Дата публикации: 01.03.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_48
УДК 612.886:796

Publication date: 01.03.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_48
UDC 612.886:796

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАЗОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА КАК МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ГРАНИ НОРМА-ПАТОЛОГИЯ В СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ

Е.Н. Минина[1], А.Г. Ластовецкий[2], Ю.В. Бобрик[1]
[1]ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия
[2]ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия», г. Москва, Россия

Аннотация. Цель исследования – применение фазографического анализа цифровой одноканальной электрокардиограммы в оценке особенностей электрической активности сердца на различных моделях как методологии прогнозирования на грани норма-патология у лиц с различным уровнем функциональных резервов. В решении задач медицинского прогнозирования сердечной деятельности метод фазографии, направленный на выявление общих закономерностей динамики изменения различных сигналов, убедительно показал возможность анализа эффективности функционирования деятельности миокарда на основе оценки скорости по фрагменту изучаемого сигнала в фазовой плоскости, а не констатировать уже свершившиеся патологические изменения. Такой подход может формировать методологию прогнозирования на грани норма-патология.
Ключевые слова: электрическая активность сердца, фазография, прогностическая диагностика.

IDENTIFYING PHASOGRAPHIC FEATURES OF THE CARDIAC ELECTRICAL ACTIVITY AS A PREDICTIVE METHODOLOGY AT THE BOUNDARY OF NORM AND PATHOLOGY IN SPORTS MEDICINE

E.I. Minina[1], A.G. Lastovetskij[2], Yu.V. Bobrik[1]
[1]V.I. Vernadskij Crimean Federal University, Simferopol', Russia
[2]Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

Annotation. This research investigates the possibility of using the phaseographic analysis of a digital single channel electrocardiogram in assessing features of the cardiac electrical activity on various models as a predictive methodology at the boundary of norm and pathology in individuals with different levels of functional reserves. Solving the issues of medical prediction of cardiac activity, the phaseography method, aimed at identifying the general patterns of the dynamics of changes in various signals, reliably presented a possibility to restore the overall picture and predict future situations by observing only parts (fragments) of the signals being studied, and not to state the already occurred pathological changes. Such approach can form a predictive methodology at the boundary of norm and pathology.
Key words: cardiac electrical activity, phasography, predictive diagnostics.

Введение. Традиционный подход к исследованию различных состояний организма в норме и патологии у спортсменов основывается на анализе набора соответствующих им хорошо определённых симптомов. Общепринято, что представления о болезни в клинической медицине должны быть конкретизированы в количественных характеристиках биохимических и физиологических процессов, а также морфологических показателей. Такие подходы направлены на выявление патологии путем поиска отличий от состояния здоровья. Между последним и патологией в качестве меры выступает состояние нормы, создающее значи-

тельные трудности в клинической диагностике у спортсменов. В данном случае наиболее адекватный в раннем различении нормы и патологии является адаптивный подход – оценка адаптационного резерва организма или системы [1]. Однако необходимо учитывать, что адаптация, как необходимый физиологический процесс, может перейти в дизадаптацию с развитием патологии [2], а компенсаторно-адаптационные изменения, в том числе кардиогемодинамики, возникающие в условиях патологии, формируют положительные саногенетические результаты. Изменение и исход функционирования в условиях конкуренции функциональных систем зависят от активационных ресурсов каждой из них. Диалектика этих преобразований и системных взаимодействий усложняет выявление и прогнозирование нарушений сердечной деятельности на начальных этапах у спортсменов.

Дальнейшее совершенствование медицинской практики возможно лишь при условии опережающего развития теории и накопления фундаментальных междисциплинарных знаний с привлечением в медицинский арсенал инструментария системных, информационных и цифровых методологий [3-4]. Выявление закономерностей системного и информационного характера открывают возможности анализа многомерных данных с порождением новых знаний, что позволяет в дальнейшем прогнозировать системное функционирование и выявлять риск возникновения патологии. При моделировании и создании методов поддержки диагностических решений существенное значение имеет накопленный опыт в использовании классификационных методов. Так же в настоящее время существует несколько принципиально новых диагностических подходов: создание экспертных систем, баз знаний, основанных на логических правилах со структурой семантических сетей или фреймов, использование принципа «порядок из хаоса», привлечение методов с использованием сетей Петри, методов на основе логики аргументации и др.

