

НОВЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ ВЗАИМОСВЯЗИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ И ЭЛЕКТРОГЕНЕЗА У СПОРТСМЕНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА

Е.Н. МИНИНА

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

Аннотация. В современном спорте результат зависит от многих аспектов, включая технические, тактические, физические, физиологические и психологические факторы, а также наследственность и тренированность спортсменов. Диагностика функционального состояния и выявление механизмов формирования приспособительного ответа организма на нагрузку позволяет проанализировать эти факторы по отдельным компонентам. Как известно, миокард является чувствительным индикатором способности потреблять кислород, которая может быть лимитирующим фактором аэробных функциональных возможностей и резервов не только сердечной мышцы, но и всего организма. При этом повышение потребности миокарда в кислороде, в том числе и при увеличивающейся нагрузке, приводят к ишемическим нарушениям, при возникновении которых страдают все процессы мембранного электрогенеза: возбудимость клеток миокарда, автоматизм биоэлектрических процессов в миокарде, и в том числе процессы де- и реполяризации

Установлено, что оригинальные признаки эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, которые автоматически вычисляются аппаратно-программным комплексом ФАЗАГРАФ® с пальцевыми электродами, несут дополнительную диагностическую ценность при количественной оценке уровня функционального состояния миокарда эталонного кардиоцикла, который формируется во временной области по координатам усредненной фазовой траектории, может отражать особенности электрогенеза. При этом высокая степень взаимосвязанности показателей эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ с количественными значениями функциональной подготовленности спортсменов (мощности, экономичности и эффективности) позволяет использовать эталонный кардиоцикл в диагностике функциональных нарушений кардиогемодинамики с целью выявления звеньев, нуждающихся в реабилитации, коррекции и оптимизации.

Ключевые слова: эталонный кардиоцикл, одноканальная ЭКГ, аппаратно-программный комплекс ФАЗАГРАФ®, функциональная подготовленность спортсменов-футболистов.

A NEW APPROACH TO EXAMINE THE RELATIONSHIP BETWEEN FUNCTIONAL PREPAREDNESS AND ELECTROGENESIS IN THE ATHLETES USING THE ETALON CARDIOCYCLE

E.N. MININA

Taurida National V.I. Vernadsky University, Vernadsky av., 4, Simferopol, Republic of Crimea,

Abstract. In modern sport, the result depends on many aspects, including technical, tactical, physical, physiological and psychological factors, as well as heredity and fitness athletes. Diagnostics functional status and identification of mechanisms of formation of the adaptive response of the organism to the load allows to analyzing these factors for individual components. Well known, the myocardium is sensitive the indicator's ability to consume oxygen, which can be a limiting factor in aerobic functional capacities and reserves not only of the heart muscle, but also the entire body. With this increasing needs of the myocardium in oxygen, including under increasing load, lead to ischemic disorders, in the event which suffer all the processes of membrane electrogenesis: excitability of myocardial cells, bioelectric automaticity processes in the myocardium, including the processes of de - and repolarization.

It is found that the original features of the reference cardiocycle (EC) single-channel ECG that can be computed in hardware-software complex FAZAGRAF® with finger electrodes have an additional diagnostic value in quantifying the level of the functional state of the myocardium EC, which is formed in the time domain to the coordinates of the averaged phase trajectory and main traditional ECG signs doesn't depend on the lead systems may reflect the characteristics of electrogenesis. The high degree of single-channel correlation indices EC ECG with quantitative values of functional training athletes (power, economy and effectiveness) allows to use EC in the diagnosis of functional disorders of cardiac hemodynamic to identify units in need of rehabilitation, correction and optimization.

Key words: reference cardiocycle, single-channel ECG, hardware-software complex FAZAGRAF®, functional preparedness players.

В современном спорте результат зависит от многих аспектов, включая технические, тактические, физические, физиологические и психологические факторы, а также наследственность и тренированность

спортсменов. Диагностика функционального состояния и выявление механизмов формирования приспособительного ответа организма на нагрузку позволяет проанализировать эти факторы по отдельным компонентам и использовать полученную информацию для составления индивидуальных профилей функционального состояния спортсменов с указанием сильных и слабых сторон. Такие результаты должны формировать основу для оптимального планирования стратегии тренировочных программ, выявления лимитирующих факторов адекватного функционирования и отбора спортсменов [7-9].

