

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© Похачевский А.Л., Лапкин М.М., 2014

УДК: 612.172.2-07

РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ НАГРУЗОЧНОМ ТЕСТИРОВАНИИ

А.Л. Похачевский<sup>1</sup>, М.М. Лапкин<sup>2</sup>

Научно-исследовательская лаборатория диагностических и оздоровительных технологий,

Вологодский институт права и экономики ФСИН России, г. Вологда (1)

Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,

г. Рязань (2)

Оригинальные способы анализа кардиоритмограммы (КРГ) нагрузочного тестирования использованы для изучения сердечного ритма (СР) и его регуляции. В результате кластерного анализа КРГ смешанной молодежной популяции: 272 человека 17±2 лет выявлено 3 кластера различающиеся по уровню аэробно-анаэробной выносливости. Установлено, что последняя лежит в основе активности автономной (вегетативной) нервной системы (ВНС) определяющей скорость восстановления, а также изменчивость СР вплоть до возникновения его нарушений. Совершенствование вегетативной регуляции при формировании выносливости снижает вероятность нарушений СР изменяя значение их манифестации от маркера вегетативной дистонии к предиктору физической перегрузки и перетренировки. Определена возможность дальнейшего изучения СР и его регуляции с целью ранней диагностики усвоения организмом физических нагрузок и профилактики их перегрузочно – перетренировочных последствий.

**Ключевые слова:** максимальная нагрузочная эргометрия, вегетативная регуляция сердечного ритма у человека.

Спортивные врачи сталкиваются с необходимостью объективной оценки не только состояния здоровья человека имеющего отношение к систематическим физическим нагрузкам, но и его спортивной формы, определения тренированности. Изучение с этой целью сердечного ритма разработанными нами способами является одним из возможных вариантов объективизации функционального состояния организма.

Сердечный ритм (СР) – чувствительный индикатор регуляционных влияний ЦНС. Отражение влияний среды, в афферентных сигналах, преломляющихся на корко-подкорковых и спинальных уровнях эфферентной вегетативной импульсацией и гуморально-метаболической активностью отзываются тонкой изменчивостью СР, наделяя последний высокой прогностической информативностью.

Изучение нейрогуморальной регуляции сердечной деятельности как самостоятельного фактора, влияющего на физическое состояние человека и во многом лимитирующего работоспособность [1, 7], а также вопрос изыскания способов ее анализа определило фундаментальную цель настоящего исследования.

**Материалы и методы**

Стресс-тест. Максимальное велоэргометрическое тестирование осуществлялось по индивидуальному протоколу [3, 9, 10]. Мощность W(Ватт) первой ступени длительностью три минуты рассчитывается исходя из величины должностного основного обмена (ДОО) в килокалориях по формуле  $W = ДОО \times 0,1$  (ДОО определяется по таблице Гарриса-Бенедикта) [1]. В дальнейшем нагрузка ступенчато возрастала каждую минуту на

30 Вт до индивидуального максимума – снижения скорости педалирования ниже 30 оборотов в минуту, определяющего конец нагрузки и начало восстановительного периода длительностью 7 минут. В течение всего тестирования кардиоанализатором «ПолиСпектр-12» (Нейрософт) записывалась оцифрованная электрокардиограмма, из которой выделялся последовательный ряд R-R интервалов – кардиоритмограмма (КРГ), подвергающаяся оригинальной математической обработке.

Изменчивость КРГ в восстановительный период оценивалась линейной моделью:  $Y=aX+b$ , где X – время восстановления в секундах, Y – длительность R-R интервала в секундах, «а» (МК1) и «b» (МК2) – параметры модели – динамические маркеры восстановления, характеризующие скорость восстановления и ее среднюю составляющую соответственно.

Временной ряд, полученный из КРГ вычитанием трендов, подвергается быстрому преобразованию Фурье на каждом отрезке длиной – 64 с шагом в 1 интервал. Изменчивость спектров, в диапазонах (Гц): 0,15 – 0,4 (HF) и 0,04 – 0,15 (LF) моделировалась линейной регрессией. Учитывалась: скорость изменчивости симпатической (LFн), парасимпатической (HFн) активности [5, 6].

