

Medical Science. Posted 4/17/2002.

2. Fukuyama F. Nashe postchelovecheskoe budushchee: po-sledstviya biotekhnologicheskoy revolyutsii. Moscow: «AST»; 2004. Russian.

3. Podchernyaeva RYa, Lopatina OA, Mikhaylova GR, Baklanova OV, Danlybaeva GA, Gushchina EA. Vliyanie ekzogenogo chastotnogo vozdeystviya na kletochnye linii cheloveka. Kletochnye tekhnologii v biologii i meditsine. 2008;3:161-5. Russian.

4. Simakov YuG, Bunin KG. Izmenenie deleniya i adgezii u rakovykh kletok HeLa pri vozdeystvii nizkochastotnym EMI. Innovatsii i investitsii. 2014;5:209-12. Russian.

5. Spodobaev YuM, Kubanov VP. Osnovy elektromagnitnoy ekologiyu. Moscow: Radio i svyaz'; 2000. Russian.

6. Petrov YuP, Bozhokina ES, Tsupkina IV. Prizhiznennoe izmenenie opticheskoy plotnosti kletok linii HeLa. Tsi-

tologiya. 2013;55(9):601-8. Russian.

7. Kidalov VN, Khadartsev AA. Teziografiya krovi i biologicheskikh zhidkostey / Pod red. A.A. Khadartseva. Tula: Tul'skiy poligrafist; 2009. Russian.

8. Khadartsev AA, Es'kov VM, Khadartsev VA, Ivanov DV. Kletochnye tekhnologii s pozitsiy sinergetiki [Cell' technologies from synergy point of view]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;4:7-9. Russian.

9. Kidalov VN, Khadartsev AA, Bagautdinov ShM, Chetkin AV. Postoyanstvo nepostoyannogo v teziogrammakh preparatov krovi (k standartizatsii issledovaniy kristallizatsii biologicheskikh zhidkostey) [Constancy changeable in teziograms preparations of blood (to standardization of researches of crystallization of blood)]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;4:7-13. Russian.

УДК: 612.1+612.17]:613.71-073.96

DOI: 10.12737/5891

ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Е.Н. МИНИНА*, Л.С. ФАЙНЗИЛЬБЕРГ**

* Таврический Национальный Университет имени В.И. Вернадского, пр. В.И.Вернадского, д.4, г.Симферополь, Республика Крым, 295000

** Международный научно-учебный центр информационных технологий систем НАН и МОН Украины, пр. академика Глушкова, д.42, г. Киев, Украина, 04214

Аннотация. Для изучения и моделирования динамики поведения сложных медико-биологических систем все большее внимание привлекают методы теории хаоса и синергетики. Эти методы дают возможность адекватно раскрыть и проанализировать механизмы функционирования живой сложноорганизованной системы, рассматривая фазовые траектории в пространстве состояний. При этом различные подходы к изучению поведения биологической системы в фазовом пространстве, могут «порождать» отдельные диагностические признаки, которые не дублируются другими способами анализа, а дополняют друг друга.

Установлено, что оригинальные признаки фазового портрета одноканальной ЭКГ, которые автоматически вычисляются аппаратно-программным комплексом ФАЗАГРАФ® с пальцевыми электродами, несут дополнительную диагностическую ценность при количественной оценке уровня функциональных резервов сердечно-сосудистой системы, а так же имеют практическую значимость в дифференциальной диагностике функционального состояния и резервов сердечно-сосудистой системы у различных контингентов населения при скрининг-исследованиях, в клинической практике и спортивной медицине. Было выявлено, что оригинальные признаки фазового портрета одноканальной ЭКГ β_T , среднеквадратического отклонения β_T , S_{TR} , α_{QRS} и σ_{QRS} достоверно различаются в группах с разным уровнем функциональных резервов сердечно-сосудистой системы и несут дополнительную диагностическую ценность. Динамика изменения признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ при ступенчато возрастающей нагрузке количественно отражает различия уровня функциональных резервов и направленность компенсаторных и адаптационных процессов.

Ключевые слова: фазовый портрет, одноканальная ЭКГ, аппаратно-программный комплекс ФАЗАГРАФ.

PHASE PORTRAIT OF SINGLE-CHANNEL ECG IN ASSESSMENT OF FUNCTIONAL RESERVES OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

E.N. MININA*, L.S. FAINZILBERG**

*Tauride National V.I. Vernadsky University, Vernadsky av. 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295000

** International Research and Training Center for Information Technology and Systems, NAS and MES of Ukraine, Academician Glushkov av., 42, Kiev, Ukraine, 04214

Abstract. To study and simulate of dynamic behavior of complex biomedical systems the methods of chaos theory and synergetics are used. These methods provide an opportunity to adequately disclose and analyze the mechanisms the functioning of a living complex system, considering the phase trajectory in the state space. When various approaches to the study of the behavior of biological systems in phase space, can "produce" separate diagnostic characteristics that didn't duplicated by other methods of analysis, and complement each other.

