

СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ МАКСИМАЛЬНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

А.Л. Похачевский^{1,2}, sport_med@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6610-007X>

М.М. Лапкин², lapkin_rm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1826-8307>

Е.А. Трутнева², Elena68@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9273-9432>

А.В. Калинин^{3,4}, andrei_kalinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4401-4538>

Г.М. Лаврухина³, g.lavrukchina@lesgaft.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7186-5472>

¹Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

²Рязанский государственный медицинский университет, Рязань, Россия

³Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Цель исследования: изучить «раннюю» изменчивость СР стресс-теста методом математического моделирования с тем, чтобы выявить взаимосвязи с переносимостью ФН и определяющими ее особенностями СОФФ. **Материалы и методы.** Проведено пилотное исследование выборки практически здоровых испытуемых 18–22 лет (28 человек). Велозерго-стресс-тест проводился по индивидуальному рамп-протоколу. Из электрокардиограммы выделялся последовательный ряд RR-интервалов (КИ) – кардиоритмограмма (КРГ). КРГ нагрузочного и восстановительного периодов анализировались как линейные математические модели, моделировалась КРГ предстарта – периода (30 секунд), предшествующего началу эргометрии, старта – периода (30 секунд) от начала вращательных локомоций на эргометре с нагрузкой 50 Вт. Полный газовый анализ (Quark) осуществлялся в течение всего тестирования. **Результаты.** Предстартовые показатели в условиях смешанной и ограниченной выборки не могут быть предикторами максимальной переносимости ФН, однако достаточно точно предсказывают стартовый потенциал организма. Соответствие меньшей ЧСС предстарта и старта меньшей скорости восстановления может объясниться бóльшим максимумом ФН. При этом меньшая скорость роста ЧСС в период старта соответствует меньшей скорости восстановления. Бóльший КИ и скорость изменчивости КРГ 1-й ступени соответствуют бóльшему нагрузочному максимуму. Более высокий максимум ФН проявляется укорочением длительности КИ периода восстановления. Более позднее возникновение анаэробного энергообеспечения проявляется бóльшей нагрузочной переносимостью и преобладающей скоростью восстановления. **Заключение.** Выявленная изменчивость СР отражает динамику переносимости ФН, а также энергетические процессы, ее обеспечивающие.

Ключевые слова: сердечный ритм, физическая нагрузка, стресс-тест, математическое моделирование, маркеры переносимости

Для цитирования: Системная организация физиологических функций, обеспечивающая максимальную физическую работоспособность / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин, Е.А. Трутнева и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № S2. С. 37–45. DOI: 10.14529/hsm22s205

SYSTEM ORGANIZATION OF PHYSIOLOGICAL FUNCTIONS THAT PROVIDES MAXIMUM PHYSICAL PERFORMANCE

A.L. Pokhachevskiy^{1,2}, sport_med@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6610-007X>
M.M. Lapkin², lapkin_rm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1826-8307>
E.A. Trutneva², Elena68@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9273-9432>
A.V. Kalinin^{3,4}, andrei_kalinin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4401-4538>
G.M. Lavrukhina³, g.lavrukhina@lesgaft.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7186-5472>

