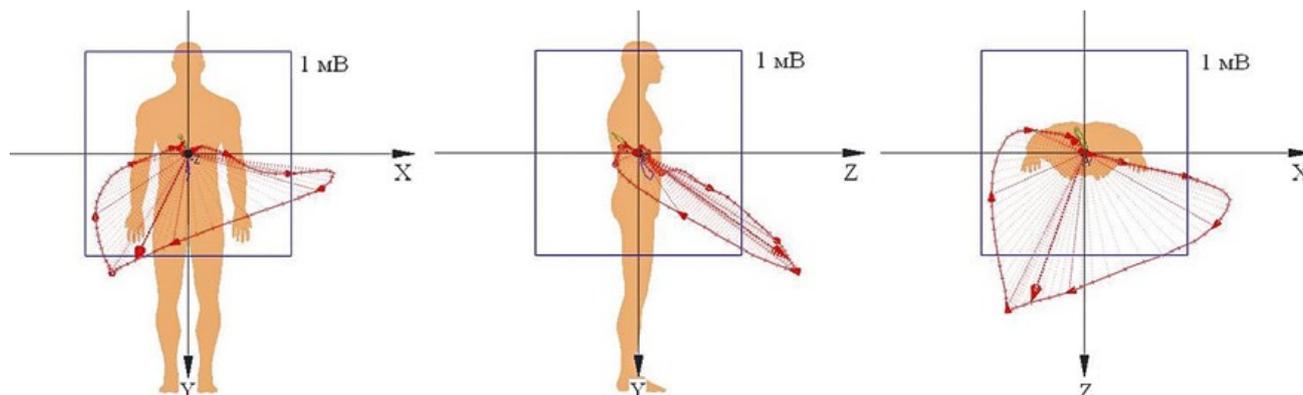


Рисунок 4. ВКГ больной с выраженной гипертрофией правого желудочка (тип А). Петли P, QRS и T во фронтальной, правой сагитальной и горизонтальной плоскостях.

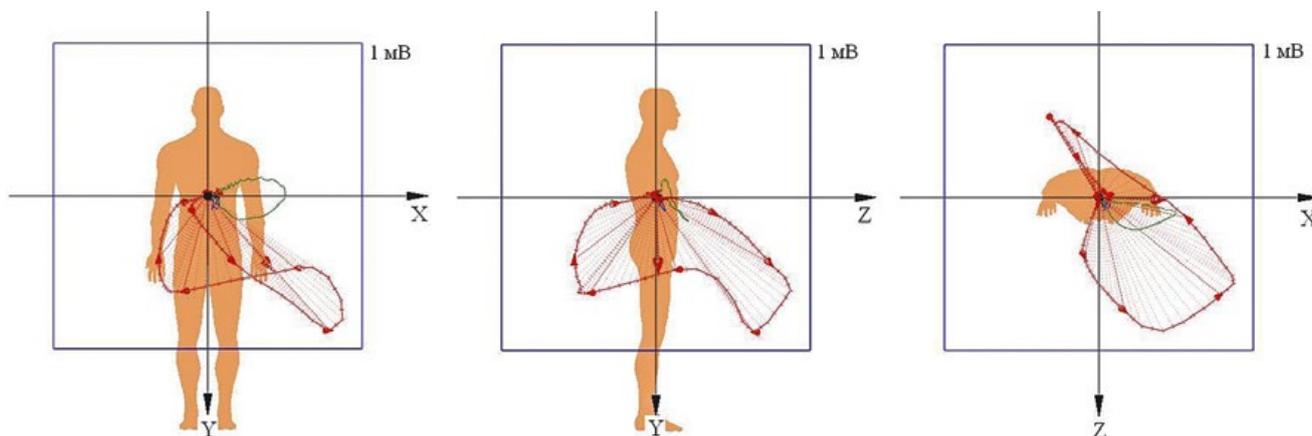


Рисунок 5. ВКГ больной с гипертрофией правого желудочка (тип В). Петли Р, QRS и Т во фронтальной, правой сагитальной и горизонтальной плоскостях.

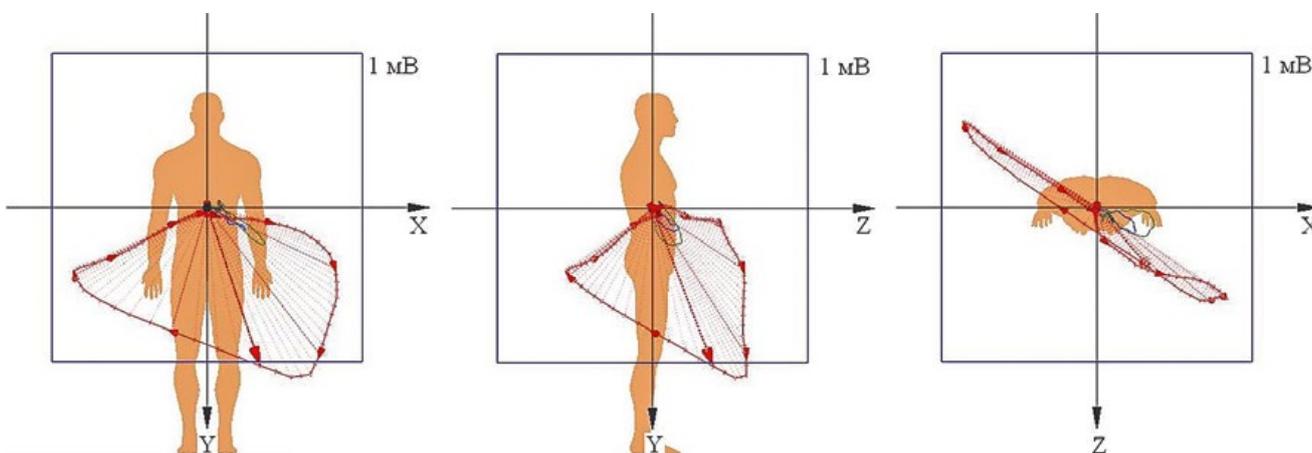


Рисунок 6. ВКГ больной с умеренной гипертрофией правого желудочка. Петли Р, QRS и Т во фронтальной, правой сагитальной и горизонтальной плоскостях.

по часовой стрелке. Максимальный вектор QRS направлен вперед. Амплитуда векторов, направленных влево, уменьшена.

Вектор ST направлен назад и влево. Амплитуда вектора ST при ГПЖ типа А обычно увеличивается.

Петля Т при ГПЖ типа А небольшая по амплитуде. По конфигурации она может быть как широкой, так и узкой. Характерной чертой является ее направленность назад, влево и вниз — противоположно петле QRS. В горизонтальной и фронтальной плоскостях петля Т записывается по часовой стрелке, в правой сагитальной — против часовой стрелки. Как и в норме, начальная часть петли Т записывается медленнее, а конечная — быстрее.

При ГПЖ типа В (рис. 5), как и при ГПЖ типа А, петля QRS смещена вперед, однако в горизонтальной плоскости она записывается против часовой стрелки. В правой

сагитальной плоскости при ГПЖ типа В петля QRS направлена вперед и вниз, записывается по часовой стрелке. Во фронтальной плоскости петля QRS записывается по часовой стрелке. При ГПЖ типа В амплитуда вектора ST остается в пределах нормы. Он направлен назад, вправо и вверх. Петля Т мала по амплитуде, направлена влево и вниз. Иногда расположение петли Т может быть нормальным, но изменяется направление ее записи: по часовой стрелке — в горизонтальной плоскости и против часовой стрелки — в правой сагитальной.

При умеренной ГПЖ петля QRS в горизонтальной плоскости может записываться в форме восьмерки (рис. 6). При этом во фронтальной плоскости основная часть петли QRS располагается в нижних квадрантах, петля QRS широкая. Амплитуда векторов, направленных влево, умень-

шена, а направленных вправо — увеличена. Петля записывается по часовой стрелке.

Характерной чертой ГПЖ типа С является смещение петли QRS назад (рис. 7). Этот тип ГПЖ наблюдается в тех случаях, когда нарушения гемодинамики еще не очень значительны. Изменения ВКГ при ГПЖ типа С обычно связывают с гипертрофией выходного тракта правого желудочка.