Found that the original features of the phase portrait of single-channel ECG device that can be computed by appliance "FAZAGRAF®" with finger electrodes have an additional diagnostic value in quantifying the level of functional reserves of the cardiovascular system, and also have practical significance in the differential diagnosis of functional status and reserves cardiovascular system in different populations in screening studies in clinical practice and sports medicine.

It was found that the original characteristics of the phase portrait single-channel ECG: β_T , S_{TR} , α_{QRS} and σ_{QRS} , and significantly different in the groups with different levels of functional reserves of the cardiovascular system and have additional diagnostic value. Dynamics of changes in the characteristics of the phase portrait single channel ECG with stepwise increasing load quantitatively reflects the differences in the level of functional reserves and orientation of compensatory and adaptive processes.

Key words: phase portrait, single-channel ECG, the hardware-software complex FASEGRAPH.

В настоящее время для изучения и моделирования динамики поведения сложных медико-биологических систем все большее внимание привлекают методы теории хаоса и синергетики [1-3,11-13]. Эти методы дают возможность адекватно раскрыть и проанализировать механизмы функционирования живой сложноорганизованной системы, рассматривая фазовые траектории в пространстве состояний [4]. При этом, согласно [1,10], различные подходы к изучению поведения биологической системы в фазовом пространстве, могут «порождать» отдельные диагностические признаки, которые не дублируются другими способами анализа, а дополняют друг друга. Именно поэтому наиболее актуальны новые подходы к анализу и интерпретации ЭКГ, которые принципиально не могут быть реализованы без компьютерной обработки.

Оригинальный подход к компьютерному анализу и интерпретации ЭКГ разработан в Международном научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН и МОН Украины и реализован в аппаратно-программном комплексе ФАЗАГРАФ®, который выпускается серийно. Этот подход основан на переходе от скалярного представления одноканальной ЭКГ $z(t)$, регистрируемой во временной области, к векторному представлению в виде фазового портрета в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ – первая производная сигнала об электрической активности сердца [8].

Цель исследования – выявить диагностическую ценность оригинальных параметров, характеризующих фазовый портрет ЭКГ первого стандартного отведения, при количественной оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы у лиц с различным уровнем функциональных резервов.

Материалы и методы исследования. Модельные эксперименты, проведенные с использованием генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы [8], показали, что диагностические признаки ЭКГ более выразительно проявляются при отображении сигнала в фазовых координатах $z(t), \dot{z}(t)$, чем во временной области (рис. 1). При нормальной форме ЭКГ на фазовом портрете, подобно векторкардиограмме, отображаются три петли, соответствующие зубцам P, T и комплексу QRS (рис. 1, а). Заметим, что в отличие от традиционной векторкардиограммы, отображающей сигналы от нескольких ортогональных отведений, фазовый портрет порождается сигналом одного отведения, например, первого стандартного отведения. При патологическом (широком и глубоком) зубце Q фазовый портрет разворачивается (рис. 1, б). Плоский (рис. 1, в), отрицательный (рис. 2, г), чрезмерно высокий (рис. 1, д) или асимметричный (рис. 1, е) зубец T вызывает адекватные изменения размера и ориентации соответствующих петель на фазовом портрете. Характерный сдвиг вниз (рис. 1, ж) при депрессии или вверх (рис. 1, з) при элевации сегмента S-T претерпевает соответствующий фрагмент фазового портрета.

Для повышения достоверности результатов диагностики предлагается ряд дополнительных признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ (рис. 2, а), в том числе: параметр σ_{QRS} рассеивания точек фазовых траекторий, угол

α_{QRS} ориентации усредненной фазовой траектории, показатель S_{TR} , представляющий собой отношение площадей петель зубца T и комплекса QRS усредненной фазовой траектории, параметр β_T симметрии фрагмента реполяризации усредненной фазовой траектории относительно оси $z = 0$.

