

УДК 616.12-07

В.И. Гриценко, Л.С. Файнзильберг, А.Н. Кравченко, З.А. Корчинская, К.Б. Ориховская, В.С. Пасько, С.С. Станиславская

Когнитивные графические образы в задаче оценки реакции организма на нагрузку методом фазографии

Предложен новый метод оценки адекватности реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку. Метод основан на построении когнитивного графического образа, интегрально отображающего значения показателей одноканальной электрокардиограммы в состоянии покоя, на высоте нагрузки и в период реституции. Метод реализован в виде программного модуля в составе интеллектуальной информационной технологии, обеспечивающей оперативность и удобство проведения скрининговых обследований в полевых условиях.

Ключевые слова: информационная технология, когнитивная графика, показатели ЭКГ, тест с физической нагрузкой

Запропоновано новий метод оцінки адекватності реакції серцево-судинної системи на фізичне навантаження. Метод заснований на побудові когнітивного графічного образу, який інтегрально відображає значення показників одноканальної електрокардіограми в стані спокою, на висоті навантаження і в період реституції. Метод реалізовано у вигляді програмного модуля в складі інтелектуальної інформаційної технології, що забезпечує оперативність і зручність проведення скринінгових обстежень в польових умовах.

Ключові слова: інформаційна технологія, когнітивна графіка, показники ЕКГ, тест з фізичним навантаженням

Введение. Интеллектуальные информационные технологии (ИТ) получают все большее распространение при решении прикладных задач. Общая концепция построения таких технологий разработана в Украине еще в девяностые годы прошлого века [1].

В отличие от традиционных ИТ, основанных на вычислительных процедурах обработки числовых данных, интеллектуальные ИТ оперируют обобщенными понятиями (образами), дающими более полную информацию о внешней среде, а анализ таких образов порождает целостную картину изучаемых явлений.

Действенный инструмент образного представления задачи – когнитивная компьютерная графика, позволяющая либо сразу увидеть решение задачи, либо получить подсказку для его нахождения [2, 3]. Такие возможности когнитивной графики прежде всего обусловлены тем, что человеческий мозг (в отличие от компьютера) гораздо легче воспринимает и интерпретирует графический образ, чем породившие его числовые данные.

Например, даже опытный врач-кардиолог вряд ли сможет поставить диагноз, анализируя

лишь последовательность чисел (дискретных отсчетов), отражающих процесс изменения во времени электрической активности сердца. Но если эти же отсчеты предоставить врачу в виде графика привычной электрокардиограммы (ЭКГ), то при интерпретации такого графика включается механизм образного восприятия информации, который в значительной мере опирается на аналогии, предшествующий опыт и интуицию специалиста.

Таким образом, если удачно представить данные какой-либо задачи в виде когнитивного графического образа, то при анализе такого образа решение может быть найдено без сложных вычислений.

Интеллектуальные ИТ, использующие когнитивную компьютерную графику, получили распространение в самых разных сферах применения, в том числе в кардиологии для компьютерной диагностики по фазовому портрету ЭКГ [4, 5]. Клинические исследования показали, что такой подход, получивший название *фазаграфия*, позволяет расширить функциональные возможности одноканальной ЭКГ [6].

Дальнейшее повышение эффективности метода фазаграфии возможно на основе анализа и интерпретации ЭКГ до и после выполнения заданной физической нагрузки.

Цель статьи – предложить новую информационную технологию оценки адекватности реакции сердечно-сосудистой системы человека на нагрузку по когнитивным графическим образам, порождаемым одноканальной ЭКГ в состоянии покоя, на высоте нагрузки и в период реституции.

Базовые предпосылки метода

Известно [7], что традиционная ЭКГ покоя, оцениваемая по общепринятым критериям, остается нормальной приблизительно у 50 процентов больных с хронической формой ишемической болезни сердца (ИБС), в том числе во время эпизодов дискомфорта в грудной клетке. Фазаграфия, основанная на анализе и интерпретации ЭКГ в фазовом пространстве, позволяет повысить достоверность скрининговых обследований ишемии миокарда путем использования дополнительных диагностических признаков, характеризующих *тонкие* изменения сигнала, которые недооцениваются при традиционной диагностике [5].

Один из таких дополнительных признаков, который впервые удалось автоматически определять по реальным ЭКГ методом фазаграфии, характеризует симметрию зубца T (показатель β_T). Согласно [8] этот показатель несет информацию об усилении электрической негомогенности реполяризации вследствие апоптоза кардиомиоцитов. Клинические испытания метода фазаграфии подтвердили, что на основе измерения показателя β_T по фрагменту реполяризации усредненного цикла ЭКГ на фазовой плоскости удается повысить достоверность выявления пациентов с начальными признаками ИБС даже в тех случаях, когда традиционный анализ ЭКГ оказывается неинформативным [6].

Дополнительную диагностическую информацию при оценке резервных возможностей сердечно-сосудистой системы может обеспечить анализ тонких изменений ЭКГ-сигнала,

регистрируемых методом фазаграфии при нагрузке. В медицинских условиях такие исследования могут проводиться на основе традиционных средств – велоэргометра и тредмила.

Однако такие средства мало пригодны для тестирования в полевых условиях, при занятиях спортом, на рабочем месте и пр. Для этого нужны не только портативные средства измерения ЭКГ, но и простые методы, позволяющие получать оперативные результаты тестирования в удобной и понятной форме.

