

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 613.96:612.766.1.06:612.13/17

Аверьянова И.В., Вдовенко С.И., Максимов А.Л.

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ И СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ЮНОШЕЙ г. МАГАДАНА ПРИ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, 685000, Магадан

Введение. Известно, что одной из основных физиологических систем, ответственных за степень адаптации к условиям Севера, является сердечно-сосудистая система. При выявлении ее компенсаторно-приспособительных реакций, а также при исследовании функционального состояния организма в целом активно применяются физические нагрузки, во время которых можно моделировать различные виды активной деятельности человека. Среди таких контролируемых нагрузок широкое распространение получила велоэргометрия, позволяющая оценить изменения в потребностях органов и систем организма.

Материал и методы. На основе модифицированного теста PWC_{170} со стандартной нагрузкой была проведена оценка максимального потребления кислорода у 54 юношей-студентов, постоянно проживающих в условиях Северо-Востока России. Во время проведения эксперимента фиксировался ряд параметров сердечно-сосудистой системы, гемодинамики и кардиоритма организма. Эти же показатели регистрировались до проведения нагрузочного теста, а также после него – на фоне восстановления.

Результаты. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о существенных адаптационных сдвигах, происходящих в работе сердечно-сосудистой системы, которые вызывает динамическая физическая работа, и указывают на то, что субмаксимальная физическая нагрузка у юношей Магадана приводит к снижению функциональных резервов организма. Это находит отражение в гипертоническом типе реакции организма на нагрузку, отсутствии выхода пульсовой реакции в состояние «steady-state», избыточном увеличении активности адренергических механизмов и высших надсегментарных структур, а также в подавлении автономного контура регуляции, что на фоне сниженных показателей максимального потребления кислорода даёт основание расценивать обследованную группу лиц как контингент с низким уровнем толерантности к данному типу физической нагрузки.

Ключевые слова: юноши; велоэргометрическая нагрузка; функциональные резервы.

Для цитирования: Аверьянова И.В., Вдовенко С.И., Максимов А.Л. Особенности регуляции показателей гемодинамики и сердечного ритма у юношей г. Магадана при субмаксимальной физической нагрузке. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(2): 239-244. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-239-244>

Для корреспонденции: Аверьянова Инесса Владиславовна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. физиологии экстремальных состояний НИЦ «Арктика» ДВО РАН. E-mail: Inessa1382@mail.ru

Averyanova I.V., Vdovenko S.I., Maksimov A.L.

PECULIARITIES OF THE REGULATION OF INDICES OF HEMODYNAMICS AND HEART RHYTHM IN YOUNG PEOPLE OF THE CITY OF MAGADAN UNDER SUBMAXIMAL PHYSICAL LOAD

Scientific-Research center "Arktika", Magadan, 685000, Russian Federation

The cardiovascular system is known to be one of the basic physiological systems responsible for the adaptation to the north conditions. To determine its compensatory adjustments as well as to explore the entire body functional state, physical exercises have become to be widely accepted since they enable modeling different kinds of human activities. Among such controlled exercises is bicycle ergometry which provides registering the smallest change in needs of the body organs and systems. The physical capacity of 54 male students, residents of Russia's northeast was assessed on the base of the modified standard of the PWC_{170} test. Several cardiovascular, hemodynamic and heart rate indices were recorded before and after the test. Results of the study testify significant adaptation shifts in the cardiovascular system to occur due to the dynamic physical work. Besides, the young male residents of Magadan experienced submaximal physical exercises demonstrate the exhaustion in the body functional reserves. That can be seen in the body hypertonic type of the response to the exercise, in the inability of the pulse response to reach a steady state, in overactive both adrenergic mechanisms and higher suprasedgmental structures as well as in inhibition of the autonomic regulation. Accounting for the decreased values of maximal oxygen consumption the examined subjects can be considered as having the low tolerance to the given type of the physical exercise.

Key words: young males; cycle ergometer exercise; functional reserves.

For citation: Averyanova I.V., Vdovenko S.I., Maksimov A.L. Peculiarities of the regulation of indices of hemodynamics and heart rhythm in young people of the city of Magadan under submaximal physical load. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(3): 239-244. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-239-244>

For correspondence: Inessa V. Averyanova, MD, Ph.D., researcher of the Laboratory for Physiology of Extreme States of the Scientific-Research center "Arktika", Magadan, 685000, Russian Federation. E-mail: Inessa1382@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 10 November 2016

