

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АДАПТАЦИОННЫХ РЕЗЕРВОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ ПАТТЕРНОВ ЭТАЛОННОГО КАРДИОЦИКЛА ОДНОКАНАЛЬНОЙ ЭКГ

A QUALITATIVE EVALUATION
OF ADAPTATION RESERVES
OF CARDIOVASCULAR BODY'S SYSTEM
BASED ON REGULATORY PATTERNS
SAMPLE SINGLE-CHANNEL ECG
CARDIAC CYCLE

*E. Minina
L. Fainzilberg
K. Orihovskaya*

Annotation

Level of adaptable resources of cardiovascular system of young men of different ages has been first examined and regulatory patterns during physical exercises (20 squatting within 20 seconds) have been determined. A diagnostic system FASEGRAPH[®] was used with an original technology to handle electrocardiogram (ECG) data at a phase plane and determine standard (reference) cardiac cycle. Different level of adaptable resources mainly related to regulatory patterns with information about temporary characteristics (intervals Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}) and it was more obvious among the older groups of people that shows how important the process of development of different parts of nervous system is. Regulatory patterns enabled to reveal peculiarities of phase dynamic systematic "learning" in the process of a long-term adaptation.

Keywords: regulatory pattern, sample cardiac cycle, FASEGRAPH[®], adaptable resources.

Минина Е.Н.

*К.биол.н., доцент, ФГАОУ ВО
Крымский Федеральный университет
им. В.И. Вернадского, Таврическая академия,
Симферополь, Республика Крым
Файнзилберг Л.С.*

*Д.т.н., гл.н.с., Международный научно-
учебный центр информационных технологий и
систем НАН и МОН Украины, Киев, Украина
Ориховская К.Б.*

*Мл.н.с., аспирант, Международный научно-
учебный центр информационных технологий и
систем НАН и МОН Украины, Киев, Украина*

Аннотация

Впервые проведено исследование юношей разных возрастных групп и уровня адаптационных резервов сердечно-сосудистой системы с определением регуляторных паттернов при проведении нагрузочного тестирования с 20 приседаниями за 30 секунд. Исследования проводились с использованием диагностического комплекса ФАЗАГРАФ[®], реализующего оригинальную информационную технологию обработки ЭКГ на фазовой плоскости и определение эталонного кардиоцикла. Отличия для лиц с разным уровнем адаптационных резервов главным образом относились к регуляторным паттернам, несущим информацию о временных характеристиках (интервалах Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы. Регуляторные паттерны позволили выявить особенности стадийного функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации.

Ключевые слова:

Регуляторный паттерн, эталонный кардиоцикл, ФАЗАГРАФ[®], адаптационные резервы.

Введение

Важная роль в функциональной диагностике принадлежит информации, получаемой с помощью проб и тестов, позволяющих интегрально оценивать функциональное состояние организма, его физическую и спортивную подготовленность. Такие тесты должны обеспечивать не только информативность, но и быть достаточно простыми и удобными для оперативного получения результата, в

том числе, в полевых условиях.

Однако традиционная интерпретация результатов популярных одномоментных проб с малой нагрузкой, например, пробы с 20 приседаниями, не обеспечивает требуемую достоверность при определении тренированности и раннего распознавания функциональных изменений аппарата кровообращения, как у спортсменов, так и у относительно здоровых людей. Даже при отсутствии доста-

точной тренированности общепринятые количественные показатели результатов такой пробы часто бывают вполне удовлетворительными [1, 2].

Необходимо также отметить, что при оценке только пульсовой реакции на физическую нагрузку и в восстановительном периоде, нельзя определённо знать, отражает ли она функциональное состояние самого исполнительного органа (сердца) или же связана с особенностями вегетативной регуляции сердечной деятельности. При этом изменения работы той или иной висцеральной системы, связанные с возмущающими воздействиями на организм, в значительной мере определяются регуляторными нейрогуморальными влияниями.

В то же время привлечение инновационных информационных технологий, реализующих новые подходы к интерпретации реакций организма и специфические методы представления такой информации, могут даже при малой и краткосрочной физической нагрузке обеспечить построение моделей для изучения переходных процессов и давать важные дополнительные сведения о процессах, характеризующих динамику изучаемых показателей при их изменении от величин покоя или нагрузки, до величин, регистрируемых при наступлении устойчивого состояния. Дело в том, что при физической нагрузке работа управляющих параметров изменяет свой режим: гомеостатическое регулирование сменяется гетеростатическим режимом регуляции системы кровообращения. Такая "двухпозиционная" [3] система регулирования обеспечивает необходимое кровоснабжение тканей при мышечной работе. При гетеростатическом регулировании механизмы поддержания гомеостаза, как известно, оказываются заторможенными. В этом режиме работа сердца находится под контролем сложной нейрорегуляторной системы и механизмов саморегуляции, отражающих эффективность управления сердечно-сосудистой системы и её резервов.

С другой стороны, известно, что изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) как в покое, так и при нагрузке влияет на динамику фаз сердечного цикла, отражающих процессы электрогенеза, причем продолжительности отдельных фаз могут по-разному реагировать на изменения ЧСС. Поэтому анализ изменений продолжительностей отдельных фаз сердечного цикла несет важную информацию об ухудшении качества регуляции сердечных сокращений, а в некоторых случаях и о нарушении функционального состояния миокарда.

Так, например, формализована прямая зависимость механической систолы и фазы изгнания с ЧСС. Известно также более 30 формул, которые описывают взаимосвязь между длительностью интервала Q-T и ЧСС линейной, экспоненциальной, или логарифмической зависимостями [4].

В диапазоне ЧСС от 60 до 90 уд/мин. большинство формул обеспечивают сопоставимые результаты коррекции и являются взаимозаменяемыми. Напротив, количественная оценка фаз, слабо связанных с ЧСС, например, фазы асинхронного сокращения, не полностью может отражать кардиодинамические сдвиги и механизмы, их обеспечивающие при изменении ЧСС.