Определение оптимального соотношения в проявлении уровня развития отдельных компонентов функциональной подготовленности и поиск новых информативных методик их мониторинга является одним из важнейших научных и практических вопросов подготовки спортсменов. Своевременное выявление тех аспектов функциональной подготовленности, по которым еще возможно дальнейшее повышение уровня показателей у отдельно взятого спортсмена и на которые нужно сделать акцент при планировании схем тренировок, может значительно повысить процент полезных действий и улучшить выполнение специфических спортивных функций за счёт эффективной адаптации к нагрузке.

Как известно, миокард является чувствительным индикатором способности потреблять кислород, которая может быть лимитирующим фактором аэробных функциональных возможностей и резервов не только сердечной мышцы, но и всего организма. При этом повышение потребности миокарда в кислороде, в том числе и при увеличивающейся нагрузке, приводят к ишемическим нарушениям, при возникновении которых страдают все процессы мембранного электрогенеза: возбудимость клеток миокарда, автоматизм биоэлектрических процессов в миокарде, и в том числе процессы де- и реполяризации [2, 4].

В решении задачи выявления функциональных изменений актуально использование новых диагностических технологий, основанных на достижениях математической науки и реализованных в технически-инновационных приборах, которые позволяют совместить точность и быстроту измерений, повысить эффективность исследований и реабилитационного процесса [1]. Современные компьютерные технологии регистрации и анализа ЭКГ в этом отношении являются перспективными [3]. 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 ФА-ЗАГРАФ®, 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 [6]. Данный метод обработки кардиосигнала позволяет получать *эталонный кардиоцикл* (ЭК), во временной области по усредненной фазовой траектории (рис 1), по которому определяются диагностические признаки, не зависящие от системы отведения, в том числе, оригинальный диагностический признак β_T , несущий информацию о симметрии участка реполяризации.

Цель исследования – выявление взаимосвязи параметров эталонного кардиоцикла, отражающего особенности электрогенеза миокарда и общего уровня функциональной подготовленности спортсменов, на примере футболистов в условиях максимально приближенных к условиям их основной спортивной деятельности.

Материалы и методы исследования. Обследование проводилось на спортивной базе ФК «Таврия». Всего в полевых условиях было обследовано 25 спортсменов, среди них 3 нападающих, 2 вратаря, 12 полузащитников, 8 защитников. Обследование спортсменов для оценки их уровня функциональной подготовленности проводилось в полевых условиях с использованием комплекса нагрузок максимального и умеренного характера. Во время теста футболист выполнял постоянный челночный бег или ходьбу между двумя маркерами (линиями или фишками), которые находились на расстоянии 20 метров одна от другой. Скорость бега задавалась и контролировалась предварительно записанными аудиосигналами. Выполнение теста считалось законченным, если спортсмен дважды не успевал до следующего маркера по сигналу. После этого испытуемый переходил в фазу восстановления. Тест длится от 10-15 минут в зависимости от индивидуального времени прохождения фазы максимальной нагрузки, дополнительно время затрачивается на подготовку.

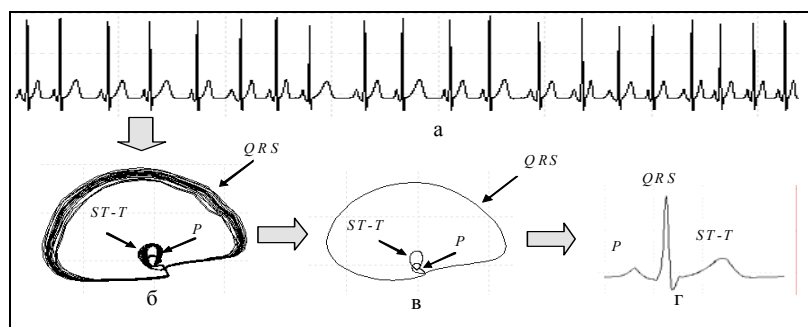


Рис.1. Последовательность этапов обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория (б); усредненная фазовая траектория (в); эталонный цикл ЭКГ во временной области (г)

Программа тестирования проводилась в следующей последовательности и с использованием таких фаз тестирования:

1. 1 минута в состоянии покоя в положении стоя;
2. 5-15 минут ступенчато возрастающий челночный непрерывный бег, начиная со скоростью 10 км·час⁻¹+0,5 км·ч.⁻¹ каждую минуту;
3. 3 минуты челночная ходьба со скоростью 5 км·час⁻¹ (восстановление).

