

А.Л. Похачевский

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДРОСТКОВ

Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний», научно-исследовательская лаборатория диагностических и оздоровительных технологий, г. Вологда, РФ

Спектральный анализ variability ритма сердца (BPC) в покое и математическое моделирование кардиоритмограммы нагрузочного тестирования использованы для количественной оценки функционального состояния организма подростков. В результате исследования трех групп (по 35 человек) практически здоровых подростков 16–17 лет, не различающихся по индексу Кетле, – спортсменов циклических видов спорта (1-я группа), школьников и студентов (2-я группа), несовершеннолетних осужденных (3-я группа) выявлены существенные групповые адаптационные характеристики от ваготонии (1-я группа) до парасимпатической депрессии в покое (3-я группа) далее к избыточной активации симпатки в ортостазе (2-я и 3-я группы) с дальнейшим падением парасимпатической реактивности (3-я группа), проявляющиеся прогредиентным снижением (в ряду 1-я и 3-я группы) толерантности к физи-

Контактная информация:

Похачевский Андрей Леонидович – к.м.н., доц., ВИПЭ ФСИН РФ

Адрес: 160002 г. Вологда, ул. Щетинина, 2

Тел.: (8172) 53-06-01, E-mail: sport_med@list.ru

Статья поступила 11.01.09, принята к печати 20.01.10.

ческой нагрузке, определяющие поэтапную деградацию адаптационных резервов. Отработаны наилучшие стационарные, динамические и разграничивающие функциональные критерии. Сделаны выводы о возможности их использования для диагностики адаптационного потенциала и значений общей выносливости для его формирования. Даны рекомендации по расширению адаптационных резервов.

Ключевые слова: адаптационные резервы, физическая работоспособность, нейрогуморальная регуляция, объективные критерии здоровья, общая выносливость, подростки.

Frequency analysis of cardiac rhythm variability (CRV) in rest and mathematical modeling of physical exercise test cardiogram were used for quantitative estimation of health state in adolescents. 3 groups of healthy adolescents aged 16–17 years with practically similar Kettle's index (35 persons in every group) were examined: sportsmen practiced cyclic kinds of sport (1st group), non-athletic schoolchildren and students (2nd group) and prisoners under age (3rd group). Examination showed significant group characteristics of adaptation from vagotonia (1st group) to parasympathetic depression in rest (3rd group) and with further excess activation of sympathetic system in orthostasis (2nd and 3rd group) with subsequent depression of parasympathetic reactivity (3rd group), presented as progressive decreasing (from 1st to 3rd group) of physical exercise tolerance, determined step by step degradation of adaptive reserves. Authors outworked optimal stationary, dynamic and borderline functional criteria, proved possibility of their usage for diagnosis of adaptive capacity, estimated role of general tolerance in its forming and gave recommendations for increasing of adaptive reserves.

Key words: adaptive reserves, physical exercise tolerance, neurohumoral regulation, health state objective criteria, general fatigue resistance, adolescents.

Одной из глобальных концепций целевой программы «Дети России» является сохранение, восстановление и укрепление здоровья детей на основе комплексного решения медицинских, педагогических, социальных проблем материнства и детства. Приоритетной медицинской проблемой определена разработка, совершенствование и внедрение технологий профилактики заболеваемости, сохранения и укрепления здоровья детей в образовательных учреждениях путем осуществления научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этом направлении [1].

Таким образом, первостепенной задачей является создание методов диагностики и мониторинга здоровья детей, доступных не только для поликлинического звена, а, главным образом, общеобразовательных и учреждений дополнительного образования. Отсюда потребность в строго научном определении и оценке уровня здоровья, диагностике его изменений с целью индивидуального выбора адекватных мер коррекции и реабилитации [2].

Психоэмоциональный стресс – одна из важнейших причин, приводящих к развитию так называемых болезней регуляции. Развитие соматической (висцеральной) патологии при психоэмоциональном стрессе реализуется через лимбико-ретикулярный комплекс – вегетативную и эндокринную систему. Не случайно, А.М. Вейн [3] предложил двухчленную формулу (кортикальные нарушения – висцеральная патология) дополнить введением третьего звена (вегетативная и эндокринная система), что позволяет объяснить механизмы, через которые опосредуется психическое воздействие на соматические системы, и дает ключ для научного подхода к изучению психосоматических взаимоотношений. На важную роль системы нейрогумораль-

ной регуляции в развитии патологического процесса впервые указал в своих работах Ф. Александер, предложивший в 1950 г. теорию, в которой дифференцированные психопатологические гипотезы связывались с физиологическими и патологическими соматическими процессами. Позже, в медико-теоретических исследованиях У. Кеннона, Г. Селье и др. ученых, понятие о гомеостазе, стресс-реакции, адаптации и здоровье человека в значительной степени переплелись, и в результате сформировалось представление о функции адаптации (уровне адаптированности) как об основной функции человеческого организма, наиболее полно отражающей состояние здоровья.

