

УДК 612.821

ИНФОРМАТИВНЫЕ МАРКЕРЫ СОСТОЯНИЯ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ У ЮНОШЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

© 2019 г. А. Л. Максимов^{1, *}, И. В. Аверьянова^{1, 2}

¹ФГБУН Научно-исследовательский центр “Арктика”
Дальневосточного отделения РАН, Магадан, Россия

²ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

*E-mail: arktika@online.magadan.su

Поступила в редакцию 30.01.2018 г.

После доработки 16.04.2018 г.

Принята к публикации 14.06.2018 г.

Целью работы явилось сравнительное изучение срочных адаптационных изменений показателей гемодинамики и вариабельности сердечного ритма (ВСР) в процессе выполнения велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности у юношей Магаданской области с различным исходным типом вегетативной нервной регуляции. У всех обследуемых ($n = 71$), на основании ВСР в состоянии покоя, определяли исходный тип вегетативной регуляции, при этом были выделены две группы: нормоваготоники и нормосимпатотоники, отличающиеся структурой кардиоритма. Все юноши выполняли велоэргометрическую нагрузку субмаксимальной мощности 150 Вт, продолжительностью 6 мин и темпом педалирования 60 об./мин. Проведенные исследования показали, что юноши призывного возраста с нормоваготоническим типом вегетативной регуляции обладают большими функциональными резервами и меньшим напряжением при выполнении физической нагрузки значительной по тяжести и интенсивности. Снижение (относительно фона) общей мощности спектра на первых двух минутах нагрузки более чем в 14 раз, у обследуемых 1-й группы, а в 7 раз у обследуемых 2-й группы, позволяет говорить о более высоких у них функциональных резервах системы кардиогемодинамики и более легкой переносимости нормоваготониками физической нагрузки.

Ключевые слова: Север, укорененные европеоиды, вариабельность кардиоритма, гемодинамика, велоэргометрия.

DOI: 10.1134/S013116461902005X

Исследование взаимосвязи исходных типов вегетативной регуляции с уровнем функциональных резервов системы кардиогемодинамики при выполнении физической нагрузки во многом не изучены и представляют один из аспектов возможной количественной оценки уровня здоровья человека. Отметим, что современный образ жизнедеятельности горожан, даже в молодом возрасте, сопровождается уменьшением физической активности, общей гиподинамией, что проявляется в увеличении “физиологической стоимости нагрузки” и большим напряжением функционирующих систем [1]. Вегетативная нервная система играет важную роль в модуляционных состояниях сердечно-сосудистой системы в различных ситуациях [2], в том числе и при выполнении физических нагрузок [3]. Для адекватного уровня сердечнососудистого обеспечения во время фи-

зической нагрузки необходим быстрый переход звеньев вегетативной нервной системы на новый уровень регуляции [3]. Ответ вегетативной нервной системы на физическую нагрузку характеризуются в начале относительным снижением активности парасимпатического звена при резкой активации симпатического отдела, что сопровождается стремительным увеличением частоты сердечных сокращений (ЧСС). Сразу после окончания физической нагрузки в первые минуты восстановительного периода происходит снижение ЧСС за счет резкой вагусной активации [4], при этом перестройки кардиальных вегетативных реакций также могут являться важными показателями риска возникновения нарушений со стороны сердечно-сосудистой системы [5].

Учитывая, что физическая работоспособность во многом определяется резервами кардиореспи-

раторной системы [6], нами было проведено сопоставление срочных адаптационных изменений показателей гемодинамики и ВСР в процессе выполнения велоэргометрической нагрузки субмаксимальной мощности у юношей Магаданской области с различным исходным типом вегетативной нервной регуляции.

МЕТОДИКА

Для поставленной цели обследовали 71 юношу в возрасте от 17 до 19 лет из числа европеоидов уроженцев региона в 1–2 поколениях и являющихся студентами Северо-Восточного государственного университета. Обследование проводили на занятиях физической культуры до нагрузки, что подразумевает наличие медицинского допуска и отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья, что и являлось непосредственным критерием включения в исследования. Все обследуемые характеризовались одинаковым уровнем физической активности, предусматривающим занятия физической культуры в рамках учебного плана университета.

Все испытуемые выполняли нагрузку мощностью 900 кгм/мин (150 Вт) темпом педалирования 60 об./мин и продолжительностью 6 мин, что по реакции сердечно-сосудистой системы близко к функциональному ответу при PWC_{170} у молодых лиц в возрасте 18–21 г. [7]. До нагрузки (фон), на ее пике (конец 6 мин) и в процессе восстановления (3, 6 мин) измеряли систолическое (САД, мм рт.ст.) и диастолическое (ДАД, мм рт.ст.) артериальное давление с использованием автоматического тонометра *Nessei DS-1862*.