Accepted: 18 October 2017

Введение

Одной из ведущих систем жизнеобеспечения, в которой происходят изменения при воздействии факторов окружающей среды, является сердечно-сосудистая система, которая лимитирует развитие приспособительных реакций к условиям Севера [1]. В настоящее время при исследовании функционального состояния организма и его возможностей широкое распространение получили физические нагрузки, т. к. они обладают высокой диагностической ценностью и при их помощи можно моделировать различные виды деятельности человека. В этом случае общепринятой и предпочтительной считается велоэргометрия [2, 3]. В узком смысле слова, физическую работоспособность определяют как функциональное состояние кардиореспираторной системы [2]. На современном этапе развития высшей школы возникает необходимость объективной оценки возможностей организма студентов при физических нагрузках, обоснования интенсивности и продолжительности этих нагрузок, вызывающих напряжение функций в физиологически допустимых пределах. Известно, что состояние организма при выполнении физической работы обусловлено в основном напряжением кардиореспираторной системы, в первую очередь реагирующей на нагрузку [4]. В последние годы в качестве неинвазивного метода количественного определения реакции организма на предлагаемое воздействие используют анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) [4–6], поскольку считается, что ритм сердечных сокращений является интегральным показателем как состояния сердечно-сосудистой системы в целом, так и работы многих регуляторных систем [5]. В идеале сердце способно реагировать на изменения в потребностях органов и систем организма. Вариационный анализ ритма сердца даёт возможность количественной и дифференцированной оценки степени напряжённости или тонуса симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, их взаимодействия в различных функциональных состояниях, а также деятельности подсистем, управляющих работой различных органов. Именно поэтому при интерпретации полученных данных после проведения проб с физическими нагрузками изменение систем автономной регуляции как до нагрузки, так и во время пробы рассматривается как показатель и мера способности организма формировать адаптационный ответ на воздействие внешних и внутренних факторов среды обитания человека, как функциональные резервы организма и уровень его здоровья [7, 8]. В связи с этим целью данной работы явилось изучение динамики показателей гемодинамики и вари-

бельности сердечного ритма у юношей г. Магадана при выполнении велоэргометрической нагрузки.

Материал и методы

Для поставленной цели было обследовано 54 юноши-студента, средний возраст которых составил $18,3 \pm 0,1$ года, длина тела – $178,5 \pm 0,9$ см, масса тела – $66,2 \pm 0,8$ кг. Указанные лица не имели хронических заболеваний кардиореспираторной системы и не предъявляли жалоб на момент обследования. Испытуемым был предъявлен модифицированный тест PWC₁₇₀ со стандартной нагрузкой [9], в соответствии с которой на велоэргометре устанавливалась нагрузка 900 кгм/мин. (150 Вт) со скоростью педалирования 60 об./мин. и продолжительностью 6 мин. Как в состоянии покоя, так и во время велоэргометрической нагрузки проводилась непрерывная запись кардиоритма. В эти же периоды пробы и на восстановительном этапе была проведена оценка уровня артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) (в состоянии относительного покоя – до нагрузки, на пике нагрузки, на 3-й минуте восстановления, на 6-й минуте восстановительного периода). На каждом этапе эксперимента расчётным путём определяли пульсовое давление (ПД, мм рт. ст.), ударный объём по Старру (УО, мл), минутный объём кровообращения (МОК, л/мин.), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, $\text{дин}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$). Величину МПК определяли по номограмме П.О. Астраанда. Определяли абсолютное (л/мин.) и относительное значение МПК ($\text{мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$) [10]. Запись и дальнейший анализ ВСР выполнялись с учётом рекомендаций группы российских экспертов [11].

Обследования юношей проводились в помещении с температурой 19–21°C, преимущественно в первой половине дня. Исследование было выполнено 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 г.). Все обследуемые были проинформированы о характере, цели исследования и дали письменное согласие на участие в нём.

Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро – Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей (С25 и С75), а параметрических – среднего значения (M)

Таблица 1

Показатели гемодинамики у юношей г. Магадана до нагрузки (фон), на 6-й минуте велоэргометрической пробы и на 3-й, 6-й минутах восстановительного периода

Показатель	Фон (1)	6-я минута нагрузки (2)	3-я минута восстановления (3)	6-я минута восстановления (4)	Уровень значимости различий, <i>p</i>			
					1–2	2–3	3–4	1–4
Сист. АД, мм рт. ст.	123,5 ± 1,3	192,6 ± 4,9	146,0 ± 3,0	132,5 ± 1,8	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Диаст. АД, мм рт. ст.	67,1 ± 1,3	98,6 ± 6,0	74,1 ± 1,7	78,4 ± 2,1	< 0,001	< 0,001	0,112	< 0,001
ЧСС, уд. в 1 мин	69,2 ± 1,4	162,9 ± 1,65	105,9 ± 2,0	100,7 ± 1,8	< 0,001	< 0,001	< 0,05	< 0,001
ПД, мм рт. ст.	56,4 ± 1,8	86,3 ± 5,2	79,9 ± 3,3	56,1 ± 2,3	< 0,001	< 0,01	< 0,001	0,985
УО, мл	78,0 ± 1,6	91,9 ± 4,4	90,3 ± 2,5	82,0 ± 2,3	< 0,05	0,645	< 0,01	0,845
МОК, мл/мин	5364,5 ± 131,9	17972,8 ± 736,6	9571,0 ± 328,7	8220,8 ± 273,4	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
ОПСС, $\text{дин} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$	1408,7 ± 47,3	852,90 ± 180,7	899,5 ± 31,6	749,5 ± 236,9	< 0,05	0,652	0,542	< 0,01

