

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ С УЧЁТОМ ЛИНЕЙНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ**

Е.Н. МИНИНА*, А.Г. ЛАСТОВЕЦКИЙ**

**Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Таврическая Академия,
проспект Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, Республика Крым, 295007, Россия*

***Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения,
ул. Добролюбова, 11, г. Москва, 127254, Россия*

Аннотация. Разработки методологий донозологического кардиомониторинга и раннего выявления дисфункции миокарда крайне актуальны. В условиях разноплановых проблем задача прогнозирования системного функционирования кардиогемодинамики максимально усложнена, а обычные диагностические признаки оказываются не информативными. Активно обсуждается возможность применения инновационных подходов определения вектора движения функциональной системы, например с использованием графической иллюстрации структуры биосигнала с учётом его скорости, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве.

Изучены фазовые графические иллюстрации структуры биосигнала у 105 юношей в возрасте 19 лет с разным уровнем адаптационных резервов (по показателю максимального потребления кислорода) и у 210 условно здоровых обучающихся школ 1, 5, 9 и 11 классов в возрасте от 7 до 17 лет. Успешная адаптация в группе условно здоровых юношей 19 лет в покое, соответствовала определённому размаху фазовой графической иллюстрации (σ), который составил в среднем $19,3 \pm 1,0$ ед. При этом с увеличением уровня тренированности показатель σ уменьшался в среднем до 14,6 ед. Выявлено снижение значений СКО в среднем в два раза ($p < 0,01$) у школьников всех возрастных групп со сниженным уровнем двигательной активности.

Такая когнитивно-информационная модель, выраженная графически, может быть отражением системного аттрактора положительного результата и мерой функциональных изменений в процессе приспособления, что позволяет разрешить проблемные вопросы прогностической диагностики кардиогемодинамики и совершенствовать кардиомониторинг с целью раннего выявления дисфункционального функционирования. В медико-биологических исследованиях данный подход может иметь важное практическое значение в прогнозировании патологического состояния кардиогемодинамики.

Ключевые слова: кардиомониторинг, преобразование в фазовом пространстве, одноканальная ЭКГ.

**FEATURES OF FORECASTING OF EFFICIENCY OF FUNCTIONING CARDIOHEMODYNAMICS
WITH LINEAR AND CHAOTIC REGIMES**

E.N. MININA* A.G. LASTOVETSKIY**

**Crimean Federal Vernadsky University, Vernadsky av., 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295003, Russia*

***Central scientific-research Institute of organization and Informatization of health,
Dobrolyubov str., 11, Moscow, 127254, Russia*

Abstract. The development of methodology for donosological cardiomonitring and early detection of cardiohemodynamic pathology is extremely relevant. In conditions of diverse problems, the task of predicting the systemic functioning of cardiohemodynamics is most complicated, and the usual diagnostic features are not informative. The possibility of applying innovative approaches to determining the motion vector of a functional system is actively discussed, for example, using a graphic illustration of the structure of a biosignal, taking into account its speed, obtained by converting a single-channel ECG in the phase space. There were studied information and phase images of a single-channel ECG of 105 men aged 19 years with different levels of adaptive reserves (in terms of the maximum oxygen consumption) and 210 conditionally healthy schools in grades 1, 5, 9 and 11 at the age from 7 to 17 years. Successful adaptation in the group of conditionally healthy young men of 19 years at rest corresponded to a certain corridor of the spread of phase trajectories, which amounted to an average of 19.3 ± 1.0 units. At the same time, as the level of fitness increased, the index of the spread of phase trajectories decreased to 14.6 units. A decrease in the standard deviation values on average by a factor of 2 ($p < 0.01$) in schoolchildren of all age groups with a reduced level of motor activity was revealed. Dynamic parameters of the internal state in the form of the structural and functional scheme of the system organization in providing homeostasis and maintaining the adaptation parameters within the physiological norm form a certain "image-symbol" that characterizes the measure of the optimality of adaptive mechanisms. In medical and biological re-

search this approach can have a great practical importance in predicting the pathological state of cardiohemodynamics.

Key words: cardiomonitoring, transformation in phase space, single-channel ECG.

Увеличение преждевременной заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний является важным мотивом активизации исследований и разработок методологий донозологической диагностики и раннего выявления кардиогемодинамических дисфункций [2-5, 8, 13]. Однако при практическом решении вышеописанных условий возникает необходимость ряда решений.

