

УДК 616.12-008.318.1

Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда

Л. С. Файнзильберг¹, Е. Н. Минина²

¹Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев

²Таврический Национальный университет имени В. И. Вернадского кафедра физической реабилитации и здоровья человека Симферополь, Украина

Резюме

Развивается новый подход к построению медицинской информационной технологии оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы при скрининговых обследованиях, основанный на анализе признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ. Исследуется диагностическая ценность угла ориентации фазового портрета как индикатора нарастания патологических процессов в миокарде и уровня тренированности спортсменов. Приведены результаты клинических испытаний на различных категориях обследованных в покое и при увеличении внешней нагрузки. Предложена схема принятия решений при скрининговых исследованиях для выявления групп риска кардиологической патологии по совокупности двух диагностических признаков фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения.

Ключевые слова: информационная технология, фазовый портрет ЭКГ, диагностический признак, электрическая ось сердца, деполяризация, реполяризация.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.33–42

Введение

Электрокардиография по-прежнему остается наиболее распространенным, доступным и дешевым методом объективного обследования сердца. Однако чувствительность и специфичность обычного электрокардиографического обследования недостаточно высоки, что побуждает исследователей постоянно искать новые подходы к решению задачи анализа и интерпретации ЭКГ.

Один из таких перспективных подходов, который разработан в Международном научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН и МОН Украины и реализован в портативном диагностическом комплексе ФАЗАГРАФ[®], основан на переходе от представления ЭКГ $z(t)$ во временной области к ее фазовому портрету в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ — первая производная сигнала об электрической активности сердца [1].

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что проектирование усредненной фазовой траектории на временную ось обеспечивает более точную оценку формы полезного сигнала (эталонного цикла) по сравнению с традиционно используемым в электрокардиографах [2] прямым методом

усреднения сигнала во временной области, который из-за несинхронности усредняемых фрагментов сигнала приводит к эффекту «размытия» формы зубцов P, Q, R, S, T [3], и как следствие, к ошибочной диагностике.

Переход к фазовому портрету ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ обеспечил также введение ряда дополнительных диагностических признаков, которые не использовались ранее в цифровых электрокардиографах. В частности, результаты исследований, опубликованные в [4], позволили выдвинуть гипотезу о диагностической ценности признака β_T , характеризующего симметрию зубца T , который определяется по фрагменту реполяризации усредненной фазовой траектории, но почти незаметен на ЭКГ во временной области. Эта гипотеза нашла подтверждение в наших многочисленных экспериментах, проведенных на различных группах испытуемых и в условиях искусственной ишемии на животных [5], в том числе при исследовании функциональных резервов миокарда [6].

Кроме того, в работе [7] впервые была выдвинута гипотеза о диагностической ценности других диагностических признаков фазового портрета ЭКГ, в частности угла α , характеризующего ориентацию фазового портрета на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$. Последующие эксперименты, результаты которых пред-

ставлены в работе [8], показали, что отклонения $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_1$, ($i = 2, \dots, 12$) углов ориентации фазовых портретов ЭКГ в 12 традиционных отведениях по отношению к углу α_1 первого стандартного отведения несут статистически значимые различия у больных ревматоидным артритом и здоровых волонтеров, а также имеют высокую степень корреляции с параметрами крови, отражающими степень активности воспалительного процесса.

Возникает естественный вопрос: имеют ли сами по себе значения угла ориентации α_1 диагностическую ценность?

Постановка задачи

Цель настоящей статьи — дальнейшие исследования, направленные на изучение диагностической ценности абсолютных значений углов α_1 ориентации фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения у различных категорий обследованных в покое и при увеличении внешней нагрузки.

Предлагаемые методы

Для проведения исследований использовался программно-аппаратный комплекс, реализующий информаци-

онную технологию ФАЗАГРАФ® анализа и интерпретации ЭКГ в фазовых координатах [5].

В основу информационной технологии (ИТ) положен метод изучения поведения динамической системы, описываемой конечным набором параметров состояния x_1, \dots, x_N , когда анализ проводится в N -мерном пространстве с фазовыми координатами x_1, \dots, x_N . Семейство фазовых траекторий, отображающих изменения состояния системы, называется фазовым портретом. Если для описания поведения системы достаточно двух переменных x_1, x_2 , то фазовый портрет отображается на плоскости.

В подавляющем числе известных публикаций, в которых изучается фазовый портрет ЭКГ одного отведения, координаты фазовой плоскости представляют собой амплитуды временного сигнала $z(t)$ в моменты времени t и $t-\tau$, где $\tau = \text{const}$ — временная задержка (лаг преобразования). Главным образом такие исследования направлены на анализ вариабельности сердечного ритма, оценку степени хаотичности сигнала и классификацию аритмий [9-12].

В ИТ ФАЗАГРАФ® реализована более прогрессивная идея: при построении фазового портрета в явном виде использовать скоростные показатели исследуемого процесса. Иными словами, фазовый портрет ЭКГ строится не в координатах $z(t), z(t-\tau)$, а в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ — скорость изменения сигнала об электрической активности сердца в момент времени t .

Несмотря на то, что уже давно в исследованиях кардиологов [13-15] указывалось на диагностическую ценность скоростных показателей ЭКГ, анализ

фазового портрета ЭКГ в координатах $z(t), \dot{z}(t)$ до последнего времени не использовался в цифровых электрокардиографах. Некоторые авторы [16] даже отрицают возможность такого подхода только лишь из-за трудностей оценки производной $\dot{z}(t)$ реальных ЭКГ, искаженных помехами.

По-видимому, такое убеждение основано на том, что оценка производной сигнала $z(t)$ на фоне помехи действительно является не простой задачей. Более того, в общем случае дифференцирование зашумленных сигналов относится к числу некорректно поставленных математических задач [17].

Тем не менее, при использовании оригинальных процедур фильтрации и регуляризации нам удалось для дискретно заданной функции $z[k]$, $k = 0, 1, \dots, K-1$ получать приемлемые оценки $\dot{z}[k]$ [18, с. 157-160]. Этот результат позволил перейти от скалярного представления ЭКГ $z(t)$ в любом из отведений, заданной в дискретные моменты времени $t_k \equiv k\Delta$, $k = 0, 1, \dots, K-1$, где Δ — шаг квантования по времени, к последовательности двумерных векторов (точек)

$$\begin{aligned} &(z(t_0), \dot{z}(t_0)), \\ &(z(t_1), \dot{z}(t_1)), \dots, (z(t_{K-1}), \dot{z}(t_{K-1})), \end{aligned} \quad (1)$$

лежащих на фазовой плоскости $z(t), \dot{z}(t)$, которые используются для последующей компьютерной обработки (рис. 1).