¹I.M. Sechenov First MSMU MOH Russia (Sechenovskiy University), Moscow, Russia

²Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

³Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia

⁴St. Petersburg State Paediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

Abstract. Aim: the paper is aimed at identifying the “early” variability of HR stress test by means of mathematical modeling and, thus, establishing the relationship between the tolerance of physical activity (PA) and related features of the system organization of physiological functions (SOPF). **Materials and methods.** This pilot study involved 28 apparently healthy subjects aged from 18 to 22 years. Bicycle ergometer test was performed according to an individual ramp protocol. Sequential RR-intervals (CI) were isolated from the electrocardiogram. The data obtained at exercise and rest were provided as linear mathematical models. Cardiac rhythm data were modeled before (30 seconds) and just after (30 seconds) the beginning of the bicycle ergometer test at 50 W. A comprehensive gas analysis (Quark) was carried out throughout the test. **Results.** Pre-exercise data of a mixed and limited sample cannot be predictors of maximum PA tolerance, however, the data obtained predict quite accurately the baseline potential of the body. The correspondence between a lower pre-exercise/exercise HR with a lower recovery rate can be explained by a higher PA maximum. At the same time, the correspondence was found between a lower rate of increase in HR at the beginning of the test and a lower rate of recovery. A larger CI and the rate of variability of the 1st stage cardiac rhythm data correspond to a larger exercise maximum. A higher PA maximum is associated with a shorter CI recovery. The later involvement of anaerobic energy supply is associated with both a greater exercise tolerance and a prevailing rate of recovery. **Conclusion.** The data obtained reflect the dynamics of PA tolerance and related energy mechanisms.

Keywords: heart rate, physical activity, stress test, mathematical modeling, markers of tolerance

For citation: Pokhachevskiy A.L., Lapkin M.M., Trutneva E.A., Kalinin A.V., Lavrukhina G.M. System organization of physiological functions that provides maximum physical performance. *Human. Sport. Medicine*. 2022;22(S2):37–45. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm22s205

Введение. Переносимость физической нагрузки (ФН) как предиктор выживаемости и показатель смешанной выносливости имеет множество маркеров, полученных в результате анализа сердечного ритма (СР) в период непосредственного воздействия ФН [3–7]. Однако еще до ее начала в процессе индивидуального формирования системной организации физиологических функций (СОФФ), обеспечивающей физическую работоспособность (ФР), формируется предпусковая интеграция – программа включения необходимых физиологических механизмов для оптимальной переносимости ФН и механизм перцепции – для сравнения полученного результата с запланированным [1]. Поэтому изменчивость

СР, выявленная в процессе формирования СОФФ или в первые минуты ее функционирования, также, вероятно, является маркером переносимости ФН. Кроме того, изучение предвестников и ранних маркеров изменчивости временного ряда (ВР) кардиоритмограммы (КРГ) в конкретных условиях аэробно-анаэробного обмена позволит выявить их прогностический потенциал, связанный с выяснением физических, тренировочных возможностей организма при субмаксимальных, минимально значимых нагрузках и даже в отсутствие таковых. Последнее весьма актуально при назначении ФН с реабилитационной целью [2]. Настоящий подход в целом имеет целью вывести спортивно-тренировочный,

реабилитационный процесс на доказательный уровень с вероятностным прогнозом переносимости ФН, ее усвоения организмом, контроля процессов восстановления, профилактики перегрузки и перетренировки [3, 8–11].

Цель исследования: изучить «раннюю» изменчивость КРГ стресс-теста методом математического моделирования с тем, чтобы выявить взаимосвязи с переносимостью ФН и определяющими ее особенностями СОФФ.

Материалы и методы. Проведено пилотное исследование смешанной выборки практически здоровых испытуемых 18–22 лет (28 человек). Велоэргостресс-тест проводился по индивидуальному протоколу. Мощность W_1 (Ватт) 1-й нагрузочной 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 возрастала на 30 Вт в минуту до индивидуального максимума (W_{mx}) – снижения скорости педалирования ниже 30 оборотов в минуту, обуславливающего конец нагрузки и начало восстановительного периода (ВП) [3–7].

Нагрузочные пробы проводились в первой половине дня на велоэргометре Lode Corival (7–1000 Вт). В течение всего тестирования кардиоанализатором (Нейрософт, 1000 Гц) записывалась оцифрованная электрокардиограмма, из которой выделялся ВР КРГ. КРГ нагрузочного и восстановительного периодов анализировались как линейные (Лин) $Y = aX + b$ математические модели, где X – порядковый номер RR-интервала во временном ряду КРГ, Y – длительность RR-интервала, «a» – параметр модели наклон (Н), характеризующий скорость изменчивости временного ряда, и «b» – параметр модели отрезок (О), определяющий его постоянную составляющую. Математическому моделированию подвергался ВР КРГ: предстарта (ПС) – периода длительностью 30 секунд, предшествующего началу

эргометрии; старта (СТ) – периода длительностью 30 секунд от начала вращательных локомоций на эргометре с нагрузкой 50 Вт; первой ступени нагрузки: раздельно 1, 2, 3-я минуты, попарно: 1,2; 2,3 и 1–3; первых 3 минут ВП: раздельно 1, 2, 3-я минуты, попарно: 1,2; 2,3 и 1–3.