Следует напомнить, что ещё в 1966 году В. Л. Карпман отмечал ряд расхождений в результатах количественного анализа кардиодинамики на основе универсальных зависимостей между длительностями электрической систолы и сердечного цикла при брадикардии, нормальном ритме и тахикардии, если не учитывать механизмы их происхождения. Сочетание хроно- и инотропных влияний на сердце, а также механизмов его саморегуляции могут формировать различные комбинации, обеспечивающие положительный приспособительный эффект насосной функции сердца.

Поэтому количественную оценку кардиодинамики полезно дополнить качественным анализом индивидуальных особенностей динамики изменения показателей, характеризующих сердечную деятельность в процессе выполнения функциональных проб [5].

Следует заметить, что качественный анализ функционирования сердечно-сосудистой системы имеет давнюю историю. С.П. Летуновым (1937) предложен алгоритм определения типов реакций организма, основанный на оценке сдвигов частоты сердечных сокращений и артериального давления, а также скорости их восстановления после нагрузки. Такой подход с выделением пяти типов реакций был использован и в дальнейших исследованиях [6]. Отталкиваясь от этих подходов можно полагать, что качественный анализ индивидуальных особенностей динамики изменения показателей ЭКГ можно свести к анализу регуляторных паттернов (РП), построенных для конкретного пациента при выполнении дозированной физической нагрузки. В этом плане "обучение" системы к формированию функциональных синергий в процессе долговременной адаптации будет порождать тот или иной характерный тип РП, который отражает эффективность функционирования системы кровообращения конкретного человека.

Цель статьи – физиологическое обоснование информативности РП эталонного цикла одноканальной ЭКГ при оценке адаптационного потенциала организма.

Материалы и методы

Исследования проводились с использованием диагностического комплекса ФАЗАГРАФ®, реализующего оригинальную информационную технологию обработки ЭКГ на фазовой плоскости [7, 8]. Комплекс обеспечива-

ет регистрацию сигнала первого стандартного отведения с помощью сенсора с пальцевыми электродами и позволяет автоматически определить $N=32$ показателей ЭКГ и вариабельности сердечного ритма. Показатели определялись в три момента времени: состояние покоя $x_i^{(1)}$, сразу после физической нагрузки (20 глубоких приседаний за 30 с) $x_i^{(2)}$ и после 3-х минутного отдыха $x_i^{(3)}$, $i=1, \dots, N$ (рис. 1).

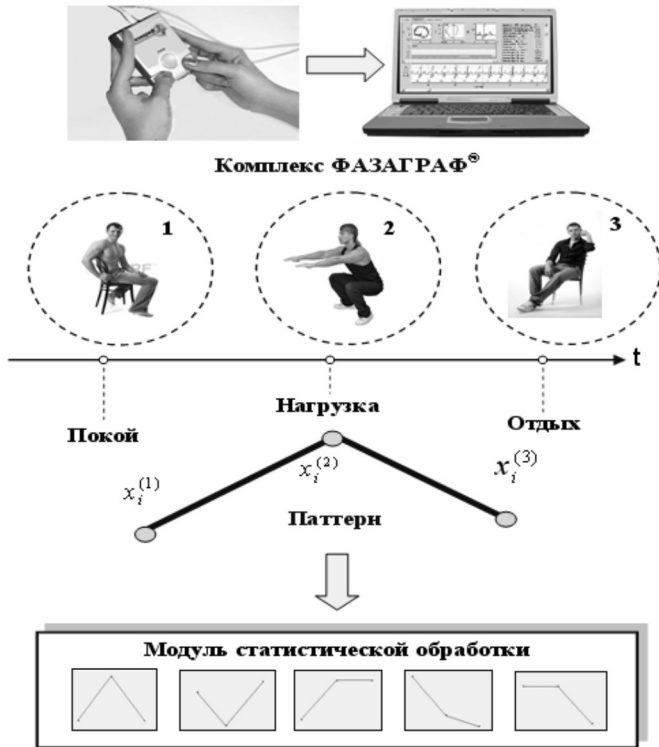


Рисунок 1. Схема выполнения исследований.

На основании измеренных значений

$$x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, x_i^{(3)}$$

для каждого тестируемого определялся класс регуляторного паттерна, характеризующего динамику изменения i -го показателя под нагрузкой и в период реституции. Классы паттернов автоматически определялись последовательной проверкой логических условий [5]

класс 1 "Максимум", если

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

класс 2 "Минимум", если

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

класс 3 "Возрастание", если

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

класс 4 "Убывание", если

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

класс 5 "Постоянная", если соотношения (1)–(4) не выполняются, (5)

где h_i – пороговая величина (настраиваемый параметр алгоритма).

Условия (1)–(5) позволяют однозначно определить принадлежность паттерна определенному классу (рис. 2).

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

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

И, наконец, паттерн "Постоянная" описывает отсутствие видимой динамики в значениях показателей независимо от нагрузки.

Три последних класса регуляторных паттернов являются атипичными для реакции организма на нагрузку и отдых после неё.

Было обследовано 110 условно-здоровых лиц 18 – 25 лет с различным уровнем функциональных резервов. Из них 35 спортсменов (футбол, бокс, лёгкая атлетика со стажем занятий не менее 4-х лет) и 75 человек, которые не занимаются спортом.

Исследования проводили в двух возрастных группах:

- ◆ группа 1 – возраст 18–21 год;
- ◆ группа 2 – возраст 22–25 лет.

Протокол исследований соответствовал стандартам надлежащей клинической практики (GCP), принципами Хельсинской Декларации и Этическими комитетами всех участвующих организаций. До включения в исследование у всех участников было получено письменное согласие.