Уровень функциональной подготовленности спортсменов определялся по функциональным проявлениям системы дыхания и кровообращения в ответ на выполняемые тестирующие нагрузки и по достигаемым при этом показателям работоспособности. Использовались следующие инструментальные методы исследования: эргометрия (челночный бег), газоанализ, пульсометрия, методы математической статистики. Обследования проводились с использованием быстродействующего портативного автоматического газоанализатора MetaMax 3В (Cortex, Германия), который обеспечивает телеметрическую регистрацию получаемых данных в реальном режиме времени. В процессе выполнения нагрузок футболистов формировался исходный начальный сводный массив данных с усреднением по 30 секунд. В качестве исходных для анализа использовались следующие параметры: время тестирования (мин:с), минутный объем дыхания (МОД, л·мин⁻¹), частота дыхания (ЧД, дыханий·мин⁻¹), дыхательный объем (ДО, л), потребление кислорода (ПК, л·мин⁻¹), выделение углекислого газа (ВУГ, л·мин⁻¹), частота сердечных сокращений (ЧСС, уд·мин⁻¹). По результатам выполнения блока тестирующих нагрузок рассчитывали комплекс показателей, которые позволяют дифференцировать ведущие факторы функциональной подготовленности [5]. Регистрацию и анализ одноканальной ЭКГ в фазовом пространстве проводили с помощью программно-технического комплекса «ФАЗА-ГРАФ®», Анализировали следующие параметры: продолжительности (с) QRS, R, QT, T и оригинальный признак β_T , ед. Анализ экспериментальных данных проводилась с помощью пакета STATISTICA-6.0.

Результаты и их обсуждение. Проведенное обследование позволило получить данные, характеризующие общий уровень функциональной подготовленности спортсменов, а также степень развития таких ее ведущих свойств как аэробная мощность, экономичность и эффективность систем энергообеспечения и определить особенности взаимосвязи этих параметров с показателями ЭК. Полученные результаты отображены в таблице.

Таблица

Корреляционные взаимосвязи функциональной подготовленности и показателей эталонного кардиоцикла у футболистов высокой квалификации, n=25

	Показатели	QRS, с	R, с	QT, с	T, с	β_T , ед
1	МПК, МЛ·МИН ⁻¹ ·КГ ^{-0,75}	-	-	-	-	-0,59
	Время бега в челночном тесте (только фаза ступенчато-возрастающей нагрузки), мин:с	0,62	0,57	-	-	-0,47
2	ПК, МЛ·МИН ⁻¹ ·КГ ^{-0,75}	-	-	0,61	-	-
3	Восстановление ЧСС за 2 минуты, на кол. уд·мин ⁻¹	-	-	-	-0,63	0,72

Примечание: 1 – показатели аэробной мощности; 2 – показатель экономичности; 3 – показатель эффективности; ранговые корреляции Спирмена значимы на уровне $p < 0,0005$

Максимальное потребление кислорода (МПК) – это один из параметров, который наиболее часто использовался как индикатор аэробного метаболизма и мощности, поскольку он предоставляет важную информацию о функциональных возможностях кислородтранспортной системы игроков и является важным показателем обуславливающим способность футболистов выполнять свои функции во время матча. Как видно из табл. 1, высокая степень отрицательной корреляции показателя β_T и МПК (рис. 2), которая согласуется с предыдущими полученными результатами [4] и еще раз подтверждает значимость этого показателя как маркера кардиометаболических процессов. Так, у спортсменов-футболистов с увеличением симметрии зубца T в покое МПК проявляло тенденцию к росту.

В этой связи, изменение процессов реполяризации, количественно выраженные ростом показателя симметрии зубца T, отражает пороговую способность миокарда потреблять кислород и может быть выражено уравнением линейной регрессии $МПК = 213,97 - 58,06 \times \beta_T$.

Так же анализ взаимосвязи показателей эталонного кардиоцикла и времени бега в фазе ступенчато-возрастающей нагрузки в челночном беге показал высокую степень корреляции аэробной мощности спортсменов с продолжительностью комплекса QRS (табл.). Как известно, миокард (в отличие от других тканей) не в состоянии компенсировать снижение кровотока извлечением большего количества кислорода из гемоглобина и любое повышение метаболических потребностей миокарда должно сопровождаться увеличением

объема коронарного кровотока. Вероятно, находясь на пике нагрузке, когда резервы кардиодинамики исчерпаны, гипоксическое состояние миокарда отражалось и на процессах де- и реполяризации. При этом исходное состояние миокарда в покое, выраженное параметрами эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, может давать информацию не только о потенциальных резервах миокарда, но и об аэробной мощности организма в целом.