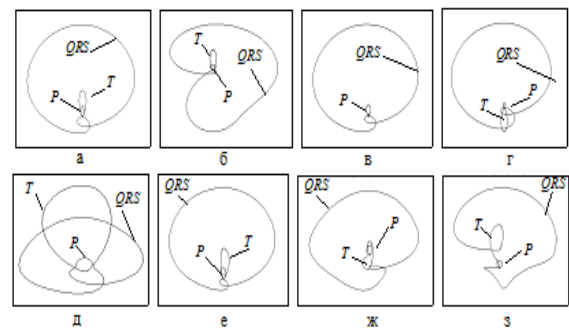


Рис. 1. Характерные изменения формы фазового портрета одноканальной ЭКГ

Важно заметить, что диагностически ценные изменения значений показателя β_T , характеризующего симметрию фрагмента реполяризации ЭКГ (T-зубца) на фазовой плоскости, почти незаметны при отображении ЭКГ во временной области (рис. 2 б).

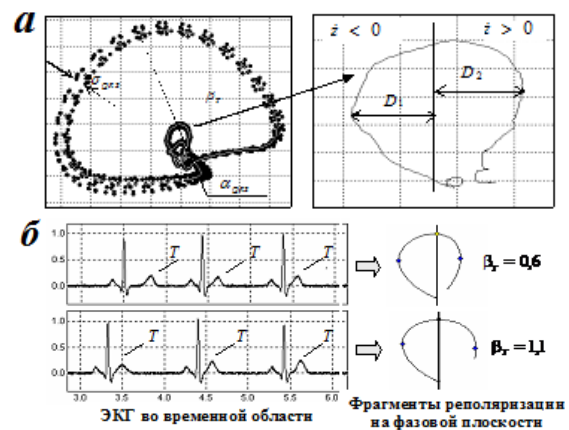


Рис. 2. Дополнительные признаки ЭКГ в фазовом пространстве (а); ЭКГ с низким (вверху) и высоким (внизу) значениями показателя β_T (б)

Хотя диагностическая ценность анализа симметрии T-зубца давно уже обсуждалась в работах кардиологов, нам неизвестны другие электрокардиографы, которые позволяли бы автоматически измерять β_T , по-видимому, из-за сложности оценки такого показателя по реальным ЭКГ, искаженным помехами разного типа.

В исследованиях принимали участие 575 человек 7-76 лет, разделённые на две группы: группа А – с кардиологической патологией (n=125) и группа Б – условно здоровые (n=450), из них 98 детей, 85 спортсменов и 262 не спортсмена. Регистрацию и анализ ЭКГ в фазовом пространстве с

определением параметров β_T , S_{TR} , α_{QRS} и σ_{QRS} , а так же среднеквадратического отклонения (СКО) β_T проводили с помощью комплекса ФАЗАГРАФ®. Комплекс предоставлял также информацию о параметрах кардиоинтервалографии: амплитуда моды (АМо, %), индекс напряжения (ИН, ед), коэффициент вагосимпатического баланса (LF/HF, %) и другие.

У студентов и спортсменов дополнительно производили измерения после ступенчато возрастающей физической нагрузки. В продолжение нагрузочного теста измеряли параметры кардиогемодинамики с помощью метода импедансной реографии с использованием прибора Reo Com Standart. Анализировали частоту сердечных сокращений (ЧСС, ед), ударный индекс (УИ, ед), систолическую (Ас, мВ) и диастолическую (Ад, мВ) амплитуды. Вычисляли диастолический индекс (DI, ед.) по формуле $DI = Ad / Ac$. При помощи компьютерного ЭКГ-комплекса «Cardiolife» (Харьков) параллельно регистрировалась также ЭКГ в 12 отведениях. Анализ экспериментальных данных проводилась с помощью пакета STATISTICA-6.0.

Результаты и их обсуждение. 1) Показатель β_T , характеризующий симметрию зубца Т. Статистическая обработка данных в группах А и Б показала (рис. 3), что оптимальная граница физиологической нормы показателя β_T определяется неравенством $\beta_T \leq 0,72$ ед.. Этот результат хорошо согласуется с ранее полученными результатами исследований [9], проведенными на двух группах испытуемых (441 больных с подтвержденным диагнозом ишемической болезни сердца по результатам коронароангиографии и 387 здоровых добровольцев).

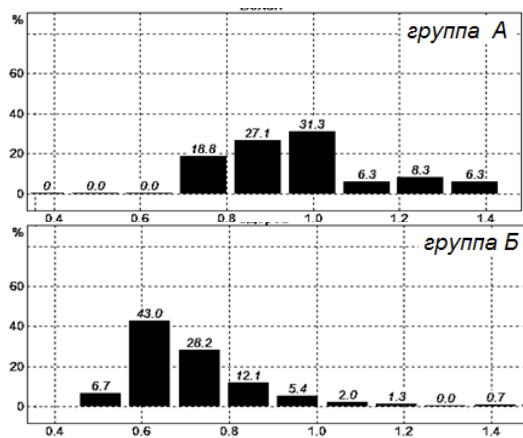


Рис.3. Условные распределения показателя β_T фазового портрета одноканальной ЭКГ в группах А и Б