Протокол исследований соответствовал стандартам надлежащей клинической практики (GCP), принципами Хельсинской Декларации и Этическими комитетами всех участвующих организаций. До включения в исследование у всех участников было получено письменное согласие.

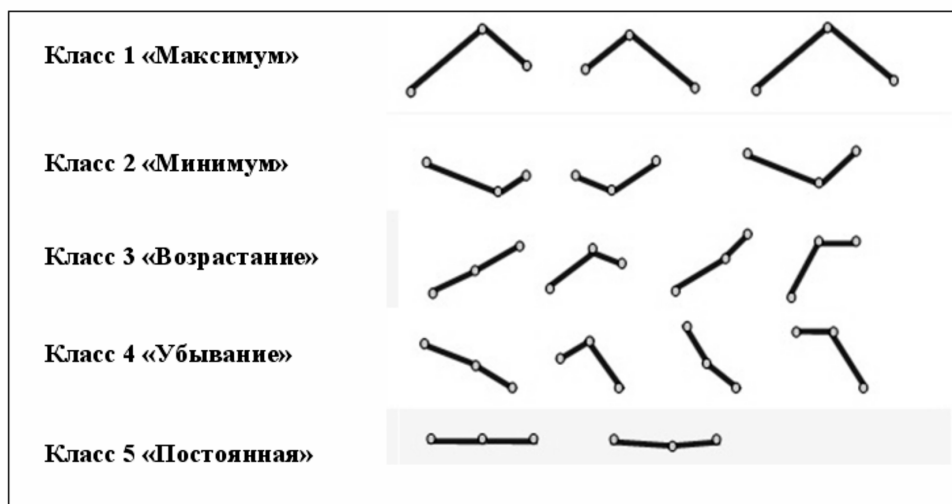


Рисунок 2. Варианты формы классов регуляторных паттернов.

В качестве показателей ЭКГ ФАЗАГРАФ® автоматически вычислял традиционные амплитудно–временные параметры эталонного цикла, в том числе: ЧСС (уд./мин.), амплитуды A_P, A_R, A_T (мВ) зубцов P, R, T , продолжительности $\Delta_Q, \Delta_P, \Delta_T, \Delta_R$ (мс) зубцов Q, P, T , продолжительности $\Delta_{PQ}, \Delta_{QT}, \Delta_{QRS}$ (мс) интервалов PQ, QT, QRS .

Кроме того определялся оригинальный диагностический признак β_T (ед.), который характеризует показатель симметрии зубца T усредненной фазовой траектории, и его среднеквадратическое отклонение СКО β_T (ед.). Вычислялись также показатели S_{PR} и S_{TR} (ед.), характеризующие отношения площадей зубцов P к T и T к R соответственно.

Интервал QT_c автоматически рассчитывался по формуле Базетта. Дисперсию интервала $QT\delta_{QT}$, определяли как разницу между максимальным и минимальным значениями длительности интервала QT в 12 стандартных отведениях ЭКГ, полученные с использованием компьютерного ЭКГ–комплекса "Cardiolife" (Харьков).

ФАЗАГРАФ® определял также стандартные статистические и спектральные показатели variability сердечного ритма (BCP), в том числе: $SDNN$ (мс) – среднеквадратическое отклонение продолжительностей нормальных RR –интервалов; $MxDMn$ (мс) – разность между максимальным и минимальным значениями нормальных RR –интервалов; ИИ (ед.) – индекс Баевского (индекс напряжения регуляторных систем); HF (%) – спектр мощности ритмограммы в диапазоне высоких частот (более 15 Гц); LF (%) – спектр мощности ритмограммы в диапазоне низких частот (0,4 - 15 Гц); LF/HR (ед.) – коэффициент вагосимпатического баланса.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программного пакета STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., USA). Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова–Смирнова. Для оценки достоверности различий между одноименными показателями у исследуемых при различных условиях использовали непараметрический T –критерий Wilcoxon. Достоверность различий между одноименными показателями в независимых выборках (группа 1 и группа 2) оценивали с помощью непараметрического U –критерия Mann–Whitney. При условии нормального распределения применяли параметрический t –критерий Стьюдента.

С помощью дополнительного программного модуля статистической обработки (рис.1) оценивались частоты появления регуляторных паттернов каждого типа в группах. Оценка достоверности отличий этих частот проводилась по стандартной методике вычисления доверительных интервалов при заданной надежности вывода [9].

Результаты и их обсуждение

При проведении количественного анализа особенностей адапционных реакций кардиогемодинамики были выявлены общеизвестные перестройки в процессе долговременной адаптации в тренированном организме. Как видно из табл. 1 интегральный показатель кардиогемодинамической регуляции ЧСС у лиц с различными адапционными резервами сердечно–сосудистой системы был достоверно различен как в покое, после нагрузки, так и в восстановительном периоде.

При этом долговременная адаптация спортсменов и

Таблица 1.

Показатели эффективности регуляции кардиогемодинамики исследованных разного возраста с различным уровнем адаптационных резервов при различных условиях.

В	Показатели	Г	Условия			Достоверность		
			Покой (1)	Нагрузка (2)	Восстановление (3)	1-2	1-3	2-3
1	ЧСС, уд/мин	н	75,8±1,6	94,1±2,6	81,0±2,1	< 0,001	< 0,001	< 0,05
		с	70,2±1,6**	78,1±3,0***	73,0±2,7**	-	-	-
	ИН, усл. ед.	н	71,17±10,4	95,8±21,8	149,2±32,8	-	< 0,05	-
		с	42,6±7,8*	39,5±13,2*	76,1±17,6*	-	-	-
	LF/HF, ед.	н	2,1±0,2	1,25±0,19	1,87±0,20	< 0,01	-	< 0,05
		с	1,5±0,3	1,05±0,25	1,28±0,18*	-	-	-
2	ЧСС, уд/мин	н	73,3±1,6	92,4±3,0	81,3±2,4	< 0,001	< 0,01	< 0,01
		с	67,4±2,2*	81,3±2,9**	70,1±2,8**	< 0,001	-	-
	ИН, усл. ед.	н	58,1±5,8	95,3±16,0	145,7±21,5	< 0,05	< 0,001	-
		с	49,1±9,8	37,6±9,9**	55,4±9,0***	-	-	-
	LF/HF, ед.	н	1,8±0,2	1,38±0,21	1,82±0,46	-	-	-
		с	1,8±0,4	1,32±0,32	1,71±0,86	-	-	-

Примечание: н - группа не спортсменов; с - группа спортсменов; различие достоверно между показателями в разных группах на уровне

* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$; В - возрастная группа; Г - группа в зависимости от уровня адаптационных резервов: н - не спортсмены, с - спортсмены.

