

дисциплине.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гетьман, В.Д. Самоконтроль и методы оценки физического и функционального состояния студентов : учебное пособие / В.Д. Гетьман, Л.Б. Ефимова-Комарова, А.В. Токарева. – СПб. : Издательство Ассоциации Строительных Вузов, 2016. – 101 с.

#### REFERENCES

1. Getman, V.D., Efimova-Komarova L.B. and, Tokareva A.V. (2016), *Self-checking and methods of assessment of a physical and functional condition of students: manual*, publishing house of Association of Construction Higher education institutions, St Petersburg.

**Контактная информация:** ageevets59@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 23.01.2019*

УДК 796.015.6

### ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

*Николай Анатольевич Горбунов, кандидат педагогических наук, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина (РГУ имени С.А. Есенина); Александр Викторович Гурский, доцент, Юрий Макарович Арканов, доцент, Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний (Академия ФСИН России, Рязань); Евгения Вадимовна Малтусова, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет, Москва); Даниил Андреевич Похачевский, Московский физико-технический институт (МФТИ)*

#### Аннотация

Ранняя изменчивость сердечного ритма (СР) в нагрузочный период (НП) имеет характерные особенности, связанные как с прогнозом физической работоспособности (ФР), так и восстановительного потенциала организма. Математическое моделирование (ММ) временного ряда кардиоритмограммы (КРГ) первых минут нагрузочного периода выявило максимальное количество связей моделей КРГ на 1 и 3 минуте с ранним восстановительным периодом. Переносимость ФН определяется в нагрузочный период скоростью изменчивости кардиоинтервалов (КИ) на 3 минуте. При этом большей нагрузке соответствует меньшая скорость изменчивости КИ. В период восстановления связь проявляется на 1, 3 минутах. При этом на 1 минуте большей нагрузке соответствует меньший КИ – более длительное восстановление, а на 3 минуте – большая скорость увеличения КИ. Таким образом, прогноз максимума ФР и восстановительного потенциала может быть осуществлен по КРГ первых минут нагрузочного периода. Наиболее существенными для этого прогноза следует считать показатели ММ КРГ 1 и 3-х минут.

**Ключевые слова:** кардиоритмограмма, математическая модель; максимальное нагрузочное тестирование; маркеры сердечного ритма.

### PROGNOSTIC POSSIBILITIES OF HEART RATE VARIABILITY DURING EXERCISE STRESS

*Nikolay Anatolyevich Gorbunov, the candidate of pedagogical sciences, Ryazan State University named for S. Esenin; Aleksandr Viktorovich Gursky, the senior lecturer, Yuri Makarovich Arkanov, the senior lecturer, The Academy of the Law and Management of Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan; Evgenia Vadimovna Maltusova, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University; Daniil Andreevich Pokhachevskiy, Moscow Institute of Physics and Technology*

#### Annotation

The early variability of the heart rhythm (HR) during the load period (LP) has characteristic features associated with both the prediction of physical performance (PP) and the recovery potential of the body.

Mathematical modeling (MM) of the time series of cardiac rhythmgrams (CRG) of the first minutes of the loading period revealed the maximum number of links of the CRG models of 1 and 3 minutes with the early recovery period. Tolerance to exercise stress is determined during the loading period by the rate of variability of cardio intervals (CI) at 3 minutes. In this case, a higher load corresponds to a lower rate of variability of CI. During the recovery period, the connection appears at 1, 3 minutes. At the same time, at 1 minute, a higher load corresponds to a smaller CI – a longer recovery; Thus, the forecast of the maximum of the PP and the reductive variability of the heart rhythm can be carried out by CRG of the first minutes of the exercise period. The most significant for this forecast should be considered indicators of the MM of the CRG 1 and 3-minutes LP.

