

МЕТОД КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА НА НАГРУЗКУ

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

Введение. В наше время создание информационной технологии (ИТ), которая бы позволяла оценивать адекватность реакции организма на нагрузку в полевых условиях – актуальная задача. Характер реакции на физическую нагрузку нередко служит единственным и наиболее ранним проявлением нарушений функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Оценка адаптационных возможностей организма при физических и эмоциональных нагрузках может служить основным критерием дозирования физических нагрузок в системе подготовки спортсменов и реабилитации.

Цель исследований – разработка нового метода качественной оценки в полевых условиях адекватности реакции и восстановительных процессов сердечно-сосудистой системы человека при нагрузке по комплексу показателей одноканальной ЭКГ.

Метод исследования. Исследования проводились с помощью отечественного диагностического комплекса ФАЗАГРАФ® [1] по схеме, показанной на рис. 1.

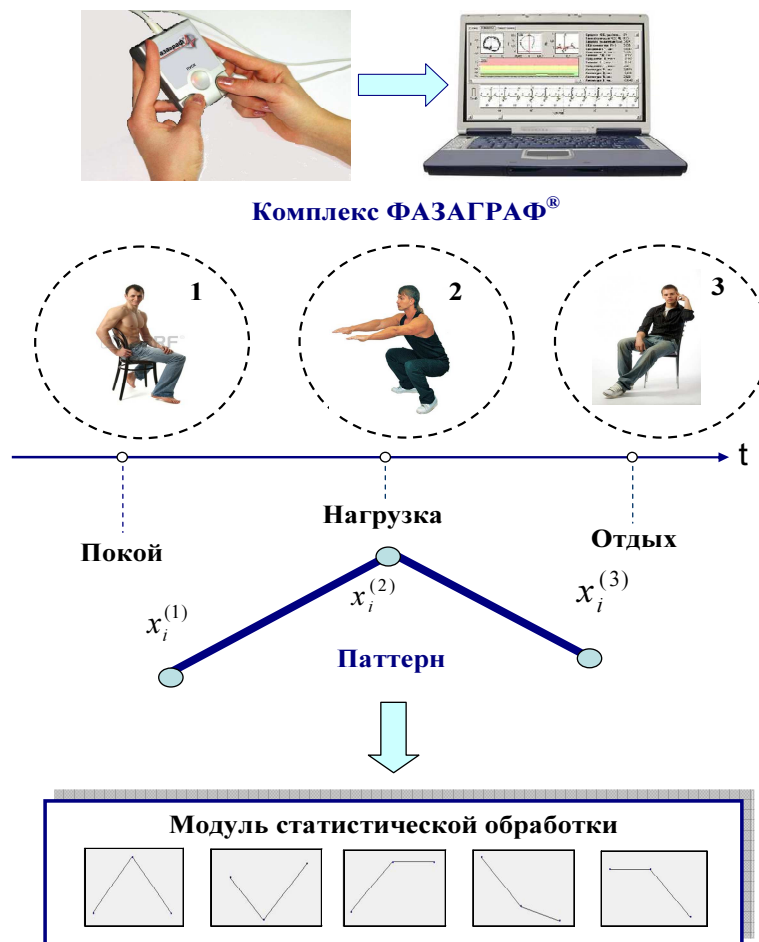


Рис. 1. Структура информационной технологии для выполнения исследований

Регистрировалась электрокардиограмма (ЭКГ) в первом стандартном отведении и автоматически определялись $N = 32$ показателей ЭКГ и вариабельности сердечного ритма. Показатели определялись в состоянии покоя $x_i^{(1)}$, сразу после физической нагрузки (20 глубоких приседаний за 30 с) $x_i^{(2)}$ и после 3-х минутного отдыха $x_i^{(3)}$, $i = 1, \dots, N$.

В качестве таких показателей, в частности, анализировались

- ЧСС (уд./мин.) — средняя частота сердечных сокращений;
- Δ_{QT} (мс) — продолжительность интервала QT ;
- δ_{ST} (мВ) — смещение вниз (депрессия) или вверх (элевация) сегмента ST

относительно изоэлектрической линии;

- β_T (ед.) — показатель симметрии зубца T на фазовой плоскости;
- CKO_{β_T} (ед.) — среднеквадратическое отклонение симметрий зубцов T на последовательности зарегистрированных циклов ЭКГ;

• $SDNN$ (мс) — среднеквадратическое отклонение продолжительностей нормальных RR -интервалов;

• $RMSSD$ (мс) — квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов;

- AMo (%) — амплитуда моды ритмограммы;

• $MxDm$ (мс) — разность между максимальным и минимальным значениями нормальных RR -интервалов;

- ИИ (ед.) — индекс Баевского (индекс напряжения регуляторных систем);

- LF/HF (ед.) — показатель симпато-вагусного баланса.