Исследование газообмена полного цикла проводилось на основе анализа кривых концентрации O_2 и CO_2 в выдыхаемом воздухе испытуемых системой Quark CPET в течение всего нагрузочного тестирования. Определялось время наступления (Т) и ЧСС анаэробного порога (Ап).

При анализе переносимости ФН учитывалась разница между W_{mx} и мощностью первой ступени (W_1): $W(\text{Вт}) = W_{\text{mx}} - W_1$. Результаты исследования обрабатывали с помощью статистического пакета Statistica 10.0. Поскольку распределение полученных значений отличалось от нормального, данные представлялись в виде квартильного ряда (Q1, 2, 3). Для статистической обработки использовались непараметрические методы сравнения Mann–Whitney и корреляционный анализ Spearman.

Результаты и обсуждение. Изменчивость КРГ ПС в большей части выборки проявляется минимальной тенденцией роста КИ, при этом уровень 1-го и 3-го квартиля демонстрируют противоположные реакции в виде уменьшения и более выраженного увеличения КИ соответственно (табл. 1). Однако отсутствие существенных корреляционных связей маркеров модели КРГ не позволяет уточнить взаимоотношения этих показателей. Пограничное по статистической существенности значение корреляционной связи показателя О с мощностью перенесенной нагрузки лишь позволяет предположить соответствие большего КИ в период ПС большему максимуму ФН.

Прирост мощности, достигнутый в выборке по медиане, незначительно превышает 90 Вт, что фактически соответствует 3 ступе-

Таблица 1
Table 1

Нагрузочные маркеры и характеристики математической модели КРГ (Q 1–3)
Exercise data and characteristics of the CRG mathematical model (Q 1–3)

Q	dW (Watt)	Анаэробный порог Anaerobic threshold		Предстарт Pre-exercise		Старт Start	
		ЧСС / HR	T (c) / Time (s)	Н	О	Н	О
Q1	83,7	142,00	117,00	-0,63	580,02	-4,79	550,97
Q2	96,3	145,00	125,00	0,31	669,03	-2,81	633,55
Q3	121,5	155,00	137,00	1,38	752,30	-1,85	712,53

ням рамп-протокола. При этом анаэробный порог преодолевался всеми обследуемыми на 2-й минуте нагрузки с минимальным разбросом по ЧСС на уровне 145 уд./мин.

Неустойчивая изменчивость КРГ и минимум связей с эргометрическими показателями, вероятно, обуславливаются неоднородностью выборки, когда у части ее резидентов сформированные СОФФ, определяющие переносимость ФН, недостаточно совершенны, что, вероятно, связано с редкой востребованностью (частотой повторного включения). Последнее обстоятельство оставляет большую степень свободы для взаимодействия компонентов адаптационных механизмов, что и обуславливает отсутствие оптимальных взаимосвязей в период предпусковой интеграции. В свою очередь динамика КРГ СП более однородна: наличие выраженной обратной связи ($-0,94$) показателей модели (Н; О) свидетельствует о соответствии большей скорости изменения КРГ большей длительности КИ. При этом большая скорость изменчивости является следствием меньшей ЧСС покоя, что неоднократно было показано в предшествующих исследованиях [3, 9–11]. Возрастает до статистической существенности и взаимосвязь маркеров КРГ этого периода с перенесенной нагрузкой. При этом большей скорости изменчивости КРГ и большей длительности КИ соответствует больший уровень ФН. Выраженная взаимосвязь маркеров модели КРГ СП и ПС позволяет вскрыть особенности периода ПС: более длительному КИ старта соответствует более длительный КИ (0,91) и положительная скорость увеличения КИ ПС (0,4). В свою очередь увеличение скорости уменьшения КИ СТ соответствует меньшей

скорости изменчивости ($-0,4$) и большему КИ ($-0,83$) в период ПС. Следовательно, несмотря на то, что сами показатели ПС не могут быть точными предикторами максимальной переносимости ФН, однако достаточно точно предсказывают стартовый потенциал организма.