Условие 1. Парадокс диагностики состоит в том, что процесс научного медицинского познания, декларируя системный подход, как показывает практика, все еще недостаточно активно использует его возможности. Большинство медико-биологических исследований относят к группе, которой характерны задачи с открытым списком необходимых условий, а алгоритм решения не может быть четко сформулирован. Тщательное планирование исследования, рандомизация, определение типа распределения и подбор методов описательной и вариационной статистики при решении поставленных в исследовании задач часто оставляет «за кадром» неочевидные, скрытые факты и признаки, имеющие прогностическое значение.

Условие 2. Меж/транс-дисциплинарность при разработки инновационных диагностических методов, несмотря на многие преимущества, осложнена разноотраслевым взаимодействием, как на этапе постановки задач, так и в процессе интерпретации полученных результатов.

Условие 3. При оценке понятия норма-патология, например кардиогемодинамики, с учётом иерархического строения, можно описать три вектора её динамики, учитывающие временную реализацию процессов, процессуальный и информационно-вещественный дуализм. Такая нелинейность при традиционных подходах усложняет моделирование прогноза или делает его невозможным.

Условие 4. Согласно теории П.К. Анохина функциональная система это оперативно складывающееся совокупность взаимодействующих функциональных подсистем, а системообразующим фактором выступает положительный приспособительный результат. При этом, что такое полезный приспособительный результат, либо не определяется, либо сводится к проблеме поддержания постоянства параметров внутренней среды организма – к идее гомеостаза.

В условиях столь проблемного контекста задача прогнозирования системного функционирования кардиогемодинамики максимально усложнена, а обычные диагностические признаки оказываются не информативными.

В настоящее время активно обсуждается возможность применения инновационных подходов прогнозирования состояния функциональной системы, в том числе в решении задач кардиомониторинга [6-8]. Это актуально не только для лиц, выполняющих особые задания (спортсмены, военные, водители, операторы и др.), но и для детей младшего возраста и школьников, у которых наблюдаются летальные исходы при физических нагрузках. Основным отличием этих методов является учет в анализе не только линейных режимов, но и хаотических, что в медико-биологических исследованиях может иметь важное практическое значение.

В связи с выше сказанным, **целью** настоящей статьи явилось рассмотрение возможности разрешения проблематики прогностического определения качества функционирования кардиогемодинамики с использованием графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве.

Задачи исследования:

1. Изучить изменение величины размаха *фазовой графической иллюстрации* (ФГИ) одноканальной ЭКГ у юношей 19 лет в группах с различным уровнем адаптационных резервов по показателю максимального потребления кислорода.

2. Выявить различия участка ФГИ одноканальной ЭКГ, соответствующее зубцу *T*, у обучающихся школьного возраста с различным уровнем двигательной активности.

Материалы и методы исследования.

На **первом этапе** обследовано 105 юношей в возрасте 19 лет, которые были распределены на две статистически однородные группы. В первую группу (1) вошли 40 студентов, не занимающиеся регулярно спортом. Вторую (2) группу составили 65 студентов-спортсменов высокой квалификации (футболисты, боксёры, со стажем занятий не менее 6 лет).

Исследование физической работоспособности проводили на велоэргометре ВЭ-02 с помощью двухступенчатого теста. Уровень работоспособности определяли по индексу *PWC170* с последующим расчетом показателей аэробных возможностей организма, отнесённую к массе тела (МПК, л/мин, МПК/кг, мл/мин/кг) [9].

На **втором этапе** обследовано 210 условно здоровых обучающихся школ 1, 5, 9 и 11 классов в возрасте от 7 до 17 лет. В каждой возрастной группе были выделены две подгруппы. Первую (1) составили школьники с низким уровнем двигательной активности (не посещающие дополнительных спортив-

ных секций). Во вторую подгруппу (2) вошли школьники, регулярно занимающиеся в различных спортивных секциях не менее 2 лет для обучающихся 1 класса и не менее 4 лет у более старших (табл.1).

Таблица 1

Распределение исследованных школьников второй группы по направленности двигательной активности (n=110)

| Направление занятий двигательной активности | Кол-во школьников |
|---|-------------------|
| Футбол | 30 |
| Лёгкая атлетика | 25 |
| Художественная гимнастика | 15 |
| Баскетбол | 40 |

Регистрацию и анализ графической иллюстрации структуры биосигнала, полученного преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве ЭКГ проводили с помощью программного комплекса ФАЗАГРАФ[®], в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардиосигнала в фазовом пространстве с использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов [10].