При ГПЖ типа С петля QRS смещена назад и вправо. Амплитуда максимального вектора обычно остается нормальной, он направлен назад и вправо. В горизонтальной плоскости более 20% площади петли QRS располагается в правом заднем квадранте. Петля записывается против часовой стрелки. В правой сагитальной плоскости петля QRS направлена вниз и назад. Во фронтальной плоскости петля QRS направлена вниз, записывается по часовой стрелке. Начальные

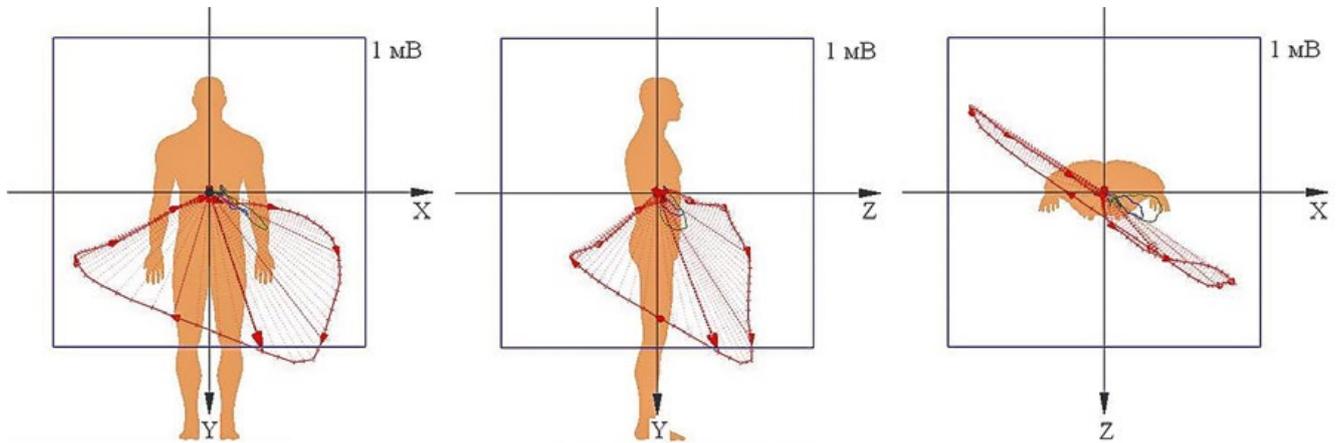


Рисунок 7. ВКГ больной с гипертрофией правого желудочка (тип С). Петли Р, QRS и Т во фронтальной, правой сагитальной и горизонтальной плоскостях.

векторы обычно направлены влево и вверх, а конечные — вправо. Амплитуда векторов, направленных влево, уменьшена. Характеристики вектора ST и петли Т при ГПЖ типа С часто остаются в пределах нормы. Однако могут наблюдаться те же изменения, как и при типах А и В.

Оценка тяжести ГПЖ с использованием ВКГ

При оценке тяжести ГПЖ с использованием ВКГ целесообразно обращать внимание, во-первых, на тип петли QRS в горизонтальной плоскости и, во-вторых, на соотношение процессов де- и реполяризации (угол QRS-T и желудочковый градиент).

Наиболее тяжелое поражение сердца наблюдается при типе А изменений ВКГ при ГПЖ.

При сопоставлении типов петли QRS в горизонтальной плоскости с данными эхокардиографии у 80 больных идиопатической легочной гипертензией (ИЛГ) и хронической тромбоэмболической легочной гипертензией (ХТЭЛГ) было показано, что у больных с типом А по сравнению с типами В и С были достоверно больше систолическое давление в легочной артерии, размеры правого желудочка и правого предсердия, более выражены нарушения систолической и диастолической функции правого желудочка; достоверно чаще присутствовали прогностически неблагоприятные эхокардиографические изменения — наличие перикардиального выпота, площадь правого предсердия больше 26 см² и TAPSE меньше 1,5 см.

Таблица 4
Значения ЭхоКГ параметров при разных типах ВКГ

Параметр	Тип А (n=32)	Типы В и С (n=48)	Норма
СДЛА, мм рт.ст.	92,1±15,8	76,9±16,5*	< 30
ТПС ПЖ, см	0,71±0,12	0,58±0,08*	< 0,5
ПЗР ПЖ, см	3,99±0,56	3,33±0,38*	< 2,9
TAPSE, см	1,27±0,21	1,59±0,18*	> 1,6
FAC, %	22,1±4,6	28,7±4,2*	> 35
3D ФВ ПЖ, %	24,4±5,2	32,5±4,7*	> 45
S ПП, см ²	26,8±7,3	18,8±4,4*	< 18
Перикардиальный выпот, число (%)	22 (69%)	13 (27%)*	-
ΔДФ	I тип	6 (19%)	35 (73%)*
	II тип	19 (59%)	13 (27%)*
	III тип	7 (22%)	0*

Примечание: * — p<0,001.

Таблица 5
Кoeffициенты корреляции между ВКГ и ЭхоКГ параметрами

	Угол QRS-T	Модуль VG	VG-X	VG-Y
СДЛА	0,4*	-0,6*	-0,6*	-0,5*
ТПСПЖ	0,5*	-0,4*	-0,5*	-0,5*
ПЗР ПЖ	0,4*	-0,3*	-0,5*	-0,5*
TAPSE	-0,4*	0,4*	0,5*	0,5*
FAC	-0,5*	0,5*	0,6*	0,6*
ФВ ПЖ	-0,5*	0,4*	0,5*	0,5*
E'тк	-0,4*	0,4*	0,5*	0,6*
S ПП	0,5*	-0,4*	-0,4*	-0,5*

Примечание: * — p < 0,01.

Таблица 6
Значения ВКГ параметров в группах больных с разными типами нарушения диастолической функции правого желудочка

Параметр	Замедленная релаксация (n=41)	Псевдонормальный тип (n=32)	Рестриктивный тип (n=7)
Угол QRS-T, градусы	72,7±36,1	101,1±39,0*	119,6±31,8*
Модуль VG, мс	56,1±21,9	37,4±19,6*	25,0±13,1*
VG-X, мс	19,2±18,2	10,0±11,7*	-1,0±8,8*
VG-Y, мс	17,5±14,9	8,0±8,5*	4,1±9,5*

Примечание: * — p < 0,05 по сравнению с группой «Замедленная релаксация».

Таблица 7
Пороговые значения, чувствительность и специфичность наиболее информативных ВКГ параметров для выделения из общей группы больных ИЛГ и ХТЭЛГ пациентов с прогностически неблагоприятными изменениями ЭхоКГ

Группы	Параметр	Порог	Чувствительность, %	Специфичность, %
Перикардиальный выпот (есть/нет)	Угол QRS-T	>105°	66	84
	Модуль VG	< 34 мс	57	82
	VG-X	< 13 мс	71	69
	VG-Y	< 5 мс	54	87
S ПП больше/меньше 26 см ²	Угол QRS-T	>105°	78	74
	VG-X	< 10 мс	72	66
	VG-Y	< 7 мс	78	71
TAPSE больше/меньше 1,5 см	Угол QRS-T	>102°	54	87
	Модуль VG	< 39 мс	60	80
	VG-X	< 12 мс	64	83
	VG-Y	< 10 мс	68	87

Таблица 8
Значения ВКГ показателей в норме и при разных формах прекапиллярной ЛГ

	Норма	ИЛГ	ЛАГ-ВПС	ЛАГ-ССД	ХТЭЛГ
Угол QRS-T, градусы	49±20	90±41	112±41	122±311	89±403
VG, мс	77±13	34±14	38±32	30±172	48±2613
tQRS, мс	92±6	99±10	113±111	94±102	101±122

Примечание: ¹ — p<0,05 по сравнению с группой ИЛГ; ² — p<0,05 по сравнению с группой ЛАГ-ВПС; ³ — p<0,05 по сравнению с группой ЛАГ-ССД.

Таблица 9
Частота выявления различных критериев ГПЖ при разных формах прекапиллярной ЛГ

	ИЛГ 68 лиц	ХТЭЛГ 40 лиц	ВПС 45 лиц	ССД 18 лиц
RaVR > 4 мм	32%	20%	64%	6%
RV1 > 7 мм	44%	25%	62%	17%
SV5 > 7 мм	38%	55%	76%	39%
RV1+SV5 > 11 мм	53%	55%	82%	44%
Хотя бы один критерий ЭКГ-12	60%	68%	82%	61%
SX > 0,4 мВ	93%	83%	96%	100%
SX+RZ > 1,1 мВ	85%	88%	93%	56%
Хотя бы один критерий ЭКГ-3	96%*	95%*	96% [^]	100%#

Примечание: * — p<0,01; # — p<0,05; [^] — p=0,08 по сравнению с ЭКГ в 12 отведениях.

На той же группе 80 больных ИЛГ и ХТЭЛГ было показано, что изменения угла QRS-T и VG коррелируют с СДЛА, размерами ПЖ и ПП, параметрами систолической и диастолической функции ПЖ, а также могут быть использованы для выделения из общей группы больных ИЛГ и ХТЭЛГ пациентов с прогностически неблагоприятными изменениями

ЭхоКГ (наличием перикардиального выпота, площадью правого предсердия больше 26 см² и TAPSE меньше 1,5 см).

Особенности ВКГ при разных формах прекапиллярной легочной гипертензии

Для изучения особенностей синтетизированной векторкардиограммы

при разных формах прекапиллярной ЛГ было обследовано 4 группы женщин, страдающих ЛГ: 21 с ИЛГ (средний возраст 50±6 лет); 18 с ЛАГ, ассоциированной с врожденными пороками сердца (ВПС, 52±12 лет); 18 с ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией (ЛАГ-ССД, 58±10 лет); 21 с ХТЭЛГ (54±8 лет). 30 практически здоровых женщин (55±9 лет) составили контрольную группу.

По сравнению с группой нормы у всех групп пациентов с ЛГ угол QRS-T был достоверно больше, а VG достоверно меньше. Эти изменения были наиболее выраженными у пациентов с ЛАГ-ССД. По сравнению с группой нормы tQRS была достоверно увеличена у всех групп пациентов с ЛГ, за исключением ЛАГ-ССД.