Хотя ЭКГ (рис. 1, а) не является периодической функцией времени в большинстве случаев траектории отдельных циклов (рис. 1, б) притягиваются к некоторой локальной области фазовой плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ — аттрактору в виде предельного цикла.

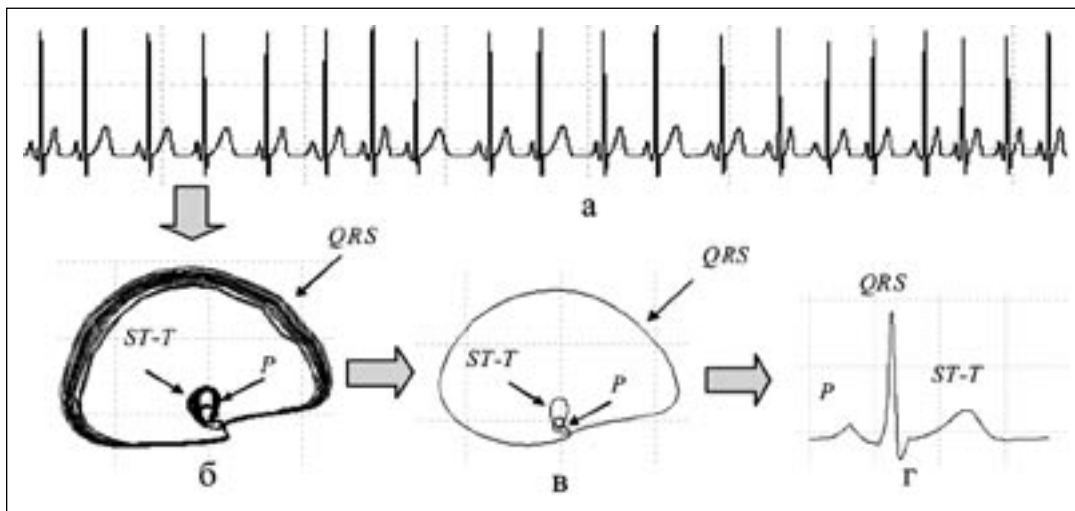


Рис. 1. Последовательность этапов обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория (б); усредненная фазовая траектория (в); эталонный цикл ЭКГ во временной области (г).

Отличительной особенностью ИТ ФАЗАГРАФ® является то, что для селекции нетипичных циклов ЭКГ (экстрасистол и артефактов) и оценки усредненной фазовой траектории (рис. 1, в) используются хаусдорфовы расстояния

$$R_H(Q_n, Q_m) = \max \left\{ \max_{q_n \in Q_n} \min_{q_m \in Q_m} \rho(q_n, q_m), \max_{q_m \in Q_m} \min_{q_n \in Q_n} \rho(q_n, q_m) \right\}, \quad (2)$$

между всеми парами фазовых траекторий Q_n и Q_m отдельных циклов ЭКГ, где $\rho(q_n, q_m) = \|q_n - q_m\|$ — евклидово расстояние между точками (нормированными векторами) $q_n = (z_n, \dot{z}_n) \in Q_n$ и $q_m = (z_m, \dot{z}_m) \in Q_m$, лежащими на фазовой плоскости.

Заметим, что фазовый портрет ЭКГ подобно векторкардиограмме содержит петли зубцов P , T и комплекса QRS , но, в отличие от традиционной векторкардиограммы, может быть построен по сигналу *одного отведения*, например, первого стандартного отведения. Оригинальные компьютерные алгоритмы обработки ЭКГ, описанные в работе [19], позволяют по двум характерным точкам, принадлежащим петле комплекса QRS усредненной фазовой траектории, оценить угол α ориентации фазового портрета ЭКГ (рис. 2).

По фазовому портрету ЭКГ легко может быть также вычислен показатель S_{TR} , представляющий собой отношение площадей петель зубца T и комплекса QRS , который, по аналогии с традиционной векторкардиограммой, несет информацию о соотношении процессов реполяризации и деполяризации.

Базовые предпосылки и гипотезы

Многолетние наблюдения за постоянной группой испытуемых, в которую входило более 100 человек в возрасте от 14 до 75 лет без острой кардиологической патологии, позволили обнаружить следующие любопытные свойства фазовых портретов ЭКГ:

1. Форма фазового портрета, и особенно его угол ориентации на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$, интегрально отражает индивидуальные характеристики испытуемого (рис. 3).

2. В большинстве случаев угол ориентации α_1 сохранялся практически неиз-

менным на протяжении достаточно большого промежутка времени (рис. 4).

3. Если в период наблюдений происходила кратковременная бифуркация (смена аттрактора) и угол ориентации α_1 фазового портрета конкретного испытуемого заметно изменялся по сравнению с его обычными значениями (рис. 5), то чаще всего при такой перестройке испытуемый субъективно предъявлял жалобы на дискомфорт в грудной клетке.

Эксперименты, проведенные с использованием генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы показали [1, с. 121], что фазовый портрет ЭКГ разворачивается по часовой стрелке почти на 90 градусов при имитации патологического (глубокого и широкого) зубца Q (рис. 6.).

Модельные эксперименты показали также, что существует тесная корреляционная связь между углом α и соотношением зубцов Q и S , которая с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,986$ может быть описана уравнением регрессии [1, с. 123]

$$\alpha = 200,85e^{-0,7928\rho}, \quad (3)$$

где $\rho = Q/S$.

Приведенные факты породили гипотезу о том, что кратковременные отклонения угла ориентации α_1 по отношению к его средним значениям, вычисленным для конкретного испытуемого, вызваны интраиндивидуальными изменениями ЭКГ, на которые в последнее время обращают внимание многие исследователи [20], а само значение α_1 может служить интегральным индикатором функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Анализ работ [21–23] убедительно свидетельствует о том, что изменение электрофизиологических свойства миокарда является одной из составляющих динамики патологического процесса, что обусловлено структурной перестройкой миокарда, причем, как правило,

электрофизиологические феномены опережают механические [21].

Схожесть когнитивных графических образов фазового портрета ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ и привычной векторкардиограммы даёт основание предположить, что уменьшение угла ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ несет важную информацию о формировании электронегативной ткани в ущерб электропозитивной и свидетельствует об увеличении доли несократительных элементов в миокарде.