Запись ЭКГ проводили как в состоянии покоя, так и во время велоэргометрии с помощью прибора “Варикард” и программного обеспечения *VARICARD-KARDi* [8] и с учетом методических рекомендаций группы Российских экспертов [9]. В дальнейшем анализировали следующие показатели ВСР: частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин); число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов ($pNN50$, мс); квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов ($RMSSD$, мс); индекс напряжения регуляторных систем (SI , усл. ед.); суммарная мощность спектра сердечного ритма (TP , $мс^2$), мощность спектра высокочастотного компонента ВСР в диапазоне 0.4–0.15 Гц (дыхательные волны) (HF , $мс^2$); мощность спектра низкочастотного компонента вариабельности сердечного ритма в диапазоне 0.15–0.04 Гц (LF , $мс^2$); мощность спектра очень низкочастотного компонента вариабельности ритма сердца в диапазоне 0.04–0.015 Гц (VLF , $мс^2$). Общую суммарную мощность

спектра кардиоритма (TP) в процессе ререспирации рассчитывали без учета ультра низкочастотной составляющей (ULF) исходя из требований корректности применения анализа коротких временных рядов с использованием метода Фурье преобразования [10]. Для анализа спектральных характеристик ВСР при выполнении велоэргометрической нагрузки использовали 2-х минутные отрезки записи, что позволяло иметь в анализируемом участке более 200 кардиоинтервалов, что является необходимым критерием анализа спектра кардиоритма [9].

Тип исходного вегетативного тонуса определяли на основании значений ЧСС, SI , TP , где диапазон эйтонии для SI – от 70 до 140 усл. ед., для TP – от 1000 до 2000 $мс^2$ [11]. Если исследуемые показатели TP находились ниже данных диапазонов, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, при повышении величин данного коридора – как ваготонический. Напротив, относительно показателей SI , при повышении его значений более 140 усл. ед. (с учетом 2-х других показателей) вегетативный баланс оценивался как с симпатикотонической направленностью, а понижение менее 70 усл. ед. – ваготонической.

Во время велоэргометрической нагрузки запись ВСР проводили непрерывно в течение всех 6 мин. Обследования юношей проводили в помещении с температурой 19–21°C, преимущественно в первой половине дня.

Исследование выполнили в соответствии с принципами Хельсинкской Декларации (2008). Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНЦ ДВО РАН (этический протокол № 004/013, от 10.12.2013). Все обследуемые были проинформированы о характере, цели исследования и дали письменное согласие на участие в нем.

Обработка данных. Полученные результаты подвергли статистической обработке с применением пакета прикладных программ “*Statistica 7.0*” Проверку на нормальность распределения измеренных переменных осуществляли на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей ($C25$ и $C75$), а параметрических – среднего значения (M) и ошибки средней арифметической ($\pm m$). При независимых выборках уровень значимости различий для выборок с распределением, не отличающимся от нормального, определяли с помощью t -критерия Стьюдента для независимых выборок и в случае выборок с распределением, отличающимся от нормального – использовали критерий Манна–Уитни. При зависимых выборках статистическую значимость различий определяли с помощью t -критерия

Таблица 1. Показатели гемодинамики у юношей на пике нагрузки и в процессе восстановления в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции

Изучаемые показатели	Этап исследования				Уровень значимости различий (<i>p</i>)			
	фон (1)	6-я мин нагрузки (2)	3-я мин восстановления (3)	6-я мин восстановления (4)	1–2	2–3	3–4	1–4
Группа нормосимпатотоников								
САД, мм рт.ст.	121.0 ± 1.5	205.6 ± 4.9	148.5 ± 3.3*	131.0 ± 2.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ДАД, мм рт.ст.	72.2 ± 1.5	124.2 ± 7.2	76.0 ± 3.1	77.0 ± 1.9*	<0.001	<0.001	=0.76	<0.05
ЧСС, уд./мин	70.4 ± 1.6*	165.2 ± 2.6*	107.3 ± 1.7*	100.6 ± 1.5*	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Группа нормоваготоников								
САД, мм рт.ст.	118.6 ± 2.6	198.4 ± 5.6	140.5 ± 2.3	127.2 ± 1.7	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
ДАД, мм рт.ст.	69.7 ± 1.2	114.8 ± 7.0	72.3 ± 0.9	71.9 ± 1.3	<0.001	<0.001	=0.84	=0.19
ЧСС, уд./мин	61.2 ± 1.9	142.8 ± 1.1	88.3 ± 0.5	84.5 ± 1.1	<0.001	<0.001	<0.05	<0.001

Примечание: * – статистически значимые различия между показателями различных групп.