Таблица 1

Показатели β_T и сердечного ритма в группах с различным уровнем функциональных резервов, ($\bar{x} \pm Sx$), n=143

Показатели	Тренированные Спортсмены 20-25 лет, (n=35)	Нетренированные		
		Возраст, лет		
		20-25 (n=43)	30-35 (n=30)	50-55 (n=35)
β_T , ед.	0,52±0,09	0,78±0,08*	0,89±0,09***	1,01±0,10***
АМо, %	25,5±5,3	27,4±2,5	43,1±3,3*	53,3±1,2**
LF/HF, ед.	0,6±0,2	0,9±0,2	1,9±0,5**	2,2±1,2***
ИН, ед.	34,5±10,2	54,2±15,1	184,1±30,1***	298,8±60,1***

Примечание: * – различия показателей достоверны по сравнению со спортсменами (p<0,05); ** – (p<0,01); *** – (p<0,001)

Установлено также, что в межсоревновательный период у спортсменов высокой квалификации (не зависимо от вида спорта) показатель симметрии зубца Т находится в диапазоне 0,45-0,60 ед., что сопровождается сниженными значениями амплитуды моды ритмограммы (Амо) и преобладанием парасимпатического звена регуляции по коэффициенту вагосимпатического баланса (табл.1).

Из табл. 1 видно, что при увеличении возраста напряжение механизмов регуляции и их централизация с преобладанием симпатических влияний по показателям LF/HF и ИН сопровождалась достоверным увеличением показателя β_T . Вероятно, возрастные компенсаторно-приспособительные изменения приводят к истощению функционального резерва и повышению степени напряжения регуляторных систем, что значительно повышает «цену адаптации». Молодые, но не занимающиеся спортом исследуемые, характеризовались лишь незначительным повышением значений β_T относительно нормы, но достоверно (p<0,05) превышали показатели β_T в группе спортсменов того же возраста на 50,0%.

На основании ранжирования 125 исследуемых по принципу оптимальности весо-ростовых отношений, было выявлено, что увеличение массы тела более чем на 10 кг (индекс Кетле ≥ 31 ед.) в группе старше 40 лет приводит к достоверному (p<0,01) увеличению β_T на 28,5 % относительно функциональной нормы [5].

Для количественной оценки уровня функциональных резервов, в том числе и миокарда, у спортсменов в различные тренировочные периоды нами в группе спортсменов-футболистов 19-22 лет была проанализирована динамика показателя β_T в межсоревновательный период до и после восстановительных мероприятий в покое и после тренировочной нагрузки (табл. 2). Как видно из таблицы, показатель β_T количественно отражал эффективность проведенных реабилитационных процедур.

Таблица 2

Изменения показателя симметрии зубца Т (β_T) у спортсменов 19-22 лет в различные периоды спортивной деятельности в покое и после тренировочной нагрузки, ($\bar{x} \pm Sx$), n=50

№	Условия	Покой	После нагрузки
1	В конце соревновательного периода до реабилитации	0,698±0,042	0,765±0,035*
2	После реабилитации в межсоревновательный период	0,530±0,025	0,649±0,032*
	Достоверность (1-2)	p<0,001	p<0,05

Примечание: * – различия показателей достоверны по сравнению с покоем (p<0,05)

Исследование динамики изменения показателя β_T при ступенчато-возрастающей нагрузке показали, что в группах юношей с разным уровнем тренированности и функциональных резервов был зафиксирован различный его прирост. Как видно из табл. 3, показатель β_T в группе студентов, не занимающихся спортом, как в покое, так и на каждой ступени нагрузочного теста и в периоде восстановления значительно (p<0,05) превышал показатели группы спортсменов-футболистов, а по окончании теста увеличился в среднем в 1,5 раза (p<0,001).

При этом в группе лиц, не занимающихся спортом, более выраженный рост сопровождался более низкими значениями УИ (p<0,01) и DI (p<0,01), причем выявлена высокая степень взаимосвязи показателей DI и β_T , ($r = -0,78$, p<0,05), что свидетельствовало о прогностической ценности β_T

для определения диастолических взаимоотношений, отражающихся на функциональных резервах миокарда.

Интересно отметить, что в качестве критерия эффективности приспособительных механизмов может использоваться не только само значение β_T , вычисленное по усредненной фазовой траектории, но и вариабельность этого показателя на последовательности из N сердечных циклов, которую отражает среднеквадратическое отклонение, автоматически вычисляемое комплексом ФАЗАГРАФ®. Так в группе спортсменов размах СКО β_T , характеризующий электрическую неоднородность и нестабильность миокарда, находился в пределах $0,052 \pm 0,005$ ед., в то время как у лиц, которые не занимались спортом СКО β_T было выше на 52,5% ($p < 0,05$). При этом у пациентов с кардиологической патологией этот показатель превышал показатели спортсменов в два раза ($p < 0,01$).