Отмечалась тенденция к более частому присутствию R-типа петли QRS у больных ЛАГ-ВПС (67% случаев) по сравнению с другими группами (ИЛГ 48%; ЛАГ-ССД 33%; ХТЭЛГ 43%) и более частому присутствию S-типа петли QRS у больных ЛАГ-ССД (50% случаев) по сравнению с другими группами (ИЛГ 29%; ЛАГ-ВПС 22%; ХТЭЛГ 19%), однако эти различия не достигали уровня статистической значимости.

Эффективность

Использование синтетизированной ЭКГ-3 позволило достоверно чаще по сравнению с ЭКГ в 12 отведениях выявить признаки ГПЖ у больных ИЛГ, ХТЭЛГ и ЛАГ-ССД.

Для оценки специфичности показателей ЭКГ-3 были изучены 2 группы: 1) 50 практически здоровых лиц (35 женщин, средний возраст 45±14,1 лет), с нормальными камерами сердца по данным ЭхоКГ; 2) 28 лиц (5 мужчин и 23 женщины, средний возраст 46,1±15,4 лет), поступивших в НИИ кардиологии им. А. Л. Мясникова с подозрением на наличие легочной гипертензии, которым проводились ЭхоКГ и катетеризация правых отделов сердца.

В группе практически здоровых лиц все критерии ГПЖ по данным ЭКГ-12 и ЭКГ-3 были в пределах нормы (специфичность 100%).

В группе лиц с подозрением на наличие ЛГ по данным ЭхоКГ имелись признаки повышения СДЛА: у 12 — качественные, поскольку точное измерение СДЛА было затруднено из-за отсутствия выраженной трикуспидальной регургитации; у 16 — СДЛА составило от 30 до 95 мм рт.ст. (в среднем $50,9 \pm 22,0$). Передне-задний размер (ПЗР) и толщина передней стенки (ТПС) правого желудочка по данным ЭхоКГ были в пределах нормы. В этой группе ЭКГ-критерии ГПЖ выполнялись следующим образом: RaVR > 4 мм у 2 больных, RV1 > 7 мм у 2 больных, SV5 > 7 мм у 4 больных, RV1+SV5 > 11 мм у 5 больных. ВКГ критерии ГПЖ наблюдались: SX > 0,4 мВ у 10 пациентов, SX+RZ > 1,1 мВ у 13 пациентов.

Хотя бы один критерий ГПЖ на ЭКГ-12 присутствовал у 6 (21%) больных, хотя бы один критерий ГПЖ на ЭКГ-3 — у 15 (54%) больных. Следует отметить, что из этих 15 больных с «ложно положительными» результатами ЭКГ-3 у 12 человек при катетеризации правых отделов сердца легочное сосудистое сопротивление составляло от 254 до 994 дин*с*см-5 (при норме до 150 дин*с*см-5), из них у 7 человек среднее давление в легочной артерии превышало 25 мм рт.ст. (современный «золотой стандарт» диагностики легочной гипертензии). Еще у 6 человек среднее давление в легочной артерии превышало 20 мм рт.ст. (обсуждаемый в настоящее время стандарт диагностики легочной гипертензии). Изменения показателей ЭКГ-3 могут отражать не только анатомическое увеличение правого желудочка, но и его электрическое ремоделирование в условиях повышенного легочного сосудистого сопротивления.

Для оценки чувствительности и специфичности векторкардиографических и дэкартографических показателей были изучены 2 группы: 116 больных ЛГ (40 ИЛГ, 40 ХТЭЛГ, 18 ЛАГ-ВПС и 18 ЛАГ-ССД; 17% мужчин, возраст $46,8 \pm 13,4$ лет) и 140 больных (49 ИБС и 91 АГ; 21% мужчин, возраст $58,4 \pm 13,2$ лет) с низкой вероятностью наличия ЛГ по данным транссторакальной эхокардиографии.

В таблице 10 представлены пороговые значения наиболее информор-

Таблица 10
Пороговые значения, чувствительность и специфичность наиболее информативных электрокардиографических, векторкардиографических и дэкартографических показателей при диагностике ГПЖ у больных ЛГ

Показатель	Пороговое значение	Чувствительность	Специфичность
RaVR	> 4 мм	29	99
SV5	> 7 мм	49	98
RV1	> 7 мм	38	99
RV1+SV5	> 11 мм	56	99
QRS в XZ	> 20%	87*	96
QRS в XY	> 20%	93*	94
DHx	< 0,5 мВ	85*	97
IRVH	> 600 усл.ед.	74*	99

Примечание: QRS в XZ — площадь петли QRS в правых квадрантах в горизонтальной плоскости; QRS в XY — площадь петли QRS в правых квадрантах во фронтальной плоскости; DHx — гомпонента X вектора полуплощади петли QRS; IRVH — индекс длительности активации правого желудочка; * — $p < 0,05$ по сравнению с наиболее информативным показателем ЭКГ-12.

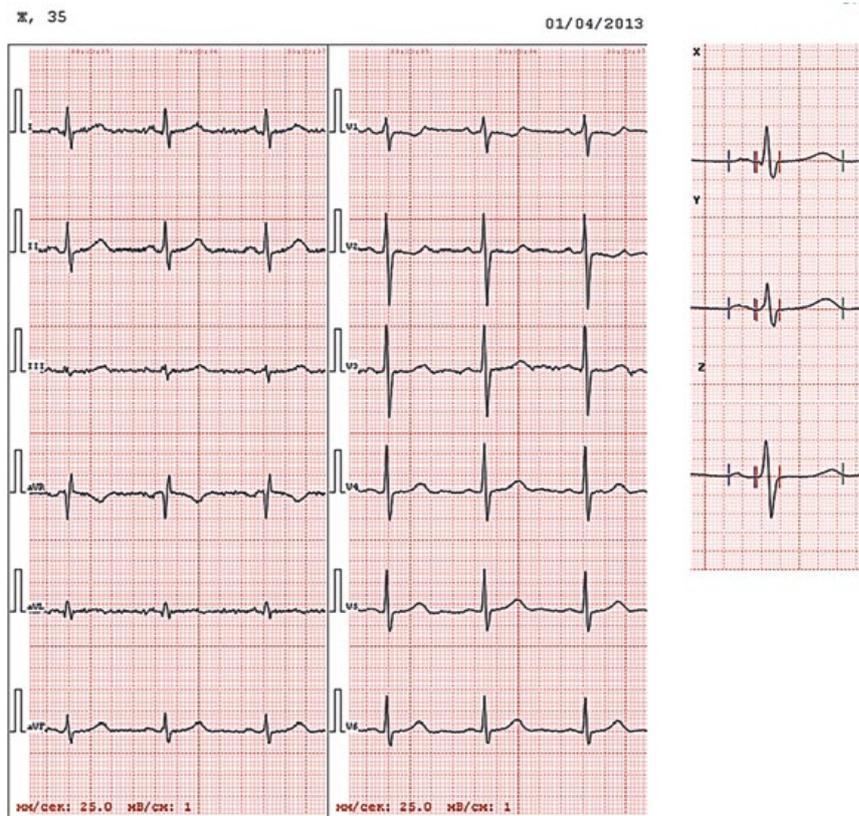


Рисунок 8. ЭКГ-12 и ЭКГ-3 больной 35 лет.

мативных векторкардиографических и дэкартографических показателей в сопоставлении с показателями ЭКГ-12 при диагностике ГПЖ.

В клинической практике наиболее полную диагностическую информацию из сигналов ортогональных отведений можно получить при объединении разных способов их анализа в единой диагностической

системе. Одним из достоинств этого подхода является также то, что данные представляются в графической форме, удобной для визуальной оценки. Важное значение для вынесения диагностического заключения имеет правильная электрофизиологическая трактовка анализируемых данных с учетом клинической информации о пациенте.

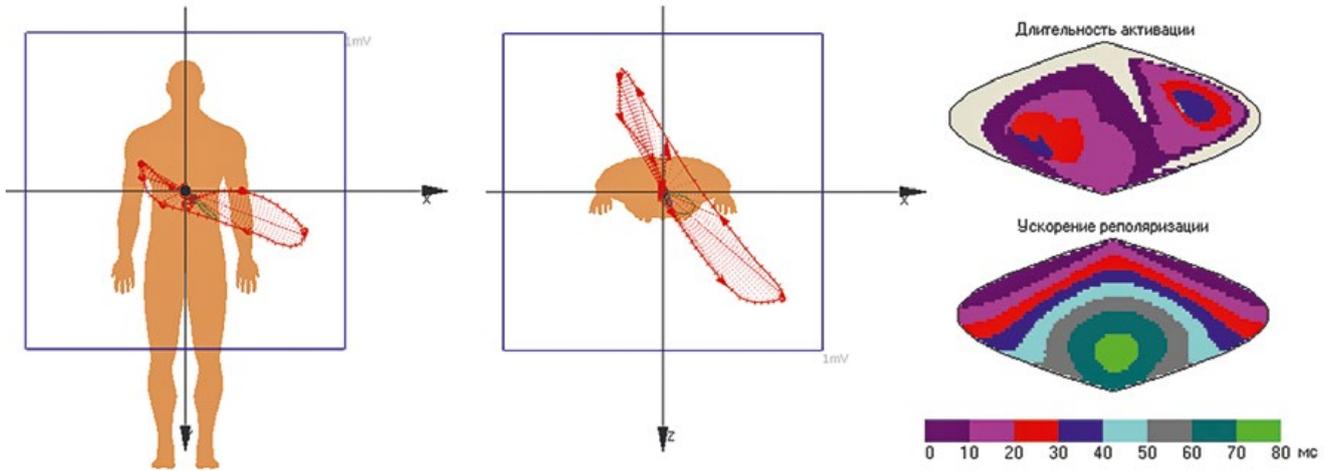


Рисунок 9. Векторкардиограмма и дэкارتграмма больной 35 лет.