Стьюдента с параметрическим распределением и непараметрического критерия Вилконсона для связанных выборок с распределением, отличающимся от нормального. Критический уровень значимости (*p*) в работе принимали равным 0.05 [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные результаты показали, что на пике нагрузки ЧСС варьировала в широком диапазоне значений (от 135 до 170 уд./мин), что позволило выделить две репрезентативные выборки: в группу 1 (*n* = 42) вошли лица с ЧСС более 150 уд./мин, а в группу 2 (*n* = 29) – с ЧСС менее 150 уд./мин. При этом в группе 1 с учетом 25–75 процентилей значения ЧСС находились в диапазоне 65–80 уд./мин, и в основном могут быть охарактеризованы как нормосимпатотоники, а во 2-й группе – 58–68 уд./мин, что позволят рассматривать их как нормоваготоников. Можно отметить, что лица с выраженной симпатикотонией и ваготонией, в обследуемой выборке студентов, практически отсутствовали. Обследуемые, вошедшие в группу 1 имели массу тела 66.8 ± 1.0 кг, длину тела $178.4 \pm \pm 0.08$ см, а во второй группе – 72.1 ± 1.1 кг и 180.1 ± 0.09 см соответственно. В табл. 1 представлены основные показатели гемодинамики у юношей двух групп, различающихся по исходному типу вегетативной регуляции и пиковому ответу ЧСС на физическую нагрузку. Из приведенных данных видно, что между обследуемыми группами в состоянии покоя (фон) и на пике пробы статистически значимых различий в показателях артериального давления не отмечалось, при этом прирост систолического АД в группе 1 и 2 составлял равную величину – 80 мм рт.ст., а диастолического – 52 и 45 мм рт.ст. соответственно.

В процессе восстановления (3-я и 6-я мин) относительно фона, были отмечены статистически более высокие значения по всем изучаемым показателям в группе 1.

В табл. 2 представлены основные показатели статистических значений ВСР на каждом этапе велоэргометрической нагрузки. В табл. 3 отмечены уровни достигнутых значимостей статистических различий между изучаемыми показателями. Анализ поминутного прироста динамики ЧСС выявил ряд существенных различий: так юноши 1-й группы характеризовались статистически значимо более высокими показателями на каждой минуте, при этом различия на пике нагрузки достигали 23 уд./мин относительно обследуемых 2-й группы. Однако вектор изменения структуры ВСР в процессе велоэргометрии не зависел от исходного типа вегетативной нервной регуляции, а различия касались только абсолютных величин показателей. При этом у представителей группы нормосимпатотоников с 4 мин нагрузки отмечались значимо более высокие показатели *SI*, которые возрастали с каждой последующей минутой относительно предыдущей. Анализ динамики мощности спектральных характеристик ВСР также указывает на сопоставимые векторы изменений в обеих группах, при этом наибольшее число значимых различий начинало регистрироваться с 3-й мин нагрузки (табл. 4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Увеличение ЧСС и АД в ответ на физическую нагрузку – типичные приспособительные реакции организма, определяющие его резервные возможности, направленные на выполнение заданной работы [13]. Статистически значимо более низкие показатели ЧСС на всех этапах тести-

Таблица 2. Изменения статистических характеристик ВСП у юношей в процессе выполнения велоэргометрии в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции

Изучаемые показатели	Время нагрузки						
	фон	1-я мин	2-я мин	3-я мин	4-я мин	5-я мин	6-я мин
Группа нормосимпатотоников							
<i>HR</i> , уд./мин	70.9* (63.7; 79.5)	117.9* (112.4; 123.4)	140.1* (131.8; 144.8)	150.1* (143.2; 152.9)	155.2* (149.6; 160.5)	160.3* (156.4; 165.9)	165.1* (161.6; 169.2)
<i>RMSSD</i> , мс	39.9 (33.6; 53.0)	11.2 (8.9; 17.5)	5.9 (4.6; 7.4)	5.7* (3.9; 8.0)	5.5* (3.6; 10.0)	6.4 (3.5; 11.4)	6.3 (3.2; 13.9)
<i>pNN50</i> , %	16.7 (10.9; 32.5)	0.8 (0.0; 1.6)	0.0 (0.0; 0.0)	0.0 (0.0; 0.0)	0.0 (0.0; 0.0)	0.0 (0.0; 0.6)	0.0 (0.0; 1.9)
<i>SI</i> , усл. ед.	51.1 (30.8; 82.6)	302.3 (208.6; 435.3)	2364.9 (1615.0; 3106.8)	4757.9 (2447.4; 10415.9)	9153.1* (4859.9; 12522.0)	10622.4* (6078.1; 18737.8)	18298.4* (3663.0; 26389.5)
Группа нормоваготоников							
<i>HR</i> , уд./мин	63.1 (58.6; 67.7)	106.9 (104.6; 112.3)	124.5 (121.0; 129.3)	129.7 (126.5; 137.6)	133.7 (129.6; 140.8)	138.3 (134.2; 142.9)	142.2 (135.5; 145.8)
<i>RMSSD</i> , мс	52.2 (41.5; 64.2)	13.6 (10.3; 16.7)	7.1 (4.8; 14.1)	7.3 (5.8; 15.7)	6.9 (5.0; 15.0)	6.7 (5.3; 14.2)	7.7 (5.2; 14.0)
<i>pNN50</i> , %	31.4 (16.2; 36.5)	0.9 (0.0; 2.9)	0.0 (0.0; 0.8)	0.0 (0.0; 2.9)	0.0 (0.0; 2.2)	0.0 (0.0; 3.1)	0.0 (0.0; 2.3)
<i>SI</i> , усл. ед.	34.5 (22.3; 71.6)	206.8 (150.5; 331.1)	2003.1 (993.4; 4324.5)	3901.1 (1794.7; 5439.3)	5008.9 (2352.5; 7870.9)	5570.7 (4246.8; 7762.0)	7020.2 (2352.2; 12032.4)