Показатели вариабельности сердечного ритма при велоэргометрической пробе у юношей г. Магадана

Показатель	Фон	1-я минута	2-я минута	3-я минута	4-я минута	5-я минута	6-я минута
HR, уд. в 1 мин	71 (65;78)	118 (113;124)	139 (132;145)	149 (141;153)	155 (147;160)	161 (151;167)	164 (156;172)
MxDMn, мс	346 (245;416)	191 (143;231)	65 (55;79)	41 (33;64)	36 (28;51)	33 (26;41)	31 (22;47)
RMSSD, мс	41 (32;59)	10 (7;12)	7 (5;9)	7 (5;12)	6 (4;11)	7 (3;12)	6 (3;14)
pNN50, %	19 (10;42)	0 (0;1)	0 (0;0)	0 (0;1)	0 (0;1)	0 (0;2)	0 (0;2)
SDNN, мс	62 (44;78)	41 (34;51)	14 (11;17)	9 (7;12)	6 (5;10)	6 (5;8)	5 (4;8)
CV, %	7 (5;9)	8 (7;10)	3 (3;4)	2 (2;3)	2 (1;3)	2 (1;2)	2 (1;2)
Mo, мс	826 (773;925)	480 (460;497)	431 (415;450)	405 (387;426)	386 (375;407)	374 (358;391)	365 (349;382)
AMo50, мс	35 (25;42)	66 (50;86)	133 (97;178)	208 (96;278)	246 (100;319)	266 (100;358)	312 (99;445)
SI, усл. ед.	62 (32;107)	353 (256;584)	2398 (1492;3658)	4371 (2116;9157)	7468 (3433;12814)	10205 (4549;18300)	13982 (3959;25782)
ПАРС, усл. ед.	4 (2;5)	6 (5;7)	7 (7;8)	8 (7;9)	8 (7;9)	8 (7;9)	8 (8;9)

и ошибки средней арифметической (m). Статистическая значимость различий определялась с помощью t -критерия Стьюдента для зависимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Вилкоксона для связанных выборок с ненормальным распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0,05; 0,01; 0,001.

Результаты

В табл. 1 представлены основные показатели гемодинамики у юношей г. Магадана до нагрузки, на пике велоэргометрической нагрузки и на 3-й и 6-й минутах восстановительного периода. Из приведённых данных видно, что динамичная физическая нагрузка ведёт к статистически значимому увеличению показателей систолического и диастолического АД, ЧСС, ПД, УО, МОК и снижению ОПСС. Значительные изменения на высоте физической нагрузки произошли с показателями вариабельности сердечного ритма (табл. 2, 4). Резко уменьшилась суммарная мощность спектра ВСР и мощность отдельных частотных компонентов. Произошло выраженное снижение показателей MxDMn, pNN50, CV, Mo на фоне статистически значимого повышения AMo, SI, LH/HF и IC. Показатели статистических характеристик вариабельности сердечного ритма и уровни значимости различий между этапами эксперимента представлены в табл. 2 и 3.

Величины спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма представлены в табл. 4. Анализ суммарной мощности, измеренной в абсолютных едини-

Таблица 3

Динамика уровня значимости различий показателей вариабельности сердечного ритма у юношей г. Магадана при велоэргометрической пробе

Показатель	Уровень значимости различий между изучаемыми группами, p					
	фон – 1-я минута	1–2-я минуты	2–3-я минуты	3–4-я минуты	4–5-я минуты	5–6-я минуты
HR, уд./мин	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
MxDMn, мс	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,972
RMSSD, мс	< 0,001	< 0,01	< 0,05	0,226	0,526	0,223
pNN50, %	< 0,001	0,713	0,122	0,831	0,737	0,265
SDNN, мс	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,01	0,328
CV, %	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	< 0,05	0,515
Mo, мс	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
AMo50, мс	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	< 0,01
SI, усл. ед.	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,092
ПАРС, усл. ед.	< 0,001	< 0,001	< 0,05	0,778	0,302	0,597

цах ($мс^2$), выявил статистически значимое снижение этих показателей в каждом изучаемом периоде до минимальных значений ($24 мс^2$) к концу нагрузки. При этом снижение суммарной мощности до столь низких величин свидетельствует о выраженной мобилизации функциональных резервов организма. Так, по мнению С.А. Полевой с со-