Динамика изменения показателей функционального резерва миокарда в группах юношей 19-20 лет с разным уровнем тренированности, ($\chi \pm S\chi$), $n=93$

Показатели		Условия						
		покой	50 Вт	100 Вт	150 Вт	200 Вт	250 Вт	восст
ЧСС, уд/мин	н	71,5±3,1	83,0±2,9	97,0±3,5	134,1±3,2	151±3,1	172±4,1	111,4±3,2
	с	58,7±3,5**	63,4±3,1***	73,5±2,1***	90,1±2,5**	116,3±3,5***	132,1±3,0***	69,6±2,1***
β_T , ед	н	0,69±0,04	0,72±0,04	0,79±0,05	0,87±0,08	0,99±0,04	1,10±0,05	0,79±0,05
	с	0,62±0,09*	0,65±0,09*	0,67±0,09*	0,72±0,08*	0,80±0,05***	0,93±0,07*	0,69±0,07*
УИ, ед.	н	29,1±4,1	34,6±4,8	33,4±4,9	34,1±5,2	34,2±4,8	31,1±3,9	23,9±3,2
	с	56,6±4,0***	60,1±3,1***	57,1±6,1***	55,7±5,5***	51,4±4,9**	50,0±4,1***	51,8±4,1***
DI, ед	н	0,40±0,01	0,40±0,01	0,41±0,01	0,37±0,03	0,35±0,01	0,33±0,01	0,4±0,01
	с	0,59±0,01***	0,59±0,01***	0,60±0,01***	0,57±0,01***	0,54±0,01***	0,49±0,01***	0,61±0,01***

Примечание: н – не спортсмены, (n=43), с – спортсмены, (n=50); * – различия показателей достоверны по сравнению с группой 1 ($p < 0,05$); ** – ($p < 0,01$); *** – ($p < 0,001$)

Таким образом, показатель симметрии зубца T фазового портрета одноканальной ЭКГ и его вариабельность – новые информативные биомаркеры срочной и долговременной адаптации миокарда.

2) Показатель S_{TR} , характеризующий отношения площадей петель зубца T и комплекса QRS. Площади петель комплекса QRS и зубца T фазового портрета ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ связаны с электрофизиологическими процессами в отделах миокарда и, подобно векторкардиограмме, косвенно несут информацию об объёмном представлении процесса распространения волны возбуждения в соответствующих отделах миокарда. Поэтому оптимальность электрической активности миокарда в течение сердечного цикла можно количественно оценить показателем S_{TR} .

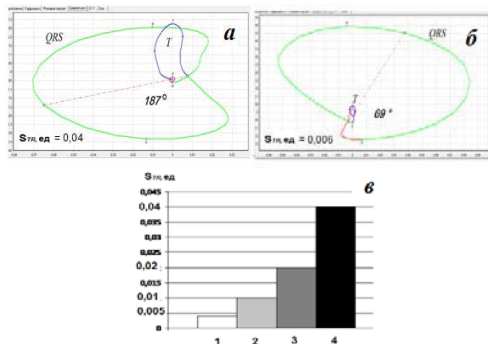


Рис. 4. Показатель S_{TR} у различных категорий обследованных: а – спортсмен 20 лет; б – пожилой мужчина с диагнозом ИБС 72 лет; в – диапазоны распределения значений показателя S_{TR} у контингентов с различными резервами миокарда. Примечание: достоверность различий в подгруппах: 1-2 ($p < 0,05$); 1-4 ($p < 0,01$); 2-3 ($p < 0,05$); 2-4 ($p < 0,001$); 3-4 ($p < 0,01$)

На рис. 4 представлены примеры различных соотношений площадей петли T и комплекса QRS у спортсмена 20 лет (а) и пожилого мужчины 72 лет (б), а так же диапазоны распределения значений показателя S_{TR} у контингентов с различными резервами миокарда (в), в том числе в подгруппе 1 (21 человек) – пациенты с острой кардиальной патологией, подгруппе 2 (77 человек) – пациенты с хронической кардиальной патологией, подгруппе 3 – условно здоровые студенты 20-22 лет и подгруппе 4 – спортсмены высокой квалификации (футболисты и боксёры возраста 20-27 лет).