Примечание: * – статистически значимые различия между показателями в изучаемых группах в процессе физической нагрузки.

Таблица 3. Уровни значимости различий при велоэргометрической нагрузке

Показатели	Уровень значимости различий между изучаемыми группами (<i>p</i>)						
	Группа нормосимпатотоников						
	фон–1 мин	1–2 мин	2–3 мин	3–4 мин	4–5 мин	5–6 мин	
<i>HR</i> , уд./мин	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
<i>RMSSD</i> , мс	0.001	0.001	0.16	0.36	0.06	0.47	
<i>pNN50</i> , %	0.001	0.08	0.21	0.90	0.05	0.44	
<i>SI</i> , усл. ед.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Группа нормоваготоников							
<i>HR</i> , уд./мин	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
<i>RMSSD</i> , мс	0.001	0.05	0.20	0.65	0.35	0.57	
<i>pNN50</i> , %	0.001	0.08	0.57	0.31	0.26	0.73	
<i>SI</i> , усл. ед.	0.001	0.001	0.05	0.08	0.93	0.22	

рования были отмечены в группе 2. Известно, что в норме у практически здоровых людей фоновые значения ЧСС находятся под ведущим влиянием парасимпатического звена ВНС, активность которого обеспечивает после физической нагрузки быстрый восстановительный процесс при достаточных функциональных резервах организма, что и отмечалось в большей степени у юношей 2 группы. Исследования показали, что ЧСС в состоянии фона и восстановительного периода, можно рассматривать в качестве маркеров кардиального

вегетативного баланса отражающего состояние симпатического и парасимпатического влияния на регуляторные процессы после прекращения физических нагрузок [14–16].

Имеются современные исследования о том, что занятия физическими нагрузками, особенно аэробной направленности, влияют на баланс вегетативной нервной системы, путем повышения парасимпатического тонуса и уменьшением симпатической активности [17], а динамика значений ЧСС фонового, нагрузочного и восстанови-

Таблица 4. Динамика спектральных характеристик ВСР у юношей в процессе выполнения велоэргометрической пробы в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции

Изучаемые показатели	Группа нормосимпатотоников						
	время велоэргометрической нагрузки				уровень значимости различий (<i>p</i>)		
	фон (1)	1–2 мин нагрузки (2)	3–4 мин нагрузки (3)	5–6 мин нагрузки (4)	1–2	2–3	3–4
<i>TP</i> , мс ²	3244.6 (1899.8; 5473.2)	232.5* (161.0; 489.0)	30.9* (15.6; 64.1)	18.8* (9.9; 29.9)	<0.001	<0.001	<0.001
<i>HF</i> , мс ²	630.0 (371.1; 1772.4)	36.8* (23.6; 73.2)	7.3* (3.8; 18.0)	3.5* (1.9; 11.8)	<0.001	<0.001	<0.001
<i>LF</i> , мс ²	1159.0 (899.8; 1973.8)	111.4* (55.6; 206.0)	6.7* (3.2; 12.8)	3.4* (1.8; 6.3)	<0.001	<0.001	<0.001
<i>VLF</i> , мс ²	517.1 (361.4; 768.9)	74.1 (46.7; 198.1)	9.6* (4.0; 19.8)	5.3* (2.3; 8.8)	<0.001	<0.001	<0.001
Мощность <i>HF</i> , %	29.2 (18.3; 36.9)	14.8 (11.0; 22.1)	33.4 (20.1; 54.1)	28.1 (16.3; 66.5)	<0.001	<0.001	=0.49
Мощность <i>LF</i> , %	49.4 (37.3; 60.1)	48.4 (37.8; 55.6)	27.2* (15.7; 35.5)	20.6* (13.6; 29.5)	=0.84	<0.001	=0.17
Мощность <i>VLF</i> , %	18.7 (14.0; 26.1)	34.1 (26.6; 40.9)	37.0* (21.4; 49.8)	39.1* (18.8; 56.6)	<0.001	=0.84	=0.91
Группа нормоваготоников							
<i>TP</i> , мс ²	3507.661 (2108.125; 6360.332)	484.0 (280.5; 585.5)	88.7 (44.2; 129.2)	44.6 (25.7; 61.4)	<0.001	<0.001	<0.01
<i>HF</i> , мс ²	933.485 (581.288; 1421.806)	63.0 (49.4; 117.3)	18.9 (12.6; 34.6)	9.5 (3.8; 21.8)	<0.001	<0.05	<0.05
<i>LF</i> , мс ²	1138.735 (715.992; 1971.212)	222.7 (130.6; 275.1)	33.1 (18.6; 50.5)	13.7 (10.4; 30.3)	<0.001	<0.001	<0.05
<i>VLF</i> , мс ²	710.2 (301.0; 1129.6)	142.0 (95.6; 189.2)	16.1 (9.0; 33.2)	11.2 (7.4; 21.5)	<0.001	<0.001	=0.47
Мощность <i>HF</i> , %	31.0 (22.8; 39.3)	18.9 (10.1; 24.9)	37.0 (17.1; 45.7)	34.1 (10.5; 48.0)	<0.001	<0.001	=0.62
Мощность <i>LF</i> , %	42.1 (34.9; 48.6)	47.3 (39.2; 51.0)	35.1 (27.1; 47.6)	43.1 (26.7; 51.9)	<0.001	<0.001	=0.47
Мощность <i>VLF</i> , %	26.7 (16.8; 32.6)	32.6 (24.0; 40.6)	25.9 (14.3; 37.1)	27.1 (19.1; 39.0)	=0.84	=0.08	=0.87

Примечание: * – обозначение см. табл. 1.

тельного периода, при прочих равных условиях, могут выступать прогностическими критериями оценки возможного уровня физической работоспособности [14, 15]. Учитывая, что в группе нормоваготоников в состоянии фона, на пике нагрузки и в восстановительном периоде ЧСС было значимо ниже, чем у нормосимпатотоников, можно говорить об их больших функциональных резервах и физической работоспособности, что согласуется с результатами исследований А.Л. Похачевского [13, 18]. При этом мы принимали во внимание, что в обеих группах величина ЧСС на пике нагрузки не достигала своих критических величин, исходя из расчета зависимости следующего вида: $208 - 0.7 \times (\text{возраст})$ [19]. Однако можно подчеркнуть, что в 1-й группе она значительно ближе приближалась к критическим значениям,

достигая 85% от расчетного значения, в то время как во 2-й группе оно было меньше 75%.

Известно, что артериальное давление увеличивается во время нагрузочной пробы, обеспечивая, наряду с ЧСС, адекватный приток крови к работающим мышцам и уровень поступления к ним кислорода [20], при этом степень его увеличения пропорциональна интенсивности и тяжести выполняемой работы [21]. Однако выраженная и чрезмерная реакция артериального давления при физических нагрузках может свидетельствовать о формирующейся сердечно-сосудистой патологии [22], развитии артериальной гипертензии и высоким риске сердечно-сосудистых катастроф, включая риск внезапной смерти [23]. Таким образом, тестирование с физическими нагрузками близкими к субмаксимальной мощно-

сти для практически здоровых молодых людей является более информативным, чем любое обследование в состоянии покоя, так как позволяет выявлять не только скрытые дефекты регуляции в системе кардиогемодинамики, но и формирующуюся патологию, что было показано в исследовании ряда авторов [24].

В настоящее время не существует консенсуса относительно определения нормального повышения АД в процессе выполнения нагрузочного теста [25]. В ряде исследований используется пик систолического АД или абсолютный прирост от состояния покоя до пиковых значений, а также разница САД_{проба} – САД_{фон} на основании которой, проводятся попытки прогнозирования развития гипертензии [26] и возможных сердечно-сосудистых катастроф [27]. В работе *M. Macek et al.* для определения аномальной реакции артериального давления на физическую нагрузку используется показатель увеличение САД более чем на 30 мм рт. ст. на 1.0 Вт/кг нагрузки [28]. Исходя из того, что средняя масса тела у испытуемых 1-й группы была равна 66.8 кг, индекс нагрузки составлял 2.24 Вт/кг и, соответственно, нормальный уровень увеличения САД не должен был превышать 67.2 мм рт.ст. Для второй группы, представители которой имели массу тела 72.1 кг, данный индекс составил 2.05 Вт/кг, в соответствии с которым нормальный прирост САД не должен превышать 62.4 мм рт.ст. Таким образом, исходя из полученных результатов, можно говорить о том, что у представителей двух групп реакция САД на велоэргометрическую пробу была избыточна и характеризовалась гипертензивными проявлениями. Также необходимо отметить, что прирост САД, отмеченный в наших исследованиях, не входил в нормативный диапазон, указанный в работе *S. Gläser et al.* [29], где для обследуемых данной возрастной группы и с ИМТ от 21 до 25 кг/м², показатель САД в нагрузке не должен был превышать величины 165 мм рт.ст. Для диастолического АД увеличение показателя в 1-й группе до 124 мм рт.ст. и во 2-й группе до 115 мм рт.ст. в ответ на велоэргометрическую нагрузку так же превышает нормативный коридор (61–109 мм рт.ст.), приведенный в работе *S. Gläser et al.* [29]. Таким образом, полученные результаты отражают выраженную повышенную гипертензивную реакцию показателей артериального давления в двух обследованных группах, но степень их различий указывает на то, что уровень функциональных резервов в значительной степени зависит от исходного типа вегетативной нервной регуляции.