Существует достаточно много упрощенных методов оценки адаптационных возможностей человека под нагрузкой: функциональные пробы Руфье, Гориневского, Летунова, Котова–Дениша, Мартине–Кушелевского и другие [9], в которых оценка восстановительных процессов сердечно-сосудистой системы при нагрузке основана на измерении частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД). Такие методы достаточно просты и удобны в полевых условиях.

В то же время, по оценке специалистов, принятие решений *только* по этим показателям не достаточно. Многочисленные наблюдения спортивных врачей свидетельствуют [10], что изменение ЧСС под нагрузкой не всегда дает адекватную информацию о функциональном состоянии организма. Недаром в современных рекомендациях по контролю тренировочного процесса появилась крылатая фраза: «Не будь в плену ЧСС!».

Известно также, что *количественная* интерпретация результатов тестирования с малой нагрузкой, например популярной пробы с 20 приседаниями за 30 с, не обеспечивает требуемую достоверность при распознавании функциональных изменений системы кровообращения. Даже при недостаточной тренированности общепринятые *количественные* показатели результатов такой пробы часто бывают вполне удовлетворительными [11, 12]. Кроме того, при оценке *только* пульсовой реакции на физическую нагрузку нельзя определенно знать, отражает ли она функциональное состояние самого исполнительного органа (сердца) или связана с особенностями вегетативной регуляции

сердечной деятельности и нейрогуморальными влияниями.

Поэтому оценку динамики ЧСС под нагрузкой полезно дополнить оценкой изменений других показателей ЭКГ [13], в частности индивидуальных особенностей динамики изменений показателей конечной части желудочкового комплекса в процессе выполнения функциональных проб – смещения δ_{ST} сегмента ST относительно изолинии, продолжительности Δ_T , амплитуды A_T и симметрии β_T зубца T в фазовом пространстве (рис. 1).

В табл. 1 представлены результаты сравнительной оценки диагностической эффективности названных показателей, которая проводилась по записям ЭКГ в покое в двух группах¹:

- ЭКГ 99 пациентов в возрасте 50–70 лет с диагнозом ИБС и постинфарктный кардиосклероз;
- ЭКГ 726 условно здоровых волонтеров в возрасте 30–35 лет, в том числе 35 спортсменов–футболистов (кандидаты в мастера спорта и мастера спорта) и 15 операторов электрополюсов.

Диагностическая эффективность показателей определялась площадью AUC под экспериментальной ROC -кривой, которая, как известно [14], определяет среднюю чувствительность диагностического теста \bar{S}_E при возможных значениях специфичности $0 \leq S_P \leq 1$.

¹ База записей ЭКГ предоставлена Е.Н. Мининой.

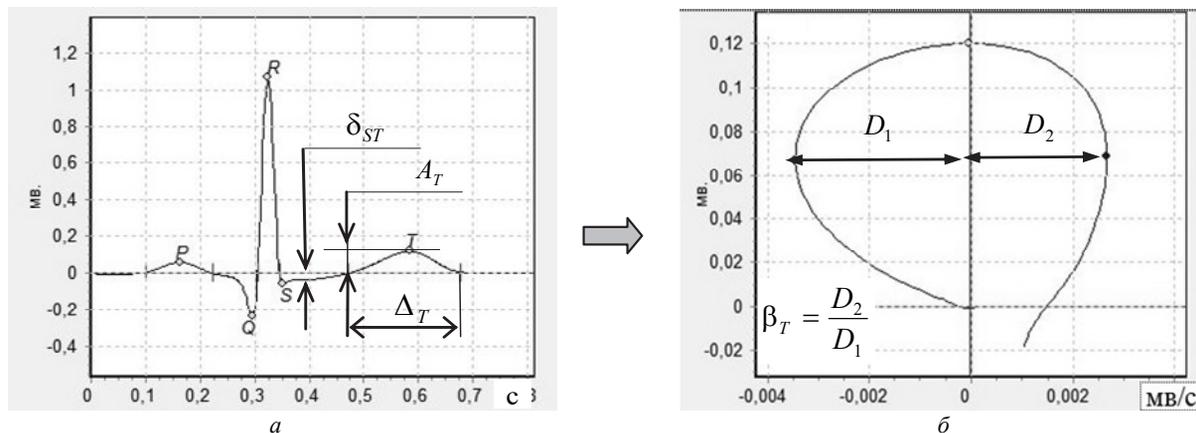


Рис. 1. Показатели конечной части желудочкового комплекса ЭКГ: a – усредненный кардиоцикл во временной области, b – фрагмент реполяризации на фазовой плоскости

Результаты подтверждают высокую диагностическую ценность оригинального показателя β_T , определяемого методом фазографии: $AUC = 0,886$ ед. для показателя β_T , что превышает значения площадей под экспериментальными ROC -кривыми, построенными по этим же клиническим данным для традиционных показателей δ_{ST} , A_T , Δ_T конечной части желудочкового комплекса (см. табл. 1).

Таблица 1. Площадь AUC под ROC -кривой для конечной части желудочкового комплекса ЭКГ

Показатель	AUC , ед.
β_T , ед.	0,886
δ_{ST} , мВ	0,855
A_T , мВ	0,751
Δ_T , с	0,737

При выполнении физической нагрузки обычно происходит увеличение ЧСС в результате смещения тонуса блуждающего нерва и увеличения симпатической стимуляции сердца [15], причем адаптация к нагрузке сердца тренированного лица в большей мере происходит вследствие увеличения ударного объема и в меньшей мере – в результате увеличения ЧСС, а у недостаточно тренированного – наоборот: преимущественно при увеличении ЧСС и в меньшей мере при увеличении ударного объема.