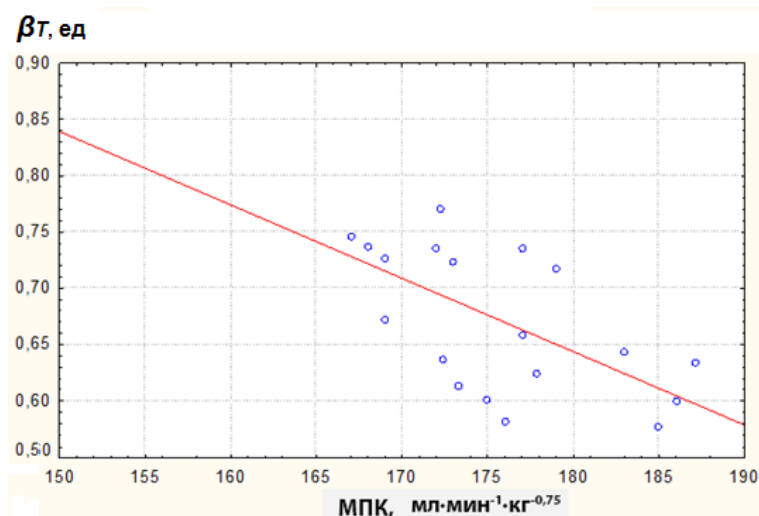


Рис. 2. Диаграмма зависимости показателей максимального потребления кислорода (МПК) и симметрии зубца Т (β_T)

Как известно, являясь важным фактором функциональной подготовленности, экономичность функционирования отображает способность организма к минимизации энергетических затрат его деятельности в условиях выполнения тренировочных (специфичного и неспецифичного характера) и соревновательных нагрузок. Экономичность бега обычно выражается в ПК на метр или в минуту при беге определенной интенсивности. При работе одинаковой интенсивности потребление кислорода значительно отличается у спортсменов с приблизительно одинаковыми показателями МПК. При этом показатели экономичности могут отличаться до 20% между игроками и влиять на работоспособность. Точные механизмы в отношении различия в экономичности не ясны. Однако в большей степени на экономичность бега влияет анатомическое строение тела, техника бега, состав мышечных волокон, наследственная предрасположенность а так же эффективность метаболических процессов, различия в которой может отражаться на скорости изменения электрического потенциала миокарда, что можно зарегистрировать графически. Интервал QT отражает длительность электрической систолы желудочков, суммарную длительность процессов де- и реполяризации желудочков.

Так, в нашем исследовании было выявлено, что средний показатель продолжительности QT в группе футболистов составил 397 ± 6 мс, а увеличение интервала QT коррелировало со снижением экономичности функциональных систем (табл.). В свою очередь, удлинение этого интервала выше 460 мс или укорочение менее 360 мс (что наблюдается значительно реже) для спортсменов является не благоприятным и свидетельствуют или о генетических нарушениях, или о функциональных изменениях, которые наиболее часто встречаются при употреблении определённых препаратов, электролитных нарушениях, особенностях диеты и ишемии миокарда [5].

Таким образом, параметры эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ, выявляя скоростные особенности распространения кардиосигнала, отражают так же их взаимосвязь с экономичностью функционирования всего организма.

Наравне с мощностью и экономичностью, следующим из факторов функциональной подготовленности являлась функциональная эффективность организма, которая отражает его способность к быстрому разворачиванию деятельности функций в начале выполнения нагрузки и их скорейшему восстановлению после ее окончания. Подвижность функциональных проявлений организма (восстановление и скорость разворачивания реакций) указывает на его способность адекватным образом реагировать на изменение темпа и интенсивности выполняемой физической нагрузки, что также является характерным для условий тренировочной и соревновательной деятельности в условиях игровой деятельности в футболе. Показатель скорости восстановления ЧСС является одним из самых точных при описании подвижности функциональных проявлений. Скорость восстановления ЧСС после максимальной нагрузки отражает скорость реактивации парасимпатической системы, что подтверждается в нашем исследовании высокой степенью корреляций этого фактора с процессами реполяризации. Так, было выявлено, что удлинение интервала T в среднем до 292 ± 8 мс и уменьшение его симметрии в состоянии покоя до $0,64 \pm 0,01$ ед с высокой достоверностью укорачивало время восстановления ЧСС после нагрузочного теста (табл.).