Таблица 4

Спектральные характеристики кардиоритма у юношей г. Магадана при велоэргометрической пробе

Показатель	фон	1–2-я минута (1)	2–4-я минута (2)	4–6-я минута (3)	Уровень значимости различий, p		
					фон–1	1–2	2–3
TP, $мс^2$	2278 (1321;4252)	223,5 (127,1;562,3)	40,4 (23,8; 97,9)	23,8 (10,7;43,7)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
HF, $мс^2$	668 (354;1603)	36,8 (18,4;77,6)	12,5 (3,3;25,2)	6,0 (2,0;25,4)	< 0,001	< 0,001	< 0,01
LF, $мс^2$	924 (589;1465)	92,1 (45,8;215,7)	12,6 (5,2;28,5)	5,9 (2,0;12,4)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
VLF, $мс^2$	396 (191;678)	85,4 (43,1;180,7)	11,5 (5,7;23,7)	6,0 (2,3;10,5)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Мощность HF, %	33 (22;48)	17,2 (11,2;23,1)	27,6 (13,4;55,4)	30,6 (13,9;68,1)	< 0,001	< 0,001	< 0,05
Мощность LF, %	44 (35;56)	42,8 (34,0;51,3)	31,1 (21,1;46,1)	24,4 (15,0;36,4)	0,447	< 0,001	< 0,05
Мощность VLF, %	18 (11;26)	36,6 (27,7;49,0)	32,4 (14,4;48,3)	26,1 (12,1;51,7)	< 0,001	0,274	0,451
LF/HF, усл. ед.	1(1;3)	2,4 (1,9;4,0)	1,2 (0,4;3,5)	0,7 (0,3;2,7)	< 0,001	< 0,001	0,210
IC, усл. ед.	2 (1;4)	4,8 (3,3;8,0)	2,6 (0,8;6,4)	2,3 (0,5;6,2)	< 0,001	< 0,05	0,426

авт. (2013), снижение общей мощности спектра и общей вариабельности ритма при физической нагрузке связано с сильным ограничением степеней свободы в регуляции работы сердца. Перейдя в режим максимального ресурсообеспечения мышечного аппарата организма, центры вегетативной регуляции не способны к дополнительным модуляциям процесса [27]. Аналогичная тенденция была отмечена относительно показателей HF мс², LF мс², VLF мс², что свидетельствует о выраженном снижении активности дыхательных волн (HF), симпатического сосудистого центра (LF) и центров энергометаболического обмена (VLF).

На 1–2-й минуте нагрузки отмечаются резкое уменьшение активности дыхательных волн (HF) и повышение доли в общем спектре мощности низкочастотных волн (VLF) при неизменном состоянии вазомоторных волн (LF), что, по мнению Н.И. Шлык, необходимо расценивать как гиперадаптивную реакцию организма на физическую нагрузку [28]. При этом относительное содержание волн в общем спектре на 1–2-й минуте нагрузки составило: HF – 17%, LF – 43% и VLF – 37%. Основной тип спектра на данном этапе нагрузки имел следующий вид: LF > VLF > HF. Тогда как на 2–4-й минуте нагрузочного теста произошло перераспределение относительных значений HF, LF, VLF с увеличением в общей мощности спектра дыхательных волн и снижением мощности вазомоторных волн (LF). Это, в свою очередь, привело к изменению характера спектра с преобладанием мощности очень низкочастотных колебаний (VLF), отражающих увеличение энергометаболических процессов в организме. Общий вид спектра на 2–4-й минуте выполнения велоэргометрической нагрузки имел следующий вид: VLF > LF > HF. На заключительном этапе физической нагрузки (4 – 6 минута) тип спектра выглядел следующим образом: HF > VLF > LF.

Анализируя показатель IC, который наряду с LF/HF отражает соотношение автономного и центрального уровней вегетативной регуляции, можно отметить значимое увеличение этих показателей во время выполнения велоэргометрической пробы с наивысшими величинами данных значений на 1–2-й минуте нагрузки.

Обсуждение

Одним из важнейших параметров, характеризующих функциональное состояние сердца, является частота сердечбиений. Это лабильный показатель функционального состояния сердечно-сосудистой системы, который меняется в зависимости от силы влияния на сердце различных эндогенных и экзогенных факторов, сопряжённых с деятельностью симпатического и парасимпатического отделов нервной системы [12]. Из приведённых в табл. 2, 3 данных видно, что в процессе выполнения нагрузки на каждом изучаемом нами этапе эксперимента происходит статистически значимое увеличение ЧСС по отношению к предыдущему периоду.