У некоторых людей в ответ на нагрузку ЧСС увеличивается лишь незначительно, что может указывать на нарушение функции синусового узла (синдром слабости синусового узла, гипотиреоз) или на влияние лекарственных

препаратов (β -адреноблокаторы, ивабрадин). Чрезмерное ускорение ЧСС бывает при детренированности, необычном волнении, дисфункции левого желудочка, гиперфункции щитовидной железы [16].

Нагрузочная проба приводит также к изменению указанных показателей конечной части желудочкового комплекса ЭКГ. В кардиологической практике *патологической* реакции организма на нагрузку традиционно считается смещение (депрессия) сегмента *ST* косонисходящего, косовосходящего или горизонтального типа (рис. 2), а выполнение условия $\delta_{ST} < -0,1$ мВ служит основанием для прекращения нагрузочного теста [16].

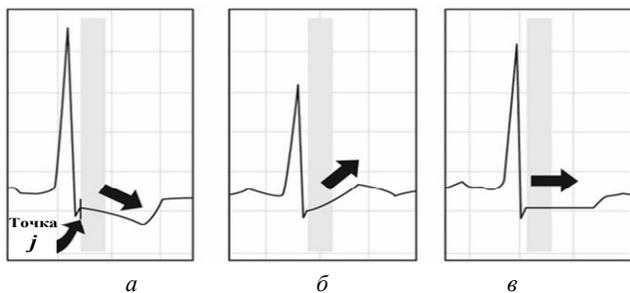


Рис. 2. Типы депрессии сегмента *ST*: *a* – косонисходящий, *б* – косовосходящий, *в* – горизонтальный

Однако следует учитывать тот факт, что помимо ишемии миокарда причинами смещения сегмента *ST* могут быть синдром преждевременного возбуждения желудочков, влияние симпатической нервной системы, гипертрофия и дисфункция левого желудочка, электролитные нарушения, недостаток гемоглобина (при анемиях) и прием некоторых лекарственных препаратов [6].

Как следует из табл. 1, важную диагностическую информацию несут показатели формы зубца *T* – его амплитуда A_T , продолжительность во времени Δ_T и особенно показатель симметрии β_T . На основании статистической обработки ЭКГ 450 лиц обоего пола в возрасте от 15 до 80 лет, зарегистрированных при проведении скрининговых обследований в Научно-практическом центре профилактической и клинической медицины Государственного управления делами, установлена тесная корреля-

ционная связь ($r \approx 0,8$, $p < 0,01$) показателей β_T и δ_{ST} , которая описывается линейным уравнением регрессии (рис. 3)

$$\beta_T = -4,454\delta_{ST} + 0,7724. \quad (1)$$

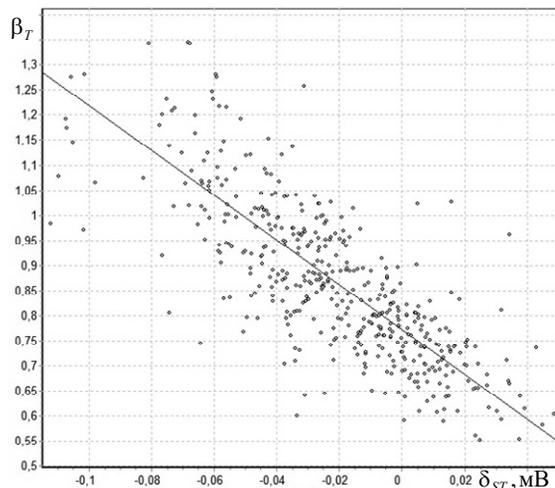


Рис. 3. Статистическая связь показателей β_T и δ_{ST}

Из выражения (1) следует, что значения показателя β_T симметрии зубца *T* увеличиваются по мере нарастания депрессии сегмента *ST* и приближения показателя δ_{ST} к пороговому значению $-0,1$ мВ.

В наших предыдущих исследованиях при выполнении активных экспериментов на животных в условиях искусственной ишемии [5] установлено, что показатель β_T почти в пять раз чувствительнее к нарастанию ишемии миокарда, чем показатель δ_{ST} : увеличение показателя β_T более чем на 25 процентов наблюдалось уже в первые 20 с после начала искусственной ишемии, тогда как изменения традиционного признака δ_{ST} не превышали четырех процентов. Поэтому можно предполагать, что и в процессе физической нагрузки диагностическая ценность показателя β_T окажется более высокой, чем показателя δ_{ST} .

В доступной литературе по кардиологии и спортивной медицине имеются скудные и противоречивые сведения о характере изменения показателей A_T и Δ_T под нагрузкой. Большинство авторов склоняются к тому, что с

увеличением нагрузки происходит сглаживание зубца T , а значит, уменьшение его амплитуды A_T и продолжительности, хотя в отдельных случаях может наблюдаться существенное увеличение A_T и даже появление остроконечного (коронарного) зубца T . Принимая во внимание эту неоднозначную информацию о реакции на нагрузку показателей A_T и Δ_T , будем при разработке ИТ опираться на наши собственные результаты экспериментальных исследований, представленные далее.

