

## АБСОЛЮТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВООБРАЩЕНИЯ БЕГУНИЙ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПОСЛЕ ДВАДЦАТИ ДНЕЙ ПРЕБЫВАНИЯ В ВЕРХНЕМ СРЕДНЕГОРЬЕ

**В.В. Эрлих, А.П. Исаев, Ю.Б. Хусаинова, Р.Г. Азиева**  
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

После двадцати дней акклиматизации в горной Киргизии (1800 м), через два дня в условиях равнины проведено обследование системы кардиогемодинамики. Выявлены особенности изменений спортсменов в состоянии относительного покоя, в условиях ортостаза, при задержке дыхания на вдохе. Показаны изменения общей мощности и середины спектра, а также вклад регуляторных факторов гуморально-гормонального, вегетативного, периферического и корково-подкоркового (нейрогенного) воздействия. Рассмотрены значения барорегуляции, функции сосудов и дыхательных волн сосудов.

*Ключевые слова:* кровообращение, спектральный анализ, регуляция, деакклиматизация, адаптация, звенья гемодинамики, гетерохронность, корково-подкорковые, периферические, вегетативные, гуморально-гормональные факторы, ортостаз, искусственная гипоксия.

**Актуальность.** Спектральный анализ сердечно-сосудистой системы (ССС) позволяет выявлять векторы регуляции функциональной системы организма бегуний, внося своевременные коррективы в технологии подготовки. Прикладное значение таких исследований велико, так как позволяет оперативно получить информацию после дня отдыха и принять адекватные решения. Основу тренировочных воздействий составило развитие локальной мышечной выносливости системой специально-подготовительных двигательных действий (ДД) баллистического характера (50 %), сочетаемых стретчингом, тренажерными ДД, массажем, сауной и циклическими упражнениями (50 %). В конечном итоге это приводит к увеличению звеньев сосудистой системы, лучшей оксигинации мышц, снижению концентрации молочной кислоты.

**Организация, модель и методы исследования.** Приняв за основу подготовки технологию развития аэробной локальной мышечной выносливости, интерференцию перехода физических качеств в двигательные навыки и заключительного мезоцикла подведения к соревнованиям [1], на 10 спортсменках (МС, КМС) апробировали модель искусственной и естественной гипоксии (среднегорье) в режиме тренировки бегуний. Возраст обследуемых спортсменов варьировал от 18 до 22 лет. Нагрузки в среднегорье были по объему и интенсивности ниже равнинных на 15 %. Длина тела спортсменок равнялась  $167,23 \pm 2,50$  см, масса тела составляла  $52,28 \pm 0,98$  кг, индекс массы тела был  $18,75$  у.е. ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

### Результаты исследования и их обсуждение.

Результаты исследования представлены в табл. 1. Комментируя данные табл. 1, необходимо отметить, что в период деакклиматизации наблюдались сдвиги значений кровообращения в покое, выходящие за референтные границы: сократимость миокарда (EF), диастолическая волна наполнения миокарда (FW); явно выраженная брадикардия на фоне нормальных величин среднего динамического давления. Реакции на ортовоздействие были физиологичными. Низкая мощность спектра наблюдалась как в покое, так и при ортопробе в следующих показателях: среднее давление, минутный объем крови, сократимость миокарда, амплитуда пульсации крупных сосудов, диастолическая волна наполнения миокарда, дыхательная составляющая амплитуды пульсации волн сосудов. Достоверно снизилась ОМС частоты сердцебиений при ортопробе ( $p < 0,05$ ), ударного объема ( $p < 0,01$ ), АТОЕ ( $p < 0,01$ ), RespT ( $p < 0,01$ ) повысилась в значениях EF, FW, АТНRX, RespX ( $p < 0,05-0,01$ ). Что касается значений середины спектра, то существенно различались показатели АТНRX ( $p < 0,01$ ), а остальные параметры были маловариативны.

В регуляции ВР (среднее давление) в позе лежа доминировали гуморально-гормональные (ГГ) факторы, а нейрогенные и вегетативные (S-PS и барорегуляторы) были одинаковы. При этом в регуляции HR (частота сердцебиений) преобладали ГГ факторы, последовательно шли периферические, вегетативные и нейрогенные влияния. В регуляции SV (ударный объем) приоритетно представлены

Таблица 1

Абсолютные значения и спектральные характеристики кровообращения у бегуний на средние дистанции после возвращения с верхнего среднегогорья