Важен прогностический подход и в кардиодиагностике при оценке эффективности электрической активности сердца у спортсменов. Исследования колебаний потенциалов, представляющих осциляторные процессы, позволяют идентифицировать механизмы и звенья патологических процессов различных систем организма человека, что нашло своё отражение в развитии электрокардиографии, электроэнцефалографии, миографии и др. Однако констатация уже произошедших изменений не способствует формированию своевременных программ проведения профилактических мероприятий и на ранних дисфункциональных стадиях устранять выявленные нарушения, а также оценивать эффективность реабилитационных программ.

Наибольшие возможности исследования кодовых соотношений в различных осциляторных системах представляют методы компьютерной когнитивной графики, визуализации и распознавания образов, активно внедряемые в области электроэнцефалографии и электрокардиографии. Разработка новых эффективных диагностических признаков, основанных на анализе скрытых системных показателей, увеличивают потенциальные возможности диагностических систем [5].

Согласно литературным данным, наиболее информативно отображение не временных показателей трансмембранных потенциалов, а скоростных характеристик электрической активности сердца (ЭАС), которые наиболее тесно связаны с состоянием мембран кардиомиоцитов, с процессами энергообеспечения, с сократительной способностью миокарда и метаболизмом липидов. Так же отмечается, что при увеличении внешнего стресс-фактора изменение скоростных показателей ЭАС происходит раньше, чем изменение величины трансмембранных потенциалов. Решением для получения скоростных характеристик может явиться дифференцирование процесса во времени или получение первой производной этого процесса [5].

Метод, применённый в данном исследовании, в реальный момент времени регистрирует и оценивает ЭАС в цифровых значениях и отображает в фазовом пространстве координат в виде фазовой графической иллюстрации [5-7].

Оперативный неинвазивный метод исследования скоростных показателей ЭАС при повышении стресс-индуцированной нагрузки разной модальности позволил точнее изучить проблему «серой зоны» пограничных состояний в дифференциальной диагностике нарушений функционирования сердца при занятиях спортом [8-13].

Целью исследования явилось применение фазографического анализа цифровой одноканальной электрокардиограммы в оценке особенностей электрической активности сердца на различных моделях как методологии прогнозирования на грани норма-патология.

Методы и организация исследования. Регистрацию и анализ фазовой графической иллюстрации ЭАС производили преобразованием одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве с помощью программно-технического комплекса ФАЗАГРАФ® [5]. Референтные диапазоны фазовой графической иллюстрации (ФГИ) и схема принятия диагностических решений по совокупности βT, STR, αQRS и σQRS были определены на когортах здоровых лиц, не занимающихся спортом, и лиц с патологией сердечно-сосудистой системы [7].

На первом этапе моделировали и изучали риск возникновения нарушения сердечной деятельности согласно схемы принятия диагностических решений по совокупности признаков ФГИ, без учёта вклада значимости каждого показателя, а на втором этапе производили уточнение референтных границ нормы фазографических показателей и рассчитывали алгоритм для классификации уровня функциональных резервов с учётом вклада каждого показателя у двух подгрупп юношей 19-20 лет с различным уровнем физической работоспособности (В.Л. Карпман). Группа квалифицированных спортсменов (n=131) характеризовалась высоким уровнем физической работоспособности (19,4 кгм/мин/кг). В контрольную группу (n=98) были включены юноши со средними показателями показателем физической работоспособности (14,4 кгм/мин/кг).

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 оценивали с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. В рамках данного исследования установлены количественные различия снижения уровня функционального резерва и риска нарушения сердечной деятельности с использованием фазографических показателей электрической активности сердца (ЭАС). Был проведён сравнительный анализ фазографических показателей ЭАС в покое в группах с различным уровнем функционального резерва (табл. 1). На первом этапе изучения риска нарушения сердечной деятельности было выявлено, что бальная оценка по совокупности фазорафических показателей без учёта вклада значимости каждого показателя пригодна для ранжирования уровня адаптационных резервов и риска снижения адаптационных возможностей у спортсменов при сравнении их с когортой не спортсменов (табл. 2).

Однако референтные диапазоны были определены на когортах лиц без учёта вклада значимости каждого показателя, что отразилось на возможности ранжирования уровня функционального резерва и выявления момента его снижения в когорте спортсменов в различных условиях тренировочного процесса.

