

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТИВНОГО КРИТЕРИЯ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗДОРОВЬЯ ЗДОРОВЫХ

А. Л. Похачевский

Вологодский институт права и экономики федеральной службы исполнения наказаний

На основании анализа эргометрических, восстановительных и стационарных показателей практически здоровых добровольцев сформулирован объективный (численный) критерий выносливости, исследование диагностической и прогностической значимости которого вскрыло закономерности формирования последней и позволило использовать его как объективный критерий здоровья.

Ключевые слова: критерий здоровья, критерий выносливости, адаптационный потенциал.

DEFINITION OF OBJECTIVE CRITERION OF ENDURANCE FOR DIAGNOSTICS OF HEALTH IN THE HEALTHY

A. L. Pokhatchevski

On the basis of the analysis of ergometric, regenerative and stationary parameters of practically healthy volunteers an objective (numerical) criterion of endurance is proposed. A study of its prognostic and diagnostic value revealed some regularities of endurance development thus allowing us to use this criterion for objective evaluation of health.

Key words: of health, endurance test, adaptive capacity.

Ощущение физического, психического и прочего благополучия сопровождается отсутствием болезней и определяет здоровье весьма субъективно, так как базируется на индивидуальном восприятии и оценке собственного состояния в отсутствие (независимых и/или общепринятых) критериев благополучия. Объективной основой здоровья является способность организма противостоять стрессовым ситуациям, что определяет его адаптационные возможности и резервы [1, 2]. Адекватно оценить их можно при помощи различных нагрузочных проб, позволяющих определить степень напряжения регуляторных систем [2—5].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить объективный критерий выносливости, его диагностическую и прогностическую значимость.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами совместно с Садельниковым Б. А. обследовано 211 практически здоровых добровольцев, каждый из которых подвергнут максимальному велоэргометрическому тестированию по Ramp-протоколу: мощность W_1 (Ватт) первой ступени длительностью три минуты рассчитывают, исходя из величины должствующего основного обмена (ДОО) в килокалориях по формуле $W_1(\text{Вт}) = \text{ДОО} \times 0,1$ (ДОО определяется по таблице Гарриса-Бенедикта). В дальнейшем нагрузка ступенчато возрастает каждую минуту на 30 Вт [3].

В процессе исследования обратили на себя внимание выраженные индивидуальные различия большинства учитываемых показателей: частота сердеч-

ных сокращений (ЧСС) покоя, нагрузки, восстановления, мощности перенесенной нагрузки и ее длительности (рис.).

С целью выяснения взаимоотношений данных показателей внутри выборки нами использованы математические модели нагрузочной (МН) и восстановительной (МВ) ЧСС.

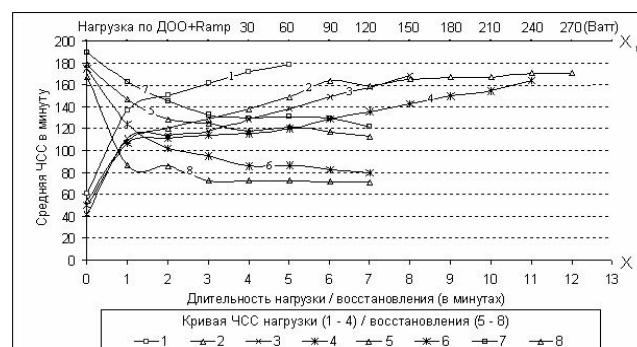


Рис. Типичная изменчивость ЧСС нагрузочного и восстановительного периодов на примере восьми испытуемых:

Ось абсцисс: OX — время в минутах (нагрузки / восстановления), OX_1 — мощность нагрузки в Ваттах: первые три минуты по должствующему основному обмену, далее по Ramp-протоколу — на каждую последующую минуту +30 Ватт. Ось ординат — средняя ЧСС в минуту

Гиперболический и логарифмический характер динамики ЧСС восстановления и нагрузки соответственно позволил предложить их математические модели, для оптимального построения которых использован метод наименьших квадратов.