Результаты обрабатывались с помощью статистического пакета Statistica 6.0. Принимая во внимание, что распределение значений отличалось от нормального, данные представлены в виде 50-го (меди-

аны), 25-го и 75-го перцентиля (Пц), а для их статистической обработки использованы непараметрические методы: Spearman, Mann-Whitney.

С целью изучения связи нарушений СР с вегетативной активностью и преморбидным фоном, а также разрешения вопросов их профилактики проанализировано 272 КРГ максимального нагрузочного тестирования, полученные в результате обследования смешанной популяции (S) учащихся 17±2 лет. Последняя включала как физически неподготовленную молодежь (преимущественно пассивный образ жизни) так и спортсменов-разрядников циклических видов спорта. Вскрытое в этой связи многообразие вариантов обеспечения нагрузочной толерантности определило необходимость ее классификации (подразделения). Кроме того, тренируемое спортсменом функциональное качество, определяемое спецификой нагрузки и состоянием самого организма, зачастую не только не расширяет адаптационный потенциал, но и существенно его ограничивает [4]. В этой связи принципиальная недостаточность субъективного подразделения выборки по анамнестическому признаку была разрешена кластерным анализом (k-means clustering) индивидуальных распределений кардиоинтервалов нагрузочного тестирования. Объективное выделение трех кластеров (1, 2, 3) групп, включающих 74, 97 и 61 испытуемого соответственно позволило учесть всю совокупность индивидуальной нагрузочной толерантности (табл. 1).

Таблица 1

**Оптимальные признаки и качество кластеризации**

Период	Гц	Дисперсии		Качество кластеризации
		Между групп	Внутри групп	F
Восстановительный	1,3	0,058438	0,108186	39,70
	1,4	0,055324	0,109115	37,27
	1,5	0,054355	0,155232	25,74
Нагрузочный	2,7	0,047615	0,141612	24,71
	2,8	0,282721	0,129437	160,54
	2,9	0,195316	0,088718	161,81

### Результаты и их обсуждение

При проведении стресс-теста у ряда испытуемых были выявлены нарушения СР в виде преходящих изменений проводимости на ранних этапах восстановительного периода. Феномен проявлялся на КРГ наличием 1 – 3 групп состоящих из 5 – 7 чередующихся удлинённых и укороченных кардиоинтервалов с последующим возвратом к исходному уровню длительности; на ЭКГ – преходящей проксимальной (узловой) атриовентрикулярной блокадой I степени.

Поиск причин выявленных нарушений (как в бинарной форме, так и количественно – по числу групп нарушений) выявил отсутствие связи с внешними факторами: мощностью перенесенной нагрузки, средней и максимальной ЧСС. Трудности обнаружения причинно-следственных связей, вероятно, связаны с неоднородностью выборки несмотря на ее формально достаточный объем. Кроме того, выявленные нарушения ритма не являясь жизнеугрожающими по характеру, могут быть маркерами вегетативных нарушений регуляции СР, так как последняя весьма чувстви-

тельный индикатор преморбидного состояния организма [1, 2, 8].

Оценка основных параметров физического развития смешанной популяции выявила возрастную однородность кластерных групп, нарушаемую существенным преобладанием индекса Кетле в 3 группе (1, 2 группы  $p < 0,005$ ), включающим как значение массы (1, 2 группы  $p < 0,01$ ) так и роста (1 группа  $p < 0,01$ ). При этом различия анализируемых показателей 1 и 2 групп – минимальны. Выявленные особенности физического развития преломились существенностью различий нагрузочной толерантности и ее регуляции. В свою очередь усиление вегетативной активности в период восстановления опосредованное расширением нагрузочной толерантности является объективным маркером развития выносливости и адаптационных способностей организма. В этой связи возрастание нагрузочной толерантности и усиление ее вегетативного обеспечения в кластерном ряду (3 – 1) позволяют определить формирование выносливости как основную черту кластерных различий (табл. 2).