Психоэмоциональное напряжение и возбуждение высших вегетативных центров является пусковым звеном патогенетической цепи, в которой активация системы нейрогуморальной регуляции приводит к увеличению уровня катехоламинов в крови, активации реакции перекисного окисления липидов, лабильности лизосом, высвобождению протеолитических ферментов и в результате – к структурным изменениям в органах и тканях [4].

Таким образом, количественная оценка системы нейрогуморальной регуляции тождественна понятию оценки текущего функционального состояния (ФС) и адаптационных резервов организма.

В настоящее время наиболее признанной методологической основой изучения и количественной оценки системы нейрогуморальной регуляции является математический анализ variability ритма сердца (ВРС) [5, 6]. Волновые колебания длительности интервалов между кардиоциклами, обусловленные нейрогуморальными влияниями, адекватно отражают общее ФС организма.

Изучение динамики приспособительных реак-

ций организма адекватно вписывается в представленную концепцию, расширяя и дополняя ее возможности, а также преодолевая недостатки методики, связанные с необходимостью проведения исследований в состоянии покоя. Поэтому, одним из прогрессивных подходов при изучении ФС организма является моделирование дозированного стресса посредством нагрузочного тестирования с регистрацией и анализом ответных адаптационных реакций [7, 8].

Целью нашей работы явилось определение количественных критериев общего ФС, адаптационного потенциала и резервных возможностей организма подростков с использованием методов анализа ВРС в клино- и ортостазе, математического моделирования кардиоритмограммы нагрузки и восстановления во время максимального велоэргометрического тестирования.

Материалы и методы исследования

Нами совместно с Б.А. Садельниковым и А.А. Груздевым обследовано 3 группы (115 человек) практически здоровых подростков, каждый из которых подвергнут клино-ортостатическому и максимальному велоэргометрическому тестированию.

1-я группа – спортсмены циклических видов спорта (лыжные гонки, легкая атлетика, плавание), тренирующиеся на выносливость, различной квалификации (1-й спортивный разряд – 23 человека, кандидаты в мастера спорта – 8 человек, мастера спорта – 4 человека), проходящие нагрузочный сбор.

2-я группа – школьники и студенты, занимающиеся физической культурой по стандартной общешкольной или ВУЗовской программе (школьники – 3 раза в неделю по 45 мин, студенты – 2 раза в неделю по 1,5 астрономических часа).

3-я группа – несовершеннолетние осужденные, находящиеся в местах лишения свободы более 1 года. В распорядке дня воспитательного учреждения физическая подготовка отсутствует.

С целью корректности сравнения в каждую группу вошли подростки 16–17 лет, не имеющие различий по индексу Кетле, по 35 человек.

Исследование ВРС проводили на аппаратно-программных комплексах компании «НейроСофт».

Регистрацию и математический анализ показателей ВРС проводили в соответствии с «Международным стандартом» (1996) по 5-минутным записям в положении клино- и ортостаза. Текущее ФС организма оценивали по показателю TP (общая мощность спектра) с учетом вклада быстрых колебаний (HF), отражающих активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС), медленных колебаний (LF) – маркер активности симпатических влияний и очень медленных колебаний (VLF), отражающих в определенной степени, гуморально-метаболические и церебральные эрготропные влияния на модуляцию сердечного ритма. Отношение LF/HF расценивали как симпато-парасимпатичес-

кий баланс. Реактивность парасимпатического отдела ВНС при проведении активной ортостатической пробы (АОП) оценивали по коэффициенту 30:15 (K30:15), выраженность активации симпатоадреналовой системы в ответ на ортоаз – по изменению процентного вклада отношения LF/HF с учетом динамики абсолютных значений LF-компонента.