В общем виде формулы моделей МВ и МН имеют следующий вид: $y = \frac{a}{x} + b$, $y = a \times \lg x + b$ соответ-

ственно, где x — время восстановления/нагрузки в секундах, y — ЧСС в секунду ($\frac{1}{R-R}$), a — параметр модели (наклон), характеризующий скорость изменения ЧСС, b — параметр модели (отрезок), характеризующий постоянную составляющую ЧСС.

Выявленные индивидуальные показатели (a , b) являются основными моделирующими критериями и, следовательно, могут быть использованы как динамические критерии восстановительного и нагрузочного периодов. В связи с отсутствием фактической связи ($r < 0,2$) с эргометрическими показателями моделирующей переменной «а», ее

корреляционные показатели в сравнении не приводятся.

Кроме того, для характеристики выборки были использованы следующие показатели: максимальная ЧСС нагрузки (ЧСС_{max}), максимум перенесенной нагрузки (W Ватт), длительность нагрузки, средняя ЧСС в покое.

В связи с отсутствием нормального распределения для статистической обработки данных были использованы непараметрические методы: корреляционный анализ Spearman, сравнительный анализ Kruskal-Wallis (при множественных сравнениях) и Mann-Whitney (при парных сравнениях).

Таблица 1

Корреляционный анализ эргометрических показателей исследуемой выборки

Эргометрические показатели		MB	Мощность нагрузки (W)	Длительность нагрузки	ЧСС max	МН	ДП	СНИ	ИХР	ПРЛЖ	МПК
Первичная вы-борка N = 211	MB	-	-0,25	-0,26	0,77	0,78	0,56	0,34	-0,35	-0,46	-0,43
	W	-0,25	-	0,99	-0,06	-0,36	-0,05	-0,66	0,27	0,83	0,82
Группа 1 N = 64	MB	-	0,52	0,53	0,79	0,72	0,53	-0,12	-0,44	0,21	0,19
	W	0,52	-	0,99	0,60	0,37	0,39	-0,44	-0,09	0,73	0,74
Группа 2 N 97	MB	-	0,40	0,38	0,61	0,50	0,33	-0,12	-0,18	0,10	-0,04
	W	0,40	-	0,97	0,42	0,34	0,36	-0,32	0,00	0,57	0,68
Группа 3 N = 50	MB	-	0,80	0,80	0,67	0,63	0,51	-0,01	0,05	0,08	0,24
	W	0,80	-	1,00	0,65	0,55	0,45	-0,20	0,17	0,31	0,19

Исследование выборки практически здоровых добровольцев выявило выраженную прямую связь динамики восстановления (MB) с максимальной и нагрузочной ЧСС (МН) и умеренную обратную зависимость от мощности и длительности нагрузки. Данный факт, а также обратная связь средней силы (-0,35) между нагрузочной ЧСС и мощностью нагрузки, включая отсутствие таковой (-0,06) между последней и максимальной ЧСС, позволили предположить неоднородность выборки.

Анализ анамнеза добровольцев выявил из первичного состава три составляющие:

1) студенты-неспортсмены, занимающиеся физической культурой по учебному плану вуза (2 полуторачасовых занятия в неделю) и не имеющие отношения к систематическим физическим нагрузкам. В этой группе обследовано 64 человека;

2) добровольцы, занимающиеся по фитнес-плану (3—4 раза в неделю по 1,5 часа) — 97 человек;

3) спортсмены циклических видов спорта (50 человек), тренирующие преимущественно выносливость (лыжные гонки, легкая атлетика, плавание), различной квалификации (1-й спортивный разряд — 24 человека, кандидаты в мастера спорта — 17 человек, мастера спорта — 9 человек).

Для проведения корреляционного анализа группы обозначили цифровыми кодами: спортсменов — 3; фитнес — 2; несportсменов — 1. Корреляционный

анализ обнаружил существенную связь групповой принадлежности с ЧСС (0,64) восстановления, максимальной (0,46) и нагрузочной ЧСС (0,69), мощностью (-0,78) и длительностью (-0,79) нагрузки и подтвердил наши предположения о неоднородности выборки.