Таблица 1

Фазографические показатели ЭАС в группах квалифицированных спортсменов и в группе контроля в покое, (n=229), Me (Q_1;Q_3)

ФСП ЭАС	Группы сравнения								Д
	Контроль (К) – не занимающиеся (n=98)				Квалифицированные спортсмены (КС) (n=131)				
	M± Sx	Me	Q1	Q3	M± Sx	Me	Q1	Q3	
β_T, ед.	0,76±0,001	0,76	0,70	0,83	0,64±0,01	0,64	0,60	0,69	<0,001
α_{QRS}, град.	132,4±4,1	119	106	166	141,9±2,2	138	124	157	<0,001
σ_{QRS}, ед.	21,12±1,12	18,1	15,0	23,7	15,9±0,4	15,0	12,9	18,5	<0,001
S_{TR}, ед.	0,034±0,003	0,03	0,02	0,04	0,05±0,01	0,04	0,02	0,05	<0,001

Примечание: ФСП ЭАС – фазографические показатели электрической активности сердца; Д – достоверность, рассчитанная по критерию Манна-Уитни

Таблица 2

Количественная характеристика риска нарушения сердечной деятельности по совокупности фазометрических показателей без учёта вклада значимости каждого показателя

Категория	∑фп, баллы
Юноши-спортсмены с высоким уровнем адаптационных резервов без нарушений	0,20±0,07
Юноши не занимающиеся спортом - контрольная группа	1,00±0,20
Достоверность	p<0,01

Примечание: ∑фп – сумма баллов, согласно схеме принятия решений по совокупности 4-х фазографических показателей

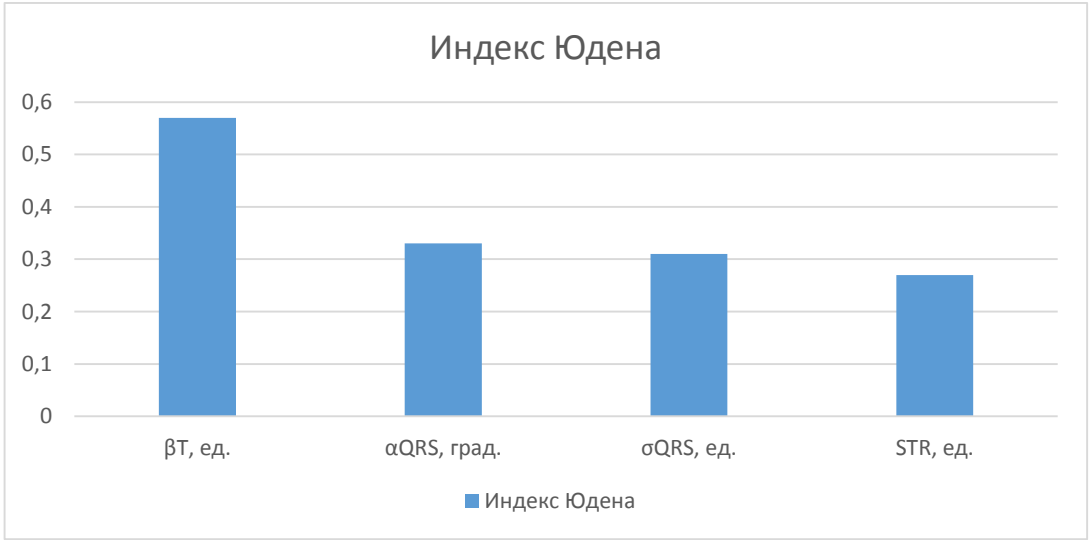


Рис. Индекс Юдена фазографических показателей ЭАС

Для персонификации значимости каждого фазографического показателя дополнительно было произведено сравнение диагностической эффективности (информативности) количественного и качественного определения показателей ФГИ с помощью ROC-анализа с построением ROC-кривых и оценкой AUC (площади под кривой). Наилучшую способность классифицировать уровень функциональных резервов миокарда по фазографическим скоростным показателям ЭАС проявил показатель βT, ед. при наибольшем интегральном индексе Юдена (рис.).

Так же определено, что вклад различных фазографических показателей электрической активности сердца в окончательное решение классификации уровня функциональных резервов миокарда не равнозначен.

С применением метода множественной бинарной логистической регрессии получен алгоритм для классификации уровня функциональных резервов с учётом вклада каждого показателя. С его применением возможно прогнозировать принадлежность как к группе лиц с высоким уровнем физической работоспособности (высокая чувствительность), так и к группе лиц с недостаточным уровнем физической работоспособности (высокая специфичность), с точностью предсказания 93,2% и 84,7% соответственно.

Высокий уровень резервов диагностируется при условии получения значений $y>57$, где $y=10,98-13,66\beta T+0,00043\alpha QRS-0,088\sigma QRS+8,11STR$.

Таким образом, прогноз, полученный с помощью фазометрического подхода и учёта вклада каждого показателя, характеризует тенденцию развития процессов в системе, а не значения численных показателей, которые получены путем обработки данных об уже совершившихся процессах.