Клинические примеры

Клинический пример 1

На рис. 8 и 9 представлены электрокардиограмма, векторкардиограмма и дэкارتграмма больной 35 лет, которая предъявляет жалобы на одышку при подъеме на 4 этаж, перебои в работе сердца, слабость, периодические отеки голеней. На электрокардио-

грамме нормальное положение электрической оси сердца (ось QRS 20°), зубец SV5 5 мм, суммарный показатель RV1+SV5 8 мм, зубец RaVR 4 мм, что соответствует нормальным значениям, однако в отведениях I, II, III регистрируются зубцы S больше 1 мм, что может быть либо вариантом нормы, либо признаком возможного увеличения правого желудочка.

На ЭКГ-3 $S_x = 0,41$ мВ, $S_x + R_z = 1,39$ мВ, что свидетельствует о ГПЖ.

На векторкардиограмме в горизонтальной плоскости петля QRS смещена вперед, записывается против часовой стрелки. Во фронтальной плоскости петля QRS относительно узкая, записывается по часовой стрелке. Площадь петли QRS в правых квадрантах в горизонтальной плоскости 29%, площадь петли QRS в правых квадрантах во фронтальной плоскости 21%. Петля Т мала по амплитуде, широкой, почти округлой формы, направлена влево и вниз. ДНх 0,43 мВ. Все это свидетельствует о ГПЖ.

На дэкартграммах наблюдается увеличение длительности активации до 40 мс в правых областях сферы, изменение направления ускорения реполяризации. Заключение: ВКГ признаки ГПЖ.

При эхокардиографии ПЗР ПЖ 3,2 см, СДЛА 43 мм рт.ст. При катетеризации правых отделов сердца среднее давление в легочной артерии — 38 мм рт.ст. После комплексного обследования больной был поставлен диагноз «идиопатическая легочная гипертензия».

Клинический пример 2

На рис. 10 и 11 представлены электрокардиограмма, векторкардиограмма и дэкартграмма больной 29 лет с недифференцированным заболеванием соединительной ткани, которая предъявляет жалобы на одышку, сердцебиения, слабость, боли в грудной клетке без четкой связи с физической нагрузкой. На электрокардиограмме

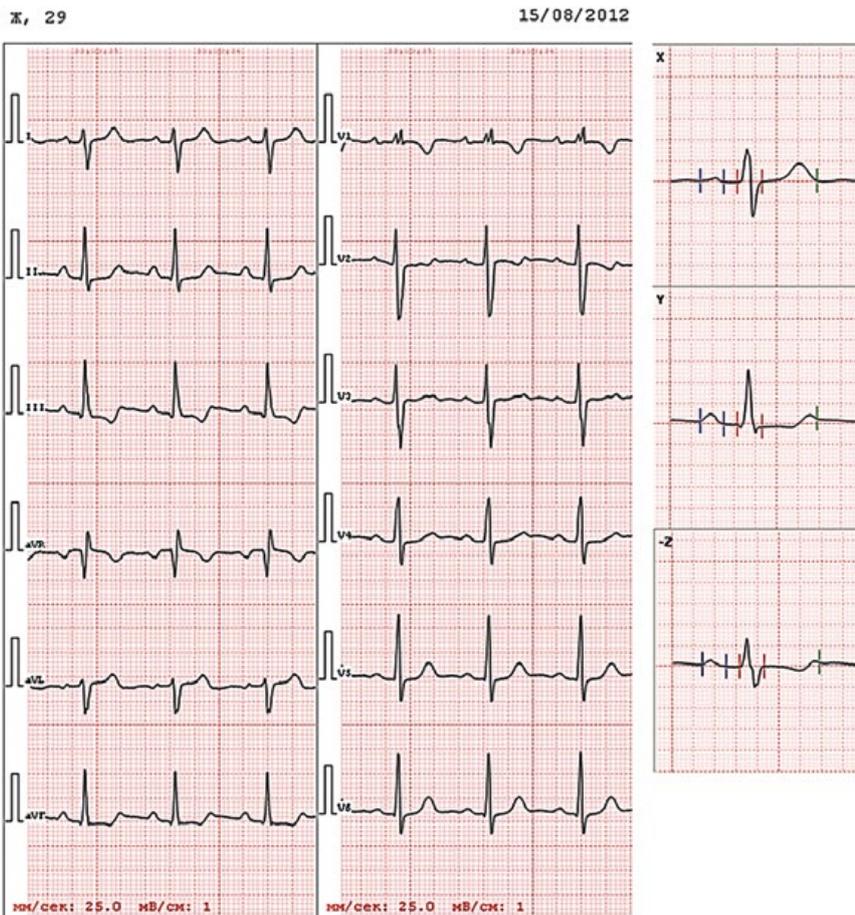


Рисунок 10. ЭКГ-12 и ЭКГ-3 больной 29 лет.

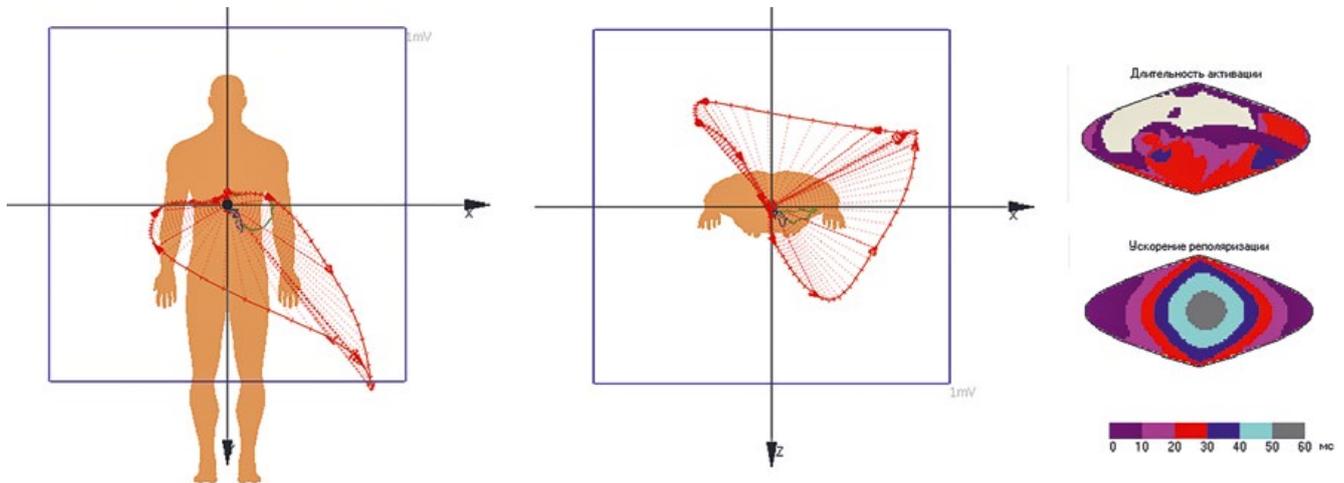


Рисунок 11. Векторкардиограмма и дэкартограмма больной 29 лет.

патологическое отклонение электрической оси сердца вправо (ось QRS 110°); зубец SV5 4 мм, суммарный показатель RV1+SV5 7 мм, зубец RaVR 4 мм (что соответствует нормальным значениям), в отведении V1 регистрируется QRS типа rR', что требует дифференциации варианта нормы (неполной блокады правой ножки пучка Гиса), либо RSR' типа гипертрофии правого желудочка.

На ЭКГ-3 $S_x = 0,83$ мВ, $S_x + R_z = 1,50$ мВ, что свидетельствует о ГПЖ.

На векторкардиограмме петля QRS смещена назад и вправо, петля записывается против часовой стрелки. Площадь петли QRS в правых квадрантах в горизонтальной плоскости 35%, площадь петли QRS в правых квадрантах во фронтальной плоскости 26%; ДНх 0,20 мВ, что свидетельствует о ГПЖ. На дэкартограммах наблюдается увеличение длительности активации до 40 мс в правых областях сферы, изменение направления желудочкового градиента; IRVH

675 усл. ед., VG-Z 9 мс, VG-Y2 мс, что свидетельствует о тяжелой ГПЖ. Заключение: ВКГ и ДЭКАРТО признаки ГПЖ. При эхокардиографии ПЗР ПЖ 2,8 см, ТПС ПЖ 0,5 см, СДЛА 80 мм рт.ст. 43.

Клинический пример 3.

Оценка тяжести ГПЖ

На рис. 12 представлены ЭКГ больной 53 лет с диагнозом ИЛГ, ФК II–III (ВОЗ) (А) и больной 29 лет с диагнозом ХТЭЛГ, ФК I (ВОЗ) (Б).