Таблица 2

### Нагрузочная толерантность и маркеры восстановления

Группа*	Пц	W(Вт)	МК1	МК2	LFв	HFв
S	25	150,0	84,53	69,21	2,16	3,49
	50	210,0	94,64	81,37	6,83	11,69
	75	240,0	101,29	93,14	20,28	36,24
1	25	90,0	82,29	86,87	0,86	0,84
	50	120,0	86,19	99,13	1,59	2,22
	75	150,0	94,86	111,50	4,10	6,06
2	25	180,0	82,97	78,87	2,88	3,92
	50	195,0	93,35	84,87	6,09	9,09
	75	230,0	100,85	90,93	9,40	16,37
3	25	235,0	92,22	58,01	14,45	13,92
	50	240,0	98,60	63,86	29,13	52,74
	75	270,0	105,58	69,79	46,75	113,51

\* – различия по критерию множественных Kruskal-Wallis и парных Mann-Whitney сравнений существенны ( $p < 0,05$ )

По материалам настоящего исследования вегетативные влияния восстановительного периода, вызывающие снижение ЧСС, в процессе формирования выносливости, обеспечиваются усилением как симпатической, так и парасимпатической ответственности и последняя имеет решающее значение. При этом настоящая

манифестация нарушений СР внутри групп снижается с увеличением скорости восстановления и усилением вегетативного контроля. В свою очередь наличие преходящих блокад в 1 – 3 кластерах определенно связано со скоростью восстановления, низкочастотной – LF и высокочастотной – HF динамикой (табл. 3).

Таблица 3

**Корреляционная связь нарушений СР со скоростью восстановления и вегетативной регуляцией**

Показатели	Кластеры			Различия
	1	2	3	1:2; 2:3; 1:3
МК2	0,74	0,7	0,62	p < 0.05
LF	- 0,48	- 0,29	- 0,37	p < 0.05
HF	- 0,38	- 0,15	- 0,25	p < 0.05

Соответствие увеличения количества блокад падению скорости восстановления ЧСС вероятно свидетельствует об участии регуляции СР в оптимизации восстановительного периода. Проявление нарушений ритма при низком уровне симпатического и парасимпатического контроля подтверждает этот вывод. Кластерный уровень фактически не меняет выявленной закономерности. Незначительное снижение корреляционных взаимосвязей (2, 3 кластер) определяется возрастающей ролью нагрузочного компонента, требующего дополнительных резервов восстановления. При этом связь нарушений СР с перенесенной нагрузкой существенно возрастает лишь в 3 кластере (0,14; 0,01; 0,64 соответственно).

Уровень и динамика порога нарушений СР по значению маркеров модели

КРГ (табл. 4), соответствуют минимальному уровню в кластере и свидетельствуют о возрастании устойчивости СР к экстракардиальным влияниям в условиях формирования выносливости. При этом вероятность манифестации аритмии уменьшается с увеличением скорости и соответственном снижении средней ЧСС восстановительного периода. Однако при детальном изучении клинических проявлений настоящего феномена обращают на себя внимание некоторые его особенности. Частота встречаемости настоящего феномена в кластерах сопровождается неожиданной закономерностью. При минимальной длительности вегетативного контроля (1 кластер) нарушения СР встречается с частотой 3%, при умеренной (2 кластер) – 2%, при максимальной – 6%.

Таблица 4

**Критерии КРГ при типичной аритмии восстановительного периода**

Критерий модели	Кластеры					
	1		2		3	
	СЗ	ДИ	СЗ	ДИ	СЗ	ДИ
МК1	82.11	74.2 – 90.0	85.87	82.4 – 89.3	94.10	90.8 – 97.4
МК2	114.32	111.4 – 117.2	105.1	101.1 – 109.1	81.34	78.5 – 84.2

Примечание: СЗ – среднее значение; ДИ – доверительный интервал

Возрастание частоты феномена в условиях развитой выносливости, определяется возникновением новых факторов препятствующих реализации его физиологической основы – сигнала обуславливающего хронотропное торможение. В динамике формирования выносливости это выглядит следующим образом. Хаотичность изменчивости КРГ, определяющая неэффективность, каких бы то ни было регулирующих сигналов – в 1 кластере, обуславливается минимумом вегетативных свобод приводящих к общей дезрегуляции восстановления. При этом достигаемый физический максимум в тесте не может существенно преобладать над регуляционными возможностями организма. Данное обстоятельство – достижения паритета между незначительной мощностью нагрузки и ее вегетативным обеспечением и определяет небольшую частоту нарушения проводимости. В свою очередь игнорирование регуляционными системами сигнала к торможению в период формирования и апогея выносливости свидетельствует об адапционном десинхронозе, проявляющем поломку приспособительных механизмов. Данное обстоятельство, определяется несоответствием переносимого нагрузочного максимума регуляционным возможностям адапционных систем организма. Причина его – нарушение нагрузочно-восстановительного баланса в процессе тренировочной работы, а в 3 кластере – систематическая перегрузка спортсмена.