Общая идея и структура информационной технологии

Предлагаемая ИТ (рис. 4) содержит совокупность взаимодействующих модулей, в частности модуль ввода и обработки ЭКГ, реализованный на комплексе ФАЗАГРАФ® [5].

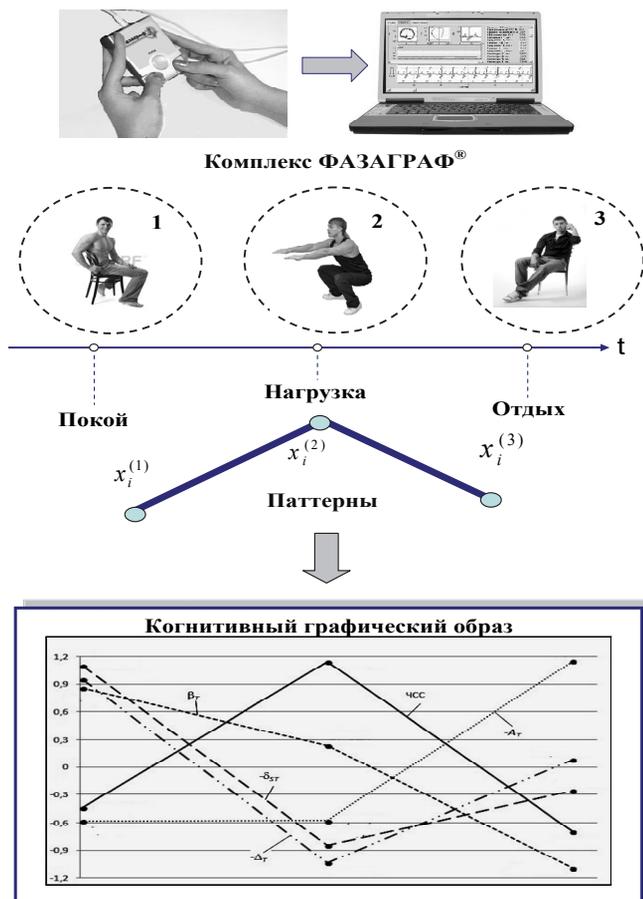


Рис. 4. Идея информационной технологии

Комплекс обеспечивает удобство регистрации ЭКГ-сигнала первого стандартного отведения (правая и левая рука) с помощью специального сенсора с пальцевыми электродами, а компьютерная программа позволяет автоматически определить пять показателей ЭКГ

$$x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, x_i^{(3)}, i=1, \dots, 5, \quad (2)$$

каждый из которых вычисляется в состоянии покоя $x_i^{(1)}$, сразу после дозированной нагрузки $x_i^{(2)}$ и после трехминутного отдыха после завершения нагрузки $x_i^{(3)}$, а именно среднюю ЧСС на 100 циклах и указанные ранее показатели δ_{ST} , Δ_T , A_T , β_T .

В ИТ реализован программный метроном, который наглядно задает необходимый темп выполнения физической нагрузки – 20 глубоких приседаний за 30 с. Тестируемому необходимо выполнить установленный темп приседаний синхронно с «виртуальным инструктором», появляющимся на экране монитора.

Каждая тройка значений (1) формирует один из пяти возможных графических паттернов (рис. 5), характеризующих динамику изменения i -го показателя в указанных трех состояниях.

Паттерны *Максимум* и *Минимум* характеризуют ситуацию, в которой значение i -го показателя сразу после физической нагрузки возросло (снизилось), а в период реституции более или менее возвратилось к значению в состоянии покоя. Данные паттерны – физиологичны для реакции здорового организма на нагрузку и отдых после нее, а значит, могут быть использованы как своеобразные физиологические «эталонные» динамики изменения i -го показателя в процессе тестирования.

Паттерны *Возрастание* и *Убывание* описывают показатели, значение которых после отдыха оказываются больше (меньше) его значения в состоянии покоя, т.е. характеризуют динамику изменения показателя на возрастание (уменьшение) значения в ходе исследования. И наконец, паттерн *Постоянная* описывает отсутствие видимой динамики изменения значений показателя.

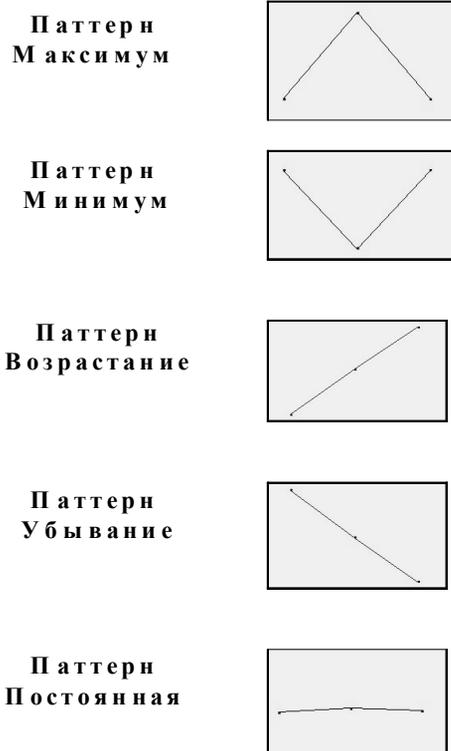


Рис. 5. Типы паттернов, характеризующие динамику показателей в процессе тестирования

Для экспериментального определения типичной реакции показателей ЭКГ здорового человека на нагрузку и оценку частоты появления физиологических паттернов авторами проведена статистическая обработка записей ЭКГ 112 практически здоровых юношей в возрасте 19–24 года, среди которых 35 лиц активно занимающихся спортом (футбол, бокс, борьба, биатлон, легкая атлетика и др.) со стажем занятий не менее четырех лет.