**Keywords:** cardiac rhythmgram, mathematical model, maximal load test, criteria, markers for the heartbeat.

## ВВЕДЕНИЕ

Прогноз физической работоспособности (ФР) всегда интересен, когда это касается ее динамики: возрастания в процессе тренировки или реабилитации, снижения – в связи с патологическими процессами. Теорию и методику физической культуры, а также спортивную физиологию с этим вопросом связывает возможность оперативного контроля ФР в рамках усвоения физической нагрузки (ФН) и формирования тренировочного эффекта [1, 4-6, 9]. При этом необходимая частота использования настоящего прогноза может быть достаточно велика и не исчерпываться однократным исследованием в течение суток. В настоящее время проводится достаточное количество экспериментов, касающихся прогноза ФР, однако вопросы переносимости ФН, анализа восстановительного периода (ВП) остаются не до конца разработанными.

Цель исследования: изучить связь изменчивости временного ряда кардиоритмограммы нагрузочного (НП) и восстановительного периода стресса методом математического моделирования (ММ).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследована выборка практически здоровых юношей 18-23 лет (35 человек) массовых спортивных разрядов, не имеющих систематических ФН в анамнезе предшествующего обследованию календарного года, занимающиеся физической культурой по плану учебного учреждения или самостоятельно – не регулярно, не чаще 1–3 раз в неделю по 45–90 минут. Максимальное велоэргометрическое тестирование осуществлялось по индивидуальному протоколу. Мощность  $W_1$  (Ватт) первой ступени длительностью 3 минуты рассчитывалась исходя из величины должного основного обмена (ДОО) в килокалориях по формуле  $W_1(\text{Вт}) = \text{ДОО} \times 0,1$ . В дальнейшем нагрузка ступенчато возрастает на 30 Вт каждую минуту до индивидуального максимума ( $W_{\text{max}}$ ) – снижения скорости педалирования ниже 30 оборотов в минуту, обуславливающего конец нагрузки и начало восстановительного периода длительностью 7 минут [1-3, 7-9].

Нагрузочные пробы проводились в первой половине дня с 8 до 12 часов на велоэргометре Lode Corival (диапазон нагрузки 7–1000 Вт). В течение всего времени тестирования посредством кардиоанализатора «ПолиСпектр-12» (Нейрософт, частота квантования 1000 Гц) записывалась оцифрованная электрокардиограмма, из которой выделялся последовательный временной ряд RR-интервалов (кардиоинтервалов (КИ)) – кардиоритмограмма (КРГ).

Временные ряды КРГ нагрузочного и восстановительного периода анализировались как линейные математические модели:  $Y = aX + b$ , где  $X$  – порядковый номер КИ во временном ряду КРГ,  $Y$  – длительность КИ, « $a$ » – параметр модели наклон (Н), характеризующий скорость изменчивости временного ряда и « $b$ » – параметр модели отрезок (О), определяющий его постоянную составляющую. Оптимизация моделей достигалась методом наименьших квадратов. Математическому моделированию подвергался временной ряд КРГ раннего нагрузочного и восстановительного периода: раздельно первой (1), второй (2),

третьей (3) минуты; попарно: 1-2; 2-3; всего раннего адаптационного периода: 1-3. При анализе переносимости ФН определялся показатель dW: разница между максимально достигнутым значением (Wmx) и мощностью первой ступени (W1):  $W = Wmx - W1$ .

Результаты исследования обрабатывали с помощью статистического пакета Statistica 6.0. Поскольку распределение полученных значений отличалось от нормального, данные представлялись в виде перцентильного (Пц) ряда (25-Ме-75). Для статистической обработки применялся корреляционный анализ Spearman.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В нагрузочный период скорость изменчивости поступательно уменьшается от 1 к 3 минуте. Однако выраженность этого процесс неравномерна: на 2 минуте – в три раза (относительно 1 минуты), на 3 минуте – в 2 раза (относительно 2 мин). При этом длительность КИ ко 2 минуте теряет около 15%, к 3 минуте всего лишь 5% (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели переносимости физической нагрузки и маркеры математической модели кардиоритмограммы нагрузочного периода