Максимальное велоэргометрическое тестирование проводили по Ramp-протоколу. В нагрузочный период мощность W1 (Ватт) первой ступени длительностью 3 мин рассчитывали исходя из величины должествующего основного обмена (ДОО) в килокалориях по формуле: $W1 (Вт) = ДОО \cdot 0,1$ (ДОО определяли по таблице Гарриса-Бенедикта.) В дальнейшем нагрузка ступенчато возрастает каждую минуту на 30 Вт до индивидуального максимума (max) – снижения скорости педалирования ниже 30 оборотов в минуту, определяющего начало восстановительного периода длительностью 7 мин.

С целью определения количественных эргометрических критериев нами рассчитаны математические модели нагрузочной (МН) и восстановительной (МВ) частоты сердечных сокращений (ЧСС).

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: $y = a/x + b$, $y = a \lg x + b$ соответственно, где x – время восстановления / нагрузки в секундах, y – ЧСС в секунду (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.

Кроме того, для характеристики выборки были использованы следующие показатели: средняя ЧСС нагрузки и восстановления (ЧСС_н, ЧСС_в), максимум перенесенной нагрузки в Ваттах (W).

Интервал T, характеризующий ФС организма в период физической нагрузки, определяли следующим образом: кривую ритмограммы анализируют путем создания математической модели изменчивости кардиоинтервалов с построением наилучших трендов (функций, моделирующих основную тенденцию изменчивости) – двух прямых: первой – в период нарастания ЧСС (уменьшения длительности кардиоинтервалов), второй – в период достижения максимальной ЧСС (стабилизации длительности кардиоинтервалов) [9].

Длительность временного интервала от начала нагрузки до точки пересечения наилучших трендов определялась нами как искомый интервал (T).

Далее ЭКГ периода восстановления анализируют путем построения суммарного распределения R-R длительностей. Учитывают время достижения наиболее выраженного экстремума – первого максимума (max).

Результаты исследования обрабатывали с помощью статистических пакетов программ Microsoft Excel 7 и Statistica 6.0. Принимая во внимание, что распределение значений отличалось от нормального, данные представлены в виде медианы (Me), 25-го и 75-го перцентиля (Пц). Существенность различий оценивали по непараметрическим критериям Kruskal-Wallis – при множественных и Mann-Whitney – при парных сравнениях. Корреляционный анализ проводили по критерию Spearman.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования представлены в таблице. В клиностазе наилучшее ФС организма продемонстрировала 3-я группа подростков. Оно достигается преобладанием TP преимущественно за счет высокочастотного компонента, характеризующего выраженную ваготонию покоя. Причем существенное преобладание низкочастотного спектра в этой группе подростков свидетельствует о выраженном участии симпатического компонента в общем вегетативном контроле. Отсутствие межгрупповых различий по активности очень медленных волн изобличает гуморально-метаболическое доминирование, однако свидетельствует о его заметном относительном участии в приспособительной регуляции 1-й (36%) и 2-й (31%) групп (сравнительно в 3 – 20%).

ФС организма подростков 1-й и 2-й групп неразличимо лишь на первый взгляд, в который попадает общая и гуморально-метаболическая активность. Существенные различия высоко и низкочастотных составляющих определяют характер вегетативной регуляции: у подростков 2-й группы преимущественно за счет парасимпатической активности, 1-й – посредством фактически равного вклада обеих составляющих. Последнее

обстоятельство свидетельствует о симпатической заинтересованности и стрессовой напряженности у подростков данной группы.

Ортостаз проявляет существенное доминирование парасимпатической реактивности у подростков 3-й группы, причем данный показатель у подростков 2-й группы существенно проигрывает лидеру, тем не менее, заметно преобладает над таковым у подростков 3-й группы.

Симпатическая реактивность, значимо не различаясь между собой, существенно преобладает у подростков 1-й и 2-й групп.

Наибольшая нагрузка, перенесенная подростками 1-й группы, обеспечивается минимальной средней ЧСС нагрузки и восстановления, что подтверждается соответствующими моделирующими критериями: минимальным и максимальным (соответственно) углом наклона ЧСС, наиболее поздним наступлением ригидного ритма (точки пересечения трендов) и максимума распределения R-R восстановления. При этом подростки 2-й группы, по всем показателям существенно проигрывают лидеру, статистически существенно опережают подростков 3-й группы.