Исследования подтвердили (табл. 2), что типичная реакция на нагрузку ЧСС и показателя β_T у тренированных лиц – возрастание, а показателей δ_{ST} , Δ_T , A_T – убывание. Соответственно для частоты пульса и показателя симметрии зубца T физиологический паттерн – *Максимум*, а для депрессии сегмента ST , продолжительности и амплитуды зубца T – паттерн *Минимум*. При анализе учитывались лишь изменения параметров, превышающие пятипроцентный порог.

Для принятия решений о толерантности сердечно-сосудистой системы к нагрузке пред-

лагается сравнивать паттерны показателей, полученные по результатам тестирования, с физиологическими паттернами соответствующего показателя.

Таблица 2. Реакция на нагрузку и физиологические паттерны тестирования здоровых людей

Показатель	Реакция на нагрузку			Физиологический паттерн при тестировании	
	Возрастание, %	Убывание, %	Постоянная, %	График	Частота встречаемости, %
ЧСС, уд/мин	92,9	5,4	1,7	Максимум 	75,9
β_T , у.е.	91,1	5,4	3,5	Максимум 	67,0
A_T , мВ	14,2	82,1	3,6	Минимум 	50,0
Δ_T , с	19,6	71,4	8,9	Минимум 	50,0
δ_{ST} , мВ	21,4	78,6	0	Минимум 	43,8

Понятно, что такие решения можно принимать на основании непосредственного анализа значений показателей (2), вычисленных в процессе тестирования. Однако удобнее принимать заключения по когнитивному графическому образу, который наглядно отображает эти данные.

Для построения такого образа предлагается:

- инвертировать значения показателей δ_{ST} , Δ_T , A_T , полученные в процессе тестирования

для обеспечения одинаковой направленности физиологических паттернов показателей ЧСС, β_T и показателей δ_{ST} , Δ_T , A_T (паттерны выпуклые вверх);

• нормировать значения каждого i -го показателя ($i = 1, \dots, 5$) в j -м состоянии ($j = 1, 2, 3$) по формуле

$$\hat{x}_i^{(j)} = \frac{x_i^{(j)} - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 x_i^{(j)}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^3 \left(x_i^{(j)} - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 x_i^{(j)} \right)^2}{2}}}, \quad (3)$$

числитель которой определяет центрированные значения i -го показателя в покое, на высоте нагрузки и в период реституции, а знаменатель – стандартное отклонение i -го показателя в период тестирования.

В результате такой модификации совокупность паттернов всех показателей отображается в одном масштабе и порождает когнитивный графический образ, удобный для интерпретации результатов тестирования по правилу [17], представленному в табл. 3.

Таблица 3. Правило интерпретации результатов тестирования по когнитивному графическому образу

Типы паттернов	Описание когнитивного образа	Толерантность к физической нагрузке
Паттерны всех показателей соответствуют физиологическому типу	Все графики выпуклы вверх	Адекватная
Паттерны одного из показателей не соответствуют физиологическому типу	Один из графиков не имеет выпуклости вверх	Удовлетворительная
Паттерны двух и более показателей не соответствуют физиологическому типу	Два и более графиков не имеют выпуклости вверх	Сниженная

На рис. 6–8 представлены примеры когнитивных графических образов, построенные по реальным данным (табл. 4–6) и иллюстрирующие предложенное правило.

Можно также несколько расширить предложенное правило, различая умеренно сниженную, сниженную или существенно сниженную

толерантность к физической нагрузке, проводя дополнительный анализ числа графиков, не имеющих выпуклости вверх.

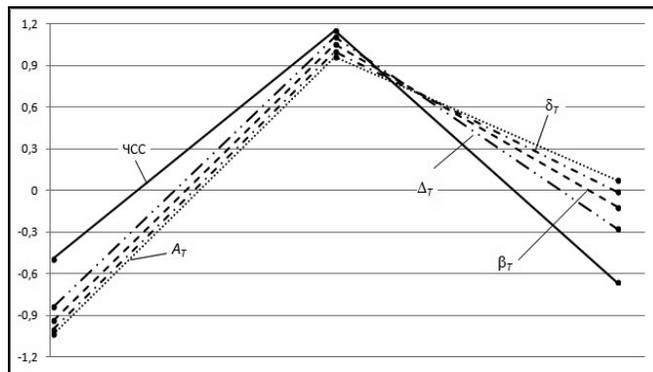


Рис. 6. Когнитивный образ тестируемой Ш. (36 лет): толерантность к нагрузке АДЕКВАТНАЯ

Таблица 4. Значения показателей тестируемой Ш. (рис. 6)

Показатели	ЧСС, уд/мин	β_T , у.е.	δ_{ST} , мВ	Δ_T , с	A_T , мВ
До нагрузки	68	0,71	-0,008	0,28	0,23
После нагрузки	83	0,9	-0,035	0,19	0,12
Через 3 мин отдыха	66	0,79	-0,021	0,25	0,17