Заключение. Установлены количественные различия и пороговые правила снижения уровня функционального резерва и риска нарушения сердечной деятельности с использованием фазографических показателей электрической активности сердца. Бальная оценка по совокупности фазорафических показателей без учёта вклада значимости каждого показателя пригодна для ранжирования уровня адаптационных резервов и риска снижения адаптационных возможностей у спортсменов при сравнении их с кагортой неспортсменов. Персонификация значимости каждого фазографического показателя дополнительно была произведена посредством сравнения диагностической эффективности (информативности) количественного и качественного определения показателей ФГИ с помощью ROC-анализа. Определено, что вклад различных фазографических показателей электрической активности сердца в окончательное решение классификации уровня функциональных резервов миокарда не равнозначен. В решении задач медицинского прогнозирования сердечной деятельности метод фазометрии, направленный на выявление системных закономерностей изменения скорости ЭАС, достоверно реализовал возможность детекции сердечной деятельности на грани нормы и патологии по наблюдению только частей (фрагментов) изучаемых сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Н.А. Агаджанян, Р.М. Баевский, А.П. Берсенёва // М.: Изд-во РУДН. – 2006. – 284 с.
2. Чурилов Л.П. Клинико-патофизиологические размышления о здоровье и болезни. Сообщение 1 / Л.П. Чурилов // Норма и здоровье. Вестник Международной академии наук (Русская секция). – 2016. – Т. 8. – № 1. – С. 21-29.
3. Курако М.А. Количественный морфологический анализ медицинских изображений на основе шиарлет-преобразования / М.А. Курако, К.В. Симонов, Т.В. Черепанова // В сборнике: Моделирование неравновесных систем-2017. Материалы XX Всероссийского семинара. – 2017. – С. 75-79.
4. Черепанова Т.В. Морфологический анализ медицинских изображений на основе шиарлет-преобразования / Т.В. Черепанова, М.А. Курако, А.С. Кругляков, К.В. Симонов // Медицина и высокие технологии. – 2017. – № 4. – С. 68-75.
5. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л.С. Файнзильберг // Освіта України. – 2013. – 190 с.
6. Минина Е.Н. Особенности прогнозирования эффективности функционирования кардиогемодинамики с учётом линейных и хаотических режимов / Е.Н. Минина, А.Г. Ластовецкий // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2018. – № 2. – Публикация 1-1.
7. Минина Е.Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е.Н. Минина // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. – 2013. – Т. 26(65). – № 2. – С. 148-153.

8. Минина Е.Н. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ / Е.Н. Минина, Л.С. Файнзильберг // Российский кардиологический журнал. – 2015. – Т. 12(128). – С. 7-13.
9. Минина Е.Н. Особенности реполяризации миокарда при действии смоделированных рекреационных факторов Крыма / Е.Н. Минина, А.Г. Ластовецкий, Ю.В. Бобрик // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2018 – № 4. – С. 21-35.
10.Минина Е.Н. Использование фазовой графической иллюстрации ЭКГ-циклов в качестве диагностического критерия изменения функции миокарда / Е.Н. Минина, А.Г. Ластовецкий // Научные ведомости БелГу. Серия: Медицина. Фармация. – 2018. – Т. 41. – № 2. – С. 269-279.
11.Минина Е.Н. Функциональные особенности кадиогемодинамики и её регуляция у боксёров-любителей 30-35 лет разной квалификации / Е.Н. Минина, В.В. Минин // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 9(127). – С. 132-138.
12.Минина Е.Н. Фазометрия ЭКГ-сигнала как стратегия оптимизации первичной медико-социальной помощи / Е.Н. Минина, А.Г. Ластовецкий // Медицина и высокие технологии. – 2018. – № 1. – С. 29-36.
13.Минина Е.Н. Возможности оценки процессов реполяризации миокарда с использованием эталонного кардиоцикла / Е.Н. Минина, З.Р. Курбетдинова, И.Ю. Тимашов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2015. – Т. 1(67). – № 4. – С. 26-35.