Мин	1		2		3		1-2		2-3		1-3		
Показатели	Маркеры математической модели												
Пц	dW	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
25	90,0	-0,82	463,8	-0,25	383,3	-0,12	355,2	-0,42	442,3	-0,18	376,1	-0,28	425,4
50	90,0	-0,60	484,5	-0,18	409,0	-0,10	378,3	-0,37	469,2	-0,14	399,8	-0,25	451,3
75	120,0	-0,46	516,8	-0,14	420,9	-0,08	394,3	-0,29	489,0	-0,10	416,2	-0,19	472,7

В период восстановления увеличение длительности КИ характеризуется прогрессивной, но несколько неравномерной динамикой. На 2 минуте увеличение на 18% на 3–13%. При этом скорость изменчивости увеличивается на 2 (20%) и снижается на 3 минуте (40%) (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели (25-50-75Пц) математической модели (ММ) кардиоритмограммы восстановительного периода

Мин	1		2		3		1 2		2 3		1 3	
ММ	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
25Пц	0,25	305,56	0,27	349,60	0,13	413,01	0,28	300,92	0,25	354,93	0,27	301,55
50Пц	0,31	318,23	0,39	374,97	0,26	424,05	0,34	314,07	0,31	376,47	0,35	317,18
75Пц	0,40	329,37	0,58	404,38	0,34	465,70	0,49	330,21	0,45	415,68	0,47	333,58

Переносимость ФН определяется в НП скоростью изменчивости КИ на 3 минуте (максимальное значение связи), а также во все переходные периоды: 1-2, 2-3 и 1-3 минутах. При этом большей нагрузке во всех случаях соответствует меньшая скорость изменчивости КИ. В период восстановления связь проявляется на 1, 3 (максимальное значение) а в переходные периоды на 1-2 и 1-3 минутах. При этом если на 1, 1-2 и 1-3 (максимальное значение) минуте большей нагрузке соответствует меньший КИ, то есть более длительное восстановление, то 3 минуте – большая скорость изменчивости КИ (таблица 3).

Таблица 3 – Корреляционные показатели (Spearman) связи максимума переносимости физической нагрузки и маркеров математической модели (ММ) кардиоритмограммы нагрузочного и восстановительного периода

Мин	1		2		3		1 2		2 3		1 3	
ММ	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
Нагрузочный период												
dW	0,12	-0,22	0,25	0,05	0,38*	0,14	0,28*	-0,16	0,32*	0,08	0,29*	-0,12
Восстановительный период												
dW	-0,14	-0,48*	0,14	-0,32*	0,58*	-0,16	0,03	-0,47*	0,30*	-0,33*	0,17	-0,55*

\* – Статистически существенные показатели ( $p < 0,01$ )

Весь ранний нагрузочный период демонстрирует связи с ранним восстановлением. Однако наибольшее количество этих связей проявляет 1 и 3 минуты НП. При этом обе имеют связи со всеми тремя минутами восстановления. Вероятно, данное обстоятельство связано

с максимальной изменчивостью КИ на 1 минуте НП и минимальной – на третьей. При этом большее количество связей 1 мин связано с показателем модели «Н» определяющим скорость изменчивости, а на 3 минуте – с маркером модели «О», обуславливающим длительность КИ. Вероятно, поэтому он может считаться более стабильным и предпочтительным (таблица 4).

Таблица 4 – Корреляционные показатели (Spearman) связи маркеров математической модели (ММ) кардиоритмограммы нагрузочного и восстановительного периода (П)