В отличие от большинства известных работ, в которых данные параметры изучаются на плоскости с координатами $z(t), z(t-\tau)$ где τ – временная задержка, комплекс ФАЗАГРАФ[®] за счет использования оригинальных компьютерных алгоритмов обеспечивает возможность построения ФГИ одноканальной ЭКГ в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ – скорость изменения электрической активности сердца в момент времени t . При использовании оригинальных процедур фильтрации и регуляризации авторам метода удалось для дискретно заданной функции $z[k], k=0, \dots, K-1$ получать приемлемые оценки $\dot{z}[k]$. 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 последовательно двумерных векторов (точек)

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

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

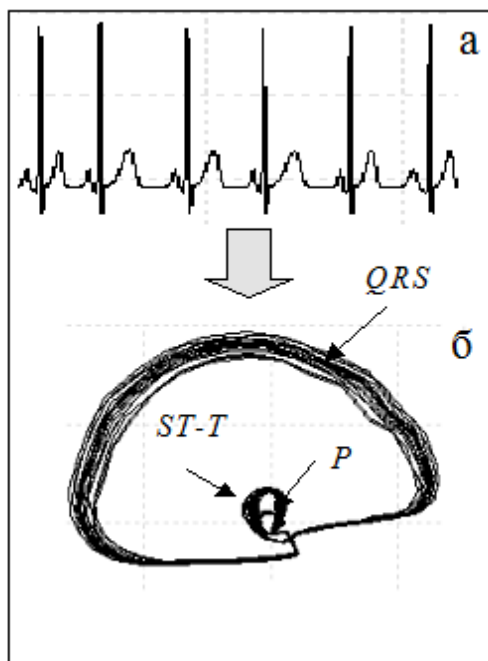


Рис. 1. Последовательность этапов обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория – фазовая графическая иллюстрация (б)

Несмотря на то, что 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.

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.

Анализировали параметры фазовой графической иллюстрации: (размаху фазовой графической иллюстрации (σ), симметрию участка фазовой графической иллюстрации, соответствующей зубцу T одноканальной ЭКГ (β_T , ед), среднеквадратическое отклонение β_T (СКО β_T , мс).

Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Достоверность различий между одноименными показателями в независимых выборках (группа 1 и группа 2) оценивали с помощью непараметрического U-критерия Mann-Whitney. Для оценки достоверности различий между одноименными показателями при различных условиях (после нагрузки) использовали непараметрический T-критерий Wilcoxon.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе было выявлено, что у юношей группы 2 его значения МПК превысили значения показателя МПК группы 1 на 33,3% ($p < 0,001$), достигая уровня относительного значения $50,1 \pm 1,1$ мл/мин/кг, а МПК/кг группы 1 не превышали значений 36 мл/мин/кг. При этом, динамика показателей сердечно-сосудистой системы у спортсменов при ступенчато-возрастающей нагрузке указывала на её экономичность и эффективность функционирования.

Успешная адаптация в группе условно здоровых юношей 19 лет в покое, соответствовала определённому размаху фазовой графической иллюстрации (σ), который составил в среднем $19,3 \pm 1,0$ ед. При этом с увеличением уровня тренированности показатель σ уменьшался в среднем до 14,6 ед. (рис. 2 Б).

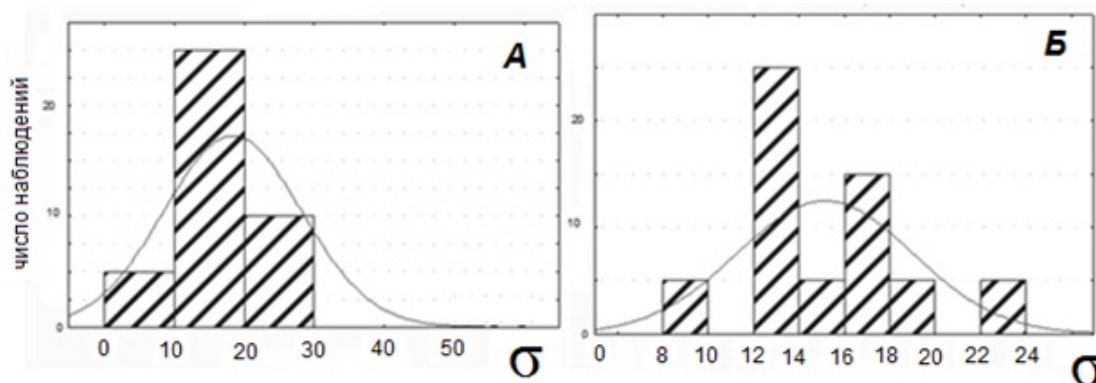


Рис. 2. Распределение показателя σ в покое в различных группах: А – студенты группа 1; Б – спортсмены группы 2

Важно отметить, что в группе спортсменов, прирост показателя σ при выполнении максимальной нагрузки составил в среднем 128,5% ($p \leq 0,001$), а в группе 1 только на 45,2% ($p \leq 0,05$). Таким образом, количественное определение возможных режимов функционирования может разрешить парадокс линейной взаимосвязанности параметров для обеспечения гомеостаза, в пользу увеличения сформированности уровней регуляции гомеостазиса для переключения скорости функционирования по типу технического устройства.