В связи с тем, что объективной основой групповой принадлежности является тренированность, результаты корреляционного анализа в равной степени свидетельствуют о ее определяющей роли. Чем больше кодовая цифра, тем лучше переносимость физической нагрузки и выше тренированность: значительнее мощность и длительность нагрузки, короче восстановление и ниже средняя нагрузочная ЧСС. Тем не менее полученная оценка во многом носит субъективный характер. Действительно, определенная по данным анамнеза принадлежность к подгруппе вносит определенную долю субъективизма, однако имеет важную стратегическую особенность, позволяющую не только разделить всю выборку на три категории тренированности, но и определить качество связи последних с эргометрическими критериями. Это, в свою очередь, позволяет использовать выявленные закономерности для расчета количественной составляющей тренированности, определяющей ее объективную основу.

Опираясь на корреляционные связи групповой принадлежности, тренированность прямо пропорци-

ональна трем ЧСС: покоя, нагрузки, восстановления, обратно пропорциональна удельной мощности перенесенной нагрузки. С целью унификации сравнения мощность перенесенной нагрузки учитывается на кг массы и площадь опоры обследуемого. В случае велоэргометрического тестирования за площадь опоры принимается площадь педали велоэргометра, при работе на тредмиле — площадь стопы обследуемого. Для учета размерности предложенного критерия сопоставим входящие в него показатели:

$$\frac{c^{-1} \times c^{-1} \times c^{-1}}{Вт / кг \times S(m^2)} = \frac{кг \times m^2}{Вт \times c^3} = \frac{кг \times m^2}{(Дж / с) \times c^3} =$$

$$\frac{кг \times m^2}{Дж \times c^2} = \frac{кг \times m^2}{(кг \times m^2 / c^2) \times c^2} = \frac{кг \times m^2}{кг \times m^2}$$

Таким образом, показатель тренированности размерности не имеет. Выявленная математическая целесообразность косвенно подтверждает правильность наших предположений о составляющих тренированности.

Следует отметить, что при выведении формулы тренированности мы провели большое количество персональных сравнений полученного коэффициента (тренированности) с показателями контрольных

стартов и тестов, так как пытались, эмпирически подобрав составляющие формулы добиться максимальной прогностической значимости коэффициента. Вопрос состоял в том, какие показатели (ЧСС и пр.) учитывать и как: все, два (какие?) или один, в числителе или знаменателе. В дальнейшем оказалось, что ответ заложен в основании мощности перенесенной нагрузки: $Вт = кг \times m^2 / c^3$, отсюда три ЧСС и удельная мощность (на кг массы) и площадь опоры (m^2). Добившись физической безразмерности коэффициента, мы одновременно вышли на оптимальное соответствие с практикой.

Кроме того, если принять во внимание, что (в нашем случае) более тренированный субъект переносит большую нагрузку при быстром восстановлении, меньшей ЧСС покоя и нагрузки, то в основе тренированности лежит выносливость как способность противостоять физическому утомлению.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ выявленных групп вскрыл их статистически существенные различия фактически по всем эргометрическим показателям (табл. 2).

Таблица 2

Групповые функциональные показатели

Показатели		ЧСС восстановления средняя	Мощность нагрузки (W)	ЧСС нагрузочная средняя	ЧСС покоя	Масса	Коэффициент тренированности (выносливости)
Первичная выборка	Me	113,3	180,0	154,1	54,0	58,5	212,4
	25 Пц	101,0	150,0	143,4	60,0	66,0	320,0
	75 Пц	122,5	240,0	164,4	68,0	68,3	483,7
Группа 1	Me	124,8	120,0	167,7	64,8	51,3	594,3
	25 Пц	115,5	90,0	159,4	72,0	57,0	710,0
	75 Пц	134,8	142,5	172,9	76,3	64,8	843,2
Группа 2	Me	116,4	180,0	156,3	55,0	60,0	288,2
	25 Пц	111,4	180,0	151,1	60,0	65,0	342,1
	75 Пц	122,8	210,0	163,7	67,0	69,0	406,2
Группа 3	Me	95,8	240,0	138,7	49,0	66,0	146,6
	25 Пц	91,0	240,0	132,0	54,0	68,0	174,8
	75 Пц	103,1	270,0	146,9	59,0	69,0	203,4