Период		Восстановительный период									
Нагрузочный период	Мин/ММ	1 Н	1 О	2 Н	2 О	3 Н	3 О	1-2 Н	1-2 О	2-3 Н	2-3 О
	1 Н	-0,51*	-0,28	-0,33	-0,39*	0,09	-0,43*	-0,48*	-0,16	-0,22	-0,38*
	1 О	0,44*	0,49*	0,35	0,42*	-0,14	0,45*	0,37*	0,32	0,20	0,41*
	2 О	0,29	0,47*	0,44*	0,35	0,13	0,42*	0,32	0,29	0,33	0,34
	3 Н	0,07	-0,43*	-0,04	-0,06	0,20	-0,03	0,12	-0,27	0,08	-0,03
	3 О	0,39*	0,52*	0,40*	0,46*	0,26	0,52*	0,37	0,43*	0,37	0,43*
	1-2 Н	-0,39*	-0,30	-0,20	-0,30	0,25	-0,32	-0,31	-0,20	-0,03	-0,30
	1-2 О	0,40*	0,45*	0,36	0,38*	-0,07	0,44*	0,34	0,28	0,23	0,36
	2-3 О	0,29	0,47*	0,43*	0,34	0,17	0,42*	0,32	0,30	0,33	0,33
	1-3 О	0,33	0,48*	0,39*	0,36	-0,05	0,42*	0,32	0,27	0,24	0,35

\* – Статистически существенные показатели ( $p < 0,01$ )

Так как при нагрузке происходит снижение длительности КИ – маркер модели «Н» имеет отрицательное значение, соответственно при восстановлении – положительное. При этом увеличение отрицательного значения при нагрузке – свидетельствует о его математическом уменьшении, в то время как увеличение показателя «Н» при восстановлении определяет и математическое увеличение этого показателя. Иными словами, на практике мы видим соответствие большей скорости увеличения ЧСС при нагрузке – большей скорости восстановления. И этот феномен заслуживает дополнительного разъяснения. Его основой является разная возможность изменчивости ЧСС. При этом если максимальная ЧСС имеет генетические и возрастные ограничения, то ЧСС покоя и первой ступени у здорового человека определяются хронотропным сбережением, сформированным в результате тренировки выносливости. У человека с развитой выносливостью уровень ЧСС покоя будет обеспечиваться меньшей ЧСС, в то время как нагрузка большим диапазоном изменчивости [1, 4, 5, 8]. В тоже время положительное соответствие большего КИ (значение модели «О») в период нагрузки таковому в период восстановления свидетельствует о синергизме нагрузочной и восстановительной регуляции, обусловленной в норме более выраженным хронотропным торможением.

## ВЫВОДЫ

Прогноз изменчивости сердечного ритма после максимальной ФН может быть осуществлен по кардиоритмограмме первых минут нагрузочного периода. Наиболее существенными для этого прогноза следует считать показатели математической модели КРГ 1 и 3 минут. В связи с тем, что интенсивность ФН первой ступени является субмаксимальной, настоящий подход может быть использован для разработки теста-прогноза физической работоспособности, что упрощает возможность и выбор частоты тестирования для оперативного контроля тренированности, профилактики перегрузки и перетренировки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапкин, М.М. Значение изменчивости кардиоинтервалов при нагрузочном тестировании / М.М. Лапкин, А.Л. Похачевский // Физиология человека. – 2017. – № 1 (43). – С. 81-88.
2. Патент 2355301 РФ. Способ определения переносимости физической нагрузки по точке ускользания сердечного ритма от вегетативного контроля / А.Л. Похачевский, Б.А. Садельников, В.М. Михайлов. – № 2007143527/14 ; заявл. 23.11.2007 ; опубл. 20.05.2009, Бюл. 14. – 5 с.
3. Патент 2468740 РФ. Способ определения вегетативной активности при нагрузочном тестировании / Б.А. Садельников, А.Л. Похачевский. – № 2011110624/14 ; заявл. 21.03.2011 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. 34. – 8 с.