Статистический анализ взаимосвязей S_{TR} с параметрами кардиоинтервалографии у обследуемых в различных возрастных группах и с различным уровнем функциональных резервов (табл. 4), показал, что этот показатель отражает направленность регуляторных и компенсаторных процессов и может использоваться как дополнительный критерий в дифференциальной диагностике функционирования миокарда.

3) Показатель α_{QRS} , характеризующий угол ориентации фазового портрета. На основании статистической обработки данных в группах А и Б (рис. 5), обнаружена взаимосвязь показателя α_{QRS} с электрофизиологическим состоянием миокарда: уменьшение значений показателя α_{QRS} косвенно свидетельствует об уменьшении электропозитивных элементов миокарда, а увеличение – о расширении резервных возможностей.

Корреляционные взаимосвязи S_{TR} в группах с различным уровнем функциональных резервов, $n=231$

Показатель	Условия			
	Школьники 7-16 лет (n=98)	Студенты 20-22 лет (n=43)	Спортсмены 20-25 лет (n=50)	Кардиол. больные 55-76 лет (n=125)
S_{TR} , ед	ИН, ед	НФ, %	ИН, ед	НФ, %, ИН, ед
	0,65	0,56	- 0,72	Отсутствует

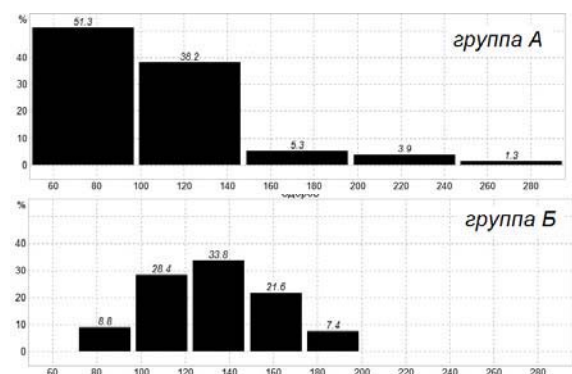


Рис. 5. Условные распределения показателя α_{QRS} фазового портрета одноканальной ЭКГ в группах А и Б

Сопоставление данных 12-канальной ЭКГ-диагностики и результатов комплекса ФАЗАГРАФ® позволили обнаружить высокую степень корреляции $r=0.659$ ($p < 0.001$) между направлением $\alpha_{ЭОС}$ электрической оси сердца и углом ориентации α_{QRS} фазового портрета ЭКГ первого отведения. Указанная зависимость может быть описана линейным уравнением регрессии $\alpha_{ЭОС} = 0,49339 \alpha_{QRS} - 11,95811$ [6].

Важно отметить, что в конце нагрузочного тестирования наблюдались достоверные различия ($p < 0,05$) в приросте значения угла α_{QRS} у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом, что подтверждает гипотезу о том, что этот показатель несет информацию не только об антропометрических особенностях испытуемого, но и о функциональном состоянии его сердечно-сосудистой системы.

4) Показатель σ_{QRS} , характеризующий величину разброса фазовых траекторий ЭКГ. Проведенные исследования показали, что показатель σ_{QRS} , характеризующий хаотичность механизмов сердечной деятельности, несет дополнительную информацию об оптимальности управления ее функциональным состоянием (рис. 6).

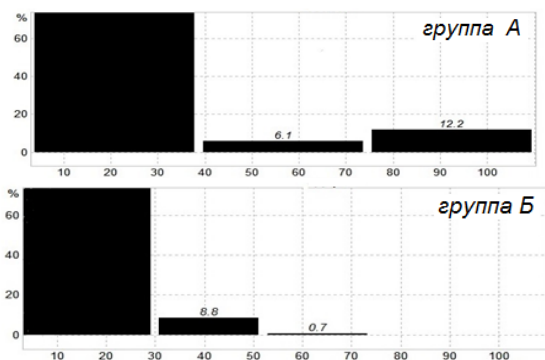


Рис. 6. Условные распределения показателя σ_{QRS} фазового портрета одноканальной ЭКГ в группах А и Б

Обнаружено, что при нарастании нагрузки у спортсменов наблюдаются «волнообразное» изменение средних значений показателя σ_{QRS} , в то время, как у лиц, не занимающихся спортом, параметр σ_{QRS} увеличивался монотонно. Вероятно немонотонный характер изменений показателя σ_{QRS} у тренированных людей обусловлен более совершенной системой регуляции кардиогемодинамики, характеризующейся оптимальным вовлечением различных, в том числе и поисковых, механизмов управления.

Было выявлено, что независимо от пола у детей до 12 лет наблюдается более широкий диапазон σ_{QRS} , в среднем на 22,5% ($p < 0,05$) превышающий показатели взрослого человека, что скорее всего обусловлено преобладанием процессов самоорганизации в развивающемся детском организме.