первой и второй группы проявлялась урежением ЧСС на фоне снижения централизации управления. При анализе спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма (табл. 1) доминирование высокочастотного вклада в регуляторные механизмы в восстановительном периоде у спортсменов 1 группы по показателю вагосимпатического баланса, сниженного на 32,6 % $< 0,05$ относительно показателей не спортсменов, свидетельствовало об их трофотропной и саморегуляционной направленности.

Сочетание механизмов автономной и центральной регуляции определяют степень оптимальности, как функционирования, так и управления процессами приспособления. Было выявлено, что у спортсменов при не различающихся показателях ЧСС, ИН и вагосимпатического баланса в покое, после физической нагрузки и в восстановительном периоде существуют различия в степени напряжения механизмов регуляции по снижению значения показателя ИН в среднем на 25,5 % $< 0,05$ в группе 2, в которую вошли спортсмены 21-25 лет. При этом как в группе 1, так и в группе 2 у спортсменов ИН оставался стабильным, а в обеих возрастных группах не спортсменов был выявлен рост этого показателя в восстановительном периоде в два раза $< 0,05$ в первой группе и в 2,5 раза $< 0,001$ во второй группе. Очевидно, что различия регуляции ЧСС в процессе краткосрочной адаптации в группах юношей с учётом возрастных особенностей и уровня адаптационных резервов соотносилась с динамикой распространения электрического импульса в миокарде. Количественные различия показателей однокамерной ЭКГ изображены на рис.3 и рис.4.

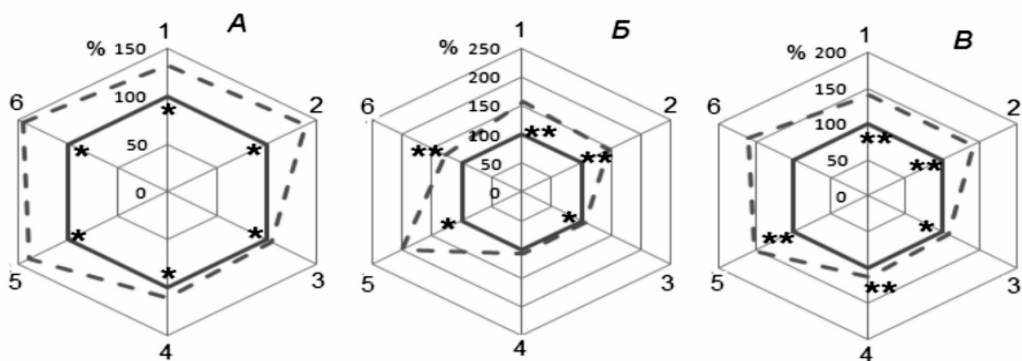
Во второй возрастной группе у спортсменов были выявлены увеличенные значения продолжительности зубца Р, амплитуды Т на фоне укорочения R и интервала QRS.

При сравнении показателей, исследованных с различным уровнем адаптационных резервов соотношение площадей зубцов T/R и P/R, были значительно выше в группе спортсменов, что вероятно характеризовало особенности электрогенеза и саморегуляции спортивного сердца.

Количественную оценку адаптационных особенностей исследованных, которая подтверждает ранее полученные многочисленные результаты, возможно дополнить новыми информативными данными на основе качественного анализа системной реакции по РП, которые подтвердили достоверные отличия вероятностей их появления характерных РП в группах (табл. 2 и табл. 3).

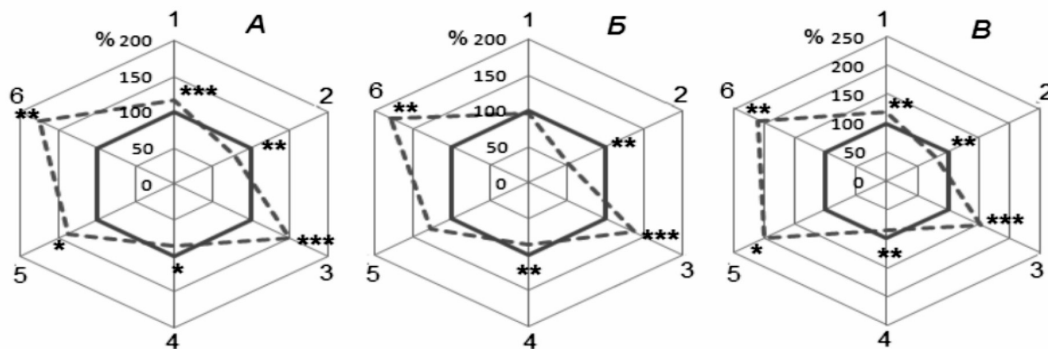
Такие отличия для лиц с разным уровнем адаптационных резервов главным образом относились к РП, несущих информацию о временных характеристиках (интервалах Δ_P , Δ_T , Δ_{QRS}), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы.

Этот процесс завершается к возрасту 20-21 года, что играет важную роль в оптимизации приспособительного ответа и поэтому явилось критерием разделения контингента обследованных на возрастные группы.