Аппарат кровообращения является лимитирующим звеном в системе транспорта кислорода. Выявляя особенности реакции организма на функциональные нагрузки, можно судить о функциональных резервах всей кардиореспираторной системы [7]. Из приведённых данных видно (см. табл. 1), что в процессе выполнения пробы на пике нагрузки (6 минута велоэргометрической пробы) отмечается статистически значимое увеличение систолического и диастолического АД по типу гипертонической реакции, что проявляется приростом САД на 56% относительно показателей состояния покоя, повышением диастолического АД на 46%, ЧСС на 135% и длительным восстано-

вительным периодом. Данный тип реакции оценивается как неудовлетворительный. Нами отмечено значимое увеличение ПД, в большей степени обусловленное приростом систолического АД. При этом в ответ на физическую нагрузку происходит повышение УО крови. Некоторые авторы склонны утверждать, что увеличение УО тем больше, чем интенсивнее нагрузка. В работах Wang et al. (1960) было отмечено, что при тяжёлой работе ударный выброс может увеличиваться на 100% [13]. У наших же испытуемых повышение УО крови не превышает 18%. Этот факт свидетельствует о выраженном хронотропном механизме (за счёт роста ЧСС на 135%) повышения минутного объёма крови при сниженной инотропной активности сердечно-сосудистой системы (небольшой прирост УО). По мнению ряда авторов, при тяжёлой физической нагрузке, близкой к максимальной, рост систолического объёма крови может осуществляться по механизму Франка – Старлинга и вследствие увеличения сократимости миокарда [14]. Однако в работах Ю.С. Ванюшина было отмечено, что тахикардия, при которой время диастолического наполнения укорочено, мешает проявлению механизма Франка – Старлинга [15]. В исследованиях В.Л. Карпмана с соавт. (1973) было показано, что лишь при лёгких физических нагрузках увеличение МОК происходит как за счёт увеличения УОК, так и за счёт ЧСС [16]. А при нагрузках большой и субмаксимальной мощности регуляция величины МОК обеспечивается главным образом путём изменения частоты сердечбиений, так как при высокой хронотропной реакции сердца на физическую нагрузку происходит значительное укорочение диастолы, и в результате этого начинает страдать наполнение желудочков кровью [3]. В работе Фомина и Вавилова (1991) было отмечено, что резервы увеличения УОК исчерпываются при частоте сердечбиений равной 120 – 130 уд./мин, после превышения этой величины увеличения МОК происходит только за счёт роста ЧСС [17]. В наших исследованиях достижение этого уровня ЧСС происходит уже на 1-2 минуте нагрузки, и дальнейший рост МОК, который является интегральной характеристикой кровообращения, и является одним из важнейших параметров регуляции кислородного режима организма, происходит лишь за счёт повышения ЧСС.

Таким образом, чётко выраженная хронотропная реакция организма обследованных нами юношей в ответ на физическую нагрузку (с целью повышения МОК до уровня 179% относительно показателя в состоянии покоя) при небольшой инотропной активности отражает в некоторой степени недостаточную мощность миокарда и высокую «физиологическую цену» физнагрузки данной интенсивности и свойственна лицам с низким уровнем работоспособности [15]. По мнению Ванюшина с соавт., такое увеличение одного из параметров сердечной деятельности физиологически обосновано и направлено прежде всего на поддержание оптимального кислородного режима организма при мышечной деятельности [12].

При этом на пике велоэргометрической пробы в процессе срочной адаптации сердечно-сосудистой системы к нагрузке происходит снижение общего периферического сопротивления сосудов. Известно, что показатель ОПСС отражает состояние прекапиллярного кровотока и является важным регулятором градиента давления между артериальной и венозной системами [18]. В соответствии с литературными данными, периферическое сопротивление сосудистого русла, снижаясь при динамической работе, способствует возрастанию сердечного выброса [19].

Известно, что показателем степени адаптированности организма человека к воздействию разных факторов сре-

ды может служить величина максимального потребления кислорода (МПК) относительно массы тела [2]. Абсолютное значение МПК у юношей г. Магадана равнялась $2,7 \pm 0,1$ мл/мин, а относительная величина этого показателя, соотношенная с антропометрическими параметрами обследуемых, составила $40,4 \pm 0,9$ мл·мин⁻¹ кг⁻¹. Считается, что пороговыми величинами МПК, гарантирующими стабильное здоровье, являются показатели, равные 42 мл·мин⁻¹ кг⁻¹ [20]. Из приведённых данных видно, что значения МПК, полученные в нашем эксперименте, несколько ниже величин, приведённых в работах Аулика и Апанасенко [2, 20], что свидетельствует о среднем уровне физической работоспособности и сниженной толерантности к физической нагрузке у молодых жителей г. Магадана.