Скорость изменчивости КРГ на 1-й минуте нагрузки так же, как и в период старта, проявляется снижением длительности КИ, однако интенсивность этого процесса существенно снижается (табл. 2). Та же закономерность изменчивости КИ сохраняется на 2-й и 3-й минуте нагрузки, при этом прежней остается и тенденция падения скорости этого процесса: 2-я минута теряет в скорости относительно первой – в 3 раза, третья относительно второй – 80 %.

На первых минутах восстановления проявляется положительная динамика скорости увеличения КИ. При этом на 2-й минуте она возрастает относительно первой на 30 %, на 3-й – утрачивает динамику и снижается относительно второй на 35 %, а относительно первой – на 10 %. В свою очередь маркер модели О, в определенной степени свидетельствующий о средней длительности КИ, проявляется поступательным увеличением от 1-й к 3-й минуте: добавляя на второй – 18 %, на 3-й – 13 %. Динамика этого процесса на отрезке 2–3 – 20 %. Чем больше наклон КРГ при нагрузке, тем больше и при восстановлении ($-0,47$). Однако чем больше длительность КИ при нагрузке, тем больше и при восстановлении (0,42). Это проявляется преимущественно на 1-й и 3-й минуте нагрузки и характеризует преимущественно 1–3-ю минуту восстановления.

Иными словами, большая скорость роста ЧСС в нагрузочный период соответствует

Таблица 2
Table 2

Характеристики математической модели КРГ
Characteristics of the CRG mathematical model

Q	1 мин 1 min		2 мин 2 min		3 мин 3 min		Период 1–2 Period 1–2		Период 2–3 Period 2–3		Период 1–3 Period 1–3	
	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
Нагрузочный период (exercise)												
Q1	-0,82	463,85	-0,25	383,28	-0,12	355,25	-0,42	442,26	-0,18	376,1	-0,28	425,4
Q2	-0,60	484,55	-0,18	409,03	-0,10	378,29	-0,37	469,24	-0,14	399,8	-0,25	451,3
Q3	-0,46	516,83	-0,14	420,88	-0,08	394,27	-0,29	489,01	-0,10	416,2	-0,19	472,7
Восстановительный период (recovery)												
Q1	0,25	305,56	0,27	349,60	0,13	413,01	0,28	300,92	0,25	354,93	0,27	301,55
Q2	0,31	318,23	0,39	374,97	0,26	424,05	0,34	314,07	0,31	376,47	0,35	317,18
Q3	0,40	329,37	0,58	404,38	0,34	465,70	0,49	330,21	0,45	415,68	0,47	333,58

большой скорости ее восстановления. В основе большего наклона КРГ в период нагрузки лежит большая длинна КИ в состоянии покоя, которая характеризует хроносбережение у более тренированного человека. При этом изучаемая популяция включает в равной степени как более, так и менее тренированных индивидов. Поэтому начало нагрузки с большего КИ и наличие в связи с этим большего диапазона ЧСС для ее регуляции и определяет большую скорость изменчивости.

Чем больше ЧСС анаэробного перехода, тем меньше КИ 1–3-й минут нагрузки и тем меньше угол наклона КИ. Анаэробный переход возникает тем позже по времени, чем больше перенесенная нагрузка (0,41) и меньше наклон КРГ на 3-й минуте (0,36) (табл. 3). Преодолевается тем большая нагрузка, чем меньший наклон имеется на 3-й минуте и диапазоне 1–2, 2–3, 1–3.