В табл. 5 представлены результаты оценки парных корреляций показателя σ_{QRS} с показателем мощности высокочастотных компонент HF массива нормальных $R-R$ -интервалов сердечного ритма. Приведенные результаты подтверждают, что при успешной адаптации влияние парасимпатической части нервной системы проявляется отрицательными корреляционными зависимостями с показателем σ_{QRS} , в то время как у пациентов с кардиологической патологией активизация парасимпатического влияния приводит к увеличению этого показателя или проявляется отсутствием взаимосвязей при хроническом патологическом процессе.

Примечательно также, что при увеличении внешней нагрузки у мужчин-спортсменов прирост показателя σ_{QRS} , превышал прирост ЧСС, а у женщин-спортсменок наблюдалась противоположная тенденция, в то время как у лиц, которые не занимаются спортом, независимо от их пола,

прирост ЧСС при нарастании внешней нагрузки превышал прирост показателя σ_{QRS} [7].

Таблица 5

Корреляционные взаимосвязи показателя σ_{QRS} с высокочастотной компонентой регуляции сердечного ритма в группах с разным уровнем функциональных резервов, $n = 130$

Условия	$\sigma_{QRS} - HF$
Спортсмены в межсоревновательный период ($n = 50$)	-0,59
Кардиологические больные с острой патологией ($n = 30$)	0,66
Кардиологические больные с хронической патологией ($n = 50$)	отсутствует

Таким образом, показатель σ_{QRS} может использоваться как дополнительный предиктор адекватности «степени хаотичности» функционирования сердечно-сосудистой системы с учётом её уровня развития, гендерных и индивидуальных особенностей организма.

Выводы:

1. Оригинальные признаки фазового портрета одноканальной ЭКГ β_T , СКО β_T , S_{TR} , α_{QRS} и σ_{QRS} достоверно различаются в группах с разным уровнем функциональных резервов сердечно-сосудистой системы и несут дополнительную диагностическую ценность.

2. Динамика изменения признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ при ступенчато возрастающей нагрузке количественно отражает различия уровня функциональных резервов и направленность компенсаторных и адаптационных процессов.

3. Признаки фазового портрета, автоматически вычисляемые аппаратно-программным комплексом ФАЗАГРАФ®, имеют практическую ценность в дифференциальной диагностике функционального состояния и резервов сердечно-сосудистой системы у различных континентов населения и могут быть использованы при скрининговых исследованиях, в клинической практике и спортивной медицине.

Литература

1. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В.; под ред. Анищенко В.С. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем. Фундаментальные основы и избранные проблемы. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999.
2. Еськов В.М., Хадарцев А.А., ГУДК:ов А.В., ГУДК:ова С.А., ГУДК:ова Л.А. Философско-биофизическая интерпретация жизни в рамках третьей парадигмы // Вестник новых медицинских технологий. 2012. №1. С. 38–42.
3. Еськов В.М., Зилов В.Г., Хадарцев А.А. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5. № 3. С. 617–622.
4. Мезенцева Л.В., Перцов С.С. Математический анализ амплитудно-временной упорядоченности сердечного ритма: Монография. Тула: Изд-во «Тульский полиграфист», 2012.
5. Минина Е.Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. 2013. №26(65). С. 148–153.
6. Файнзильберг Л.С., Минина Е.Н. Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда // Клиническая информатика и телемедицина. 2013. №9(10). С. 33–42.

7. Файнзильберг Л.С., Минина Е.Н. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы по величине разброса фазовых траекторий одноканальной ЭКГ // Кибернетика и вычислительная техника. 2014. № 175. С. 5–19.

8. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. Киев: Освита Украины, 2013.

9. Файнзильберг Л.С. Новая информационная технология обработки ЭКГ для выявления ишемической болезни сердца при массовых обследованиях населения // Управляющие системы и машины. 2005. №3. С. 63–71.

10. Хадарцев А.А. Теоретические основы новых медицинских технологий // Вестник Международной академии наук (Русская секция). 2006. №1. С. 22–28.

11. Хромушин В.А., Хадарцев А.А., Хромушин О.В., Честнова Т.В. Обзор аналитических работ с использованием алгебраической модели конструктивной логики // ВНМТ (электронный журнал). 2011. № 1. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2011-1/LitObz.pdf>

12. Яшин А. А. Живая материя. Физика живого и эволюционных процессов. М.: ЛКИ, 2010.

13. Еськов В.М., Зилов В.Г., Хадарцев А.А. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5. № 3. С. 617–623.