Причем группа 3 характеризуется минимальными показателями восстановления (МВ), ЧСС нагрузки (МН и максимальной), двойного произведения (ДП), сердечно-нагрузочного индекса (СНИ); максимальными — мощности нагрузки, ее длительности, индекса хронотропного резерва (ИХР), производительности работы левого желудочка (ПРЛЖ), максимального потребления кислорода (МПК). Группа 1 демонстрирует противоположные тенденции: максимальное восстановление, ЧСС нагрузки, ДП и СНИ; минимальные — мощность нагрузки, длительность, ИХР, ПРЛЖ и МПК. Группа 2 — занимает срединное положение, существенно проигрывая группе 3 и выигрывая у группы 1 по всем показателям за исключением ЧССтах и ДП. Данные показатели 2 и 3 групп не имеют существенных различий.

Взаимоотношения групповых показателей и тренированности также имеют существенные особенности (табл. 3):

- обратная зависимость выносливости от перенесенной нагрузки уменьшается по мере увеличения тренированности в связи с тем, что показатель тренированности имеет обратное исчисление (чем меньше показатель, тем выше тренированность) в группах 1 и 2: чем лучше выносливость, тем больше перенесенная нагрузка, в группе 3 связь минимизируется [$1(-0,49) > 2(-0,35) > 3(0,13)$; $1,2:3 p < 0,05$, $1:3 p > 0,05$];

- связь (средней интенсивности) ЧСС покоя с выносливостью достоверно возрастает по мере увеличения тренированности [$1(0,43) = 2(0,43) < 3(0,86)$; $1, 2:3 p < 0,001$];

- зависимость выносливости от нагрузочной ЧСС менее значима, однако имеет ту же тенденцию усиления с увеличением тренированности [3(0,45) > 1(0,23) > 2(0,1); 1:2 $p > 0,05$, 3:1 $p < 0,01$];

- ЧСС восстановления существенно определяет выносливость во всех группах, заметно усиливается с улучшением тренированности [1(0,32) < 2(0,48) = 3(0,49) 1:2 $p > 0,05$].

Таблица 3

Корреляционный анализ тренированности и функциональных показателей исследуемой выборки

Группы	Показатели	МВ (ЧСС восстановления)	Нагрузка (W)	МН (ЧСС нагрузки)	ЧСС покоя	АД наклон
		Первичная выборка N = 211	Групповая принадлежность	0,64	-0,78	0,69
Группа 1 N = 64	Тренированность	0,60	-0,72	0,57	0,64	0,31
Группа 2 N = 97		0,32	-0,49	0,23	0,43	-0,31
Группа 3 N = 50		0,48	-0,35	0,10	0,43	0,23
		0,49	0,13	0,45	0,86	0,41

Обращают на себя внимание межгрупповые различия в интенсивности связи ЧСС и тренированности: от апогея — ЧСС покоя через ЧСС восстановления до перигея — ЧСС нагрузки. Во второй группе корреляция ЧСС восстановления статистически не существенно превышает ЧСС покоя $p > 0,05$.

Выраженность внутригруппового участия ЧСС в формировании тренированности также различно: в группах 1 и 3 преобладающее значение имеет ЧСС покоя, затем восстановления и нагрузки (соответственно в 1: 0,43, 0,32, 0,23; в 3: 0,86, 0,49, 0,45), во 2: ЧСС восстановления, покоя и нагрузки (0,48, 0,43, 0,1), причем в группе 3 корреляционные связи по сравнимым показателям существенно превосходят ближайшего конкурента (группа 1).

Математическая модель (наклон) нагрузочного АД существенно коррелирует с выносливостью лишь в третьей группе, причем выявленная (умеренная) положительная зависимость, ее характеризующая в два раза, теряет мощность во второй и перерождается в обратную — в первой группах [3(0,41) > 2(0,23) < 1(-0,31); 3:2 $p > 0,05$, 3, 2 > 1 $p < 0,001$].