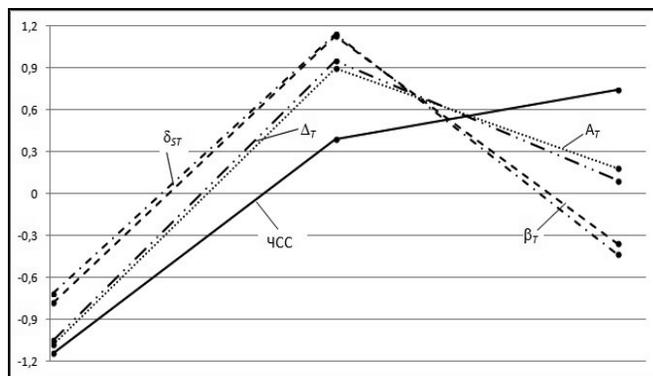


Рис. 7. Когнитивный образ тестируемого П. (21 г.): толерантность к нагрузке УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ

Таблица 5. Значения показателей тестируемого П. (рис. 7)

Показатели	ЧСС, уд/мин	β_T , у.е.	δ_{ST} , мВ	Δ_T , с	A_T , мВ
До нагрузки	60	0,6	0,021	0,27	0,28
После нагрузки	71	0,82	-0,007	0,24	0,21
Через 3 мин отдыха	73	0,65	0,017	0,25	0,23

Приведенные примеры иллюстрируют преимущества предлагаемого метода: очевидно, что человеку легче интерпретировать когнитивные графические образы, чем числовые данные, их породившие.

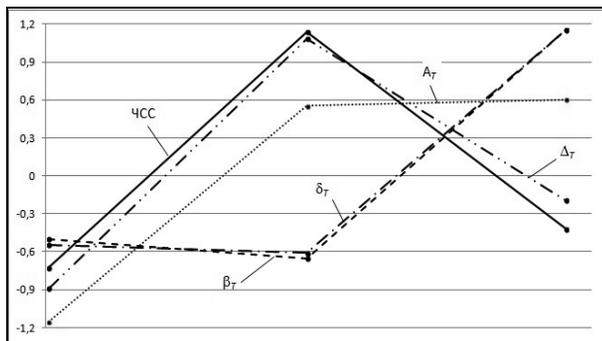


Рис. 8. Когнитивный образ тестируемого Д. (22 г.): толерантность к нагрузке СНИЖЕНА

Таблица 6. Значения показателей тестируемого Д. (рис. 8)

Показатели	ЧСС, уд/мин	β_T , у.е.	δ_{ST} , мВ	Δ_T , с	A_T , мВ
До нагрузки	111	0,99	-0,011	0,15	0,098
После нагрузки	130	0,96	-0,01	0,12	0,067
Через 3 мин отдыха	114	1,25	-0,029	0,14	0,066

Возникает естественный вопрос: насколько такие когнитивные образы воспроизводимы при повторных измерениях. Для ответа на этот вопрос авторами проведены дополнительные исследования, подтвердившие воспроизводимость когнитивных образов.

На рис. 9 представлены когнитивные образы адекватной реакции на нагрузку испытуемой С. (34 г.), построенные по данным измерений (табл. 7) с интервалом тестирования более 1 мес.

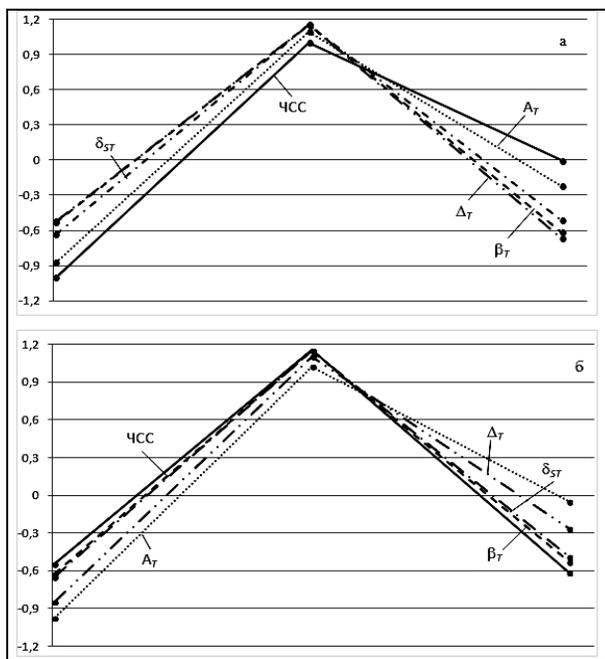


Рис. 9. Когнитивные образы с адекватной реакцией на нагрузку испытуемого С.: а – дата измерения 08.07.2016; б – дата измерения 19.08.2016

Таблица 7. Значения показателей тестируемого С. (рис. 9)

Дата	Показатели	ЧСС, уд/мин	β_T , у.е.	δ_{ST} , мВ	Δ_T , с	A_T , мВ
08.07.2016	До нагрузки	69	0,78	-0,004	0,25	0,18
	После нагрузки	79	1,23	-0,05	0,17	0,16
	Через 3 мин отдыха	74	0,75	-0,007	0,25	0,18
19.08.2016	До нагрузки	62	0,65	0,007	0,3	0,19
	После нагрузки	80	1,03	-0,03	0,2	0,14
	Через 3 мин отдыха	61	0,67	0,004	0,27	0,17

На рис. 10 представлены когнитивные образы неадекватной реакции на нагрузку испытуемой П. (36 лет), построенные по данным измерений (табл. 8) с интервалом тестирования около 1 мес.