В настоящее время физические нагрузки мощностью более 100 Вт/мин рассматриваются как достаточно высокие, приводящие к физиологическому стрессу и возможной полной депрессии парасимпатической модуляции на фоне суще-

ственной активации симпатического звена [30]. При этом изменения структуры ВСР в период велоэргометрического тестирования позволяют определить не только степень вклада различных звеньев ВНС, но и состояние функциональных резервов организма в целом [9, 31, 32]. Анализ минутного прироста ЧСС (табл. 2, 3) в ответ на велоэргометрический тест показал более выраженную интенсивность увеличения показателей в группе 1. Так, в этой группе значения ЧСС равные 140 уд./мин регистрировались уже на 2-й мин велоэргометрического теста, тогда как в группе 2 аналогичные величины этого показателя наблюдались только в конце нагрузочного теста. Имеются данные, что быстрый прирост ЧСС в начале нагрузки является результатом резкого снижения вклада парасимпатической регуляции, тогда как активация симпатического звена вызывает сравнительно более медленное увеличение ЧСС в процессе нарастающей нагрузки [33]. В связи с этим можно предположить, что изменение темпа динамики ряда показателей ВСР и гемодинамики могут выступать маркером вклада того или иного регуляторного звена ВНС в эффективное обеспечение физической работоспособности. Это необходимо учитывать при необходимости выполнения достаточно тяжелых и интенсивных физических нагрузок молодыми людьми в условиях специальной деятельности или занятиями спортом, особенно если они проходят в экстремальных природно-климатических условиях Севера.

Анализ спектральных характеристик кардиоритма (табл. 4) в ответ на нагрузочный тест также выявил в исследуемой популяции наличие единого вектора изменений в динамике показателей, но при этом имелись значимые различия по времени выполнения нагрузки. Оказалось, что показатели *TP*, *HF*, *LF*, *VLF* снижались по мере увеличения времени велоэргометрического теста. При этом в состоянии фона между обследуемыми группами статистической разницы в показателях не отмечалось, но уже с 1 мин нагрузки и до ее окончания значимые различия наблюдались по большинству спектральных показателей ВСР.

Резкое снижение в нагрузочной кардиоритмограмме общей мощности спектра высоко- и низкочастотных волн свидетельствует о реципрокном уменьшении парасимпатического и увеличении симпатического влияния на структуру кардиоритма, при этом на последних минутах нагрузки значение *TP* в группе 1 более чем в 2 раза было меньше, чем у обследуемых второй группы.

Известно, что симпатическая активация, индуцированная физической нагрузкой, зависит в большей мере от ее тяжести, интенсивности и длительности физических упражнений и не связано с количеством мышц, задействованных в ее выполнении [34]. При этом минимизация тону-

парасимпатической модуляции в регуляции сердечного ритма и снижение тормозящих влияний, наблюдаемых в исчезновении дыхательного тренда и стабилизации длительности *R-R* интервалов, будет проявляться в кардиоритмограмме выраженным снижением высоко- (*HF*) и низкочастотных (*LF*) составляющих. Исследования показали, что при крайне высоких физических нагрузках может наблюдаться полное исчезновение низкочастотной волны (*LF*) в общей мощности спектра кардиоритма [13, 18]. В нашем случае у обследуемых 1-й группы мощность в сумме высоко- и низкочастотных составляющих была менее 50%, а в группе 2 – около 80%. Некоторые исследователи считают, что снижение или исчезновение волновой структуры сердечного ритма, соответствующее уровню 75–85% максимальной ЧСС, может определять зону аэробно-анаэробного перехода [13, 18], что в наших исследованиях наблюдается на 5–6-й мин нагрузки.