Исходя из представленных в табл. 2, 3 данных, видно, что на каждом этапе эксперимента в период выполнения нагрузки наблюдается статистически значимое увеличение пульса по сравнению с предыдущим этапом. Это свидетельствует о том, что ЧСС не устанавливается на постоянном уровне, так называемом «steady-state», а продолжает расти до конца нагрузки, достигая высоких значений, что, по мнению В.Г. Евдокимова, свидетельствует о неблагоприятных сдвигах в механизмах регуляции ЧСС [21]. Известно, что чем шире диапазон колебаний сердечной деятельности и чем меньше шаг регуляции, т. е. наименьшее изменение ЧСС, возникающее под влиянием различных воздействий на организм, тем лучше регуляция кровообращения и тем выше работоспособность [22]. Помимо этого, при физической нагрузке следует отметить снижение вариабельности сердечного ритма до уровня максимальной его депрессии, что проявляется ярко выраженным снижением парасимпатического звена регуляции автономного контура управления, снижением активности симпатического сосудистого центра, подавлением дыхательной аритмии на фоне максимальной роли симпатических влияний на регуляцию сердечного ритма и увеличением централизации сердечного ритма.

Существуют данные о том, что нарастание ЧСС при незначительной нагрузке происходит преимущественно за счёт снижения парасимпатических влияний, а при субмаксимальной – за счёт увеличения тонуса симпатического отдела нервной системы [23]. Частота сердечбиений увеличивается за счёт подавления барорефлекторных проявлений, развивающихся при подъёме АД, снижения парасимпатических влияний на сердце, а также вследствие возрастания симпатических воздействий. Источником этих реакций могут быть как прямое влияние с высших отделов центральной нервной системы, так и рефлексы с рецепторов работающих мышц [19]. Данные результаты совпадают с результатами исследований В. Saltin (1985), в которых отмечается, что мобилизация функции сердечно-сосудистой системы при физических нагрузках осуществляется рефлекторно при помощи сигналов, исходящих из рецепторов работающих мышц [24].

При анализе результатов установлено, что во время велоэргометрической нагрузки происходит снижение активности механизмов саморегуляции автономного контура управления сердечного ритма (понижаются MxDMn кардиоинтервалов, rNN50, RMSSD), в большей степени выраженное на 4-5-й минуте нагрузки и практически не изменяющееся к 6-й минуте пробы. Важно отметить, что показатель rNN50, который отражает относительную степень преобладания парасимпатического звена регуляции над симпатическим, уже с первой минуты нагрузки имеет числовое значение равное нулю, что свидетельствует о выраженном смещении симпато-вагусного баланса в сторону преобладания симпатических влияний, что, в свою

очередь, указывает на высокое напряжение механизмов регуляции сердечной деятельности. Помимо этого отмечается мобилизация функциональных резервов организма (снижение SDNN) [25]. При этом высокие значения АМо наряду с максимально повышенными показателями SI, которые являются отражением стабилизирующего эффекта централизации в управлении ритмом сердца, обусловленным в основном влиянием симпатического отдела вегетативной нервной системы, свидетельствуют о выраженном росте центрального контура управления при нагрузке такой мощности.

Одним из важнейших показателей вариационной пульсометрии является показатель моды (Mo). Мо – это наиболее часто встречающееся значение интервала RR, она указывает на доминирующий уровень функционирования синусового узла. При симпатикотонии Мо минимальна, при ваготонии – максимальна [26]. В наших исследованиях у испытуемых юношей во время выполнения нагрузки прослеживается значительное уменьшение этого показателя, что свидетельствует о выраженной роли симпатических влияний на регуляцию сердечного ритма и снижении степени влияния парасимпатического отдела вегетативной нервной системы.

Изменение показателя активности регуляторных систем (ПАРС) при велоэргометрической нагрузке свидетельствовало о переходе организма от состояния нормы (удовлетворительная адаптация) к состоянию истощения (астенизации) регуляторных систем на 1-2-й минуте нагрузки и срыву адаптации на последующих минутах велоэргометрической пробы, когда способность адаптационных механизмов к саморегуляции частично или полностью нарушена.

Заключение

Таким образом, динамическая физическая работа вызывает адаптационные сдвиги в работе сердечно-сосудистой системы юношей г. Магадана и отмечается существенное увеличение показателей АД по гипертоническому типу, возрастающее пропорционально уровню физнагрузки. При анализе результатов установлено повышение ЧСС с отсутствием выхода на состояние «steady-state», избыточным увеличением активности адренергических механизмов и высших надсегментарных структур, подавлением автономного контура регуляции, что на фоне сниженных показателей МПК является отражением неблагоприятных сдвигов в регуляции сердечно-сосудистой системы. В целом полученные нами данные позволяют сделать заключение, что субмаксимальная физическая нагрузка у юношей г. Магадана приводит к закономерному снижению функциональных резервов организма и позволяет расценить обследуемую нами группу как контингент с низким уровнем толерантности к данному типу физической нагрузки.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 6, 8, 10, 13, 14, 24 см. References)

1. Казначеев В.П. *Современные аспекты адаптации*. Новосибирск: Наука; 1980.
2. Аулик И.В. *Определение физической работоспособности в клинике и спорте*. М.: Медицина; 1990.
3. Карпман В.Л., Парин В.В. *Сердечный выброс. Физиология кровообращения. Физиология сердца*. Ленинград: Наука; 1980.
4. Геворкян Э.С., Минасян С.М., Абрамян Э.Г. Изучение степени толерантности сердечно-сосудистой системы студентов к велоэргометрической нагрузке. *Валеология*. 2013; (3): 61-7.

5. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2001; (3): 108-27.
7. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. Функциональные резервы организма и теория адаптации. *Вестник восстановительной медицины*. 2004; 3(9): 4-10.
9. Айдаралиев А.А., Максимов А.Л. Адаптация человека в экстремальных условиях. *Опыт прогнозирования*. Ленинград: Наука; 1988.
11. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалевский П.Я., Кукушкин Ю.А. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). *Вестник аритмологии*. 2001; 24: 65-83.
12. Ванюшин М.Ю., Ванюшин Ю.С., Колясов Р.Р. Комплексная оценка кардиореспираторной системы спортсменов при нагрузке повышающейся мощности. *Теория и практика физической культуры*. 2012; (9): 43-5.
15. Ванюшин Ю.С., Ситдилов Ф.Г. Адаптация сердечной деятельности подростков к нагрузке повышающейся мощности. *Физиология человека*. 2001; 27(2): 91-7.
16. Карпман В.Л., Любина Б.Г., Меркулова Р.А. Гемодинамика при различных режимах мощности физической нагрузки. *Кардиология*. 1973; (12): 83-7.
17. Фомин Н.А., Вавилов Ю.Н. *Физиологические основы двигательной активности*. М.: Физкультура и спорт; 1991.
18. Бисярина В.П., Яковлев В.М., Кукса П.Я. *Артериальные сосуды и возраст*. М.: Медицина; 1986.
19. Васильева В.В., Степochкина Н.А. Мышечная деятельность. В кн.: Агаджанян Н.И. *Физиология кровообращения: Регуляция кровообращения (Руководство по физиологии)*. Ленинград: Наука; 1986: 335-65.
20. Апанасенко Г.Л., Попова Л.А. *Медицинская валеология*. Ростов-на-Дону: Феникс; 2000.
21. Евдокимов В.Г., Варламова Н.Г., Рогачевская О.В. Региональные влияния на кардиореспираторную систему человека на Севере. *Народное хозяйство Республики Коми*. 1994; 3(1): 88-92.
22. Петрова Р.Ф., Моисеева Н.И. Влияние двигательного режима на состояние кровообращения у 6-летних детей в условиях детского сада. *Гигиена и санитария*. 1990; 89(9): 51-3.
23. Глезер Г.А., Москаленко Н.П., Глезер М.Г. Различия в регуляции системы кровообращения на пробы с нагрузкой в зависимости от пола и возраста обследуемых. *Кардиология*. 1983; (4): 41-5.
25. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2004; 1(1): 54-64.
26. Вейн А.М., Вознесенская Т.Г., Голубев В.Л., Колосова О.А. *Заболевания вегетативной нервной системы*. М.: Медицина; 1991.
27. Полевая С.А., Некрасова М.М., Рунова Е.В., Бахчина А.В., Горбунова Н.А., Брянцева Н.В. и др. Дискретный мониторинг и телеметрия сердечного ритма в процессе интенсивной работы на компьютере для оценки и профилактики утомления и стресса. *Медицинский альманах*. 2013; (2): 151-5.
28. Шлык Н.И. *Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов*. Ижевск; 2009.
6. Bravi A., Longtin A., Seely A.J. Review and classification of variability analysis techniques with clinical applications. *Biomed. Engin. Online*. 2011; 10(1): 90.
7. Agadzhanian N.A., Baevskiy R.M., Berseneva A.P. Body functional reserves and theory of adaptation. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*. 2004; 3(9): 4-10. (in Russian)
8. Zanstro Y.J., Jonston D.W. Cardiovascular reactivity in real life settings: measurement, mechanisms and meaning. *Biol. Psychol.* 2011; 86(2): 98-105.
9. Aydaraliev A.A., Maksimov A.L. *Adaptation of Human under Extreme Conditions. Prediction Experience [Adaptatsiya cheloveka v ekstremal'nykh usloviyakh. Opyt prognozirovaniya]*. Leningrad: Nauka; 1988. (in Russian)
10. Astrand P.O., Rodahl K.M. *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw-Hill; 1970.
11. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgallevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A., et al. Heart rate variability analysis at using different electrocardiographic systems (methodical recommendations). *Vestnik aritmologii*. 2001; 24: 65-83. (in Russian)
12. Vanyushin M.Yu., Vanyushin Yu.S., Kolyasov R.R. Complex estimation for sportsmen's cardiorespiratory system at rising exercise. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*. 2012; (9): 43-5. (in Russian)