Высокие значения связи ЧСС анаэробного перехода – максимальные на 2-й минуте (–0,87) и временном отрезке на 2–3-й минуте (–0,86) – вероятно, позволят установить формулу регрессии для определения ЧСС анаэробного перехода по КРГ без учета данных газоанализа.

В период восстановления: чем больше ЧСС анаэробного перехода, тем меньше КИ на 1-й минуте (–0,55) и на интервале 1–2 (–0,4). Чем позже возникает анаэробный переход, тем больше скорость восстановления на 1–2-й минутах (0,4) и больше перенесенная нагрузка. Чем больше нагрузка, тем меньше КИ на 1-й минуте восстановления (–0,52), 1–2 (–0,47) и 1–3 интервалах (–0,55) и тем больше скорость восстановления на 3-й минуте (0,58).

Выявленная связь ЧСС АН перехода с КРГ восстановления обусловливается проявлением единства регуляцией хронотропной активности в процессе ФН. При этом положи-

тельный хронотропный эффект, вскрывающийся увеличением ЧСС в процессе АН перехода, продолжает обнаруживаться и в период восстановления, свидетельствуя о регуляционном единстве нагрузочного и восстановительного периодов. Тенденция к снижению переносимости ФН в этом случае (–0,21) свидетельствует о негативности настоящей закономерности для формирования выносливости. В свою очередь более позднее возникновение АН перехода, свидетельствующее о более длительном аэробном энергообеспечении в процессе ФН, проявляется не только большей нагрузочной переносимостью, но и преобладающей скоростью восстановления. Последнее обстоятельство, вероятно, обуславливается энергетическим и регуляционным единством процесса ФН, когда вагусное торможение в период восстановления является следствием энергетической достаточности НП, а по сути – влиянием тренированности, когда большая нагрузка преодолевается и с меньшими затратами на ее обеспечение, и более активным восстановлением. При этом более высокий максимум ФН проявляется укорочением длительности КИ периода восстановления (1; 1–2; 1–3), но более высокой скоростью восстановления на 3-й минуте. Настоящий феномен обуславливается высокой физиологической стоимостью нагрузочного максимума, требующего дополнительных хронотропных затрат на 1-й минуте восстановления, компенсируемых высокой скоростью восстановления, проявляющейся к 3-й минуте.

Чем длительнее КИ ПС (0,21), СТ (0,24) и стартовый наклон КРГ (–0,31), тем больше достигнутый нагрузочный максимум (табл. 4). Настоящая закономерность обуславливается меньшей ЧСС покоя – большим хронотропным размахом в процессе преодоления нагрузочного максимума.

Таблица 3
Table 3

Корреляционные связи анаэробного перехода (АнЧСС, АнТ) и маркеров КРГ нагрузочного периода*
Correlations between the aerobic-anaerobic level (AnHR, AnT) and CRG markers at exercise*

Маркер Marker	W	АнТ AnT	1 мин 1 min		2 мин 2 min		3 мин 3 min		1–2 мин 1–2 min		2–3 мин 2–3 min		1–3 мин 1–3 min	
			Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
W	–	0,31		–0,25	0,3		0,35		0,36		0,35		0,36	
АнЧСС AnHR	0,22	0,38	0,3	–0,73	0,5	–0,87	0,77	–0,8	0,38	–0,8	0,65	–0,86	0,54	–0,84

*Показатели, не достигшие статистической существенности ($p > 0,05$), не приводятся.

*Indicators that have not reached statistical significance ($p > 0.05$) are not shown.

Корреляционные связи показателей модели (М)* КРГ предстартового (ПС), стартового (СТ), нагрузочного и восстановительного периодов
Correlations between the parameters of the CRG model (M)* before exercise, at the beginning of the test, at exercise and recovery