В целом восстановительные нарушения ритма в кластерных группах имеют принципиально различную основу. В 1 группе – это тотальная вегетативная недостаточность, при которой физическая нагрузка, даже на уровне ДОО, может вызывать адапционное перенапряжение, проявляющееся дистрофией миокарда, клеток водителя ритма и проводящей системы. Перегрузочный генез выраженного снижения скорости восстановления знаменующегося нарушением СР во 2 кластере выявляется в условиях длительных динамических наблюдений. При этом

устойчивость феномена в повторном тестировании (при снижении нагрузки на одну ступень), его отсутствие в период тренировочных макроциклов существенно меньших по объему нагрузки (например, до и после перехода от одноразовых к двухразовым тренировкам в день) является подтверждением настоящего довода.

Регуляция и ритмогенез восстановительного периода в 3 кластере во многом определяется высоким уровнем перенесенной нагрузки. При этом и снижение скорости восстановления и появление аритмических комплексов – последовательные результаты систематической тренировочной перегрузки. В свою очередь возникшие нарушения проводимости – результат не вегетативного безучастия, а неспособности водителя ритма подчиниться экстракардиальным регуляционным влияниям. Снижение мощности нагрузки на одну ступень в установочном эксперименте, не приводило к увеличению скорости восстановления и не препятствовало аритмическим проявлениям. Между тем наблюдение в динамике, выявило выраженное ускорение восстановления без аритмических маркеров в периоды существенного снижения тренировочных нагрузок. Данные обстоятельства свидетельствуют не только об устойчивости феномена, но и его перегрузочном происхождении.

При этом систематическое нарушение медико-педагогического контроля дозирования физической нагрузки в процессе подготовки спортсмена является, пожалуй, единственной причиной сложившейся ситуации.

Таким образом, во всех изучаемых кластерах причиной описанных нарушений ритма является вегетативный дисбаланс. Однако если в первой группе он определяется изначальной регуляторной недостаточностью, вызванной привычной гиподинамией, то во 2 и 3 – речь идет о первичной физической перегрузке, потребовавшей от организма больших приспособительных возможностей, чем он располагает. При этом если в 1 группе

нарушения СР имеют преходящий характер, то выраженная торпидность нарушений во 2, 3 кластерах, опосредуется, вероятно, глубокими нарушениями метаболизма миокарда, ведущими к его стрессовому повреждению. В свою очередь четкий систематический индивидуальный мониторинг нагрузочной толерантности и вегетативного контроля, знание адаптационно-перегрузочной динамики, определенной последовательным снижением длительности нагрузочного вегетативного контроля, показателей скорости восстановления и лишь затем вскрывающейся нарушениями СР, позволяет не допустить их возникновения, а кроме того не отменяет иных возможностей спортивного совершенствования [4].

#### Выводы

1. Вегетативная активность в период восстановления существенно увеличивается в зависимости от уровня развития выносливости при этом парасимпатические влияния доминируют над симпатическими. Вегетативная депрессия, определяясь существенным падением активности обоих отделов автономной нервной системы обуславливает снижение скорости восстановления и, может проявляться преходящими нарушениями сердечного ритма.

2. Причины преходящих нарушений сердечного ритма восстановительного периода различаются в зависимости от уровня развития выносливости: низкий уровень опосредуется гиподинамической дисфункцией ВНС, средний и высокий – физической перегрузкой или перетренировкой. Совершенствование вегетативной регуляции при формировании выносливости снижает вероятность нарушений сердечного ритма, изменяя значение их манифестации от маркера вегетативной дистонии к предиктору перегрузки.