13. Wang Y., Marshall R., Shepherd J. The effect of changes in posture and of graded exercise on stroke volume in man. *J. Clin. Invest.* 1960; 39(7): 1051-61.
14. Vatner S.F., Pagani M. Cardiovascular adjustments to exercise: Hemodynamics and mechanisms. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 1976; 19(2): 91-108.
15. Vanyushin Yu.S., Sittidkov F.G. Adaptation of adolescents' cardiac activity to rising exercise. *Fiziologiya cheloveka*. 2001; 27(2): 91-7. (in Russian)
16. Karpman V.L., Lyubina B.G., Merkulova R.A. Hemodynamic values at different power exercise. *Kardiologiya*. 1973; (12): 83-7. (in Russian)
17. Fomin N.A., Vavilov Yu.N. *Physiological Grounds for Motion Behavior [Fiziologicheskie osnovy dvigatel'noy aktivnosti]*. Moscow: Fizkul'tura i sport; 1991. (in Russian)
18. Bisyarina V.P., Yakovlev V.M., Kuksa P.Ya. *Arterial Vessels and the Age [Arterial'nye sosudy i vozrast]*. Moscow: Meditsina; 1986. (in Russian)
19. Vasil'eva V.V., Stepochkina N.A. Muscle activity. In: *Physiology of Blood Circulation: Regulation of the Blood Circulation (Manual on physiology) [Fiziologiya krovoobrashcheniya: Regulyatsiya krovoobrashcheniya (Rukovodstvo po fiziologii)]*. Leningrad: Nauka; 1986: 335-65. (in Russian)
20. Apanasenko G.L., Popova L.A. *Medical Valeology [Meditsinskaya vaeologiya]*. Rostov-na-Donu: Feniks; 2000. (in Russian)
21. Evdokimov V.G., Varlamova N.G., Rogachevskaya O.V. Influences on human cardiorespiratory system caused by North regions. *Narodnoe khozyaystvo Respubliki Komi*. 1994; 3(1): 88-92. (in Russian)
22. Petrova R.F., Moiseeva N.I. Influence of motion state on 6-year-old kids' blood flow in kindergarten conditions. *Gigiena i sanitariya*. 1990; 89(9): 51-3. (in Russian)
23. Glezer G.A., Moskalenko N.P., Glezer M.G. Gender- and age- related differences in adjusting blood circulation system at exercise. *Kardiologiya*. 1983; (4): 41-5. (in Russian)
24. Saltin B. Malleability of the system in overcoming limitation: functional elements. *J. Exp. Biol.* 1985; 115: 345-54.
25. Baevskiy R.M. Heart rate variability analysis: history and philosophy, theory and practice. *Klinicheskaya informatika i telemeditsina*. 2004; 1(1): 54-64. (in Russian)
26. Veyn A.M., Voznesenskaya T.G., Golubev V.L., Kolosova O.A. *Diseases in Autonomic Nervous System [Zabolevaniya vegetativnoy nervnoy sistemy]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
27. Polevaya S.A., Nekrasova M.M., Runova E.V., Bakhchina A.V., Gorbunova N.A., Bryantseva N.V., et al. Heart rate discrete monitoring and telemetry carried at intensive work on a computer for assessment and prevention of stress and fatigue. *Meditsinskiy al'manakh*. 2013; (2): 151-5. (in Russian)
28. Shlyk N.I. *Heart Rate and Type of Regulation in Kids, Adolescents and Sportsmen [Serdechnyy ritm i tip regulyatsii u detey, podrostkov i sportsmenov]*. Izhevsk; 2009. (in Russian)

References

1. Kaznacheev V.P. *Current Aspects of Adaptation [Sovremennyye aspekty adaptatsii]*. Novosibirsk: Nauka; 1980. (in Russian)
2. Aulik I.V. *Determining Physical Work Capacity in Clinics and Sports [Opredelenie fizicheskoy rabotosposobnosti v klinike i sporte]*. Moscow: Meditsina; 1990. (in Russian)
3. Karpman V.L., Parin V.V. *Cardiac Output. Physiology of Blood Circulation. Physiology of Heart [Serdechnyy vybros. Fiziologiya krovoobrashcheniya. Fiziologiya serdtsa]*. Leningrad: Nauka; 1980.
4. Gevorkyan E.S., Minasyan S.M., Abramyan E.T. Study for students' cardiovascular tolerance to the bicycle ergometry exercise. *Vaeologiya*. 2013; (3): 61-7. (in Russian)
5. Baevskiy R.M., Ivanov G.G. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of application. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika*. 2001; (3): 108-27. (in Russian)