М	1 мин 1 min		2 мин 2 min		3 мин 3 min		1–2 мин 1–2 min		2–3 мин 2–3 min		1–3 мин 1–3 min	
	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О	Н	О
Нагрузочный период (exercise)												
ПС(О) Before	-0,48	0,58	-0,29	0,66		0,68	-0,38	0,61		0,65	-0,33	0,63
СТ(Н) At the beginning	0,36	-0,32		-0,34	-0,30	-0,47		-0,34		-0,36		-0,33
СТ(О) At the beginning	-0,54	0,56		0,56		0,63	-0,40	0,58		0,57	-0,30	0,57
Период восстановления (recovery)												
ПС (О) Before	0,60		0,66	0,59		0,69	0,69		0,66	0,59	0,73	
СТ (Н) At the beginning	-0,42		-0,48	-0,32	-0,35	-0,51	-0,52		-0,6	-0,33	-0,58	
СТ (О) At the beginning	0,46		0,57	0,38	0,37	0,57	0,55		0,66	0,37	0,64	

*Показатели, не достигшие статистической существенности ($p > 0,05$), не приводятся.

*Indicators that have not reached statistical significance ($p > 0.05$) are not shown.

Соответствие большего КИ и меньшей скорости изменчивости КРГ в период предстарта, старта большему КИ на 1, 2 и 3-й минутах также обуславливается единством регуляции в процессе адаптации к ФН.

Большой КИ ПС, СТ опосредует меньшую ЧСС (-0,5, -0,43) и более позднее возникновение АН перехода (0,23). При этом более позднее наступление изменения энергообеспечения логично для достижения большего максимума работоспособности, однако невысокий уровень ЧСС является достаточным для физического напряжения на 1-й ступени стресс-теста, не требующей использования имеющихся хронотропных резервов, возникших в результате хроносбережения в процессе нагрузки и более низкого значения ЧСС покоя.

Выявленное во всех случаях незначительное превосходство предстартовых связей над стартовыми, вероятно, связано с преобладающим влиянием перцептивных процессов в стартовый период. При этом срабатывают истинные адаптационные механизмы, которые на данном этапе становятся ведущими, обнаруживаясь через механизмы предстартовой интеграции на основе формирующихся временных нейрофизиологических связей. Выявленные взаимосвязи, вероятно, обусловлены

единством регуляции последовательных периодов адаптации к ФН, связанных с включением компонентов афферентного синтеза и предпусковой интеграции в рамках функциональной системы обеспечивающей максимум физической работоспособности. При этом высокий уровень связей, вероятно, позволит использовать маркеры ПС, СТ для прогноза переносимости ФН.

Чем больше КИ ПС, СТ тем меньше скорость изменения КРГ на 1–3-й минутах восстановления. Связь достигает максимальной выраженности на отрезках 1–3, 1–2, несколько снижаясь на отрезке 2–3, 2-й и 1-й минуте. Во всех случаях (за исключением отрезка 2–3) интенсивность связи больше в период ПС, чем на старте. Скорость изменчивости КРГ ПС, СТ срабатывает только в период старта, ПС – демонстрирует минимум связей умеренной интенсивности пограничных по статистической существенности. Чем больше наклон КРГ СТ, тем он больше и на 1–3-й минутах, при этом настоящая закономерность более выражена на отрезках 1–3, 2–3, несколько теряя в интенсивности на отрезке 1–2 и далее на 2, 1 и 3-й минутах. Кроме того, чем больше наклон КРГ СТ, тем меньше КИ на 3-й минуте, связь заметно снижается на 2-й минуте и отрезке 2–3, и полностью отсутствует на 1-й минуте.

Таким образом, необычная закономерность соответствия меньшей ЧСС ПС, СТ меньшей скорости восстановления может объясниться большим максимумом ФН, который возмещается более длительным восстановлением.

Заметные различия интенсивности связей ПС и СТ также, вероятно, объясняются различием их происхождения, когда в основе ПС лежат предполагаемые афферентным синтезом адаптационные процессы, а в период СТ – реализуемые и детектируемые в акцепторе результата действия.

Выводы. Изменчивость СР отражает динамику ФР, а также метаболические и энергетические процессы, ее обеспечивающие.

Предстартовые показатели в условиях смешанной и ограниченной выборки не могут быть предикторами максимальной переноси-

мости ФН, однако достаточно точно предсказывают стартовый потенциал обследуемого.