Развитая выносливость определяется низким уровнем ЧСС покоя, нагрузки и восстановления, причем основой данного факта является ЧСС покоя, связь которого с вышеупомянутым качеством составляет 0,9. С физиологической точки зрения, минимальная ЧСС покоя дает большую потенциальную возможность для адекватного ответа при физической нагрузке либо стрессе иного происхождения (положительная перекрестная адаптация) [1]. Следует отметить также, что своего максимума данная связь достигает

именно в случае развитой выносливости, в то время как при ее формировании (группа 2) она не отличается от таковой в группе нетренированных (группа 1). Последнее обстоятельство объясняется тем, что более ранней (по отношению к ЧСС) физиологической реакцией в формировании структурного следа адаптации является изменение артериального давления, что проявляется принципиальной трансформацией его участия в развитии тренированности от -0,31 в первой до +0,23 во второй и +0,41 в третьей группах. В первом случае: чем хуже выносливость, тем меньше прирост АД на нагрузку, во втором и третьем: чем хуже выносливость, тем выше АД. И это понятно, ибо неспособность нетренированного организма отреагировать адекватным увеличением АД на нагрузку сменяется при развитии выносливости стремлением к более экономному расходованию резерва АД.

Фактическое отсутствие влияния ЧСС, нагрузки на формирование выносливости нетренированного организма обусловлено малым функциональным резервом ЧСС, связанным с высокой ЧСС покоя и гиперлабильностью ЧСС в ответ на нагрузку, когда первые ее ступени вызывают максимальный хронотропный ответ. Следует отметить, что данный процесс даже в несколько большей степени имеет место и на первых этапах формирования тренированности (группа 2), когда в ответ на нагрузку (правда существенно более высокую, чем в группе 1) ЧСС по-прежнему откликается гиперактивностью, однако адаптация осуществляется за счет адекватной реакции АД (см. выше). Выраженное участие ЧСС нагрузки в формировании выносливости на этапе высокой тренированности является результатом адекватной включения еще одного (данного) звена для достижения наилучшей адаптации к существенно возросшим нагрузкам.

Заметное влияние ЧСС восстановления на формирование выносливости является маркером тренированности, причем в отличие от других он достигает апогея уже на начальном ее этапе (группа 2). Объяснение данного факта, возможно, связано с ранним включением вегетативного контроля, приводящего к быстрому восстановлению ЧСС уже на этапе формирования (структурного следа) адаптации к физическим нагрузкам. Этот контроль проявляется существенной связью ЧСС восстановления и спектральных составляющих вариабельности сердечного ритма при клино-ортостатическом тестировании. Выраженная связь ЧСС восстановления с общей спектральной мощностью (TP 0,46), симпатической (LF 0,23) и парасимпатической (HF 0,5) составляющими определяется исключительно в группе 1, в то время как при возрастании тренированности и существенном усилении вегетативного контроля зависимость ЧСС восстановления от него снижается. Иными словами, включаясь и достигая оптимального (максимального) уровня (логарифмического насыщения) на ранних этапах (группа 1) формирования выносливости, веге-

тативный контроль в дальнейшем (группы 2, 3) утрачивает связь со скоростью восстановления, в то время как последняя становится ведущим фактором в достижении выносливости.

Существенный рост перенесенной нагрузки с увеличением тренированности совпадает с падением их корреляционной зависимости: от преобладания в первой до минимизации в третьей группах. Это объясняется логарифмическим характером кривой мощности нагрузки, характеризующей насыщенность — невозможность дальнейшего (существенного) роста. И в этой связи не нагрузка, достигнув своего апогея, определяет выносливость, а способность организма ее оптимально переносить за счет формирования структурного следа адаптации, в том числе путем усиления вегетативного контроля ЧСС и АД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выносливость фитнес-физкультурников существенно превосходит добровольцев, не имеющих отношения к систематическим физическим нагрузкам, но значимо проигрывает спортсменам-«аэробщикам».