Примечание: сплошная линия - не спортсмены, пунктирная - спортсмены
 А - покой, Б - физическая нагрузка, В - восстановление;
 1 - ΔAP ; 2 - ΔAT ; 3 - ΔQT ; 4 - ΔPQ ; 5 - ΔS_{PR} ; 6 - ΔS_{TR} ;
 Различия достоверны на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

Рисунок 3. Профили различий средних значений показателей ЭКГ в Группе 1.



Примечание: сплошная линия - не спортсмены, пунктирная - спортсмены
 А - покой, Б - физическая нагрузка, В - восстановление;
 1 - ΔP ; 2 - ΔT ; 3 - ΔAT ; 4 - ΔQRS ; 5 - ΔS_{PR} ; 6 - ΔS_{TR} ;
 Различия достоверны на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

Рисунок 4. Профили различий средних значений показателей ЭКГ в Группе 2.

Другими словами, использование временного ресурса в механизмах адаптационных перестроек являлось резервом приспособления к изменяющимся условиям внешней среды. Так, в обеих возрастных группах при выполнении нагрузки на фоне отсутствия достоверного изменения ЧСС наблюдались достоверные различия вероятностей появления регуляторных паттернов у спортсменов и не спортсменов, характеризующих время прохождения возбуждения по предсердиям и атриовентрикулярному соединению (укорочение продолжительности зубца *P* и сегмента *PQ*).

Как известно, вагусные и симпатические влияния модулируют электрофизиологические характеристики

предсердных клеток (длительность потенциала действия, рефрактерность и скорость проводимости), а стимуляция парасимпатической нервной системы способствует сокращению продолжительности потенциала действия (и эффективного рефрактерного периода) в миоцитах предсердий и легочных вен. На фоне стимуляции симпатической нервной системы отмечаются увеличение внутриклеточной концентрации ионов кальция и повышение автоматизма кардиомиоцитов.

При таком значительном влиянии ВНС, ее влияние на функционирование миокарда можно косвенно оценивать по данным ВСП. Однако механизмы саморегуляции сердечной мышцы в виде взаимодействующих нейронов,

Таблица 2.

Достоверные отличия ($p < 0,05$) распределений паттернов в группах лиц 1995 - 1997 г.р.















Показатель	Тип паттерна	Оценка вероятности	
		Спортсмены (n=19)	Не спортсмены (n=35)
Δ_p	«Убывание» 	$0,5 \pm 0,12$	$0,214 \pm 0,07$
Δ_T	«Минимум» 	$0,737 \pm 0,1$	$0,457 \pm 0,08$
	«Убывание» 	$0,053 \pm 0,05$	$0,257 \pm 0,07$
Δ_{QRS}	«Возрастание» 	$0,526 \pm 0,12$	$0,229 \pm 0,07$

Таблица 3.

Достоверные отличия ($p < 0,05$) распределений паттернов в группах лиц 1990 - 1994 г.р.

Показатель	Тип паттерна	Оценка вероятности	
		Спортсмены (n=16)	Не спортсмены (n=40)
Δ_p	«Минимум» 	$0,75 \pm 0,11$	$0,258 \pm 0,07$
Δ_Q	«Максимум» 	$0,583 \pm 0,13$	$0,258 \pm 0,07$
	«Возрастание» 	$0,167 \pm 0,1$	$0,419 \pm 0,08$
Δ_{PQ}	«Минимум» 	$0,562 \pm 0,13$	$0,222 \pm 0,07$
Δ_{QT}	«Минимум» 	$0,375 \pm 0,13$	$0,825 \pm 0,06$
	«Возрастание» 	$0,312 \pm 0,12$	$0,075 \pm 0,04$
	«Постоянная» 	$0,25 \pm 0,11$	$0,05 \pm 0,03$
Δ_T	«Минимум» 	$0,25 \pm 0,11$	$0,65 \pm 0,08$
β_T	«Возрастание» 	$0,062 \pm 0,06$	$0,3 \pm 0,07$
A_R	«Минимум» 	$0,875 \pm 0,09$	$0,675 \pm 0,07$

обеспечивающих межнейрональную взаимосвязь внутри и вне ганглионарного сплетения, отражены в таком анализе в меньшей степени. В этой связи РП позволили выявить особенности стадийного функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации.

Так у спортсменов младшей возрастной группы 1 РП "Убывание" характеризовал преобладание у исследованных укорочение значения продолжительности волны Р в восстановительном периоде, а в старшей группе 2 в восстановительном периоде уже наблюдалось восстановление значений Р до исходных состояний с проявлением РП "Минимум".

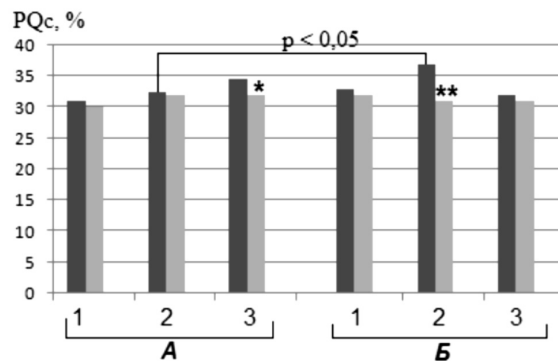
Таким образом, совершенствование регуляции в процессе тренировочной деятельности и возрастного созревания позволяла формировать устойчивый ответ в виде РП с достоверной вероятностью вышеописанной динамики продолжительности зубца Р.

Особый интерес представила динамика атриовентрикулярной проводимости в виде РП Δ_{PQ} в условиях гетеростатического типа регулирования у юношей исследуемых групп. Интервал PQ, отражая продолжительность проведения импульса возбуждения по предсердиям, атриовентрикулярному узлу, пучку Гиса до желудочков, обеспечивает точное согласование между сокращением предсердий и желудочков, благодаря которому осуществляется последовательность их сокращения.