Для исследования сформулированных гипотез проводились эксперименты на различных группах испытуемых в покое и при увеличении внешней нагрузки. Задачами исследований было:

а) оценка распределений показателя α_1 в группах условно здоровых людей, спортсменов высокой квалификации, пациентов с острой и хронической кардиальной патологией;

б) определение физиологической основы показателя α_1 и вероятных взаимосвязей с показателями, отражающими функциональное состояние миокарда и регуляторные механизмы сердечно-сосудистой системы;

в) оценка диагностической значимости показателя α_1 фазового портрета ЭКГ.

Клинический материал и результаты исследований

Всего было обследовано 181 человек, которые были разделены на четыре группы. В группу А (21 человек) были

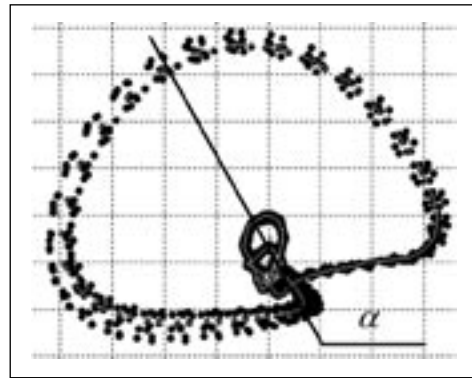


Рис. 2. Угол ориентации фазового портрета ЭКГ.

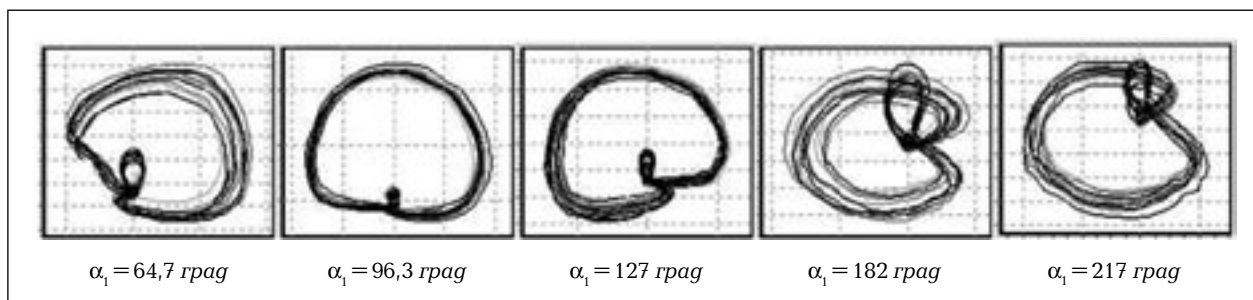


Рис. 3. Примеры фазовых портретов пяти испытуемых.

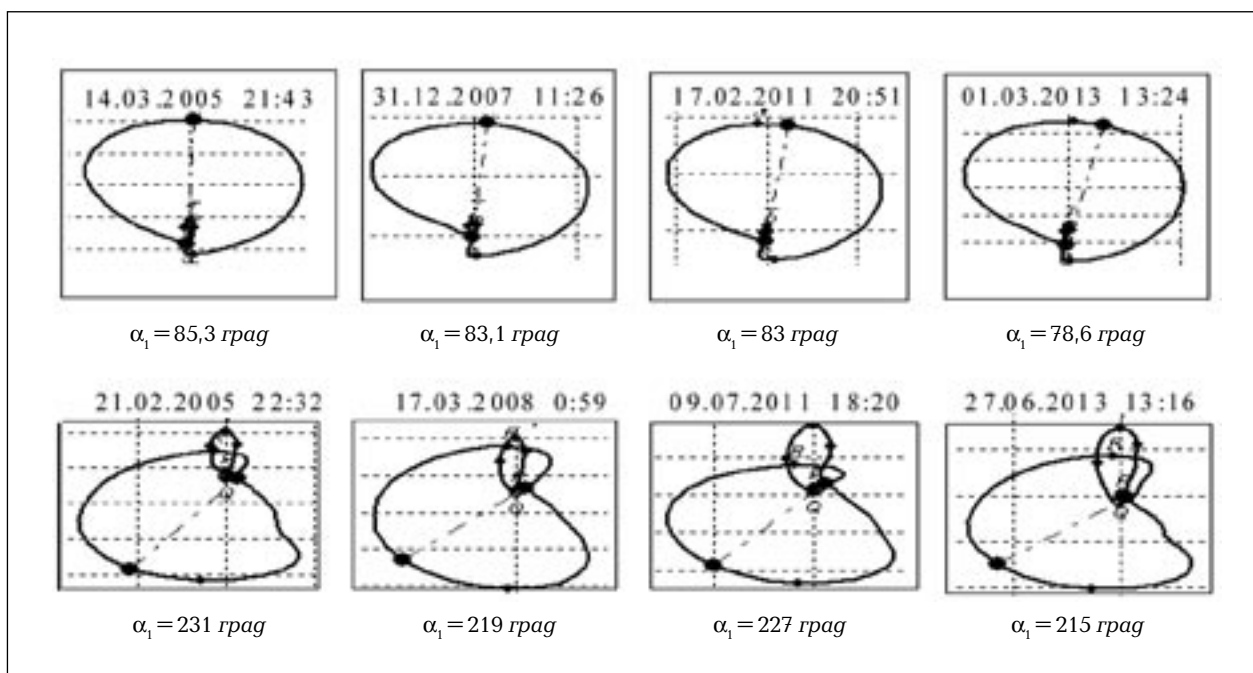


Рис. 4. Динамика изменений угла ориентации фазовых портретов испытуемых Ф. (вверху) и Т. (внизу) за 8 лет.