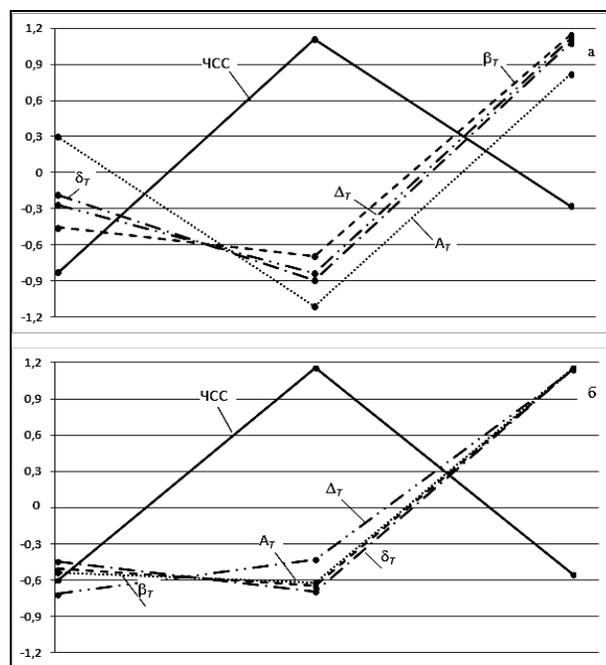


Рис. 10. Когнитивные образы с неадекватной реакцией на нагрузку испытуемого П.: а – дата измерения 29.07.2016; б – дата измерения 17.08.2016

Таблица 8. Значения показателей тестируемого П. (рис. 10)

Дата	Показатели	ЧСС, уд/мин	β_T , у.е.	δ_{ST} , мВ	Δ_T , с	A_T , мВ
29.07.2016	До нагрузки	72	0,85	-0,026	0,22	0,19
	После нагрузки	76	0,84	-0,011	0,24	0,23
	Через 3 мин отдыха	73	0,98	-0,05	0,18	0,18
17.08.2016	До нагрузки	75	0,98	-0,038	0,18	0,13
	После нагрузки	92	0,97	-0,033	0,17	0,128
	Через 3 мин отдыха	76	1,17	-0,063	0,16	0,096

Очевидно, что когнитивные графические образы, построенные для обоих тестируемых в разные моменты времени, достаточно схожи и позволяют принимать одинаковое заключение согласно предложенному решающему правилу (табл. 3).

Для выполнения скрининговых обследований по предлагаемой методике в состав ИТ включен программный модуль, который интегрируется с базой данных комплекса ФАЗАГРАФ® и позволяет представить информацию о результатах тестирования конкретного испытуемого в графическом и текстовом виде (рис. 11).

Пользователем ИТ может быть не только медицинский работник, но и сам тестируемый, поскольку визуальный анализ когнитивного графического образа дает возможность практически мгновенно выявить те показатели, которые демонстрируют неадекватную реакцию на нагрузку и отдых после нее. Если такие показатели выявлены, то дальнейший анализ может быть выполнен уже медицинским работником по значениям, полученным в состоянии покоя, на высоте нагрузки и в период реституции, которые по желанию пользователя также отображаются на экране монитора.

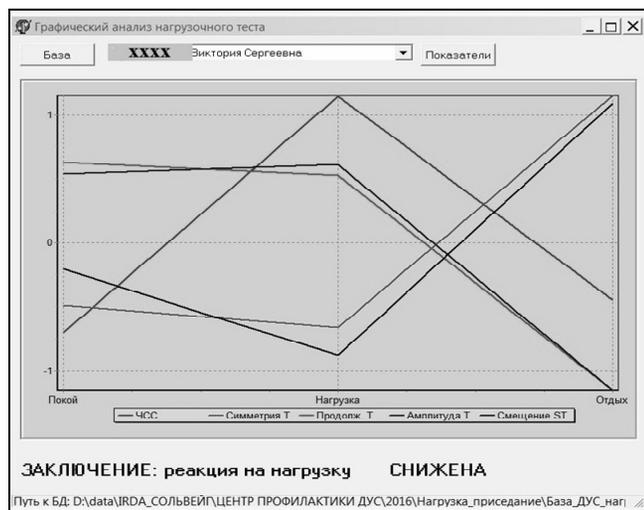


Рис. 11. Рабочее окно модуля оценки результатов тестирования

Разумеется, для более полной оценки реакции организма на нагрузку предложенный метод естественным образом может быть обобщен на случай, когда при тестировании ис-

пользуются и другие показатели ЭКГ, в частности, показатели формы зубца P , интервалы PQ и QT , а также статистические и спектральные показатели variability сердечного ритма, оцененные по ЭКГ в состоянии покоя, на высоте нагрузки и в период реституции [13].

Заключение. Для принятия решений о толерантности сердечно-сосудистой системы к нагрузке предложен анализ графических паттернов, которые отображают динамику изменения показателей ЭКГ под нагрузкой и в период реституции.

Такой анализ удобно проводить по когнитивному графическому образу, позволяющему интегрально оценить соответствие паттернов каждого из контролируемых показателей своему физиологическому «эталону».

Примеры когнитивных образов, отображающие адекватную, удовлетворительную и сниженную толерантность организма испытуемого на кратковременную физическую нагрузку – 20 приседаний за 30 с, демонстрируют воспроизводимость во времени этих образов.