Выявленное превосходство по интенсивности предстартовых связей над стартовыми и обратная количественная закономерность, вероятно, объясняется различием происхождения, когда в основе ПС лежат механизмы предпусковой интеграции, связанные с формированием СОФФ, а в период старта – реализуемые адаптационные механизмы, возникшие при предъявлении определенной нагрузки.

Существенные значения связи с маркерами КРГ на 2, 3-й минуте НП, вероятно позволят установить формулу регрессии для определения АН перехода. Его более позднее возникновение проявляется не только большей нагрузочной переносимостью, но и преобладающей скоростью восстановления.

Список литературы

1. Анохин, П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 196 с.
2. Гайсёнок, О.В. Прогностическая значимость интегральных индексов в диагностике ишемической болезни сердца в зависимости от возможности выполнения пробы с дозированной физической нагрузкой / О.В. Гайсёнок, С.Ю. Марцевич // Кардиология. – 2013. – Т. 53, № 8. – С. 24–27.
3. Особенности сердечного ритма в предстартовый, нагрузочный и восстановительный периоды стресс-теста / А.Л. Похачевский, К.Г.К. Абдуллаева, М.В. Акулина и др. // Теория и практика физ. культуры. – 2019. – № 7. – С. 55–58.
4. Пат. 2355301 Российская Федерация. Способ определения переносимости физической нагрузки по точке ускользания сердечного ритма от вегетативного контроля / В.М. Михайлов, Б.А. Садельников. – № 2007143527/14; заявл. 23.11.2007; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14. – 5 с.
5. Патент 2405426 РФ. Способ определения границы аэробно-анаэробного перехода по кардиоритмограмме при нагрузочном тестировании / А.Л. Похачевский. – № 2009127230; заявл. 14.07.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. – 6 с.
6. Патент 2613921 РФ. Способ определения восстановительного потенциала у спортсменов, развивающих аэробно-анаэробную выносливость / А.Л. Похачевский, М.М. Лапкин, В.М. Михайлов, А.Б. Петров. – № 2015137142; заявл. 01.09.2015; опубл. 22.03.2017, Бюл. № 9. – 5 с.
7. Патент 2613937 РФ. Способ определения потенциального уровня физической работоспособности при субмаксимальном нагрузочном тестировании / М.М. Лапкин, В.М. Михайлов, А.Б. Петров, Ю.М. Рекиша. – № 2015136686; заявл. 29.08.2015; опубл. 22.03.2017, Бюл. № 9. – 6 с.
8. Петров, А.Б. Психовегетативный контроль переносимости физической нагрузки / А.Б. Петров, Д.А. Донсков, Н.С. Бирченко // Теория и практика физ. культуры. – 2018. – № 10. – С. 56.
9. Применение хронотропного индекса для анализа переносимости физической нагрузки / В.М. Михайлов, А.Б. Петров, Д.А. Донсков, Д.А. Фалеев // Теория и практика физ. культуры. – 2017. – № 7. – С. 47–49.
10. Прогностический потенциал временного ряда кардиоритмограммы стресс-теста / М.М. Лапкин, Е.А. Трутнева, А.Б. Петров и др. // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 3. – С. 48–60. DOI: 10.1134/S0131164619030147
11. Проявление личностных особенностей спортсменов в нагрузочный период стресс-теста / М.М. Лапкин, А.Л. Похачевский, И.М. Мазикин, А.В. Фомичев // Теория и практика физ. культуры. – 2020. – № 1. – С. 78.