Важно отметить увеличение вклада *VLF*-компонента в общую мощность спектра относительно фоновых значений в группе 1, тогда как в группе 2 данный процентный показатель в процессе выполнения нагрузки статистически значимо не изменялся. Однако на последних минутах нагрузки его абсолютное значение более чем в 2 раза превышало показатель в группе 1, свидетельствуя о включении надсегментарных и центральных механизмов регуляции сердечной деятельности, что является необходимой условием активации функциональных и адаптационных резервов при действии выраженных стрессорирующих факторов [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что юноши призывного возраста с нормоваготоническим типом вегетативной регуляции обладают большими функциональными резервами и меньшим напряжением при выполнении физической нагрузки значительной по тяжести и интенсивности.

Проведенный анализ данных ВСП показывает, что, несмотря на различную исходную ЧСС, структура основных статистических и спектрально-волновых характеристик кардиоритма в состоянии фона не различается и они не могут выступать информативными критериями для прогноза функциональных резервов кардиореспираторной системы у лиц с нормосимпатотоническим и нормоваготоническим типами исходной вегетативной регуляции. Однако в процессе велоэргометрии информативность показателей ВСП для оценки тонких перестроек вегетативной регуляции проявляется достаточно ярко. Так, снижение (относительно фона) общей мощности спектра на первых двух минутах нагрузки более

чем в 14 раз, у обследуемых 1-й группы, а у обследуемых 2-й группы в 7 раз, позволяет говорить о более высоких у них функциональных резервах системы кардиогемодинамики и более легкой переносимости нормоваготониками физической нагрузки.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации” (проект “Разработка унифицированных социально-экономических и медико-биологических критериев оценки дискомфорта окружающей среды и состояния адаптированности жителей циркумполярных и арктических регионов”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Luria T., Matsliah Y., Adir Y. et al.* Effects of a prolonged submersion on bone strength and metabolism in young healthy submariners // *Calcif. Tissue Int.* 2010. V. 86. № 1. P. 8.
2. *Malpas S.C.* Sympathetic nervous system overactivity and its role in the development of cardiovascular disease // *Physiol. Rev.* 2010. V. 90. № 2. P. 513.
3. *Williamson J.W., Fadel P.J., Mitchell J.H.* New insights into central cardiovascular control during exercise in humans: a central command update // *Exp. Physiol.* 2006. V. 91. № 1. P. 51.
4. *Sato I., Hasegawa Y., Hotta K.* Autonomic nervous control of the heart in exercising man // *Pflügers Archiv European J. Physiology.* 1980. V. 384. P. 1.
5. *Tsuji H., Larson M.G., Venditti F.J. et al.* Impact of reduced heart rate variability on risk for cardiac events. The Framingham Heart Study // *Circulation.* 1996. V. 94. № 11. P. 2850.
6. *Fletcher G., Ades A., Kligfield F.* Exercise Standards for Testing and Training: A Scientific Statement From the American Heart Association // *Circulation.* 2001. V. 104. № 14. P. 1694.
7. *Айдаралиев А.А., Максимов А.Л.* Адаптация человека в экстремальных условиях. Опыт прогнозирования. Л.: Наука, 1988. 126 с.
8. Комплекс для анализа variability сердечного ритма “Варикард”. Рязань: ЮИМН, 2005. 45 с.
9. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др.* Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии.* 2001. № 24. С. 65.
10. *Витязев В.В.* Анализ неравномерных временных рядов. СПб.: СПбГУ, 2001. 48 с.
11. *Максимов А.Л., Аверьянова И.В.* Информативность показателей кардиогемодинамики и variability сердечного ритма у юношей с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивостью // *Ульяновский медико-биологический журн.* 2014. № 2. С. 90.