Для каждого тестируемого на основании измеренных значений $x_i^{(1)}$, $x_i^{(2)}$ и $x_i^{(3)}$ в указанных трех состояниях определялся класс паттернов, характеризующих динамику i -го показателя под нагрузкой и в период реституции. Классы паттернов определяются *последовательной* проверкой следующих условий

класс 1 «Максимум», если

$$(x_i^{(2)} - x_i^{(1)}) > h_i \wedge (x_i^{(2)} - x_i^{(3)}) > h_i, \quad (2)$$

класс 2 «Минимум», если

$$(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) > h_i \wedge (x_i^{(3)} - x_i^{(2)}) > h_i, \quad (3)$$

класс 3 «Возрастание», если

$$(x_i^{(2)} - x_i^{(1)}) > h_i \vee (x_i^{(3)} - x_i^{(2)}) > h_i \vee (x_i^{(3)} - x_i^{(1)}) > h_i, \quad (4)$$

класс 4 «Убывание», если

$$(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) > h_i \vee (x_i^{(2)} - x_i^{(3)}) > h_i \vee (x_i^{(1)} - x_i^{(3)}) > h_i, \quad (5)$$

класс 5 «Постоянная», если соотношения (2)-(5) не выполняются, (6)

где h_i — пороговая величина.

Условия (2)-(6) позволяют однозначно определить принадлежность паттерна определенному классу (рис. 2).

Паттерны «Максимум» и «Минимум» характеризуют ситуацию, в которой значение показателя сразу после физической нагрузки возросло (снизилось), а в период реституции более или менее вернулось к значению в состоянии покоя. Такие паттерны физиологичны для адекватной реакции организма на нагрузку и отдых после неё.

Паттерны «Возрастание» и «Убывание» описывают показатели, значение которых после отдыха является большим (меньшим) его значения в состоянии покоя, т.е. характеризуют динамику на возрастание (уменьшение) значения в ходе исследования.

И, наконец, паттерн «Постоянная» описывает отсутствие видимой динамики в значениях показателей независимо от нагрузки. Три последних класса паттернов являются атипичными для реакции организма на любой вид нагрузки и отдых после неё.

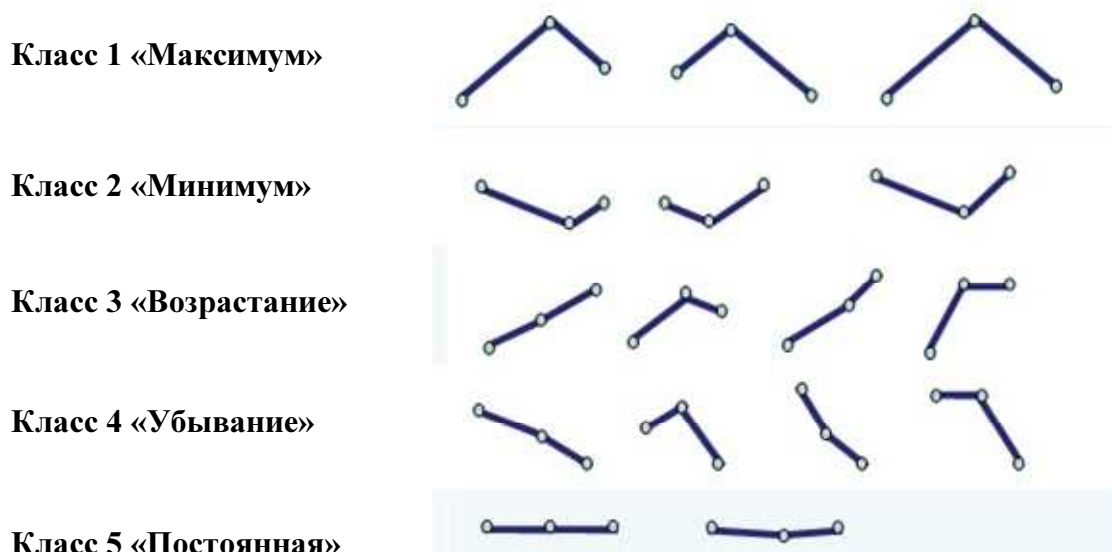


Рис 2. Варианты формы классов паттернов

Результаты исследований. Обследовано две группы добровольцев обоего пола в возрасте 18-24 года:

- группа 1 – 28 спортсменов высшей квалификации, которые занимаются боксом, разными видами борьбы и триатлоном;
- группа 2 – 40 человек, не занимающихся спортом.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты оценки распределений классов паттернов, формируемых показателями, которые наблюдались в указанных группах. Классификация паттернов проводилась в соответствии с условиями (2)–(6) при пороге $h_0 = 4\%$.

Таблица 1.

Оценка распределений классов паттернов в группе 1

Показатель	Классы паттернов, %				
	1	2	3	4	5
ЧСС, уд/мин	60,71	0,00	21,43	10,72	7,14
Δ_{QT} , мс	0,00	60,71	17,86	3,57	17,86
δ_{ST} , мВ	21,43	46,43	3,57	28,57	0,00
β_T , ед	67,86	3,57	17,86	7,14	3,57
СКО $_{\beta_T}$, ед	39,29	0,00	39,29	21,42	0,00
$SDNN$, мс	71,43	10,71	7,14	10,72	0,00
$RMSSD$, мс	67,86	10,71	7,14	14,29	0,00
AMo , %	7,14	64,29	17,86	10,71	0,00
$MxDMn$, мс	75,00	10,72	7,14	7,14	0,00
ИИ, ед	14,29	60,71	17,86	7,14	0,00
LF / HF , ед	14,29	53,57	7,14	25,00	0,00

Таблица 2.

Оценка распределений классов паттернов в группе 2

Показатель	Классы паттернов, %				
	1	2	3	4	5
ЧСС, уд/мин	85,71	0,00	14,29	0,00	0,00
Δ_{QT} , мс	4,76	78,57	2,38	7,15	7,14
δ_{ST} , мВ	2,38	59,52	7,14	30,96	0,00
β_T , ед	78,57	0,00	16,67	4,76	0,00
СКО_ β_T , ед	54,76	9,52	11,90	21,43	2,39
$SDNN$, мс	54,76	19,05	7,14	19,05	0,00
$RMSSD$, мс	38,10	30,95	7,14	23,81	0,00
AMo , %	23,81	40,48	30,95	4,76	0,00
$MxDMn$, мс	45,24	19,05	7,14	28,57	0,00
ИН, ед	38,10	30,95	26,19	4,76	0,00
LF / HF , ед	19,05	50,00	11,90	19,05	0,00

Из таблиц видно, что в процессе исследований наблюдались разные частоты появления паттернов для одного и того же показателя в группах. Для подтверждения достоверности таких различий была проведена дополнительная обработка данных на основе вычисления доверительных интервалов [2, с. 332], которая с надежностью вывода $p > 0,9$ подтвердила достоверность таких различий: соответствующие доверительные интервалы для ряда показателей не пересекались в группах (табл. 3).

Таблица 3.

Достоверные различия вероятностей наблюдения паттернов в группах

Показатель	Паттерн	Вероятность в группе 1	Вероятность в группе 2
ЧСС, уд/мин	«Максимум»	< 0,743	> 0,747
δ_{ST} , мВ	«Максимум»	> 0,115	< 0,09
СКО_ β_T , ед	«Возрастание»	> 0,257	< 0,225
$RMSSD$, мс	«Максимум»	> 0,526	< 0,508
$MxDMn$, мс	«Максимум»	> 0,598	< 0,578
ИН, ед	«Минимум»	> 0,457	< 0,435

Выводы. Качественную оценку реакции организма на нагрузку в полевых условиях можно проводить с помощью диагностического комплекса ФАЗАГРАФ® на основе анализа паттернов, формируемых тройкой показателей одноканальной ЭКГ и ВСР в состоянии покоя, на высоте нагрузки и в период реституции и сопоставления обнаруженных паттернов с физиологичными классами («Максимумом» или «Минимумом»). Подтверждены достоверные различия распределений классов паттернов в группах тренированных и нетренированных лиц.

Литература

1. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. – Киев: Освита Украины, 2013. – 191 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятности, М. Наука, 1969. – 575 с.