REFERENCES

1. Aghajanyan N.A. Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases / N.A. Aghadzanyan, R.M. Baevskij, A.P. Berseneva // M.: Publishing House of the PFUR. – 2006. – 284 p.
2. Churilov L.P. Clinical and pathophysiological reflections on health and disease. Report 1 / L.P. Churilov // Standard and Health. Bulletin of the International Academy of Sciences (Russian Section). – 2016. – Vol. 8. – № 1. – P. 21-29.
3. Kurako M.A. Quantitative morphological analysis of medical images based on the Shearlet Transform / M.A. Kurako, K.V. Simonov, T.V. Cherepanova // From the collection: Modeling of Nonequilibrium Systems-2017. Materials of the XX All-Russian Seminar. – 2017. – P. 75-79.
4. Cherepanova T.V. Morphological analysis of medical images based on the Shearlet Transform / T.V. Cherepanova, M.A. Kurako, A.S. Kruglyakov, K.V. Simonov // Medicine and Cutting-Edge Technologies. – 2017. – № 4. – P. 68-75.
5. Fajinzil'berg L.S. Computer diagnostics based on the phase portrait of an electrocardiogram / L.S. Fajinzil'berg // Education of Ukraine. – 2013. – 190 p.
6. Minina E.N. Features of predicting the efficiency of cardiac hemodynamics' functioning, taking into account linear and chaotic modes / E.N. Minina, A.G. Lastovetskij // Bulletin of New Medical Technologies. Electronic edition. – 2018. – № 2. – Publication 1-1.
7. Minina E.N. Analysis of the ECG T-wave within phase space in case of determining the myocardium's functional reserves / E.N. Minina // Scientific Notes of V.I. Vernadskij Taurida National University. Series: Biology. Chemistry. – 2013. – Vol. 26(65). – № 2. – P. 148-153.
8. Minina E.N. Analysis of the functional state of the cardiovascular system according to the conjunction of signs of a phase portrait of a Single Channel ECG / E.N. Minina, L.S. Fajinzil'berg // Russian Journal of Cardiology. – 2015. – Vol. 12(128). – P. 7-13.
9. Minina E.N. Features of myocardial repolarization under the influence of modelled recreational factors of Crimea / E.N. Minina, A.G. Lastovetskij, Yu.V. Bobrik // Bulletin of Physical Therapy and Spa Medicine. – 2018 – № 4. – P. 21-35.
10.Minina E.N. The use of phase graphic illustration of ECG cycles as a diagnostic criterion for changes in myocardial function / E.N. Minina, A.G. Lastovetskij // Scientific Bulletin of BelSU. Series: Medicine. Pharmacy. – 2018. – Vol. 41. – № 2. – P. 269-279.
11.Minina E.N. Functional features of cadiohemodynamics and its regulation in 30-35 year old amateur boxers of different qualifications / E.N. Minina, V.V. Minin // Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University. – 2015. – № 9(127). – P. 132-138.
12.Minina E.N. Phasometry of ECG-signal as a strategy of optimizing primary medical and social support / E.N. Minina, A.G. Lastovetskij // Medicine and Cutting-Edge Technologies. – 2018. – № 1. – P. 29-36.
13.Minina E.N. The possibilities of assessing the processes of myocardial repolarization using a reference cardiocycle / E.N. Minina, Z.R. Kurbetdinova, I.Yu. Timashov // Scientific Notes of the V.I. Vernadskij Crimean Federal University. Biology. Chemistry. – 2015. – Vol. 1(67). – № 4. – P. 26-35.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Елена Николаевна Минина – доктор медицинских наук, доцент института «Медицинская академия им. С.И. Георгиевского» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, e-mail: cere-el@yandex.ru.
Альберт Генрихович Ластовецкий – доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, Москва, e-mail: albertlast@yandex.ru.
Юрий Валериевич Бобрик – доктор медицинских наук, профессор ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, e-mail: cere-el@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Elena Nikolaevna Minina – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the S.I. Georgievsk Medical Academy, V.I. Vernadskij Crimean Federal University, Simferopol', e-mail: cere-el@yandex.ru.
Al'bert Genrikhovich Lastovetskij – Doctor of Medical Sciences, Professor, Central State Medical Academy of the Directorate of the President of the Russian Federation, Moscow, e-mail: albertlast@yandex.ru.
Yurij Valerievich Bobrik – Doctor of Medical Sciences, Professor, V.I. Vernadskij Crimean Federal University, Simferopol', e-mail: cere-el@yandex.ru.

Для цитирования: Минина Е.Н. Выявление фазографических особенностей электрической активности сердца как методология прогнозирования на грани норма-патология в спортивной медицине / Е.Н. Минина, А.Г. Ластовецкий, Ю.В. Бобрик // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_48

For citation: Minina E.I. Identifying phasographic features of the cardiac electrical activity as a predictive methodology at the boundary of norm and pathology in sports medicine / E.I. Minina, A.G. Lastovetskij, Yu.V. Bobrik // Modern Issues of Biomedicine. – 2022. – Vol. 6. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_48