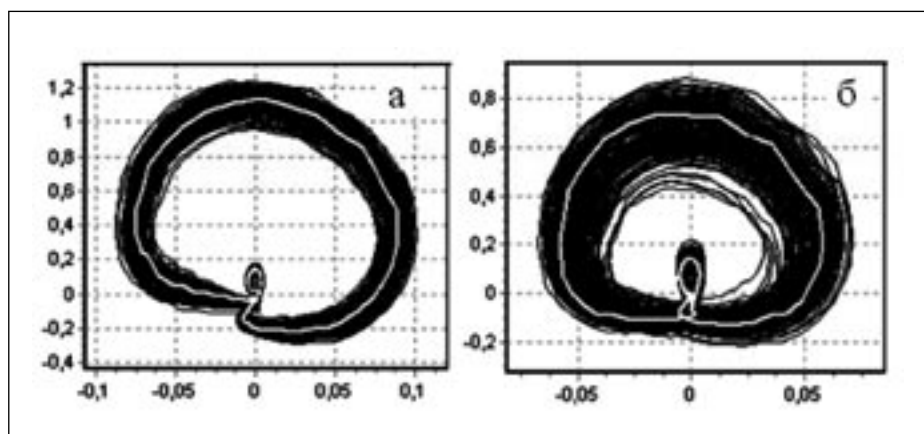


Рис. 5. Типичные формы фазовых портретов ЭКГ в покое испытуемого Ф. в период 8-летних наблюдений: 1732 случая (а), 2 случая (б).

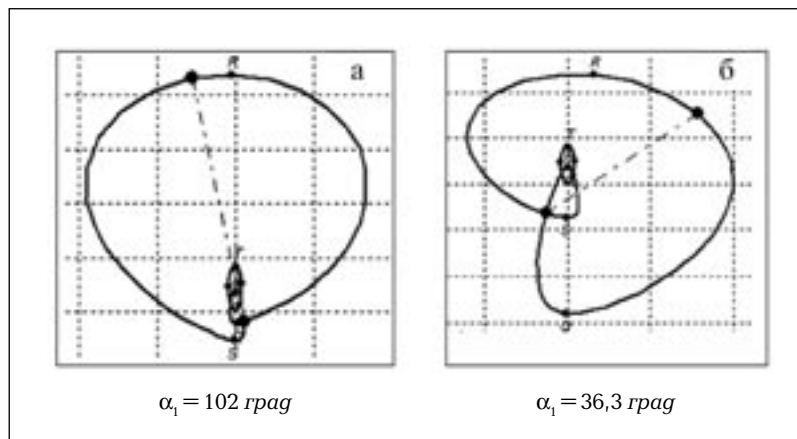


Рис. 6. Форма фазового портрета ЭКГ при нормальных параметрах цикла (а) и патологическом зубце Q (б).

включены пациенты с острой коронарной патологией. В группу Б (77 человек) вошли пациенты с хронической коронарной патологией. Группа В состояла из 31 условно здоровых лиц (студенты возраста 20–22 года). В группу Г были включены 52 спортсмена высокой квалификации (футболисты и боксёры возраста 20–27 лет).

Для всех обследованных с помощью комплекса ФАЗАГРАФ® определялись традиционные показатели ЭКГ первого отведения в покое, в частности, частота сердечных сокращений (ЧСС), интервалы PQ и QT, ширина и глубина зубца Q, продолжительность комплекса QRS, смещение сегмента S–T, амплитуда и симметрия зубца T, а также стандартные статистические и спектральные параметры variability сердечного ритма (всего 37 параметров). Оценивался также угол ориентации α_1 фазового портрета и показатель S_{TR} .

В группах В и Г указанные показатели дополнительно определялись также при физической нагрузке (тест PWC-170). При помощи компьютерного ЭКГ-комплекса «Cardiolife» (Харьков) параллельно регистрировалась также ЭКГ в 12 отведениях.

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью пакета STATISTICA-6.0. Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова–Смирнова. Для оценки взаимосвязи между исследуемыми признаками применяли критерий ранговой корреляции Спирмена. Анализ различий выраженности признаков между исследуемыми группами проводили с помощью критерия Манна–Уитни.

Исследования показали, что распределения угла ориентации α_1 имеют статистически значимые различия толь-

ко между группами условно здоровых (группы В, Г) и пациентов с кардиологической патологией (группы А, Б) (рис. 7). Исследования не выявили возрастные особенности распределения угла ориентации α_1 в подгруппах спортсменов возрастов 20–22 года и 22–27 лет.

Важно отметить, что при увеличении внешней нагрузки (при выполнении теста PWC-170) в конце нагрузочного тестирования наблюдались достоверные различия ($p < 0,05$) в приросте значения угла α_1 у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом (рис. 8). Так, при увеличении мощности физической нагрузки в группе спортсменов увеличение значения угла α_1 в среднем происходило на 20,5 градусов. При этом у лиц, не зани-

мающихся спортом, наблюдались лишь незначительные увеличения α_1 . Данный факт подтверждает гипотезу о том, что показатель α_1 в большей степени несет информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы, чем об антропометрических особенностях испытуемого.

Как видно из рис. 7, группы пациентов с патологией характеризовались снижением значения угла α_1 , тогда как у молодых людей и спортсменов этот показатель имел тенденцию к увеличению.

Сопоставление данных 12-канальной ЭКГ-диагностики и значений показателя угла ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ первого отведения показали, что

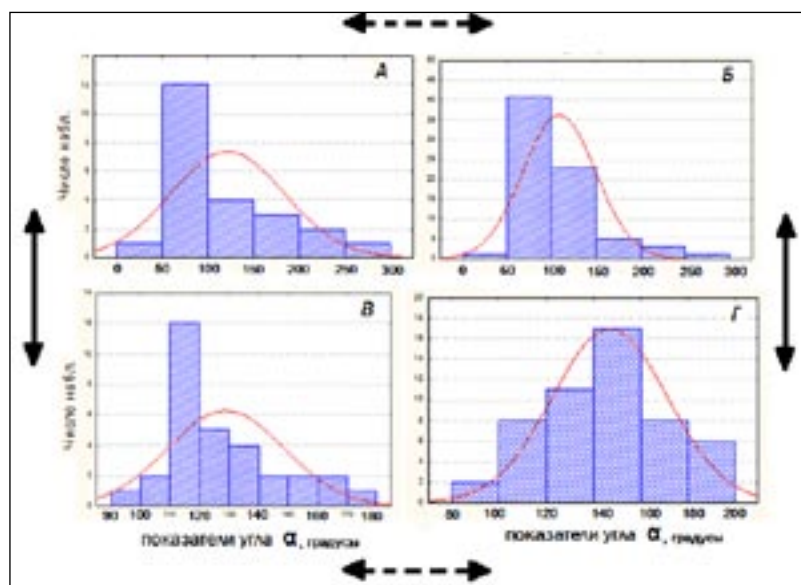


Рис. 7. Оценка распределения показателя α_1 в обследованных группах: (различия достоверны \longleftrightarrow ; различия не достоверны $\leftarrow - - \rightarrow$).