Ранее нами было выявлено, что при отсутствии значимых различий этого показателя в покое, при нарастании нагрузки у спортсменов наблюдаются «волнообразное» изменение средних значений показателя σ , в то время, как у лиц, не занимающихся спортом, параметр σ увеличивался монотонно. Вероятно, немонотонный, каскадный характер изменений показателя σ у тренированных людей обусловлен более совершенной системой регуляции кардиогемодинамики, характеризующейся вовлечением различных, в том числе и поисковых, механизмов управления в переходные процессы.

Все изменения организма как системы в норме укладываются в ограниченную устойчивую область фазовых параметров. Подобно тому, как степень хаотичности состояния термодинамической системы, любой физической природы характеризуется «размытостью» фазовой графической иллюстрации и увеличением его эффективного объема, величина размаха графической иллюстрации ЭКГ может характеризовать хаотичность механизмов сердечной деятельности и давать дополнительную информацию для оценки оптимальности управления ее функциональным состоянием, придавая данной методике прогностическую значимость.

При этом необходимо различать вариабельность периодических компонент стационарных режимов функционирования, связанных с временными показателями, и хаотические колебания, присущие переходным состояниям и не зависящих от времени, что информативно отражается на фазовой графической иллюстрации. Изменение разброса σ , вероятно, являлось индикатором способности системы эффективно «переключать» режимы регуляции и отражать переход биологической системы в новое динамическое состояние с другим уровнем гомеостазиса.

Дополнительно нужно отметить, что более скоординированная реакция регуляторных механизмов с увеличением возраста и саморегуляционных фенотипических приобретений проявляется в сохранении фрактальной формы фазовой графической иллюстрации при увеличении нагрузки. Так на рис. 3. изображены фазовые портреты мальчика 6 лет (а, ЧСС – 81 уд/мин.) и молодого человека 19 лет (б, ЧСС – 77 уд/мин.) в покое и после стандартной физической нагрузки (а1 и б1 соответственно, ЧСС – 84 уд/мин.).

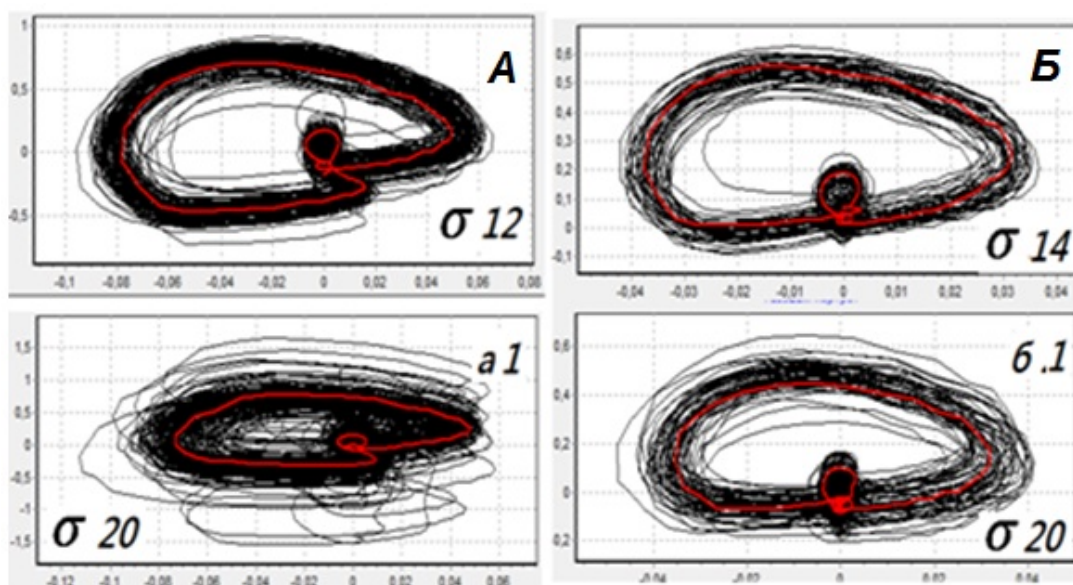


Рис. 3. Фазовые портреты и значение σ исследуемых мужского пола разного возраста в покое (А, Б) и после нагрузочного тестирования (а1, б1)

Как видно, незрелость регуляторных элементов приводит к невозможности определить и удержать функционирование в зоне оптимального аттрактора при увеличении нагрузки. Это отражается на снижении эффективности управления и свидетельствует о неэкономичности процесса приспособления.