Таким образом, анализ групп сверстников, не различающихся по индексу Кетле, выявил существенное превосходство адаптационных возможностей спортсменов циклических видов спорта. Оно достигается в статическом состоянии максимальным уровнем вегетативного, преимущественно парасимпатического контроля, раскрывающимся в динамике наивысшей работоспособностью с минимальным обеспечением и быстрым восстановлением. Подростки 2-й и 3-й групп существенно уступая лидеру, также имеют выраженные различия, которые проя-

Таблица

Результаты исследования показателей ВРС у наблюдаемых подростков

Группы	Показатели	Клиностаз				Ортостаз		Нагрузка				Восстановление		
		TP	VLF	LF	HF	LF/HF	K (30:15)	ЧССн	MH	T	W	ЧССв	MB	max
1-я	Me	3893	812	820	2021	2,54	1,57	137	-56,3	499	240	86	98,6	1,3
	25Пц	3334	734	519	1472	1,07	1,4	132	-63,4	462	240	81	92,2	1,2
	75Пц	6036	1009	1160	4226	3,61	1,69	146	-49,3	563	270	93	105,6	1,4
2-я	Me	2243	685	393	1004	4,58	1,45	158	-49,0	383	195	107	93,3	1,6
	25Пц	1617	483	303	567	2,44	1,36	151	-57,3	330	180	102	82,9	1,6
	75Пц	2829	930	624	1229	9,96	1,53	163	-42,7	412	240	112	100,8	1,7
3-я	Me	2014	722	596	719	4,02	1,33	168	-30,3	244	120	121	86,2	1,8
	25Пц	1562	449	361	334	2,03	1,21	164	-46,1	170	90	108	82,3	1,7
	75Пц	2589	1029	759	1250	6,95	1,48	173	-22,3	266	150	130	94,8	2
Общая выборка	Коэффициент корреляции группового ранга	-0,46	-0,17	-0,31	-0,52	0,27	-0,23	0,69	0,72	-0,83	0,63	0,67	-0,7	0,78

вились в группе несовершеннолетних осужденных относительно симпатическим преобладанием в клино- и снижением парасимпатической реактивности в ортостазе, вскрываясь значительным падением перенесенной нагрузки в максимально тяжелых условиях ее обеспечения при длительном восстановлении. Причем, если у школьников имеет место лишь снижение адаптационных возможностей без нарушения вегетативной регуляции (если не считать избыточного симпатического доминирования в ортостазе), то у подростков 3-й группы сочетание депрессии парасимпатической регуляции клиностаза со снижением одноименной реактивности в ортостазе ($K_{30:15}$) на фоне симпатического доминирования (в клиностазе и относительного в ортостазе) свидетельствует о нарушении функционирования возвращающих к норме механизмов (тормозных влияний) [10]. Последнее обстоятельство объясняет результаты физического стресса, когда меньшая перенесенная нагрузка сочеталась с преобладающей средней ЧСС, а также моделирующими критериями нагрузки и восстановления.

В связи с тем, что большинство сравниваемых показателей имеют существенные межгрупповые различия, необходимо решить вопрос о значимости каждого из них. Корреляционный анализ группового ранга с каждым сравниваемым показателем позволил определить их существенность. Поскольку групповые ранги, по сути, определяют уровни адаптационных возможностей (группы здоровья), корреляционные показатели с тем же успехом характеризуют влияние на формирование последних. В этом ключе наибольшую взаимосвязь демонстрируют динамические: нагрузочные и восстановительные показатели, в то время как стационарные (клиноортостатические) имеют существенно меньшее значение.

С целью дальнейшего теоретического осмысления выявлены оптимальные адаптационные показатели, наиболее адекватно характеризующие ФС организма в различные периоды: в клиностазе – HF компонент, в ортостазе – индекс $K_{30/15}$, в период нагрузки – интервал Т, на этапе восстановления – максимум распределения. Оптимальным разграничительным показателем является интервал Т.

Выявленные фазовые критерии не только оптимизируют исследовательский процесс, уменьшая количество первичных данных, но и объясняют патофизиологическую прогрессивную динамику дезадаптации и нарушения вегетативного контроля от ваготонии (в норме) до парасимпатической депрессии в покое далее к избыточной активации симпатки в ортостазе с дальнейшим падением парасимпатической реактивности. Выявленная последовательность имеет характерное подтверждение, проявляющееся (поэтапным) снижением толерантности к физической нагрузке, определяемой с учетом существенных различий, как в нагрузочных, так и в восстановительных показателях. Кро-

ме того, умеренная корреляционная связь парасимпатической активности с нагрузочными ($T-0,4$) и восстановительными ($max - (-0,47)$) показателями [11] позволяет сделать предположение о ее непосредственном влиянии на формирование последних.