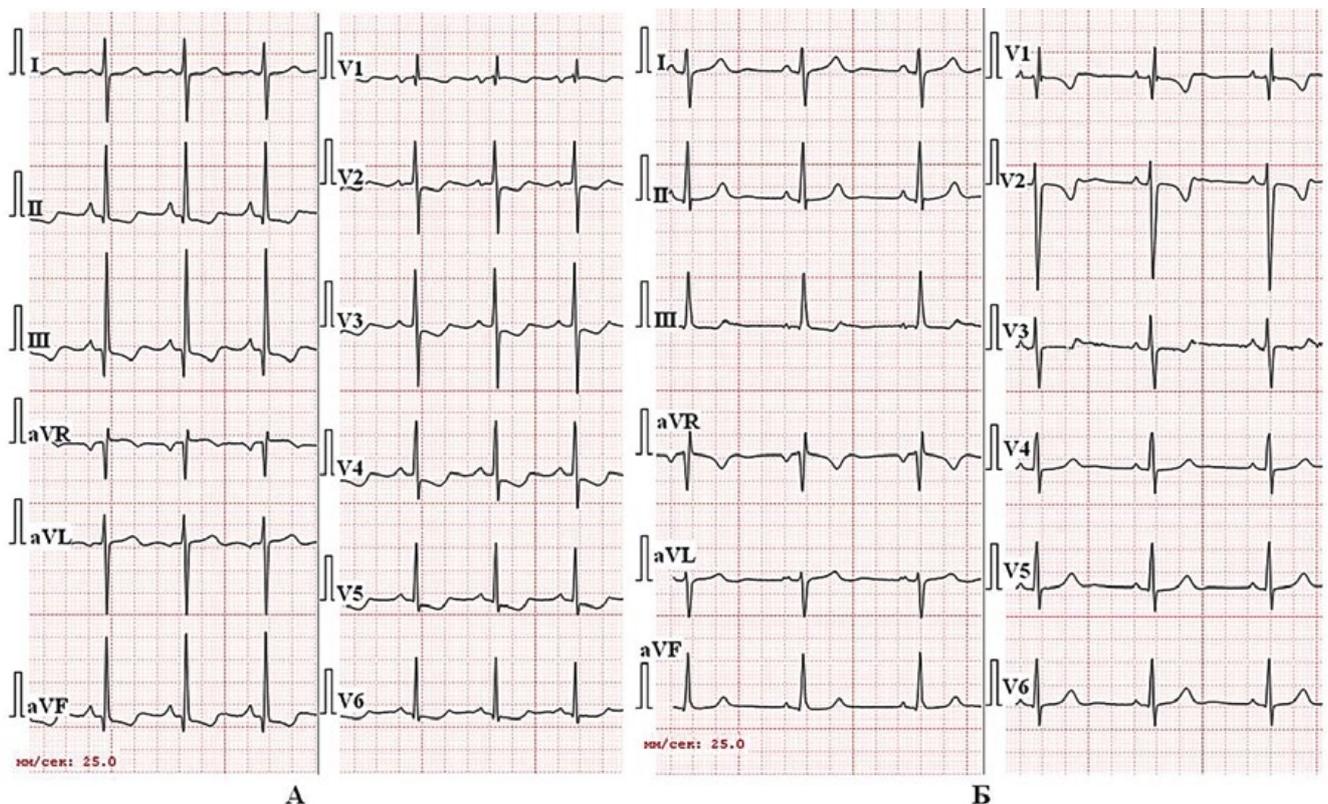


Рисунок 12. ЭКГ больной ИЛГ 53 лет (А) и больной ХТЭЛГ 29 лет (Б).

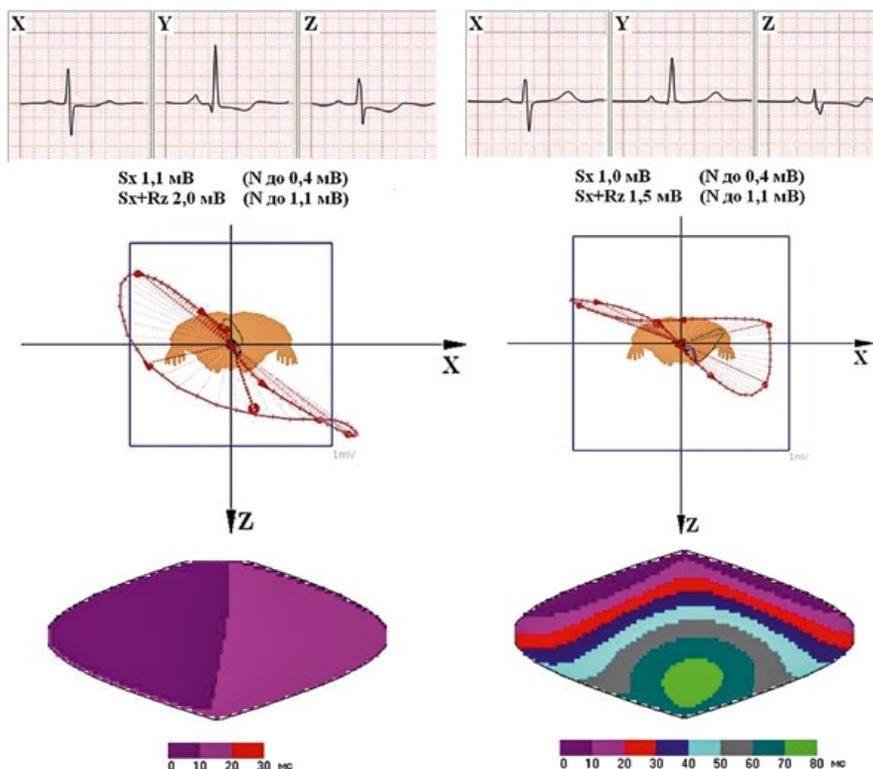


Рисунок 13. ЭКГ-3, ВКГ и дэкартограммы желудочкового градиента больной ИЛГ 53 лет (А) и больной ХТЭЛГ 29 лет (Б).

Таблица 11
Данные эхокардиографического обследования двух больных ЛГ

Показатель	Больная ИЛГ	Больная ХТЭЛГ	Норма
СДАА, мм рт.ст.	105	63	< 30
ТПС ПЖ, см	0,7	0,5	< 0,5
ПЗР ПЖ, см	4	3	< 2,9
TAPSE, см	1,3	1,5	> 1,6
S ПП, см ²	26	17	< 18
Перикардальный выпот	есть	нет	-
Диастолическая дисфункция	2 типа	1 типа	-

На обеих электрокардиограммах регистрируется отклонение электрической оси сердца вправо (ось QRS 100° в случае А и 97° в случае Б); зубец SV5, соответственно, 3 и 5 мм (что соответствует нормальным значениям), суммарный показатель RV1+SV5 7 мм (нормальный) в случае А и 11 мм (на верхней границе нормы) в случае Б, зубец RaVR 3 мм (нормальный) в случае А и 5 мм (выше нормы) в случае Б, в отведении V1 в обоих случаях регистрируется QRS типа rsR', что требует дифференциации варианта нормы (неполной блокады правой ножки пучка Гиса), либо RSR' типа гипертрофии правого желудочка. Изменения конечной части желудочкового комплекса в слу-

чае А регистрируются в отведениях II, III, aVF, V1-V6, а в случае Б — в отведениях III, V1-V3.

На рис. 13 представлены ЭКГ-3, ВКГ и дэкартограммы желудочкового градиента тех же больных.

Количественные критерии ЭКГ-3 (S_x и S_x+R_z) в обоих случаях превышают нормальные значения.

В горизонтальной плоскости в случае А петля QRS расположена спереди и справа, запись петли идет по часовой стрелке (тип А изменений ВКГ). В случае Б петля QRS в горизонтальной плоскости смещена назад и вправо (тип С изменений ВКГ). Угол QRS-T в первом случае значительно увеличен (141°), во втором случае в пределах нормальных значений (49°).

На картах ускорения реполяризации в случае А отмечается значительное уменьшение модуля и всех компонент желудочкового градиента (VG 19 мс, VG-X -1 мс, VG-Y 2 мс, VG-Z 14 мс). В случае Б отмечается изменение направления желудочкового градиента, однако его величина в пределах нормальных значений (VG 80 мс, VG-X 32 мс, VG-Y 52 мс, VG-Z 9 мс).

Данные эхокардиографического обследования тех же больных приведены в таблице 11.

*Клинический пример 4.
ЭКГ и ВКГ при разных формах прекапиллярной ЛГ*

На рис. 14 и 15 представлены ЭКГ, ВКГ и дипольные карты VG (карты ускорения реполяризации) практически здоровой женщины 58 лет и больных с разными формами прекапиллярной ЛГ, а именно:

Больная 55 лет с диагнозом: ХТЭЛГ. Функциональный класс III (ВОЗ). Легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана 2 степени. Артериальная гипертония 2-й степени.

Больная 53 лет с диагнозом: ИЛГ. Функциональный класс III (ВОЗ). Легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана 2 степени. Артериальная гипертония 2-й степени.

Больная 58 лет с диагнозом: ЛАГ, ассоциированная с системной склеродермией. Функциональный класс III (ВОЗ). Системная склеродермия, хроническое течение, лимитированная форма. Легочное сердце: относительная недостаточность трикуспидального клапана 2 степени. Артериальная гипертония 2-й степени.

Больная 47 лет с диагнозом: Врожденный порок сердца: дефект межпредсердной перегородки с гемодинамически значимым сбросом крови слева направо. Легочная гипертония. ФК II (ВОЗ). Артериальная гипертония 2-й степени.