увеличение α_1 сопровождалось отклонением электрической оси сердца вправо. У 80,2% исследуемых спортсменов наблюдалась вертикальная миграция оси сердца, что, как известно, является следствием увеличения в первую очередь правых отделов сердца под влиянием спортивных тренировок [24, 25]. На ЭКГ спортсменов, как правило, выделяют не прямые признаки гипертрофии правого желудочка, характерные для так называемой систолической перегрузки при патологии, а косвенные, указывающие на увеличение объема правого желудочка, характерного для спортсменов, тренирующих выносливость. К ним относятся отклонение электрической оси вправо, появление признаков неполной блокады правой ножки пучка Гиса и выраженных зубцов S в правых прекардиальных отведениях.

Полученные нами данные подтверждают, что деформированные морфофункциональные особенности ремоделированного миокарда влияют на разворот фазового портрета по часовой стрелке (рис. 9), что напрямую согласуется с модельными экспериментами, представленными на рис. 6. Так, например, на рис. 9 а представлен фазовый портрет ЭКГ больного Ж., 86 лет с диагнозом ишемическая болезнь сердца (ИБС), постинфарктный кардиосклероз (ПИКС), а на рис. 9 б – фазовый портрет больного Х., 82 года с диагнозом диффузный кардиосклероз без инфаркта миокарда в анамнезе. Для сравнения на рис. 9 в, г представлены фазовые портреты спортсменов высокой квалификации, угол ориентации которых значительно превышает таковой у пациентов с кардиальной патологией.

Таким образом, результаты наших клинических исследований указывают на взаимосвязь угла ориентации α_1 с электрофизиологическим состоянием миокарда, а его значения несут информацию как об увеличении уровня тренированности, так и о нарастании патологического процесса.

Известно, что состояние пучка Гиса сердечной мышцы и, в определенной мере, анатомическая позиция сердца определяют электрическую ось сердца (ЭОС). Сопоставление данных α_1 с результатами обработки 12-канальной ЭКГ показали, что у 12,3% исследованных значительное изменение ЭОС сопровождалось смещением петель фазового портрета относительно нулевой горизонтальной оси вверх или вниз и соответственно уменьшением (рис. 10 а, б) или увеличением (рис. 10 в, г) угла α_1 .

Статистическая обработка зарегистрированных данных выявила достаточно высокую степень корреляции $r=0,659$ ($p < 0,001$) между направлени-

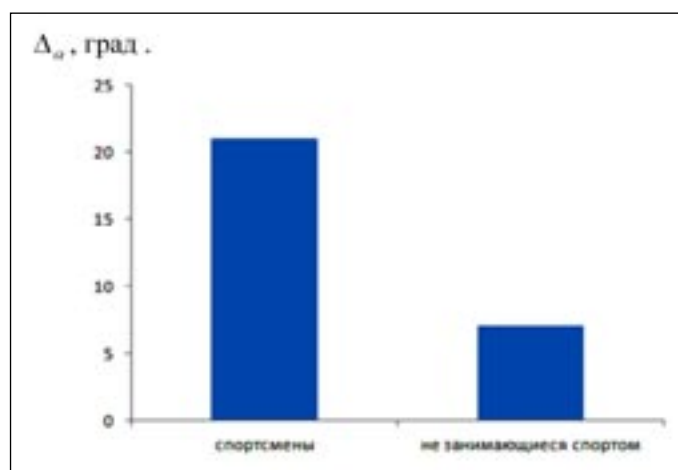


Рис. 8. Средние изменения показателя α_1 в группах после выполнения физической нагрузки мощностью 75 % МПК в течение 5 минут.

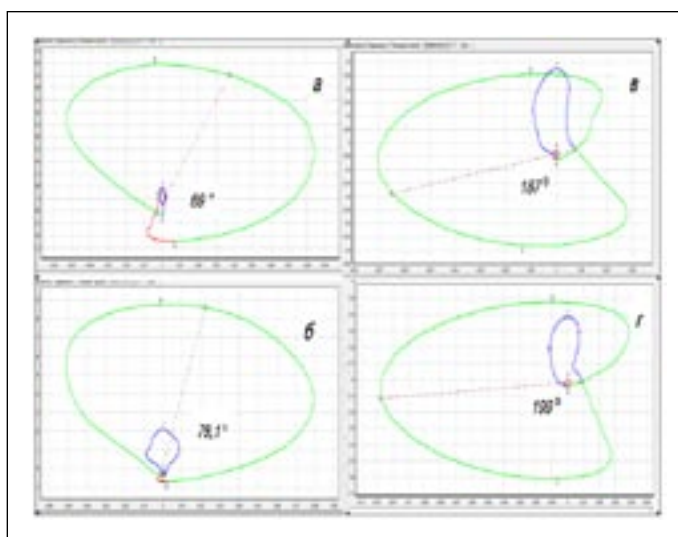


Рис. 9. Сравнение форм фазовых портретов ЭКГ первого стандартного отведения: пациенты с диагнозом ИБС и кардиосклероз с инфарктом миокарда в анамнезе (а); без инфаркта миокарда в анамнезе (б); спортсмены высокой квалификации (в, г).

ем $\alpha_{ЭОС}$ электрической оси сердца, которое определялось традиционным способом по 12-канальной ЭКГ, и углом ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения. Указанная зависимость (рис. 11) может быть описана линейным уравнением регрессии

$$\alpha_{ЭОС} = 0,49339 \alpha_1 - 11,95811. \quad (4)$$

Таким образом с помощью ИТ ФАЗА-ГРАФ® можно с относительно высокой точностью по *одноканальной* ЭКГ оценивать направление электрической оси сердца при скрининговых обследовани-

ях, используя выражение (4), что еще раз подтверждает диагностическую ценность анализа фазового портрета ЭКГ.