В процессе систематических физических тренировок функциональные системы, в том числе сердечно-сосудистая, получает возможность накапливать «опыт», а в дальнейшем выбирать более эффективные управляющие параметры и пути обеспечения деятельности, что приводит к снижению цены адаптации. Определённый уровень информационно-энергетических ресурсов в процессе переключения режимов регуляции предопределяет и необходимость в оценке этого адаптационного резерва.

В рамках второго этапа исследований изучали особенности участка фазовой графической иллюстрации, соответствующий зубцу Т. На рис. 4. показаны фрагменты фазовой графической иллюстрации волны Т (β_T) и степень их симметричности у мальчиков 1 класса с разным уровнем двигательной активности.

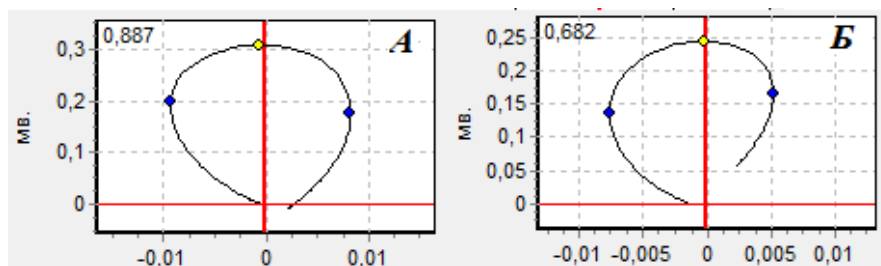


Рис. 4. Фрагменты фазовой графической иллюстрации волны $T(\beta_T)$ и степень их симметричности у двух школьников 1 класса с разным уровнем двигательной активности

Примечание: *A* – школьник из группы 1 (с низким уровнем двигательной активности); *B* – школьник из группы 2 (с высоким уровнем двигательной активности).

Так же было определено, что чувствительным показателем, отражающим интегративную реакцию адаптационных резервов и уровня тренированности, явился показатель СКО β_T (рис. 5).

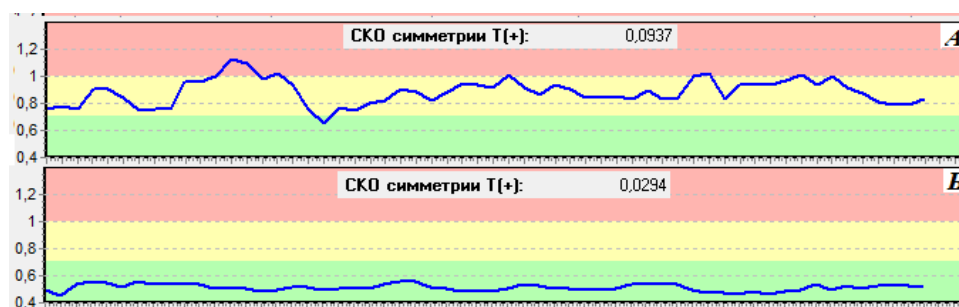


Рис. 5. Динамика значений показателя СКО β_T (500 циклов) у школьников 1 класса с разным уровнем двигательной активности

Примечание: *A* – из группы 1 (с низким уровнем двигательной активности); *B* – из группы 2 (с высоким уровнем двигательной активности).

В табл. 2 отражены полученные результаты, характеризующие степень зависимости изменений функциональных резервов миокарда по значениям β_T и СКО β_T от возрастного фактора и фактора двигательной активности.

Таблица 2

Изменение показателя симметрии зубца $T(\beta_T)$ и его среднеквадратического отклонения (СКО β_T) у школьников разных классов, ($\bar{x} \pm Sx$), $n=110$

| № | Класс | β_T , ед. | | СКО β_T , ед. | |
|---|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|-------------|
| | | 1 подгруппа | 2 подгруппа | 1 подгруппа | 2 подгруппа |
| 1 | 1 класс (n=25) | 0,77±0,02 | 0,69±0,02** | 0,09±0,01 | 0,03±0,02** |
| 2 | 5 класс (n=25) | 0,74±0,01 | 0,68±0,01*** | 0,07±0,02 | 0,03±0,02** |
| 3 | 9 класс (n=25) | 0,76±0,02 | 0,70±0,01** | 0,10±0,01 | 0,05±0,01** |
| 4 | 11 класс (n=35) | 0,78±0,03 | 0,68±0,01*** | 0,09±0,01 | 0,05±0,01** |

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

При анализе межгрупповых значений β_T у школьников, составивших 2 подгруппу, было выявлено что они были достоверно ниже в первом классе на 11,4% ($p < 0,01$), в пятом на 7,0% ($p < 0,001$), в девятом на 8,2% ($p < 0,01$) и в одиннадцатом на 13,1% ($p < 0,01$) относительно исследуемых, вошедших в первую группу. Снижение значений СКО β_T у школьников всех возрастных групп второй группы в среднем в два раза ($p < 0,01$), так же позволяет использовать этот показатель в оценке уровня функционального состояния миокарда. Важно отметить, что возрастных особенностей динамики β_T и СКО β_T в обеих группах выявлено не было.