References

1. Anokhin P.K. *Uzlovyye voprosy teorii funktsionalnoy sistemi* [The Main Questions of the Theory of a Functional System]. Moscow, Science Publ., 1980. 196 p.
2. Gaisnok O.V., Martsevich S. [Predictive Significance of Integral Indices in the Diagnosis of Ischemic Heart Disease. Dependence on the Possibility to Perform Exercise Stress Test]. *Kardiologiya* [Kardiologiya], 2013, vol. 53, no. 8, pp. 24–27 (in Russ.)
3. Pokhachevsky A.L., Abdullayeva K.G.K., Akulina M.V., Reksha Yu.M. [Heart Rate Variation Profiling by Stress Tests in Precompetitive, Competitive and Rehabilitation Periods]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2019, no. 7, pp. 55–58. (in Russ.)
4. Mikhailov V.M., Sadelnikov B.A. *Sposob opredeleniya perenosimosti fizicheskoy nagruzki po tochke uskol'zaniya serdechnogo ritma ot vegetativnogo kontrolya* [Method for Determination of Tolerance to Physical Exercise by Point of Heart Rate Elusion from Vegetative Control]. Patent RF, no. 2355301, 2009.
5. Pokhachevsky A.L. *Sposob opredeleniya granicy aerobno-anaerobnogo perekhoda po kardioritmogramme pri nagruzochnom testirovanii* [Method of Determining Border of Aerobic-Anaerobic Transition by Cardiorhythmogram in Case of Load Testing]. Patent RF, no. 2405426, 2009.
6. Lapkin M.M., Mikhailov V.M. *Sposob opredeleniya vosstanovitel'nogo potentsiala u sportsmenov, razvivayushchih aerobno-anaerobnyuyu vynoslivost'* [Method of Determining Reduction Potential in Sportsmen, Developing Aerobically Endurance]. Patent RF, no. 2613921, 2015.
7. Lapkin M.M., Mikhailov V.M., Petrov A.B., Reksha Y.M. *Sposob opredeleniya potencial'nogo urovnya fizicheskoy rabotosposobnosti pri submaksimal'nom nagruzochnom testirovanii* [Method of Determining Potential Level of Physical Working Capacity at Submaximal Load]. Patent RF, no. 2613937, 2015.
8. Petrov A.B., Donskov D.A., Birchenko N.S. [Psycho-Autonomic Control of Exercise Tolerance]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2018, no. 10, pp. 56–57.
9. Mikhailov V.M., Petrov A.B., Donskov D.A., Faleev D.A. [Chronotropic Index Application for Exercise Tolerance Tests]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2017, no. 7, pp. 16–17. (in Russ.)
10. Lapkin M.M., Trutneva E.A., Petrov A.B. [Prognostic Potential of Time Series Markers in Cardiac Rhythmogram in Stress Testing]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2019, vol. 45, no. 3, pp. 271–282. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0131164619030147
11. Lapkin M.M., Pokhachevsky A.L., Mazikin I.M., Fomichev A.V. [Display of Personal Characteristics in Athletes During Stress Test]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2020, no. 1, pp. 78–79. (in Russ.)

Информация об авторах

Похачевский Андрей Леонидович, доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова. Россия, 119048, Москва, Трубечкая ул., д. 8, стр. 2; профессор кафедры нормальной физиологии, Рязанский государственный медицинский университет. Россия, 390026, Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.

Лапкин Михаил Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии, Рязанский государственный медицинский университет. Россия, 390026, Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.

Трутнева Елена Анатольевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры нормальной физиологии. Россия, Рязанский государственный медицинский университет. Россия, 390026, Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.

Калинин Андрей Вячеславович, доктор медицинских наук, профессор, директор института здоровья и реабилитологии, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта. Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д. 35; профессор кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2.

Лаврухина Галина Михайловна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры теории и методики массовой физкультурно-оздоровительной работы, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта. Россия, 190121, Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д. 35.

Information about the authors

Andrey L. Pokhachevskiy, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Normal Physiology, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia; Professor of the Department of Normal Physiology, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia.

Mikhail M. Lapkin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Normal Physiology, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia.

Elena A. Trutneva, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia.

Andrey V. Kalinin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Institute of Health and Rehabilitation, Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia; Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Sports Medicine, St. Petersburg State Paediatric Medical University, St. Petersburg, Russia.

Galina M. Lavrukhina, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methods of Mass Physical and Recreational Activities, Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia.

Статья поступила в редакцию 10.06.2022

The article was submitted 10.06.2022