Наряду с этим скорость распространения возбуждения по миокарду и проводящей системе не одинакова. Так импульс с высокой скоростью распространяется по предсердиям и проводящей системе желудочков, а в атриовентрикулярном же узле скорость оказывается значительно сниженной, отражаясь на ЭКГ сегментом PQ, длительность которого является критерием адаптивности саморегуляционных механизмов сердца.

В этой связи РП Δ_{PQ} "Минимум" в сочетании с РП Δ_p "Минимум" с наибольшей вероятностью зафиксированные у юношей-спортсменов возрастной группы 2, при выполнении нагрузки обеспечивал рост длительности сегмента PQ в среднем на 7,1 % $p < 0,01$ относительно юношей – не спортсменов (рис.5).

Как известно с позиции риска развития внутрисердечного гемодинамического конфликта и возможности сердца к выполнению нагрузок, ведущим показателем является не укорочение интервала PQ, а укорочение – исчезновение сегмента PQ [3] Из рисунка 5 видно, что в возрастной группе 1 в восстановительном периоде среднее групповое значение продолжительности сегмента PQ на 3,5 % $p < 0,05$ выше в группе спортсменов, что так же соответствовало укорочению продолжительности зубца Р с формированием РП Δ_p "Минимум".



Примечание: 1-покой, 2-нагрузка, 3- восстановительный период.

Рисунок 5. Динамика сегмента PQc в группах спортсменов (темные столбцы) и группах не спортсменов (светлые столбцы) в первой (А) и во второй (Б) возрастных группах.

Таким образом, оптимизация кардиодинамической регуляции при переходе на гетеростатическое управление проявляется в укорочении интервала PQ за счёт укорочения продолжительности волны Р на фоне уменьшения центрального тонуса блуждающего нерва, что информативно показывают особенности РП у спортсменов.

Изменчивость интервала QT при реакции на физическую нагрузку служит важным показателем динамики реполяризации и электрической стабильности миокарда. Среди причин удлинения и укорочения интервала QT выделяют врожденные и приобретенные факторы. Как известно основной причиной данных нарушений является наследственная каналопатия, обусловленная мутацией ряда генов, кодирующих белки трансмембранных калиевых и натриевых ионных каналов. Однако наряду с генетическими причинами его возникновения немаловажны влияние экзогенных и эндогенных факторов [10].

Приобретенное увеличение интервала QT, как уже было сказано, может быть обусловлено острыми и хроническими заболеваниями. Так, артериальная гипертензия, начиная с периода "белого халата", сопровождается рядом электрофизиологических нарушений в миокарде левого желудочка, что ассоциируется с дисфункцией регуляции вегетативной нервной системы и гипертрофией миокарда. L. Oikarinen и соавт [10] установили, что увеличение индекса массы миокарда ЛЖ, независимо от типа гипертрофии, ассоциируется с высокими значениями QTc и dQT.

При анализе динамики интервала QT эталонного кардиоцикла потенциально опасные изменения в виде его увеличения-укорочения не выявлено ни у одного исследованного. Среднее значение в группе спортсменов при всех условиях превышало значения здоровых нетренированных юношей только в первой возрастной группе: в

покое $0,372 \pm 0,005$ с против $0,390 \pm 0,007$ с, $< 0,05$; после нагрузки $0,352 \pm 0,006$ с против $0,354 \pm 0,008$ с, $< 0,05$; в восстановительном периоде $0,377 \pm 0,006$ против $0,396 \pm 0,007$, $< 0,05$ в группе 1 и группе 2 соответственно. Нивелирование разницы между группами с увеличением возраста при переходе на другой режим регулирования вероятно связано с созреванием центральных регуляторных структур и формированием более адекватного управления у юношей 21–25 лет, независимо от уровня тренированности.

Однако в рамки функциональной нормы количественных значений интервала QT, как электрофизиологического параметра деятельности сердца, отражающего структурное и функциональное состояние миокарда, непосредственно – электрическую систолу, с увеличением возраста были выявлены различия в качественных характеристиках регуляторных реакций. Так паттерны "Возрастание" и "Постоянная" в группе 2 у спортсменов достоверно проявлялись с большей вероятностью (табл.3), чем в группе юношей – не спортсменов, которым был характерен паттерн "Минимум". При этом преобладающее укорочение этого интервала при данной нагрузке у здоровых, но не тренированных юношей сопровождалось дисперсией его значений на 12–канальной ЭКГ после нагрузки.

Так показатели дисперсии QT у спортсменов на 24,5 % $< 0,05$ от исходного уровня были зафиксированы ниже, чем у юношей, не занимающихся спортом и не превышали $0,028$ с. В восстановительном периоде дисперсия QT у спортсменов в отличие от нетренированных возвращались к исходным значениям. Как известно, абсолютная продолжительность интервала QT в покое и в периоде вработывания выше у спортсменов вследствие брадикардии, формирования "рабочей" гипертрофии миокарда и, как результат, замедленной реполяризации [11].

При анализе QTc у всех исследованных как занимающихся, так и не занимающихся спортом различий в покое не выявлено. При этом после выполнения 20 приседаний, что можно считать незначительной нагрузкой с соответствием периоду вработывания, возрастная группа 2 характеризовалась увеличением продолжительности электрической систолы в среднем на 5,1 % $< 0,05$ на фоне учащения ЧСС в среднем на 20,1 % $< 0,001$.

Вышеописанный анализ динамики оптимизации саморегуляции сердца с увеличением резервов в процессе долговременной адаптации можно дополнить качественным анализом с использованием РП. Так спортсменам группы 2 с наибольшей достоверной вероятностью соответствовали паттерны Δ_{QT} типов "Постоянная" и "Возрастание", а не спортсменам – "Минимум".