Можно заключить, что показатели фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ σ (ед.), β_T (ед.) и СКО β_T (ед.) являются информативными критериями функционального состояния кардиогемодинамики и количественного определения адаптационных резервов миокарда и могут быть использованы в кардиомониторинге.

Таким образом, с учётом ранее полученных результатов исследований с использованием фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ и принимая во внимание семантическую теорию информации А.А. Харкевича, который ввёл понятие семантической меры целесообразности информации, можно постулировать, что для обеспечения оптимального управления активными объектами и их диагностики как на детерминистских, так и на бифуркационных этапах их развития существует определённый информационный системно-когнитивный образ реализации процессов, выявление и формализация которого в медико-биологической сфере является не изученным и мало отражённым в литературных данных объектом исследования.

Так же существует поле возможных путей развития для всякой сложной системы, спектр структур-аттракторов развития, потенциально содержащийся в ней, спектре, скрытый в ней как «молчаливое знание» этой системы. В процессе эволюционирования системы и оптимизации её приспособления, являясь мерилем хаоса и порядка, происходит постоянное изменение памяти об организации структуры динамических элементов, их связей и взаимодействия между её объектами или подсистемами. Так как процессы в развивающихся системах основаны на принципе опережающего отображения и являются информационно-динамическими, то возможно корректировать их состояние за счет притока информации не только *извне, но и из памяти системы.*

Как известно, в сложных системах, которые обладают большим числом долгоживущих динамических степеней свободы с длиннокорреляционными взаимодействиями, формируются зависимости в фазовом пространстве состояний. При переходе управления из пространственно-временной плоскости в фазовое пространство состояний определяется объём системной памяти и расширяется информационный ресурс системы.

Логично заключить, что формы системного управления носят как явный, так и неявный характер, проявляя при этом как структурное влияние, так и безструктурные воздействия, используя внутренний сформированный тезаурус системной памяти, аккумулированный на втором контуре обратных связей накопления опыта и развития системы. При этом сложные системы, к которым относится и система кардиогемодинамики, не программируются в привычном смысле этого слова, а обучаются. Обучение в данном контексте обозначает, что система учится правильно предугадывать входные данные. Она сравнивает непрерывно меняющиеся входные сигналы и информацию, имеющуюся в памяти, и прогнозирует следующие сигналы. Запоминание и распознавание паттернов является основой для выработки этих предсказаний. После того, как иерархическая память системы выучила, какие паттерны, скорее всего, следуют за какими, она может предсказать появление следующих паттернов на основе прошлых и текущих входов.

Из бесконечного континуума окружающего мира мозг выделяет дискреты восприятия («образы элементов мира»), состояние которых он постоянно предсказывает и отслеживает. Динамические параметры внутреннего состояния в виде структурно-функциональной схемы системной организации в обеспечении гомеостаза и поддержания адаптационных параметров в пределах физиологической нормы так же формируют определённый «образ-символ». В дальнейшем, эволюционно сформированный в онтогенезе функциональный «образ» и является аттрактором приспособительного результата, что актуально рассматривать с позиции типов научной рациональности [10-12]. В табл. 3 отражены основные особенности приспособления с учётом типа рациональности.

Аналогично процессам мышления, организация функциональных систем в поддержании гомеостаза, например кардиореспираторной системы, моделируется средствами нейрокомпьютинга, а в описании их механизмов необходимо использование диагностического критерия «образа» процесса.

Такая когнитивно-информационная модель, выраженная графически, может быть отражением системного аттрактора положительного результата и *мерой* функциональных изменений в процессе приспособления, что позволяет разрешить проблемные вопросы прогностической диагностики кардиогемодинамики и совершенствовать кардиомониторинг с целью раннего выявления дисфункционального функционирования.