Выводы. ЭК, который формируется во временной области по координатам усредненной фазовой траектории, может отражать особенности электрогенеза. При этом высокая степень скорелированности показателей ЭК одоканальной ЭКГ с количественными значениями функциональной подготовленности спортсменов (мощности, экономичности и эффективности) позволяет использовать ЭК в диагностике функциональных нарушений с целью выявления звеньев, нуждающихся в реабилитации, коррекции и оптимизации.

Литература

1. Любимова М.А., Князева Т.Н. Обработка томографических изображений при помощи вейвлет-анализа. Вестник новых медицинских технологий (Электронный журнал). 2014. №1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/LitObz.pdf>.
2. Митусова М.А. Клинико-инструментальная диагностика нарушений реполяризации миокарда у юных спортсменов // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т.19. №4. С. 143–144.
3. Мезенцева Л.В., Перцов С.С. Математический анализ амплитудно-временной упорядоченности сердечного ритма: Монография. Тула: Изд-во «Тульский полиграфист», 2012.
4. 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. № 2. С. 148–153.
5. Сорокин В.А., Драницин О.В., Сердюк О.Н., Сорокина А.В., Сванидзе Р.А. Комплексный мониторинг функционального состояния спортсменов высшей квалификации с помощью гематологических методов и разработка методов его фармакологической коррекции. Научно-практическая конференция "Молодая спортивная наука Донбасса", Донецк, 2002. С. 229–232.
6. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. Киев: Освита Украины, 2013.
7. Фудин Н.А., Вагин Ю.Е., Классина С.Я. Методология теории функциональных систем как новый подход к управлению тренировочным процессом // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19. № 4. С. 118–121.
8. Физиологический пауэрлифтинг: Монография / Под ред. В.А. Таймазова, А.А. Хадарцева. Тула: ООО «Тульский полиграфист», 2013. 120 с.
9. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Фудин Н.А., Кожемов А.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. № 9. С. 87–93.

References

1. Lyubimova MA, Knyazeva TN. Obrabotka tomograficheskikh izobrazheniy pri pomoshchi veyvlet-analiza [Processing of tomographic images by means of wavelet analysis]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy (Elektronnyy zhurnal) [Internet]. 2014 [cited 2014 maya 15];1:[about 4 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/LitObz.pdf>.
2. Mitusova MA. Kliniko-instrumentalnaya diagnostika narusheniy repolyarizatsii miokarda u yunykh sportsmenov [The clinico-instrumental diagnostics of miocardious repolarization abnormalities in the young sportsmen]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(4):143-4. Russian.
3. Mezentseva LV, Pertsov SS. Matematicheskiy analiz amplitudno-vremennoy uporyadochennosti serdechnogo ritma: Monografiya. Tula: Izd-vo «Tul'skiy poligrafist»; 2012. Russian.
4. Minina EN. Analiz volny T EKG v fazovom prostranstve v opredelenii funktsional'nykh rezer-vov miokarda. Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. 2013;26(65):148-53. Russian.
5. Sorokin VA, Dranitsin OV, Serdyuk ON, Sorokina AV, Svanidze RA. Kompleksnyy monitoring funktsional'nogo sostoyaniya sportsmenov vysshey kvalifikatsii s pomoshch'yu gematologicheskikh metodov i razrabotka metodov ego farmakologicheskoy korrektsii. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Molodaya sportivnaya nauka Donbassa", Donetsk; 2002. Russian.
6. Faynzil'berg LS. Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu elektrokardiogrammy. Kiev: Osvita Ukrainy; 2013. Russian.
7. Fudin NA, Vagin YuE, Klassina SYa. Metodologiya teorii funktsional'nykh sistem kak novyy podkhod k upravleniyu trenirovochnym protsessov [The methodology of the functional system theory as a new approach to the control of the training process]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(4):118-21. Russian.
8. Fiziologicheskii pauerlifting: Monografiya / Pod red. V.A. Taymazova, A.A. Khadartseva. Tula: ООО «Tul'skiy poligrafist»; 2013. Russian.
9. Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov V., Fudin NA, Kozhemov AA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.