Выявление разграничивающим критерием интервала Т, который по физиологической сути определяет физическое качество – выносливость, позволяет сделать вывод и подтвердить известные положения о ключевом значении последнего в расширении адаптационных возможностей организма в целом [4].

С целью улучшения ФС организма школьников и студентов данной возрастной группы наиболее эффективным направлением физической тренировки является развитие у них такой двигательной способности, как общая выносливость.

В соответствии с правом несовершеннолетних осужденных на охрану здоровья в условиях воспитательной колонии, вследствие существенного ограничения у них двигательной активности, целесообразно введение различных видов и форм физических упражнений с направленностью нагрузки на развитие общей выносливости. В связи с необходимостью целенаправленного и эффективного развития указанной двигательной способности, занятия в воспитательных колониях должны проводиться под руководством квалифицированных специалистов в области пенитенциарной физической культуры (с учетом особенностей контингента воспитанников, режима учреждения, специфики направленности воспитательного воздействия и связанных с ними средств, методов и условий воздействия).

Заключение

Высокий уровень вегетативного контроля, проявляющийся ваготонией покоя, выраженной парасимпатической реактивностью ортостаза и высокой толерантностью к физической нагрузке, позволяет свидетельствовать в пользу наилучшего ФС организма подростков.

Проявлением адаптационной недостаточности является низкий уровень вегетативного контроля, обнаруживающий в покое симпатическое и гуморально-метаболическое доминирование, возрастание с последующей деградацией симпатической и раннюю депрессию парасимпатической реактивности ортостаза, приводящие, по сути, к интолерантности физической нагрузки.

Оптимальными адаптационными показателями, характеризующими ФС организма подростков в различные периоды, являются следующие: в клиностазе – HF компонент, в ортостазе – индекс $K_{30:15}$, на этапе восстановления – максимум распределения, в период нагрузки – интервал Т. Последний, кроме того, имеет наибольшее сродство с групповым рангом, что определяет его наилучшие разграничивающие и оценочные (в плане адаптационного потенциала) возможности.

В связи с тем, что интервал Т является критерием общей выносливости, развитие данного качества рекомендовано с целью расширения адаптационных возможностей организма подростков.

В соответствии с правом несовершеннолетних осужденных на охрану здоровья и вследствие

существенного ограничения у них двигательной активности рекомендовано введение физических упражнений, развивающих общую выносливость под руководством квалифицированных специалистов в области пенитенциарной физической культуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 21.03.2007 г. №172 «О Федеральной целевой программе «Дети России» на 2007–2010 годы».

2. Дмитриева И.В., Глазачев О.С. Индивидуальное здоровье и полипараметрическая диагностика функциональных состояний организма, М.: Горизонт, 2000.

3. Вегетативные расстройства. Клиника, диагностика, лечение. Под ред. А.М. Вейна. М.: Медицинское информационное агентство, 1998.

4. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988.

5. Ноздрачев А.Д., Щербатых Ю.В. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы. Физиология человека. 2001; 6: 95–101.

6. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья. Рос. физиол. журнал. 2003; 4 (89): 473–487.

7. Михайлов В.М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ. Иваново: ООО ИИТ «А-Гриф», 2005.

8. 36th Bethesda Conference Eligibility Recommendations for competitive Athletes With Cardiovascular Abnormalities. Journal of the American College of Cardiology. 2005; 8 (45).

9. Похачевский А.Л. Оценка функционального состояния по кардиоритмограмме при велоэргометрии. Физиология человека. 2007; 33; 6: 1–4.

10. Михайлов В.М., Похачевский А.Л. и др. Количественная оценка текущего функционального состояния при стрессе. Пат. физиол. и эксп. тер. 2006; 2: 19–22.

11. Gaibazzi N, Petrucci N, Ziacchi V. One-minute heat rate recovery after cycloergometer exercise testing as a predictor of mortality in a large cohort of exercise test candidates: substantial differences with the treadmill-derived parameter. Ital. Heart J. 2004; 5 (3): 183–188.