Из ЭКГ критериев гипертрофии ПЖ у больной ХТЭЛГ превышал норму показатель Батлера «максимальная амплитуда зубца R в отведении V1 или V2 + максимальная амплитуда зубца S в отведении I или

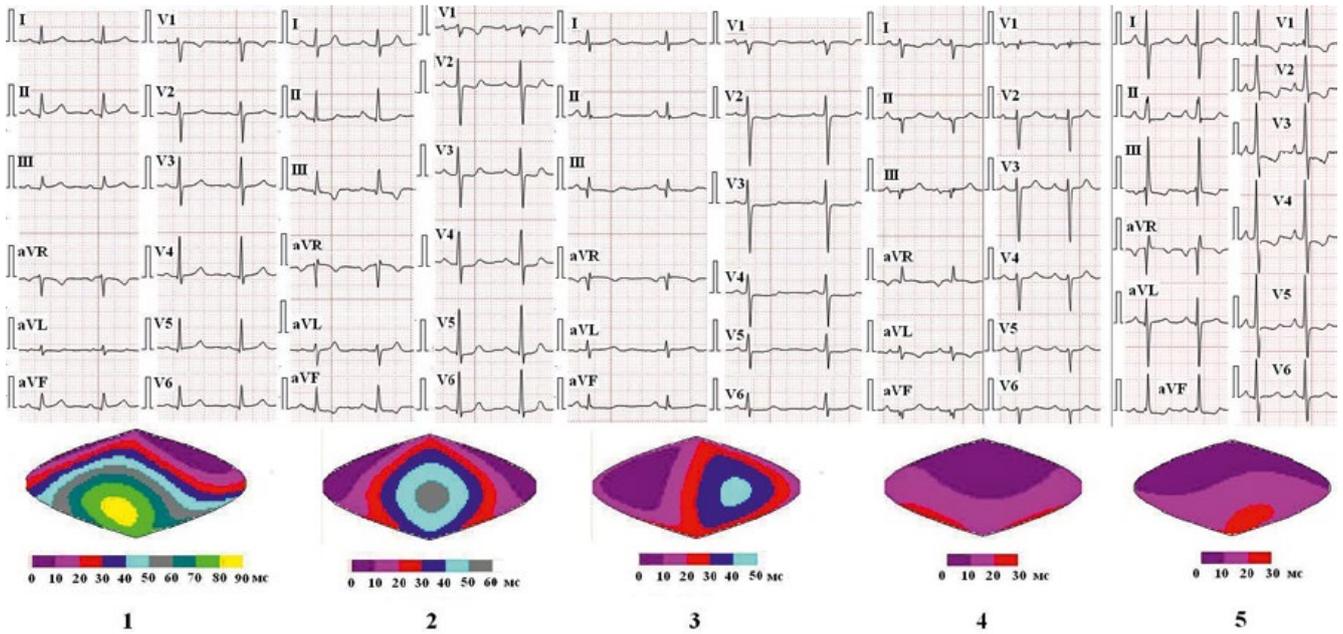


Рисунок 14. ЭКГ и дипольные карты VG практически здоровой женщины (1), больной ХТЭЛГ (2), больной ИЛГ (3), больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией (4) и больной ЛАГ на фоне ВПС (5).

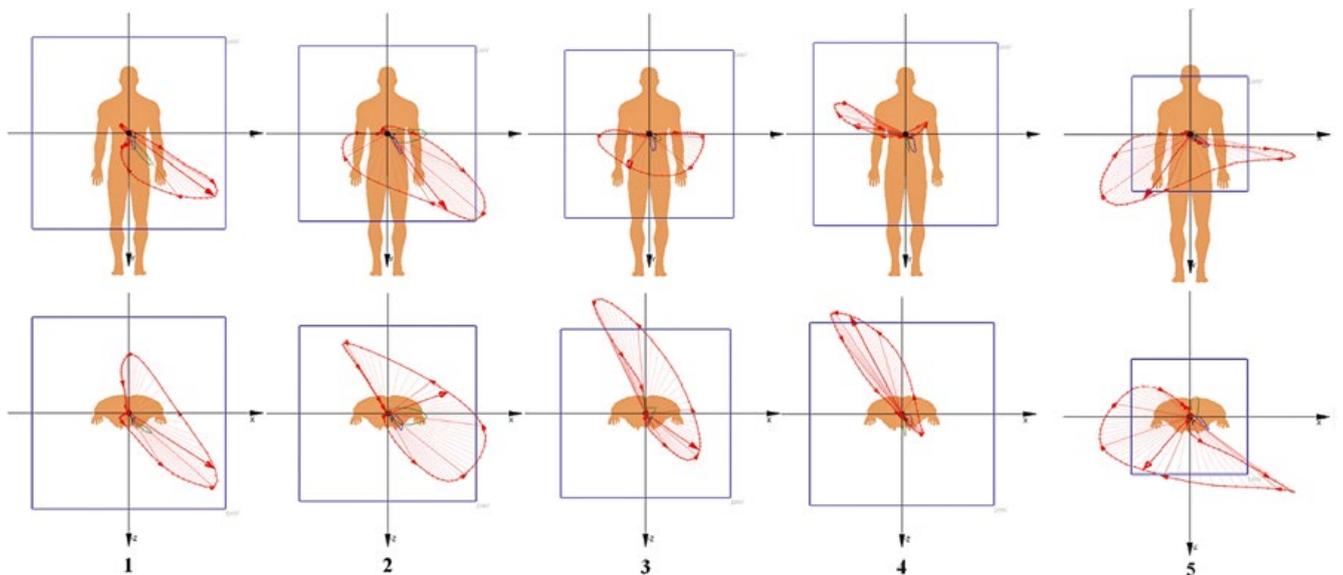


Рисунок 15. Векторкардиограммы во фронтальной (верхний ряд) и горизонтальной (нижний ряд) плоскостях практически здоровой женщины (1), больной ХТЭЛГ (2), больной ИЛГ (3), больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией (4) и больной ЛАГ на фоне ВПС (5).

aVL — амплитуда зубца S в отведении V1 больше 6 мм». У больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией присутствовали критерии «амплитуда зубца S в отведении V6 больше 3 мм», «амплитуда зубца r в отведении V5 меньше 3 мм» и «соотношение r/S в отведении V6 меньше 1». У больной ИЛГ имелись зубец S в отведении I и зубец Q в отведении III, что считается «вспомогательным» ЭКГ критерием гипертрофии ПЖ. Во всех трех случаях, несмотря на высокие уровни СДЛА, на ЭКГ в 12 отведениях

отсутствовали вторичные изменения реполяризации в виде отрицательных зубцов T в отведениях V2 и V3, в связи с чем по обычной ЭКГ можно было недооценить тяжесть ЛГ, однако дипольные карты VG существенно отличались от нормы. У больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией по ЭКГ можно было заподозрить наличие рубцового поражения миокарда нижней локализации, однако при эхокардиографии у этой больной зон нарушения локальной сократимости выявлено не было.

Количественные эхокардиографические и векторкардиографические показатели тех же лиц представлены в таблицах 12 и 13.

Примеры использования синтезированной ВКГ при динамическом наблюдении за больными легочной гипертензией

Пример 1

На рис. 16 приведены ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости больного 55 лет, который с февраля 2014 предъявляет жалобы на одышку.

Таблица 12
Эхокардиографические показатели больной ХТЭЛГ, больной ИЛГ и больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией

	ХТЭЛГ	ИЛГ	ЛАГ-ССД	ЛАГ-ВПС
КДР ЛЖ, см	4,6	4,0	4,7	4,2
ТМЖП, см	0,9	1,1	0,8	1,0
ТЗСАЖ, см	0,8	1,1	0,8	1,0
S ПП, см ²	25	22	24	26
ПЗР ПЖ, см	3,3	4,4	3,3	4,5
ТПС ПЖ, см	0,7	0,7	0,7	0,7
СДЛА, мм рт. ст.	85	73	85	73

Таблица 13
Векторкардиографические показатели практически здоровой женщины («Норма»), больной ХТЭЛГ, больной ИЛГ и больной ЛАГ, ассоциированной с системной склеродермией