References

1. Anishchenko VS, Vadivasova TE, Astakhov VV; pod red. Anishchenko V.S. Nelineynaya dinamika khaoticheskikh i stokhasticheskikh sistem. Fundamental'nye osnovy i izbrannye problemy. Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta; 1999. Russian.

2. Es'kov VM, Khadartsev AA, Gudkov AV, Gudkova SA, Gudkova LA. Filosofsko-biofizicheskaya interpre-tatsiya zhizni v ramkakh tret'ey paradigmy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;(1):38-42. Russian.

3. Es'kov VM, Zilov VG, Khadartsev AA. Novye podkhody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006. T. 5. № 3. S. 617-22.

4. Mezentseva LV, Pertsov SS. Matematicheskiy analiza amplitudno-vremennoy uporyadochennosti serdechnogo ritma: Monografiya. Tula: Izd-vo «Tul'skiy poligra-fist»; 2012. Russian.

5. Minina EN. Analiz volny T EKG v fazovom prostanstve v opredelenii funktsional'nykh rezervov miokarda. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. 2013;26(65):148-53. Russian.

6. Faynzil'berg LS, Minina EN. Issledovanie di-agnosticheskoy tsnnosti ugla orientatsii fazovogo portreta odnokanal'noy EKG kak indikatora funktsio-nal'nogo sostoyaniya miokarda. Klinicheskaya informatika i telemeditsina. 2013;9(10):33-42. Russian.

7. Faynzil'berg LS, Minina EN. Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemy po velichine razbro-sa fazovykh traektoriy odnokanal'noy EKG. Kibernetika i vy-chislitel'naya tekhnika. 2014.175:5-19. Russian.

8. Faynzil'berg LS. Komp'yuternaya diagnostika po fazo-vomu portretu elektrokardiogrammy. Kiev: Osvita Ukrainy; 2013. Russian.

9. Faynzil'berg LS. Novaya informatsionnaya tekhnolo-giya obrabotki EKG dlya vyyavleniya ishemicheskoy bolezni serdtsa pri massovykh obsledovaniyakh naseleniya. Upravlyayushchie sistemy i mashiny. 2005;3:63-71. Russian.

10. Khadartsev AA. Teoreticheskie osnovy novykh me-ditsinskikh tekhnologiy. Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk (Russkaya sektsiya). 2006;1:22-8. Russian.

11. Khromushin VA, Khadartsev AA, Khromushin OV, Chestnova TV. Obzor analiticheskikh rabot s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoy logiki. Vesonik novykh meditsinchiikh tekhnologiy (elektronnyy zhurnal) [Internet]. 2011 [cited 2011];1:[about 4 p.] Russian. Available from: medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2011-1/LitObz.pdf

12. Yashin AA. Zhivaya materiya. Fizika zhivogo i evo-lyutsionnykh protsessov. Moscow: LKI; 2010. Russian.

13. Es'kov VM, Zilov VG, Khadartsev AA. Novye podk-hody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006;5(3):617-23. Russian.

УДК: 61

DOI: 10.12737/5892

МЕДИЦИНА И ТЕОРИЯ ХАОСА В ОПИСАНИИ ЕДИНИЧНОГО И СЛУЧАЙНОГО

В.М. ЕСЬКОВ, В.В. ЕСЬКОВ, Л.Б. ДЖУМАГАЛИЕВА, С.В. ГУДКОВА

ГБОУ ВПО «Сургутский Государственный Университет», проспект Ленина, 1, г. Сургут, Россия

Аннотация. Представлены три подхода (детерминистский, стохастический и хаотический-самоорганизационный) в изучении биомедицинских систем. Показывается, что сложные биосистемы невозможно описывать в рамках детерминизма и стохастики из-за непрерывного изменения параметров x ; всего вектора состояния таких систем $x=x(t)$. Главное отличие детерминистских и стохастических систем от хаотических-самоорганизующихся заключается в непрерывном хаотическом движении $x(t)$ в фазовом пространстве состояний. Представлен комплекс объектов, которые авторы исследуют последние 30 лет и которые соответствуют системам третьего типа. Выделены особенности персонафицированной (индивидуализированной) медицины, которая отрицает возможность идентификации состояния организма человека по одному измерению (точке в фазовом пространстве). Это связано с тем, что в интервалах изменения x ; мы имеем равномерное распределение $x(t)$, что выражается в непрерывном изменении функций распределения $f(x)$ для разных дискретных интервалов регистрации $x(t)$ по всем x . Высказывается утверждение о схожей динамике поведения нейронных сетей мозга и работы нейроэмуляторов, которая заканчивается определённой в размерах объёмов квазиаттракторов.

Ключевые слова: детерминизм, стохастика, хаос, персонафицированная медицина, квазиаттрактор.