Особенности атрибутивности приспособления в зависимости от типов научной рациональности

| Тип рациональности | Характеристика | Объект системобразования приспособления | Системообразующий фактор | Представление организации системы | Атрибут приспособления |
|--------------------|--|---|--------------------------------------|--|---|
| Классический | Причинно-детерминированность | Пространственно-временное свойство | Мера регуляции и саморегуляции | Пространственно-структурное | Норма структурно-временных показателей, «структурный след» адаптации |
| Неклассический | Вероятностный, детерминировано стохастичный, сети, матрицы, флюктуации | Энерго-информационный процесс | Мера саморегуляции и самоорганизации | Функционально-вероятностное | Норма реакции, вариативность, степень флюктуаций |
| Постнеклассический | Нелинейные переходы, самоподобие, фрактальность | Синергетически-когнитивное качество | Мера когнитивности и синергичности | Фазовое пространство состояний, образ системы, фазовый портрет, степень фрактальности, параметры порядка | Параметры порядка и принцип подчинения, Функциональный след приспособления - системный когнитивный образ |

Выводы:

1. При изучении фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ у 105 юношей в возрасте 19 лет с разным уровнем адаптационных резервов (по показателю максимального потребления кислорода), успешная адаптация в группе условно здоровых юношей 19 лет в покое, соответствовала определённому коридору разброса фазовых траекторий, которые составили в среднем $19,3 \pm 1,0$ ед. При этом с увеличением уровня тренированности показатель размаха фазовой графической иллюстрации уменьшался до 14,6 ед.

2. При анализе фазовой графической иллюстрации одноканальной ЭКГ у 210 условно здоровых обучающихся школ 1, 5, 9 и 11 классов в возрасте от 7 до 17 лет выявлено снижение значений СКО β_T в среднем в два раза ($p < 0,01$) у школьников всех возрастных групп со сниженным уровнем двигательной активности.

3. Когнитивно-информационная модель, выраженная графически, может быть отражением системного аттрактора положительного результата и *мерой* функциональных изменений в процессе приспособления, что позволяет разрешить проблемные вопросы прогностической диагностики кардиогемодинамики и совершенствовать кардиомониторинг с целью раннего выявления дисфункционального функционирования.

Литература

- Беленков Ю.Н., Мареев В.Ю., Агеев Ф.Т. Эпидемиологическое исследование сердечной недостаточности: состояние вопроса // Журнал сердечная недостаточность. 2002. Т. 3, № 2. С. 57–58.
- Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Филатов М.А. COMPLEXITY – особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 1. С. 17–22.
- Ластовецкий А.Г. Снижение артериального давления в группе высокого риска как оптимальная стратегия профилактики осложнений болезней системы кровообращения. Окружающая среда, здоровье, здравоохранение. Материалы межинститутской научной конференции, посвященной 60-летию образования в МГМСУ кафедры общей гигиены. 8 февраля 2006 г. Москва (ФАЗСРРФ ГОУ ВПО «Московский Государственный Медико-стоматологический Университет» Росздрава. М., 2006. С. 36–38.
- Ластовецкий А.Г., Пацукова Д.В. Рисквая составляющая оценки здоровья лиц и прогноз наступления сосудистых катастроф старших возрастных групп с использованием логистической модели как фактор восстановительных мероприятий // Вестник восстановительной медицины. 2013. №2(54). С. 86–90.
- Логов А.Б., Замараев Р.Ю. Кардиодиагностика в информационно-фазовом пространстве // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 1. С. 117–121.

6. Мезенцева Л.В. Чомахидзе П.Ш., Копылов Ф.Ю., Перцов С.С., Ластовецкий А.Г. Анализ переходов между линейными и нелинейными режимами кардиоритма у больных с ишемической болезнью сердца // Патогенез. 2017. Т. 15, № 1. С. 54–58.
7. Мезенцева Л.В. Mathematical Analysis of the Stability of Heart-Rate Dynamics in Postinfarction Patients // Biophysics. 2017. Vol. 62, №3. P. 499–502.
8. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. М.: Физкультура и спорт, 1988. 208 с.
9. Костродымов Н.Н., Разумов А.Н., Володин В.Д. Инновационный потенциал кардиологии – в практику. В сборнике: Интеграционные процессы мирового научно-технологического развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 2-х частях / под ред. Ткачевой Е.П. 2017. С. 104–110.
10. Стародубов В.И., Иванова А.Е. Анализ изменений и прогноз смертности населения в связи с мерами демографической политики // Социальные аспекты здоровья населения. 2009. Т. 9, № 1. С. 1.
11. Стёпин В.С. Классика, неклассика, постнеклассика: критерии различия. В книге: Постнеклассика: философия, наука, культура. РАН, Институт философии, Национальная академия наук Украины, Центр гуманитарного образования. Санкт-Петербург, 2009. С. 249–295.
12. Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Джумагалиева Л.Б., Гудкова С.А. Понятие трех глобальных парадигм в науке и социумах // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. №3. С.35–45.
13. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. К.: Образование Украины, 2013. 190 с.