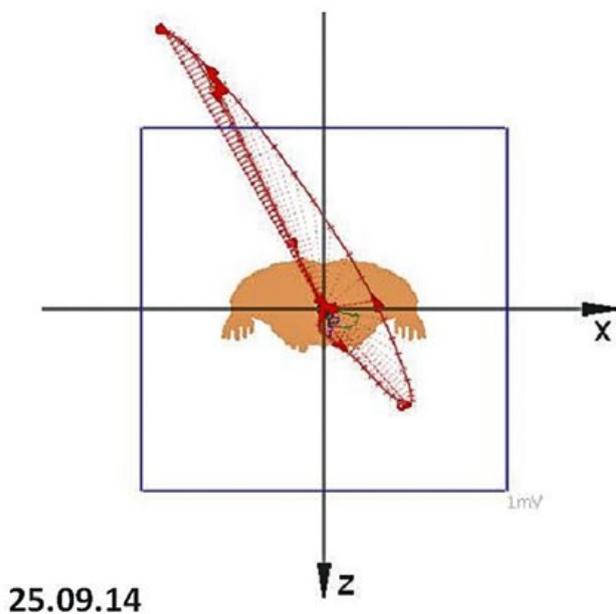
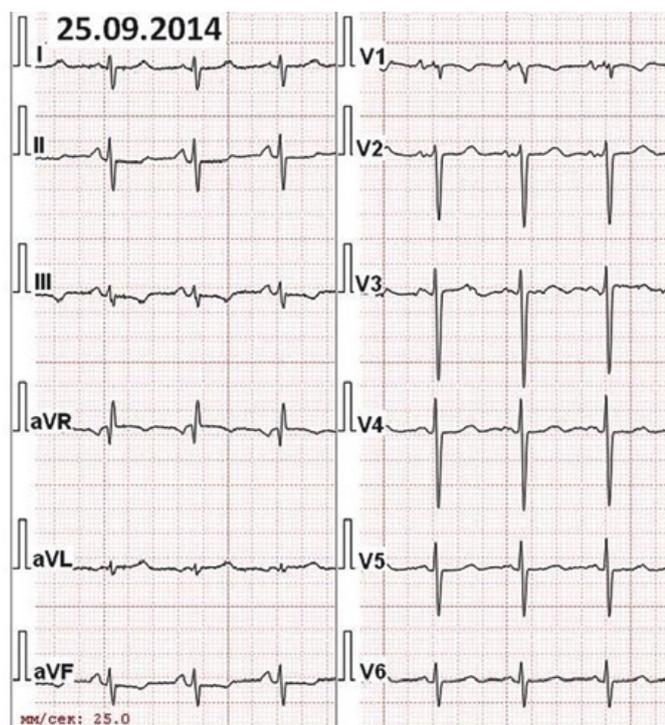
	Норма	ХТЭЛГ	ИЛГ	ЛАГ-ССД	ЛАГ-ВПС
SX, мВ	0,1	0,5	0,6	0,8	1,6
SX+RZ, мВ	0,9	1,3	1,2	1,0	2,9
QRS в XZ, %	3	11	38	79	60
QRS в XY, %	4	20	40	91	66
угол QRS-T, °	18	49	56	147	79

В сентябре 2014 года на основании комплексного обследования установлен диагноз ИЛГ. При ЭхоКГ ПЗР ПЖ 35 мм; ТПС ПЖ 7 мм; СДЛА 92 мм ртст; TAPSE 13 мм. При КПОС: срДЛА 51 мм рт.ст.; ДЗЛА 6 мм рт.ст.; ЛСС 1058 дин*сек/см⁵; ОФП положительная. Назначена те-

рапия дилтиаземом и силденафилом. В связи с проблемами медикаментозного обеспечения принимал их нерегулярно. На этом фоне отмечалось постепенное прогрессирование заболевания в виде нарастания одышки, снижения толерантности к физической нагрузке, ухудшения

показателей Эхо-КГ (прогрессирующее расширение правых отделов сердца), КПОС (увеличения срДЛА до 61 мм рт.ст.). В октябре 2015 года ухудшение самочувствия в виде усугубления одышки. По данным ЭхоКГ СДЛА 107 мм рт. ст., нарастание расхождения листков перикарда до 1,0–1,1 см (ранее 0,3 см), уменьшение проходимой дистанции в тесте 6-минутной ходьбы до 350 м (ранее 398 м). К терапии был добавлен илопрост. В связи с проблемами медикаментозного обеспечения принимать препарат начал только с февраля 2016 года. В мае 2016 по данным комплексного обследования отмечалась отрицательная динамика в связи с чем к терапии был присоединен бозентан, был консультирован трансплантологом. В октябре 2016 ухудшение, нарастание отеочного синдрома, одышки, снижение толерантности к физической нагрузке. По данным ЭхоКГ площадь правого предсердия увеличилась с 33 до 37 см², СДЛА увеличилось до 145 мм рт. ст., в полости перикарда 200–300 мл жидкости.

На рис. 17 приведены ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости того же больного в динамике. Видно прогрессивное формирование типа А ВКГ.



Угол QRS-T 132 градуса, VG-X 3 мс

Рисунок 16. ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости больного ИЛГ 55 лет.

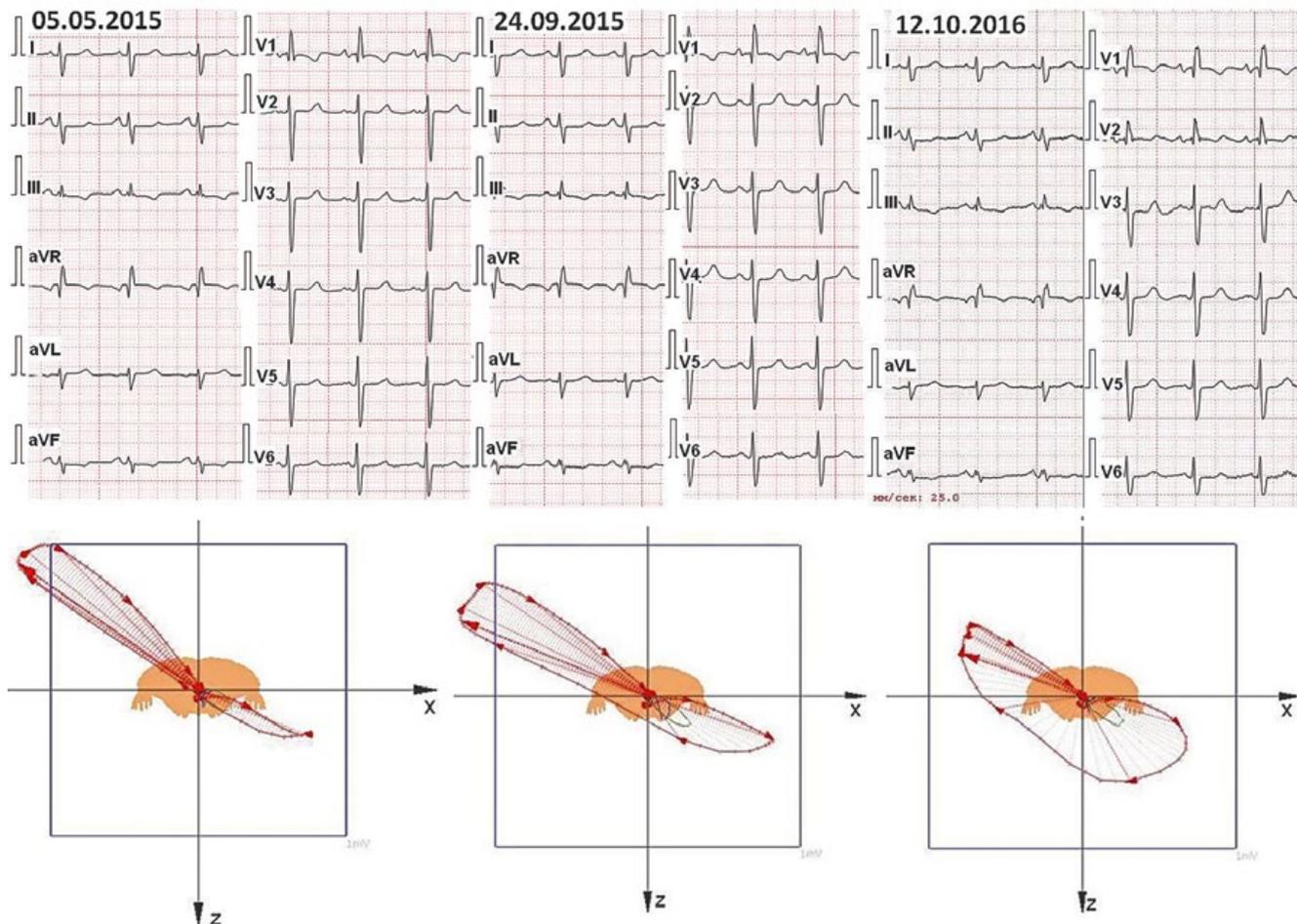


Рисунок 17. ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости больного ИЛГ 55 лет в динамике.

Пример 2

На рис. 18 приведены ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости больной 42 лет с диагнозом ХТЭЛГ в динамике.

Пациентка считает себя больной с марта 2015 года, когда после получения травмы правой ноги отметила отечность правой голени, резкое нарастание одышки, через 5 дней после травмы обратилась в больницу, где была заподозрена тромбоэмболия ветвей легочной артерии. Назначен варфарин, однако МНО пациентка контролировала не регулярно.

В конце сентября ухудшение состояния в виде резкого снижения толерантности к физической нагрузке. По данным МСКТ признаки тромбоэмболии на уровне верхне-долевых легочных артерий (S1, S2) справа, легочной гипертензии, двусторонний гидроторакс, по ЭХО-КГ увеличение правых отделов сердца, СДЛА более 100 мм рт.ст., гидро-

перикард). Инициирована терапия силденафилом, ривароксабаном. В декабре 2015 года по данным МСКТ- пульмографии, КПОС, ангиопульмонографии подтвержден диагноз ХТЭЛГ. При ЭхоКГ ПЗР ПЖ 35 мм; ТПС ПЖ 6 мм; СДЛА 80 мм рт. ст.; TAPSE 15 мм; при КПОС срДЛА 50 мм рт. ст., ЛСС 818 дин*сек/см⁵

С 2015 по 2016 проведены серии ангиопластик легочных артерий: сегмента С7, С8, С9, С10 правого легкого, С6, С8, С9, С10 левого легкого.