1. Гриценко В.І. Інтелектуалізація інформаційних технологій // Наука і технології. – К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 1992. – С. 4–9.
2. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1991. – 192 с.
3. Поспелов Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир // Программные продукты и системы. – 1992. – № 2. – С. 4–6.
4. Fainzilberg L., Potapova T. Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Space Electro-Cardio Graphic Image // Proc. of the 6th Int. Conf. on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIPS'95). – Prague (Czech Republic). – 1995. – P. 668–673.
5. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. – К.: Освіта України, 2013. – 191 с.
6. Гриценко В.І., Файнзильберг Л.С. Информационная технология ФАЗАГРАФ® для интегральной оценки состояния сердечно-сосудистой системы по фазовому портрету электрокардиограммы // Врач и информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 52–63.
7. Connolly D.C., Elveback L.R., Oxman H.A. Coronary heart disease in residents of Rochester, Minnesota: Prognostic value of the resting electrocardiogram that

- the time of initial diagnosis of angina pectoris // Mayo. Clin. Proc. – 1984. – № 59. – P. 247–250.
8. *Di Bernardo D., Murray A.* Computer model for study of cardiac repolarization // J. Cardiovasc. Electro-physiol. – 2000. – 11. – P. 895–899.
 9. *Аронов Д.М., Луанов В.П.* Функциональные пробы в кардиологии. – М.: Медпресс-информ, 2002. – 296 с.
 10. *Hanson S.L., Jeukendrup A.E.* Does Overtraining Exist? An Analysis of Overreaching and Overtraining Research // Sports Med. – 2004. – 34, N 14. – P. 967–981.
 11. *Физиологические подходы к оценке функциональных нагрузочных проб / Н.Я. Прокопьев, Е.Т. Колунин, М.Н. Гуртовая и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 2. – С. 146–150.*
 12. *Сидоров С.П., Перхуров А.М., Штефан О.С.* Значение корректного выполнения методики функциональной пробы с 20 приседаниями при оценке состояния сердечно-сосудистой системы юных спортсменов // Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2009. – № 2 (29). – С. 39–44.
 13. *Файнзильберг Л.С., Ориховская К.Б.* Информационная технология оценки адаптационных резервов организма в полевых условиях // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – 181. – С. 4–22.
 14. *Файнзильберг Л.С.* Математические методы оценки полезности диагностических признаков. – К.: Освіта України, 2010. – 152 с.
 15. *Наука о спорте: Спортивная энциклопедия систем жизнеобеспечения / Под ред. А.Д. Жукова. – М.: Магистр-пресс, 2011. – 1000 с.*
 16. *Руководство по кардиологии: Учебное пособие в 3 т. / Под ред. Г.И. Сторожакова, А.А. Горбаченкова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – Т. 1. – 672 с.*
 17. **Пат № 103229**, Украина: МПК А61В5/02. Спосіб оцінювання адекватності реакції організму на навантаження // Л.С. Файнзильберг. – Оpubл. 10.12.2015, Бюл. № 23.

Поступила 01.09.2016

Тел. для справок: +38 044 411-6904, 254-6810 (Киев)

E-mail: fainzilberg@voliacable.com, kseniaor@gmail.com

© В.И. Гриценко, Л.С. Файнзильберг, А.Н. Кравченко,

З.А. Корчинская, К.Б. Ориховская, В.С. Пасько,

С.С. Станиславская, 2016

UDC 616.12-07

V.I. Gritsenko, L.S. Fainzilberg, A.N. Kravchenko, Z.A. Korchynskaya, K.B. Orikhovskaya, V.S. Pasko, S.S. Stanislavskaya

Cognitive Graphic Images in the Problem of Estimating the Body's Reaction to the Load by Phasegraphy Method

Keywords: information technology, cognitive graphics, ECG parameters, exercise stress test

Introduction. An important tool in the problem figurative representation of intellectual information technologies (IT) is cognitive computer graphics, which allows you to instantly see any solution to the problem or get help for its finding. In case of successfully submitting data in a cognitive graphic image, the analysis of this way of the solution can be found without complex calculations.

The purpose of the article – to offer new IT assessment of the cardiovascular system reaction adequacy to the load on the cognitive graphic images engendered by phasegraphy method for single-channel ECG.

Methods: The proposed IT is based on FAZEGRAF[®] complex which is using a special sensor with a finger electrodes provides the convenience of a first ECG standard lead registration, and a computer program to automatically determine the heart rate and parameter of the final part of the ventricular ECG complex in three states: rest, load and restitution.

Additional program module for specified parameters allows building graphic patterns that characterize the dynamics of change parameters in the testing process. On the basis of these patterns is based cognitive graphic image, which gives the integral representation of the adequacy of the body's reaction to the load.

Results: Proposed rule of test results interpretation, which is based on a visual assessment of the convexity up patterns of parameters observed in the testing process. The given examples of cognitive images that represent an adequate, satisfactory, and reduced tolerance the tested people organism on a short-term load demonstrate their convenience for the rapid assessment of the test results. Additional studies have confirmed the reproducibility of the cognitive images.

Conclusions: The proposed approach extends the functionality of the phasegraphy method and it can be used not only medical professionals but also by the tested people, because the visual analysis of cognitive graphic image makes it possible to instantly identify the parameters that demonstrate inadequate response to the load and the rest afterwards.