Оптимальность электрической активности миокарда в течение сердечного цикла так же можно количественно оценить показателем S_{TR} – отношением площади петли реполяризации (зубца T) к площади петли деполяризации (комплекса QRS). Однако хорошо известно, что при патологических проявлениях довольно часто в период реполяризации наблюдается плоский зубец T. Поэтому, несмотря на достоверные различия этого показателя у различных категорий

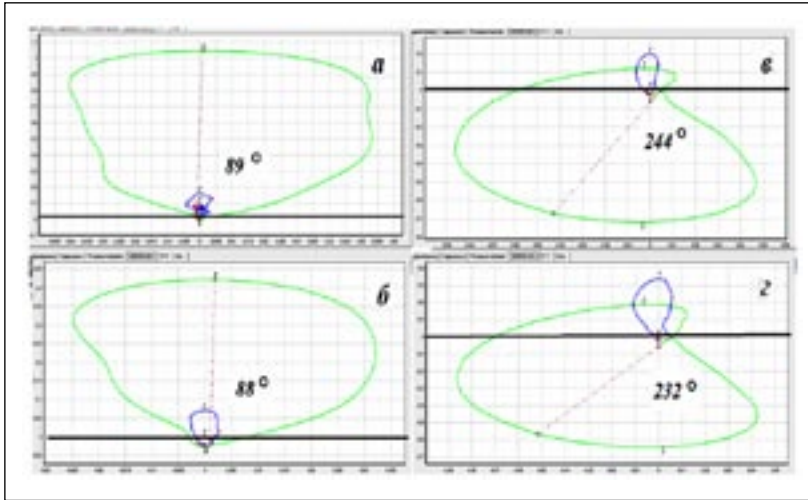


Рис. 10. Расположение петель фазового портрета ЭКГ относительно нулевой горизонтальной оси.

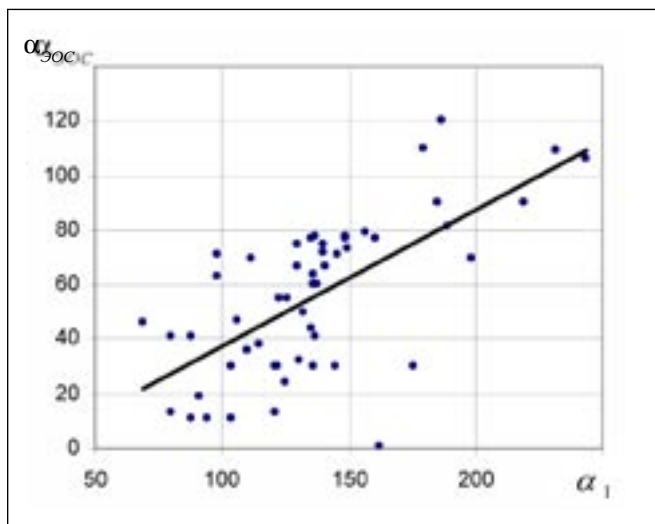


Рис. 11. Взаимосвязь направления электрической оси сердца $\alpha_{\text{ЭОС}}$ и угла α_1 .

Табл. 1. Показатель S_{TR} у различных категорий обследованных.

№ п/п	Категория обследованных	Группа	Число обследованных	Значения показателя S_{TR} ($\bar{X} \pm SX$)
1	Пациенты с острой кардиальной патологией	А	21	0,004 ± 0,001
2	Пациенты с хронической кардиальной патологией	Б	77	0,01 ± 0,004
3	Условно здоровые 20–22 лет	В	31	0,02 ± 0,006
4	Спортсмены высокой квалификации 20–27 лет	Г	52	0,04 ± 0,005

Примечание: достоверность различий в группах: А–В ($p < 0,05$); А–Г ($p < 0,01$); Б–В ($p < 0,05$); Б–Г ($p < 0,001$); В–Г ($p < 0,01$).

обследованных (табл.1), значимость показателя S_{TR} снижается при увеличении патологических проявлений по причине его малых значений, приближающихся к нулю.

Известно также [25], что интенсификация тренировочного процесса в спорте приводит к ряду функциональных изменений, в частности, к нарушению проводимости и гипертрофии сердечной мышцы, которые для спортсменов считаются вариантом нормы.

Разумеется, такие функциональные изменения также влияют на значения угла α_1 . Поэтому для повышения диагностической ценности показателя α_1 в дифференциальной диагностике функционального состояния миокарда целесообразно параллельно с анализом угла α_1 оценивать показатель S_{TR} .

Как уже отмечалось, площадь петель комплекса QRS и зубца T фазового портрета ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ связаны с электрофизиологическими процессами в соответствующих отделах миокарда, но, в отличие от скалярной ЭКГ $z(t)$ во временной области, практически не зависят от антропометрических особенностей. Полученные нами результаты исследований позволяют заключить, что, фазовый портрет ЭКГ, отражающий скоростные процессы, подобно векторкардиограмме, косвенно несет информацию об объёмном представлении процесса распространения волны возбуждения в отделах миокарда.

В этом плане анализ фазового портрета одноканальной ЭКГ, полученного с помощью ИТ ФАЗАГРАФ®, близок к методу традиционной векторкардиографии, согласно которому, уменьшение площади петли комплекса QRS связывают с патологическим процессом, а увеличение объясняют гипертрофией миокарда. Деполяризация миокарда на фазовом портрете так же связана с размером площади петли комплекса

QRS и может свидетельствовать о различных деформациях этого процесса. Аналогично, уменьшение площади петли зубца T, можно интерпретировать как нарушение процесса реполяризации.

Для сравнения на рис. 12 представлены фазовые портреты ЭКГ спортсмена высокой квалификации (рис. 12, а) и пациента с кардиологической патологией (рис. 12, б). У обоих диагностируется атриовентрикулярная блокада. Значения показателей S_{TR} фазовых портретов спортсмена и пациента с кардиологической патологией существенно отличаются и составляют $S_{TR} = 0,042 \pm 0,005$ и $S_{TR} = 0,004 \pm 0,001$ соответственно, несмотря на близкие значения углов ориентации α_1 .

На основании полученных данных можно предложить следующую схему принятия решений при скрининговых исследованиях по совокупности двух

диагностических признаков α_1 и S_{TR} (табл. 2). При такой схеме анализ показателя S_{TR} дополняет критерий α_1 в оценке функционального состояния миокарда и выделении групп риска для проведения дополнительных углубленных обследований.

Выводы

1. Выявлены различия в значениях показателя угла α_1 фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения в группах условно здоровых и пациентов с кардиологической патологией (рис. 7). Уменьшение показателя α_1 , характеризующего электрофизиологи-

ческие процессы миокарда, косвенно свидетельствует об уменьшении электропозитивных элементов миокарда, а увеличение — о расширении резервных возможностей.

2. Клинические исследования и модельные эксперименты указывает на взаимосвязь угла ориентации α_1 с электрофизиологическим состоянием миокарда, как при увеличении уровня тренированности, так и при нарастании патологического процесса, выраженное в его результирующем векторе — электрической оси сердца.