В июне 2016 года при ЭхоКГ ПЗР ПЖ 33 мм; ТПС ПЖ 6 мм; СДЛА 60 мм рт. ст.; TAPSE 23 мм; при КПОС срДЛА 23 мм рт. ст., ЛСС 250 дин*сек/см⁵.

В августе 2019 года продолжает жаловаться на умеренную одышку при физической нагрузке (подъем на 2 этаж), при ЭхоКГ ПЗР ПЖ 29 мм; СДЛА 45 мм рт. ст.; TAPSE 23 мм; при КПОС срДЛА 27 мм рт. ст., ЛСС 236 дин*сек/см⁵.

Ангиопульмонография без отрицательной динамики, сохраняются пораженные участки в большом количестве, как в левом так и в правом легком технически подходящие для ТЛА, показано проведение процедуры в плановом порядке.

На ВКГ отмечается постепенный переход типа А ВКГ в тип В, нормализация значений угла QRS-T и компоненты X желудочкового градиента.

Список литературы

1. Блинова, Е.В., Сахнова, Т.А. Векторкардиография. В: Руководство по кардиологии. — Т. 2/под ред. Е.И. Чазова. — М.: Практика, 2014. — С. 79–94, 721–727.
2. Рябыкина, Г.В., Сахнова, Т.А., Блинова, Е. В. Электровекторкардиографическая диагностика. В: Легочная гипертензия / под ред. И.Е. Чазовой и Т.В. Мартынюк. — М.: Практика, 2015, с. 85–118, 894–898.
3. Блинова, Е.В., Сахнова, Т.А. Ортогональная электрокардиограмма. В: Функциональная диагностика. Национальное руководство. Под ред. Н.Ф. Берестень, В.А. Сандрикова, С.И. Федоровой, ГЭОТАР-Медиа, 2019, с. 171–181

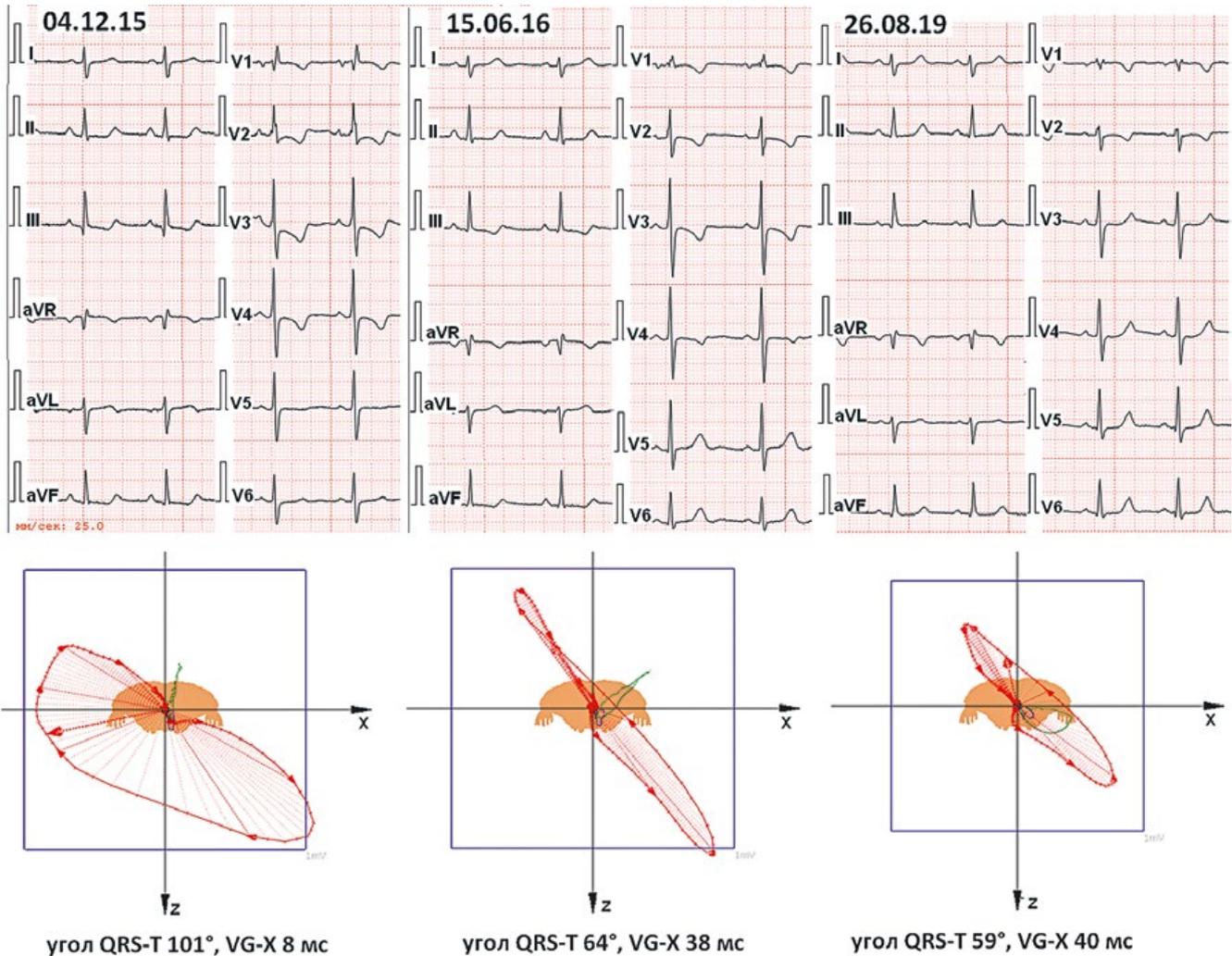
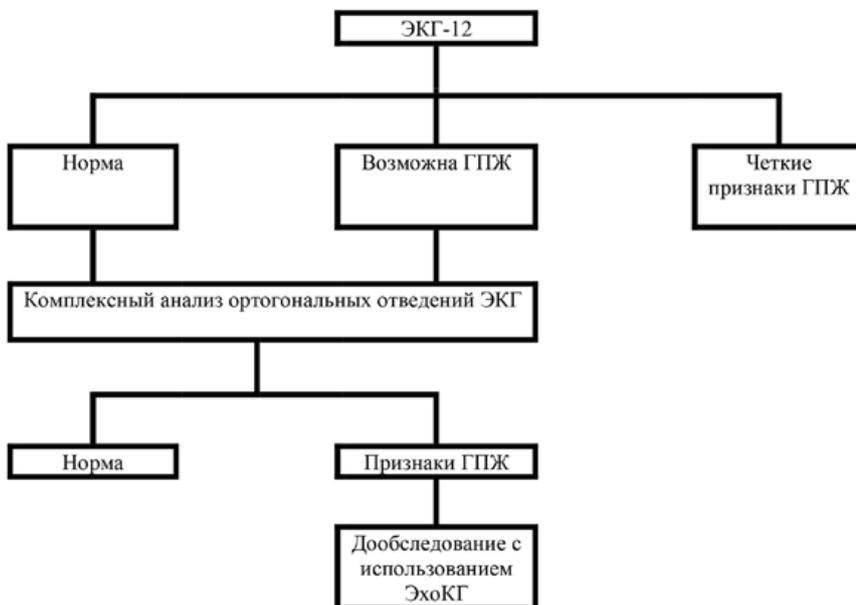


Рисунок 18. ЭКГ и ВКГ в горизонтальной плоскости больной 42 лет с диагнозом ХТЭЛГ (в динамике).

Алгоритм использования комплексного анализа ортогональных отведений ЭКГ для диагностики ГПЖ при обследовании больного с подозрением на легочную гипертензию



4. Трунов В.Г., Айду Э. А., Блинова Е. В., Сахнова Т. А. Синтез сигналов скорректированных ортогональных отведений Макфи-Парунгао по данным электрокардиограммы в 12 отведениях. Медицинский алфавит. Современная функциональная диагностика. 2017; 14 (311): 16–20.
5. Comprehensive Electrocardiology / P.W. Macfarlane, A. van Oosterom, O. Pahlm, P. Kligfield, M. Janse, J.— Camm; Springer, 2010.
6. Kamphuis VP, Haeck ML, Wagner GS, Maan AC, Maynard C, Delgado V, Vliegen HW, Swenne CA. Electrocardiographic detection of right ventricular pressure overload in patients with suspected pulmonary hypertension. J Electrocardiol. 2014; 47(2): 175–182.
7. Scherptong RW, Henkens IR, Kapel GF, Swenne CA, van Kralingen KW, Huisman MV, Schuerwegh AJ, Bax JJ, van der Wall EE, Schalij MJ, Vliegen HW. Diagnosis and mortality prediction in pulmonary hypertension: the value of the electrocardiogram-derived ventricular gradient. J Electrocardiol. 2012; 45(3): 312–318.
8. Couperus LE, Vliegen HW, Henkens IR, Maan AC, Treskes RW, de Vries JK, Schouffoer AA, Swenne CA, Schalij MJ, Scherptong RW. Electrocardiographic detection of pulmonary hypertension in patients with systemic sclerosis using the ventricular gradient. J Electrocardiol. 2016; 49(1): 60–68.