Дополнительно тенденция роста QTc в восстано-

тельном периоде у спортсменов, выраженная РП Δ_{QT} "Возрастание", характеризовала повышение риска возникновения патологических состояний. Как известно, длительность QTc в периоде раннего восстановления после нагрузки свыше 480 мс у взрослых согласно последним рекомендациям Peter J. Schwartz [12] является дополнительным диагностическим критерием синдрома удлиненного интервала (СУИ) QT.

Таким образом, в результате длительной адаптации и формирования "структурного следа" сердечно-сосудистая система у спортсменов группы 2 обеспечивала функционирование в переходных периодах на более экономичном и надёжном уровне, вероятно за счёт своевременного включения механизмов саморегуляции сердца. Такие приспособительные изменения обеспечивали увеличение периода изгнания в обеспечении УО, а не укорочение этого периода, как это имеет место при центральной регуляции сердечного ритма. Напротив, в аналогичной возрастной группе не тренированных юношей на фоне незначительного прироста ЧСС в среднем на 19 ударов в минуту $< 0,001$ при выполнении 20 приседаний укорочение QTc с $0,422 \pm 0,004$ до $0,408 \pm 0,005$ $< 0,05$ отражало адекватную реакцию на нагрузку, но которая являлась достаточной для включения центральных механизмов управления. Как видно более узкий коридор адаптации к интенсивности физической нагрузки саморегуляторных механизмов не тренированного сердца сказывался на процессах электрогенеза миокарда.

Дифференцированный анализ выявления генеза изменения длительности электрической систолы при её реакции на нагрузку так же возможно провести с использованием оценки РП. Как видно из табл. 3 при оценке Δ_Q у спортсменов преобладал РП "Максимум", а у не спортсменов – "Возрастание". Начало фазы асинхронного сокращения и возбуждение межжелудочковой перегородки приводит к формированию на кривой ЭКГ зубца Q, что принято относить к электрической деполяризации, или систоле желудочков. Этот процесс определяется индивидуальными особенностями обмена веществ в миокарде, регулирующим скорость распространения деполяризации и величину электромеханической латентности в каждом сократительном элементе [3]. Исходя из этих позиций преобладание РП Δ_Q "Возрастание" у не спортсменов указывало на ухудшение обменных процессов, в том числе электролитного дисбаланса, что не позволяло в восстановительном периоде приводить параметры в исходное состояние, а в конечном итоге могло явиться лимитирующим фактором, приводящим к СУИQT, как у спортсменов так и у не занимающихся спортом юношей.

Важно отметить что QT состоит из периодов, функционально обозначающих качественно различные процессы. Так, соотношение электрического потенциала действия (ЭПД) на ЭКГ распределяется следующим образом.

Комплекс QRS обозначает начало сокращения миокарда и на кривой ЭПД соответствует фазе быстрой начальной реполяризации. Фазе медленной реполяризации соответствует сегмент ST, и первая половина зубца T. Фазе быстрой реполяризации на ЭКГ соответствует вторая половина зубца T. В этой связи высокая степень корреляции показателя симметрии зубца T β_T и QTc у спортсменов в покое и в восстановительном периоде отражало увеличение риска удлинения QT. Это связано со снижением функциональных резервов при перетренированности и утомлении, что приводило к увеличению симметрии зубца T (табл. 4), а РП β_T "Возрастание" соответствовал с большей степенью достоверности не спортсменам при укорочении зубца T на нагрузке с проявлением РП Δ_T "Минимум".

При этом рост симметрии зубца T происходил за счёт укорочения фазы медленной реполяризации или фазы плато. Укорочение этой фазы менее 50 % относительно доли систолы приводит к снижению сократительной функции миокарда. Как видно из таблицы 4 и в первой и во второй возрастной группе у не спортсменов показатель β_T при проводимой нагрузке достоверно увеличивается – на $16,2 \pm 0,5 \% < 0,001$ и на $25,3 \pm 0,7 \% < 0,001$ соответственно. У спортсменов группы 1 увеличение β_T зафиксировано в меньшей степени – на $11,1 \pm 0,3 \% < 0,05$, а во второй группе изменения не выявлены.

При сравнении внутри группы 1 у спортсменов рост β_T в среднем на $0,07 \text{ мс} < 0,01$ меньше, чем у не спортсменов, а в группе 2 – на $0,012 \text{ мс} < 0,01$. В группе спортсменов

этот показатель, в отличие от группы не занимающихся спортом, приходил в исходное состояние.

Выводы:

1. Адаптационные модификации прохождения электрического импульса по сердечной мышце как в покое, так и в процессе кратковременной адаптации у спортсменов характеризовались в первой возрастной группе большими значениями амплитуд зубцов P и T, интервалов PQ и QT как после нагрузки, так и в восстановительном периоде. Во второй возрастной группе у спортсменов были выявлены увеличенные значения продолжительности зубца P, амплитуды T на фоне укорочения R и интервала QRS. При сравнении показателей, исследованных с различным уровнем адапционных резервов соотношение площадей зубцов T/R и P/R, были значительно выше в группе спортсменов, что вероятно характеризовало особенности электрогенеза и саморегуляции спортивного сердца.

2. Отличия для лиц с разными адапционными резервами главным образом относились к регуляторным паттернам, несущих информацию о временных характеристиках (интервалах $\Delta_P, \Delta_T, \Delta_{QRS}$), причем более выражены такие отличия наблюдались в старшей возрастной группе, что указывало на значимость процесса созревания управляющих структур различных отделов нервной системы.

3. РП позволили выявить особенности стадийного

Таблица 4.

Показатель симметрии зубца T (β_T) и коэффициенты ранговой корреляции QTc- β_T в группах с разным уровнем адапционного потенциала при различных условиях.