3. При увеличении физической нагрузки увеличение показателя угла α_1 фазового портрета значительно отличается у спортсменов по сравнению с лицами, не занимающихся спортом (рис. 8), что подтверждает гипотезу о том, что показатель α_1 в большей степени несет информацию о функциональном состо-

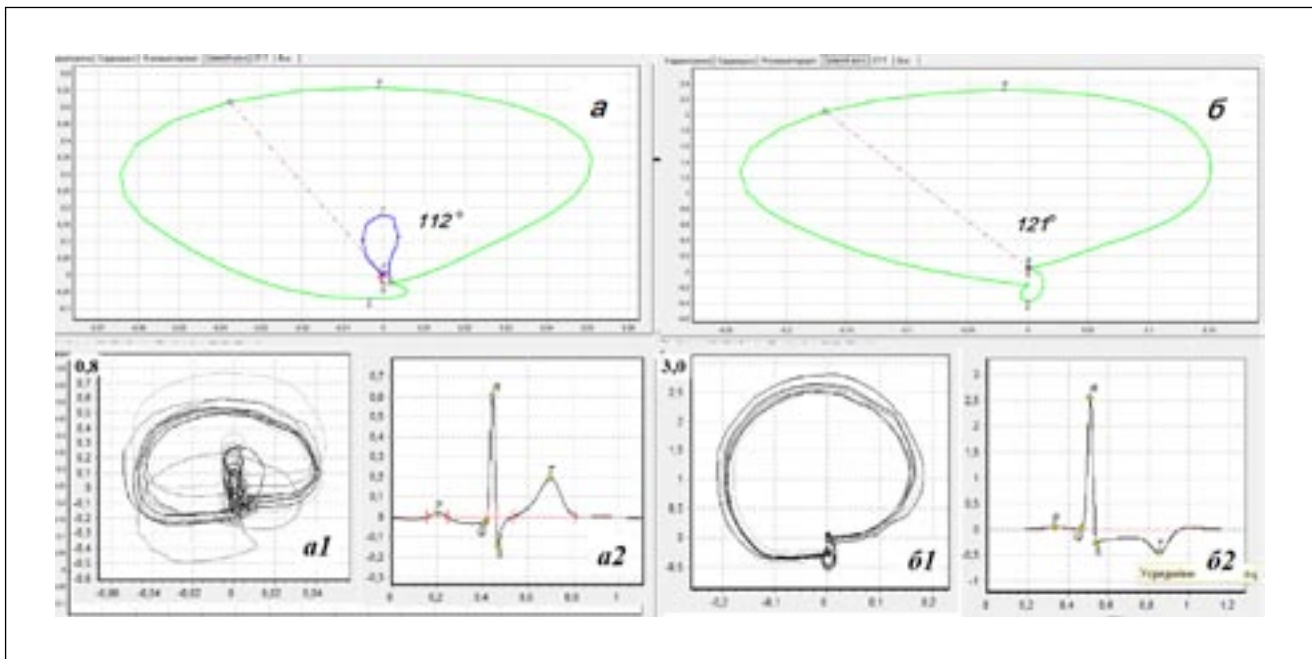


Рис. 12. Характеристики сердечного цикла спортсмена высокой квалификации (слева) и пациента с кардиологической патологией (справа): а, б — усредненная фазовая траектория; а1, б1 — фазовый портрет; а2, б2 — эталонный кардиоцикл во временной области.

Табл. 2. Схема принятия решений при скрининговых обследованиях по совокупности признаков α_1 и S_{TR} .

Значения признака α_1 , град.	Значения признака S_{TR}	Решение
110–180	$\geq 0,02$	Норма
80–110 или 180–200	$\geq 0,02$	Вероятно норма
< 80 или > 200	$\geq 0,02$	Низкий риск патологии
110–180	$< 0,02$	Средний риск патологии
< 110 или > 180	$< 0,02$	Высокий риск патологии

янии сердечно-сосудистой системы, чем об антропометрических особенностях испытуемого.

4. Физиологическая значимость показателя угла ориентации α_1 фазового портрета одноканальной ЭКГ обусловлена его корреляцией с направленностью электрической оси сердца и может быть использована как альтернативная характеристика при скрининговых обследованиях.

5. Показатель S_{TR} , полученный на основании обработки фазового портрета одноканальной ЭКГ, количественно отражает соотношение процессов деполаризации и реполяризации. Показатель S_{TR} может служить дополнительным диагностическим критерием в дифференциальной диагностике функционального состояния миокарда в спортивной медицине и кардиологии при анализе фазового портрета одноканальной ЭКГ (табл. 2).

6. ИТ ФАЗАГРАФ®, совмещая возможности векторного и скалярного анализа одноканальной ЭКГ, расширяет возможности ранней и дифференциальной диагностики функционального состояния миокарда при скрининговых обследованиях.