References

1. Belenkov YN, Mareev VY, Ageev FT. Epidemiologicheskoe issledovanie serdechnoy nedostatochnosti: sostoyanie voprosa [Epidemiological study of cardiac non-sufficiency: state of issue]. Zhurnal serdechnaya nedostatochnost'. 2002;3(2):57-8. Russian.
2. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Filatov MA. SOMPLEXITY – osobyuy tip biomeditsinskikh i sotsial'nykh system [COMPLEXITY is a special type of biomedical and social systems]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;20(1):17-22. Russian.
3. Lastovetskiy AG. Snizhenie arterial'nogo davleniya v grupe vysokogo riska kak optimal'naya strategiya profilaktiki oslozhneniy bolezney sistemy krovoobrashcheniya [lowering blood pressure in the high-risk group as an optimal strategy for the prevention of complications of circulatory diseases]. Okruzhayushchaya sreda, zdorov'e, zdravookhranenie. Materialy mezhhinstitutskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu obrazovaniya v MGMSU kafedry obshchey gigieny. 8 fevralya 2006 g. Moskva (FAZSRRF GOU VPO «Moskovskiy Gosudarstvennyy Mediko-stomatologicheskiiy Universitet») Roszdrava. Moscow; 2006. Russian.
4. Lastovetskiy AG, Patsukova DV. Riskovaya sostavlyayushchaya otsenki zdorov'ya lits i prognoz nastupleniya sosudistykh katastrof starshikh vozrastnykh grupp s ispol'zovaniem logisticheskoy modeli kak faktor vosstanovitel'nykh meropriyatiy [Risky component of assessing the health of individuals and prediction of occurrence of vascular events in older age groups using logistic models as a factor of rehabilitation measures]. Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny. 2013;2(54):86-90. Russian.
5. Logov AB, Zamaraev RYu. Kardiadiagnostika v informatsionno-fazovom prostranstve [cardiac Diagnosis in the information-state space]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2015;14(1):117-21. Russian.
6. Mezentseva LV, Chomakhidze PS, Kopylov FY, Pertsov SS, Lastovetskiy AG. Analiz perekhodov mezhdru lineynymi i nelineynymi rezhimami kardioritma u bol'nykh s ishemicheskoy bolezn'yu serdtsa [Analysis of transitions between linear and nonlinear modes of the heart rate in patients with ischemic heart disease]. Patogenez. 2017;15(1):54-8. Russian.
7. Mezentseva LV. Mathematical Analysis of the Stability of Heart-Rate Dynamics in Postinfarction Patients. Biophysics. 2017;62(3):499-502.
8. Karpman VL, Belotserkovskiy ZB, Gudkov IA. Testirovanie v sportivnoy meditsine [Testing in sports medicine]. Moscow: Fizkul'tura i sport; 1988. Russian.
9. Kostrodymov NN, Razumov AN, Volodin VD. Innovatsionnyy potentsial kardiologii – v praktiku. V sbornike: Integratsionnye protsessy mirovogo nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya [the Innovative potential of the cardiology practice. In the collection: Integration processes of world scientific and technological development]. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. pod red. Tkachevoy EP. 2017. Russian.
10. Starodubov VI, Ivanova AE. Analiz izmeneniy i prognoz smertnosti naseleniya v svyazi s merami demograficheskoy politiki [the analysis of changes and the forecast of mortality of the population in connection with measures of demographic policy]. Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya. 2009;9(1):1. Russian.

11. Stepin VS. Klassika, neklassika, postneklassika: kriterii razlichiya. V kni-ge: Postneklassika: filoso-fiya, nauka, kul'tura [Classic, Classica, postclassic: criteria of distinction]. RAN, Institut filosofii, Natsional'naya akademiya nauk Ukrainy, Tsentр gumanitarnogo obrazovaniya. Sankt-Peterburg; 2009. Russian.

12. Khadartsev AA, Filatova OE, Dzhumagalieva LB, Gudkova SA. Ponyatie trekh global'nykh paradigm v nauke i sotsiumakh [the Concept of the three global paradigms in science and society]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013;3:35-45. Russian.

13. Faynzil'berg LS. Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu elektrokardiogrammy [Computer diagnostics on the phase portrait of the electrocardiogram]. Kiev: Obrazovanie Ukrainy; 2013. Russian.

Библиографическая ссылка:

Минина Е.Н., Ластовецкий А.Г. Особенности прогнозирования эффективности функционирования кардиогемодинамики с учётом линейных и хаотических режимов // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2018. №2. Публикация 2-1. URL: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2018-2/2-1.pdf> (дата обращения: 02.03.2018). DOI: 10.24411/2075-4094-2018-15994.