Группа	Показатели	Условия			Достоверность			
		Покой (1)	Нагрузка (2)	Восст-ние (3)	1-2	1-3	2-3	
1	н	β_T	$0,74 \pm 0,01$	$0,86 \pm 0,02$	$0,77 \pm 0,03$	$< 0,001$	-	$< 0,05$
		QTc- β_T	-	-	-			
	с	β_T	$0,71 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,02^{**}$	$0,72 \pm 0,02$	$< 0,05$	-	$< 0,05$
		QTc- β_T	$0,48^*$	-	$0,69^{***}$			
2	н	β_T	$0,71 \pm 0,01$	$0,89 \pm 0,02$	$0,82 \pm 0,02$	$< 0,001$	$< 0,05$	$< 0,01$
		QTc- β_T						
	с	β_T	$0,67 \pm 0,02$	$0,77 \pm 0,05^{**}$	$0,65 \pm 0,04^{**}$	-	-	-
		QTc- β_T	$0,55^{**}$	-	-			

Примечание: достоверность на уровне * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$.

функционального системного "обучения" в процессе долговременной адаптации. Так у спортсменов младшей возрастной группы 1 РП "Убывание" характеризовал преобладание у исследованных укорочение значения продолжительности волны Р в восстановительном периоде, а в старшей группе 2 в восстановительном периоде уже наблюдалось восстановление значений Р до исходных состояний с проявлением РП "Минимум".

4. РПД_{PQ} "Минимум" в сочетании с РПД_P "Минимум", с наибольшей вероятностью зафиксированные у юношей-спортсменов возрастной группы 2, при выполнении нагрузки обеспечивал рост длительности сегмента PQ в среднем на 7,1 % $p < 0,01$ относительно юношей-не спортсменов.

5. В возрастной группе 1 в восстановительном периоде среднегрупповое значение продолжительности сегмента PQ на 3,5 % $p < 0,05$ выше в группе спортсменов, что так же соответствовало укорочению продолжительности зубца Р с формированием Δ_P "Минимум".

6. В рамки функциональной нормы количественных значений интервала QT с увеличением возраста были выявлены различия в качественных характеристиках регуляторных реакций. Так паттерны "Возрастание" и "Постоянная" в группе 2 у спортсменов достоверно проявились с большей вероятностью, чем в группе юношей – не

спортсменов, которым был характерен паттерн "Минимум".

7. Спортсменам группы 2 с наибольшей достоверной вероятностью соответствовали паттерны Δ_{QT} типов "Постоянная" и "Возрастание", а не спортсменам – "Минимум".

8. Преобладание РПД_Q "Возрастание" у не спортсменов указывало на ухудшение обменных процессов, в том числе электролитного дисбаланса, что не позволяло в восстановительном периоде приводить параметры в исходное состояние, а в конечном итоге могло явиться лимитирующим фактором, приводящим к СУИQT, как у спортсменов так и у не занимающихся спортом юношей.

9. Снижение функциональных резервов при перетренированности и утомлении сопровождалось увеличением β_T , а РП β_T "Возрастание" соответствовал с большей степенью достоверности не спортсменам при укорочении зубца Т на нагрузке с проявлением РПД_T "Минимум".

10. Качественный анализ РП, полученных на основе кратковременной пробы с физической нагрузкой (20 приседаний за 30 сек) может использоваться как важный дополнительный признак оценки адаптационных резервов организма и уровня его тренированности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопьев Н.Я. Физиологические подходы к оценке функциональных нагрузочных проб /Н.Я. Прокопьев, Е.Т. Колунин, М.Н. Гуртовая, Д.И. Митасов // Фундаментальные исследования. – 2014.– № 2. – С. 146 – 150.
2. Сидоров С.П. Значение корректного выполнения методики функциональной пробы с 20 приседаниями при оценке состояния сердечно-сосудистой системы юных спортсменов / С.П. Сидоров, А.М. Перхуров, О.С. Штефан // Физкультура в профилактике, лечении и реабилитации. – 2009. – № 2 (29). – С. 39 – 44.
3. Судаков К.В. Нормальная физиология / К.В. Судаков. Учебник. – М.: –ООО "МИА". – 2006. – 920 с.
4. Goldenberg I. QT Interval: How to Measure It and What Is "Normal" / I Goldenberg, A.J. Moss., W Zareba. // J. Cardiovasc. Electrophysiol. – 2006. –Vol.17 (3). – P. 333–336.
5. Файнзильберг Л.С. Информационная технология оценки адаптационных резервов организма в полевых условиях / Л.С.Файнзильберг, К.Б.Ориховская // Кибернетика и вычислительная техника. – 2015. – Вып. 181. – С. 4–22.
6. Макарова Г.А. Спортивная медицина / Макарова Г. А. – М.: Советский спорт. – 2003. – 380 с.
7. Файнзильберг Л.С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л.С.Файнзильберг – Киев: Освита України, 2013. – 191 с.
8. Минина Е.Н. Возможности оценки процессов реполяризации миокарда с использованием эталонного кардиоцикла / Е.Н. Минина Е.Н., 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.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятности / Е.С. Вентцель. – М. Наука, 1969. – 575 с.
10. Бокерия Л.А. Синдром удлиненного интервала QT клиника, диагностика и лечение / Л.А. Бокерия, А.Ш. Ревшвили., И.В. Проничева // Анн. аритм.. – 2005. – №4. С. 7 – 17.
11. Макаров Л.М. Динамика интервала QT при велоэргометрической пробе у юных девочек спортсменок и лиц, не занимающихся спортом / Л.М. Макаров с соавт. // Материалы III Всероссийского конгресса с международным участием "Медицина для спорта – 2013" / Спортивная медицина: наука и практика. – Приложение 1 (10). – 2013. – С. 165.
12. Schwartz P.J. QTC Behavior During Exercise and Genetic Testing for the Long-QT Syndrome / P.J. Schwartz, L. Crotti // Circulation. – 2011. – Vol. 124. – P. 2181–2184.