12. *Боровиков В.* Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. (2-е издание). СПб.: Питер, 2003. 688 с.
13. *Похачевский А.Л.* Оценка функционального состояния по кардиоритмограмме при велоэргометрии // Физиология человека. 2007. № 33. № 6. С. 117.
14. *Kim M.K., Tanaka K., Kim M.J. et al.* Exercise training-induced changes in heart rate recovery in obese men with metabolic syndrome // *Metab. Syndr. Relat. Disord.* 2009. V. 7. № 5. P. 469.
15. *Kral J.G., Paez W., Wolfe B.M.* Vagal nerve function in obesity: therapeutic implications // *World J. Surg.* 2009. V. 33. № 10. P. 1995.
16. *Okutucu S., Karakulak U.N., Aytemir K. et al.* Heart rate recovery: a practical clinical indicator of abnormal cardiac autonomic function // *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2011. V. 9. № 11. P. 1417.
17. *Tigen K., Karaahmet T., Gürel E. et al.* The utility of heart rate recovery to predict right ventricular systolic dysfunction in patients with obesity // *Anadolu. Kardiyo. Derg.* 2009. V. 9. P. 473.
18. *Похачевский А.Л., Лапкин М.М.* Регуляция сердечного ритма при нагрузочном тестировании // Российский медико-биологический Вестник им. академика И.П. Павлова. 2014. № 4. С. 47.
19. *Tanaka H., Monahan K.D., Seals D.R.* Age-predicted maximal heart rate revisited // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001. V. 37. № 1. P. 153.
20. *Wasserman J.E., Hansen D.Y., Sue D.V. et al.* Principles of Exercise Testing and Interpretation. Lippincott Williams and Wilkins: Philadelphia, 2012. 378 p.
21. *Smith D.L., Fernhall B.* Advances Cardiovascular Exercise Physiology. Advanced Exercise Physiology Series. Human Kinetics. United States of America, 2011. 235 p.
22. *Lewis G.D., Gona P., Larson M.G. et al.* Exercise blood pressure and the risk of incident cardiovascular disease (from the Framingham Heart Study) // *Am. J. Cardiol.* 2008. V. 101. № 11. P. 1614.
23. *Kjeldsen S.E., Mundal R., Sandvik L. et al.* Supine and exercise systolic blood pressure predict cardiovascular death in middle-aged men // *J. Hypertens.* 2001. V. 19. № 8. P. 1343.
24. *Le V.V., Mitiku T., Sungar G. et al.* The blood pressure response to dynamic exercise testing: a systematic review // *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2001. V. 51. № 2. P. 135.
25. *Mancia G., Fagard R., Narkiewicz K. et al.* ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: the Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // *J. Hypertension.* 2013. V. 31. P. 1281.
26. *Singh J.P., Larson M.G., Manolio T.A. et al.* Blood pressure response during treadmill testing as a risk factor for new-onset hypertension. The Framingham heart study // *Circulation.* 1999. V. 99. P. 1831.
27. *Smith R.G., Rubin S.A., Ellestad M.H.* Exercise hypertension: an adverse prognosis? // *J. Am. Soc. Hypertens.* 2009. V. 3. P. 366.
28. *Máček M., Radvanský J.* Fyziologie a klinické aspekty pohybové activity. Praha: Galén, 2011. 245 p.
29. *Gläser S., Friedrich N., Koch B., Schäper C.* Exercise Blood Pressure and Heart Rate Reference Values // *Heart, Lung and Circulation.* 2013. V. 22. № 8. P. 661.
30. *Bellenger C.R., Thomson R.L., Howe P.R.C. et al.* Monitoring athletic training status using the maximal rate of heart rate increase // *J. Science and Medicine in Sport.* 2016. V. 19. № 7. P. 590.
31. *Baumert K.M., Brechtel L., Lock J. et al.* Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes // *Clin. J. Sport Med.* 2006. V. 16. № 5. P. 412.
32. *Pichot V., Busso T., Roche F. et al.* Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002. V. 34. № 10. P. 1660.
33. *Victor R.G., Seals D.R., Mark A.L.* Differential control of heart rate and sympathetic nerve activity during dynamic exercise: insight from intraneural recordings in humans // *J. Clin. Invest.* 1987. V. 79. № 2. P. 508.
34. *Wilson T.E., Dyckman D.J., Ray C.A.* Determinants of skin sympathetic nerve responses to isometric exercise // *J. Appl. Physiol.* 2006. V. 100. № 3. P. 1043.

Informative Markers of Cardiohemodynamic State in Young Males with Different Types of Autonomic Regulation during a Submaximal Cycle of Ergometric Exercise

A. L. Maksimov^{a,*} and I. V. Averyanova^{a,b}

^aFederal State Budget Institution of Science Scientific Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

^bFederal State Budget Educational Institution of Higher Education Northeastern State University North-Eastern State University, Magadan, Russia

*E-mail: arktika@online.magadan.su

We performed a comparative study of urgent adaptive changes in hemodynamics and heart rate variability parameters in the process of cycle ergometric exercise of submaximal power in young men from Magadan oblast with different initial types of autonomic nervous regulation. The subjects (n = 71) were considered being healthy based on their health record output and allowed to do physical exercises. Basing on the heart rate variability indices at rest, we determined the initial type of autonomic regulation (normovagotonic or normosympatonic) in all subjects (the types differ in their heart rate structures). The subjects underwent a 150 Watt submaximal cycle ergometric exercise for 6 min with 60 rpm pedaling rate. It was found that the young males

of call-up age with normovagotonic regulation type have more functional reserves and less tension when performing a hard and intense exercise. A decrease in the total power of spectrum at the first two minutes of the exercise by more than 14 times and by more than 7 times (vs the baselines) in normovagotonic and normosympatonic subjects, respectively, indicate that normovagotonic subjects have higher amount of cardiohemodynamic functional reserves and higher tolerance to the exercise.

Keywords: North, rooted Caucasoid people, heart rate variability, hemodynamics, cycle ergometric exercise.