Если в первичной выборке влияние исследуемых функциональных показателей на формирование выносливости умеренно и фактически равномерно, то в группах имеют место принципиальные различия.

Максимум выносливости (группа 3) обусловливается сильной зависимостью от ЧСС покоя и в равной мере (средней интенсивности) от ЧСС восстановления и нагрузки и не зависит от перенесенной нагрузки. Снижение выносливости (группа 2) выявляет умеренную зависимость от нагрузки, не изменяет влияние ЧСС восстановления (как при максимальной выносливости), существенно сбавляя участие ЧСС покоя и нагрузки, нивелируя последний показатель до фактически нулевого уровня. Минимальная выносливость (группа 1) усугубляет зависимость от перенесенной нагрузки, по-прежнему фактически не зависит от ЧСС нагрузки и обусловливается тем же уровнем (как и в группе 2) ЧСС покоя и несколько меньшим ЧСС восстановления. Иными словами, если рассматривать развитие выносливости как процесс формирования системного структурного следа адаптации, основой которого в том числе является нейрогуморальная перестройка — повышение функциональной мощности стресс-реализующих и -лимитирующих систем, то последняя с увеличением тренированности будет проявляться на первом этапе «аварийной» адаптацией, депрессией центральной (нейро-гуморальной) регуляции в связи с отсутствием физиологических резервов — максимальной (избыточной, несовершенной) реализацией всех имеющихся возможностей, на втором этапе — включением вегетативного контроля ЧСС восстановления, на третьем — усилением контроля ЧСС покоя и реализацией управления ЧСС нагрузки.

Мощность и длительность нагрузки не определяют тренированности при ее развитии, так как достигая логарифмического максимума, обуславливаются имеющимися (различными в зависимости от тренированности) адаптационными возможностями.

Предложенный критерий тренированности (выносливости) дает возможность не только объективно определять, вести ее динамический мониторинг, в процессе тренировочной или оздоровительной работы, но и теоретически изучить и осмыслить процесс ее формирования. Это позволяет применять данный показатель при мониторинге (фитнес-контроле) здоровья здоровых, в спортивной медицине, научно-исследовательской работе, а также нагрузочном тестировании кардиологических больных, в том числе как объективный реабилитационный показатель.

Критерий успешно апробирован на базе общеобразовательных, спортивных школ, фитнес-групп и высших учебных заведений города Вологды. Исследования выполнены в лаборатории экстремальной и спортивной медицины ВИПЭ ФСИН России (начальник генерал-майор вн. сл. Попов В. В.) по заказу Областного комитета по физической культуре и спорту (председатель засл. тренер России Некрасов В. Н.) в рамках осуществления федеральной целевой программы «Охрана и укрепление здоровья здоровых на 2003—2010 гг.», «Развитие физической культуры и спорта в Российской Федерации на 2006—2015 годы».

Таким образом, при исследовании здоровья здоровых, лучшие показатели выносливости (аэробной тренированности) определяют превосходящий адаптационный потенциал, свидетельствуют о лучшем здоровье (оптимальном вегетативном контроле) и являются его объективными критериями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меерсон Ф. З., Пшенникова М. Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. — М.: «Медицина», 1988. — 256 с.
2. Михайлов В. М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ. — Иваново: ООО ИИТ «А-Гриф», 2005. — С. 176—179.
3. Ноздрачев А. Д., Щербатых Ю. В. // Физиология человека. — 2001. — № 6. — С. 95—101.
4. Cole C. R., Blackstone E. H., Pashkow M. J., et al. // N. Engl. J. Med. — 1999. — № 341 (18). — P. 1351—1357.
5. Gaibazzi N., Petrucci N., Ziacchi V. // Ital Heart J. — 2004. — № 5 (3). — P. 183—188.

Контактная информация:

Похачевский Андрей Леонидович — к. м. н., Научно-исследовательская лаборатория экстремальной и спортивной медицины ФГОУВПО «ВИПЭ», e-mail: sport_med@list.ru