4. Закономерности формирования хронотропных резервов адаптации при физической нагрузке / М.М. Лапкин, С.В. Булатецкий, А.В. Платонов, Ю.М. Рекша // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 1. – С. 19-20.
5. Прогностический потенциал нагрузочной кардиоритмограммы раннего адаптационного периода / Н.С. Бирченко, Д.А. Похачевский, В.Н. Пожималин, А.Б. Петров // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – № 1 (18). – С. 46-59.
6. Применение хронотропного индекса для анализа переносимости физической нагрузки / В.М. Михайлов, А.Б. Петров, Д.А. Донсков, Д.А. Фалеев // Теория и практика физической культуры. – 2017. – № 7. – С. 47-49.
7. Лапкин, М.М. Сравнительная характеристика вегетативного контроля и профилактика нарушений сердечного ритма у подростков при физической нагрузке / М.М. Лапкин, А.Л. Похачевский // Профилактическая медицина. – 2014. – № 3 (17). – С. 27-31.
8. Значение предикторов выживаемости в молодежной выборке / М.М. Лапкин, А.В. Платонов, А.А. Трунтягин, Ф.Р. Гаджимурадов // Профилактическая медицина. – 2018. – № 3 (21). – С. 57-61.
9. Похачевский, А.Л. Сравнительный мониторинг функционального состояния вегетативной нервной системы подростков / А.Л. Похачевский // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2010. – № 3 (89). – С. 51-56.

#### REFERENCES

1. Lapkin, M.M. and Pokhachevskiy, A.L. (2017), "Importance of RR-interval variability in stress test", *Human Physiology*, Vol. 43, No 1, pp. 71-77.
2. RU 2355301 C1, "Method for determination of tolerance to physical exercise by point of heart rate elusion from vegetative control", A.L. Pokhachevskiy, B.A. Sadelnikov, V.M. Mikhailov, App. 2007143527/14, 23.11.2007, Publ. 20.05.2009, Bull. 14, 5 p.
3. RU 2468740 C1, "Method of determining vegetative activity in stress testing", B.A. Sadelnikov, A.L. Pokhachevskiy, App. 2011110624/14, 21.03.2011, Publ. 10.12.2012, Bull. 34, 8 p.
4. Lapkin, M.M., Bulatetskiy, S.V., Platonov, A.V. and Reksha, Y.M. (2017), "Laws of development of chronotropic reserves under physical exercises", *Theory and Practice of Physical Culture*, No 1, pp. 6-10.
5. Birchenko, N.S., Pokhachevskiy, D.A., Pozhimalin, V.N. and Petrov, A.B. (2018), "Prognostic potential of exercise cardiac rhythmgram during early adaptation period", *Human. Sport. Medicine*, Vol. 18, No 1, pp. 46-59.
6. Mikhailov, V.M., Petrov, A.B., Donskov, D.A. and Faleev, D.A. (2017) "Chronotropic index application for exercise tolerance tests", *Theory and Practice of Physical Culture*, No 7, pp. 16-19.
7. Lapkin, M.M. and Pokhachevskiy, A.L. (2014), "The comparative characteristics of autonomic control and the prevention of heart arrhythmias in adolescents during physical exercise", *Preventive medicine*, Vol. 17, No 3, pp. 27-31.
8. Lapkin, M.M., Platonov, A.V., Truntyagin, A.A. and Gadzhimuradov F.R. (2018), "The significance of survival predictors in a young sample", *Preventive medicine*, Vol. 21, No 3, pp. 57-61.
9. Pokhachevskiy, A.L. (2010), "Comparative monitoring of the functional state of the adolescent autonomic nervous system", *Pediatrics. Zhurnal im. G.N. Speranskogo*, Vol. 89, No 3, pp. 51-56.

**Контактная информация:** sport\_med@list.ru

*Статья поступила в редакцию 22.01.2019*

**УДК 796.61**

#### **ОБУЧЕНИЕ ТЕХНИКЕ СТАРТА И СТАРТОВОГО РАЗГОНА НАЧИНАЮЩИХ ВЕЛОГОНЩИКОВ ВМХ**

*Горская Инесса Юрьевна, доктор педагогических наук, профессор, Пушкин Александр Сергеевич, Попков Виталий Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта (СибГУФК), Омск*

#### **Аннотация**

Исследование затрагивает проблемы подготовки спортивного резерва в экстремальном олимпийском виде спорта ВМХ и посвящено обоснованию методики обучения технике старта и