3. Вегетативный контроль сердечного ритма при физической нагрузке, включая феномены его нарушений, нуждаются в дальнейшем изучении. Настоящая необходимость продиктована не столько предупреждением жизнеугрожающих аритмий, сколько ранней диагностикой

усвоения организмом физических нагрузок и профилактикой их перегрузочно – перетренировочных последствий.

#### Литература

1. Михайлов В.М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ: велоэргометрия, тредмилл-тест, степ-тест, ходьба / В.М. Михайлов. – Иваново: Талка, 2008. – 545 с.
2. Орджоникидзе, З.Г. Особенности ЭКГ спортсмена / З.Г. Орджоникидзе, В.И. Павлов, А.Е. Дружинин // Функциональная диагностика. – 2005. – №4. – С. 65-74.
3. Павлов, В.И. Сравнительный анализ нагрузочного тестирования на различных видах эргометров / В.И. Павлов, А.В. Пачина, З.Г. Орджоникидзе // Спортивная медицина: наука и практика. – 2011. – Т. 1, №2. – С. 5-10.
4. Павлов, С.Е. Технология подготовки спортсменов / С.Е. Павлов, Т.Н. Павлова. – Щелково (МО): Издатель П.Ю. Мархотин, 2011. – 344 с.
5. Пат. 2355301 РФ, МПК<sup>9</sup> А61В5/0452. Способ определения переносимости физической нагрузки по точке ускользания сердечного ритма от вегетативного контроля / А.Л. Похачевский, Б.А. Садельников, В.М. Михайлов. – заявл. 23.11.2007; опубл. 20.05. 2009.
6. Пат. 2468740 РФ, МПК<sup>12</sup> А61В5/00. Способ определения вегетативной активности при нагрузочном тестировании / А.Л. Похачевский, Б.А. Садельников. – №2011110624/14; заявл. 21.03.2011; опубл. 10.12.2012.
7. Похачевский А.Л. Состояние автономной (вегетативной) нервной системы и нарушения сердечного ритма / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин // Рос. медико-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. – 2013. – №4. – С. 43-46.
8. Школьникова М.А. Жизнеугрожающие аритмии у детей / М.А. Школьникова. – М.: ОАО Типография «Нефтяник», 1999. – 229 с.
9. Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Settings: A Scientific Statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Re-

habilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing / J. Balady [et al.] // *Circulation*. – 2007. – № 16. – P. 329-343.

10. Enhanced Predictive Power of Quantitative TWA During Routine Exercise Testing in the Finnish Cardiovascular Study / M. Minkkinen [et al.] // *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. – 2009. – Vol. 20, №4. – P. 408-415.

#### HEART BEAT REGULATION DURING LOAD TEST

*A.L. Pokhachevsky, M.M. Lapkin*

**Ingenious methods of cardiac rhythmgram analysis (CRG) during a load testing are used to study the heart beat (HB) and its regulation. As a result of the CRG cluster analysis of a mixed youth population: 272 persons of 17±2 years old 3 clusters are determined differing by the mixed endurance level. It is established that the latter is the basis of the activity of the autonomic (vegetative) nervous system that determines the recovery rate, as well as the HB variability up to its abnormalities. Vegetative regulation improvement within endurance training reduces the possibility of HB abnormalities by changing the value of their onset from the vegetative dystonia marker to the physical exertion and overtraining predictor. We have determined the possibility for the further study of the heart beat and its regulation with the purpose of early detection of the exercise learning by an organism and preventive measures against overload and overtraining effects.**

*Keywords: maximal load ergometry, vegetative regulation of heart beat.*

Похачевский А.Л. – к.м.н., доц., рук. научно-исследовательская лаборатории диагностических и оздоровительных технологий Вологодского институт права и экономики ФСИН России.  
160002, г. Вологда, ул. Щетинина, д. 2.  
E-mail: sport\_med@list.ru.

Лапкин М.М. – д.м.н., проф., зав. кафедрой нормальной физиологии с курсом психофизиологии Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П.Павлова.  
390000, г. Рязань, ул. Полонского, 13.  
Тел. (8-4912) 46-08-85.  
E-mail: lapkin\_rm@mail.ru.