Литература

1. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – Киев: Освита Украины, 2013. – 191 с.
2. Zywiencz S. Methodology of ECG Interpretation in the Hanover Program / S. Zywiencz, D. Borovsky, G. Goettsch, G. Joseph // *Meth. Inf. Med.* – 1990. – No. 29. – P. 375.
3. Беркутов А. М. Повышение эффективности регистрации формы электрокардиосигнала корреляционной обработкой в цифровой осциллографии / А. М. Беркутов, С. Г. Гуржин, А. А., Дунаев, Е. М. Прошин // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2002. № 7. С. 4–13.
4. Карамов К. С. К диагностике свежих очаговых поражений миокарда / К. С. Карамов, Ж. А. Базиян, К. П. АLEXIN // *Кардиология*. – 1978. – № 10. – С. 109–112.
5. Файнзильберг Л. С. ФАЗАГРАФ® — эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца / Л. С. Файнзильберг // *Клиническая информатика и телемедицина*. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22–30.
6. Минина Е. Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е. Н. Минина // *Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского*. – 2013. – Том 26 (65), № 2. – С. 148–153.
7. Fainzilberg L. S. Heart Functional State Diagnostic Using Pattern Recognition of Phase Space ECG-Images / L. S. Fainzilberg // *Proceeding of the 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT '98)*. – Aachen(Germany), September 7-10, 1998. – Vol. 3. – № B-27. – P. 1878–1882.
8. Файнзильберг Л. С. Новый метод анализа ЭКГ больных ревматоидным артритом / Л. С. Файнзильберг, А. Ф. Клубова, Л. А. Стаднюк, И. А. Чайковский, Дитмар Лерхе // *Український ревматологічний журнал*. – 2001. – № 2. – С. 48–51.
9. Фруммин Л. Л. О фазовом портрете электрокардиограммы / Л. Л. Фруммин, М. Б. Штарк // *Автоматрия*. – 1993. – № 2. – С. 51–54.
10. Afify H. ECG classification using affine invariant characterization of phase space / H. Afify, M. A. Wahed, Y. M. Kadah // *Proceeding of the Cairo International Biomedical Engineering Conference*. – 2006. – P. 1–4.
11. Perc M. Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram / M. Perc // *European Journal of Physics*. – 2005. – № 26. – P. 757–768.
12. Salisbury J. I. Assessment of Chaotic Parameters in Nonstationary Electrocardiograms by Use of Empirical Mode Decomposition / J. I. Salisbury, Y. Sun // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2004. – Vol. 32. – No. 10. – P. 1348–1354.
13. Шилинскийте З. И. Дифференцирование электрической активности сердца / З. И. Шилинскийте // *Кардиология*. – 1965. – № 3. – С. 67–72.
14. Халфен Э. Ш. Клиническое значение исследования скоростных показателей зубца Т ЭКГ / Э. Ш. Халфен, Л. С. Сулковская // *Кардиология*. – 1986. – № 6. – С. 60–62.
15. Волкова Э. Г. Диагностические возможности первой производной ЭКГ в оценке состояния коронарной артерии у больных ишемической болезнью сердца / Э. Г. Волкова, О. Ф. Калаев, А. Р. Ковынев // *Терапевтический архив*. – 1990. – № 3. – С. 35–38.
16. Ахметшин А. М. Информационные возможности анализа и отображения электрокардиограммы в базах сингулярного разложения вложенных векторов / А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин // *Клиническая информатика и телемедицина*. – 2011. – Т. 7. – Вып. 8. – С. 58–64.
17. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
18. Файнзильберг Л. С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. / Л. С. Файнзильберг. – Киев: Наукова Думка, 2008. – 333 с.
19. Файнзильберг Л. С. Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве / Л. С. Файнзильберг // *Системні дослідження та інформаційні технології*. – 2004. – № 1. – С. 32–46.
20. Schijvenaars B. J. A. Intraindividual variability in electrocardiograms / B. J. A. Schijvenaars, G. Van Herpen, J. A. Kors // *Journal of Electrocardiology*. – 2008. – Vol. 41. – Issue 3. – P. 190–196.
21. Дорофеева З. З. Корреляционная связь пространственных векторкардиографических и рентгенологических показателей при гипертрофии правого желудочка / З. З. Дорофеева, Ф. У. Гаджаева, И. Ф. Игнатъева // *Тер. архив*. – 1986. – № 11. – С. 102–106.
22. Беленков Ю. Н. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов / Ю. Н. Беленков, С. К. Терновой, В. Е. Сеницин и др. М.: Видар. – 1997. – С. 58.
23. Мартынов А. И. Артериальная гипертензия и гипертрофия миокарда левого желудочка / А. И. Мартынов, О. Д. Остроумова // *Актуальные вопросы артериальной гипертензии*. – 2004. – № 6. – С. 2–6.
24. Дембо А. Г. Значение определения давления в малом круге кровообращения у спортсменов / А. Г. Дембо и др. // *Теория и практика физ. культуры*. – 1971. – № 9. – С. 26–29.
25. Бондарев С. А. Нарушение функции синусового узла у спортсменов / Э. В. Земцовский, С. А. Бондарев. Синдром слабости синусового узла: монография под ред. В. А. Шульмана, Д. Ф. Егорова. – СПб.: Алфавит. – 1995. – С. 167–187.
26. Карпман В. Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков. – М.: ФИС. – 1974. – 95 с.

Study of the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait of the one-lead ECG as an indicator of the functional state of the myocardium

L. S. Fainzilberg¹, E. N. Minina²

¹The International Research and Training Center of Information Technologies and Systems National Academy of Science and Ministry of Education and Science, Kiev Ukraine

²Tauride National University named after V. I. Vernadsky, department of physical rehabilitation and health, Simferopol Ukraine

Abstract

A new approach to the construction of a health information technology assessment of the functional state of the cardiovascular system during screening examinations, based on the analysis of the phase portrait features a single-channel ECG. We investigate the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait as an indicator of build-up of pathological processes in the myocardium and level of fitness athletes. The results of clinical trials in a variety of categories examined

at rest and with increasing external load. A scheme of decision making in screening studies to identify groups at risk of cardiac disease by a combination of two diagnostic features of the phase portrait of the first standard ECG leads are proposed.

Key words: information technology, the phase portrait of ECG, diagnostic features, electrical axis of the heart, depolarization, repolarization.

Дослідження діагностичної цінності кута орієнтації фазового портрету одноканальної ЕКГ як індикатора функціонального стану міокарда

Л. С. Файнзильберг¹, Е. Н. Мініна²

*¹Міжнародний науково-навчальний
центр інформаційних технологій
та систем НАН та МОН України, Київ*

*²Таврійський Національний університет
імені В. І. Вернадського, кафедра фізичної
реабілітації та здоров'я людини
Сімферополь, Україна*

Резюме

Розвивається новий підхід до побудови медичної інформаційної технології оцінки функціонального стану серцево-судинної системи при скринінгових

обстеженнях, заснований на аналізі ознак фазового портрету одноканальної ЕКГ. Досліджується діагностична цінність кута орієнтації фазового портрету як індикатора наростання патологічних процесів в міокарді і рівня тренуваності спортсменів. Наведено результати клінічних випробувань на різних категоріях обстежених у спокої і при збільшенні зовнішнього навантаження. Запропоновано схему прийняття рішень при скринінгових дослідженнях для виявлення груп ризику кардіологічної патології за сукупністю двох діагностичних ознак фазового портрету ЕКГ першого стандартного відведення.

Ключові слова: інформаційна технологія, фазовий портрет ЕКГ, діагностична ознака, електрична вісь серця, деполяризація, реполяризація.

Переписка

д.т.н. **Л. С. Файнзильберг**

Международный научно-учебный центр
информационных технологий и систем
НАН и МОН Украины

пр. Академика Глушкова, 42

Киев, 03680, Украина

тел.: +380 (44) 526 11 54

эл.почта: fainzilberg@voliacable.com