PAR	M		Power		Fm		P1		P2		P3		P4		%P1		%P2		%P3		%P4		
	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	
BP	89,11	2,90	0,03	0,01	0,23	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	2,44	0,78	6,22	1,98	2,44	0,78	2,44	0,78
HR	56,44	1,27	67,16	8,39	0,08	0,00	4,94	0,45	14,40	1,43	20,68	2,94	27,13	4,32	17,00	1,56	32,78	1,59	22,56	1,31	27,33	1,80	
SV	42,56	2,47	48,88	5,92	0,08	0,01	3,46	0,35	14,73	2,19	22,56	3,20	8,12	1,88	8,67	0,81	31,11	2,05	39,67	2,47	9,44	1,13	
CO	2,33	0,14	0,24	0,03	0,08	0,01	0,02	0,00	0,08	0,01	0,11	0,02	0,04	0,01	8,44	0,78	31,22	2,23	31,22	1,91	7,00	1,06	
EF	49,56	2,16	1,84	0,14	0,07	0,01	0,24	0,02	0,76	0,06	0,75	0,07	0,09	0,01	11,22	0,88	32,67	1,91	39,11	2,62	5,78	0,49	
FW	1,00	0,07	1,34	0,12	0,11	0,01	0,07	0,01	0,18	0,02	0,66	0,05	0,43	0,07	7,89	1,52	15,44	1,24	46,11	2,65	19,67	1,87	
ATHRX	10,67	0,60	1,98	0,24	0,11	0,01	0,03	0,00	0,57	0,05	1,10	0,13	0,28	0,06	1,22	0,11	23,89	1,70	43,33	2,69	9,44	1,27	
ATOE	88,00	4,42	866,13	112,05	0,03	0,00	245,85	27,77	520,28	72,64	99,95	11,64	0,06	0,02	24,44	1,31	54,33	1,34	20,33	1,48	0,67	0,21	
RespX	201,33	0,42	3974,59	449,45	0,17	0,01	13,31	3,48	232,13	35,50	2566,53	312,74	1162,63	112,49	0,33	0,07	4,11	0,57	36,11	2,69	48,33	3,54	
RespT	173,00	1,48	121,49	14,13	0,05	0,00	20,88	3,28	54,89	7,88	21,04	2,96	24,68	3,17	18,78	1,45	42,78	2,30	22,22	1,45	16,11	1,52	

PAR	M		Power		Fm		P1		P2		P3		P4		%P1		%P2		%P3		%P4	
	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
BP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HR	73,00	1,52	55,64	2,85	0,04	0,00	9,68	1,02	23,98	1,63	20,77	1,20	1,22	0,19	18,33	1,27	41,67	0,88	37,78	1,73	2,44	0,32
SV	36,33	2,02	19,76	1,46	0,08	0,01	2,17	0,23	5,64	0,42	9,58	0,93	2,36	0,26	7,89	0,85	23,78	1,66	44,11	2,44	12,89	1,52
CO	2,44	0,14	0,11	0,01	0,10	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,06	0,01	0,02	0,00	7,89	0,85	22,67	1,63	41,33	2,72	16,89	1,80
EF	46,56	1,94	1,65	0,13	0,08	0,01	0,12	0,01	0,52	0,05	0,91	0,09	0,10	0,01	8,11	0,99	30,22	2,33	44,67	2,62	6,22	0,67
FW	1,00	0,11	2,25	0,22	0,11	0,01	0,19	0,02	0,49	0,05	0,86	0,11	0,70	0,07	7,44	1,13	22,11	2,05	34,78	2,44	24,67	1,87
ATHRX	8,22	0,53	1,04	0,28	0,16	0,01	0,02	0,01	0,41	0,12	0,57	0,15	0,04	0,01	1,56	0,14	12,11	1,56	34,00	2,58	8,00	1,41
ATOE	18,33	1,06	68,54	6,87	0,02	0,00	30,68	3,61	34,14	3,12	3,73	0,72	0,00	0,00	41,00	1,20	53,11	0,81	5,89	1,38	0,00	0,00
RespX	200,00	0,60	2118,26	315,55	0,18	0,001	0,34	0,10	7,94	1,06	911,87	132,82	1198,12	186,33	0,33	0,07	0,56	0,07	25,33	2,58	62,67	3,54
RespT	195,22	0,21	13,11	1,52	0,07	0,001	2,09	0,20	3,26	0,27	3,28	0,43	4,48	0,67	21,11	1,34	37,67	66,58	24,89	1,94	16,22	1,66

вегетативные, ГГ, периферические и корково-подкорковые факторы. В СО (минутный объем крови) приоритетно на одном уровне представлен вклад ГГ и вегетативного управления, затем следовали нейрогенные и периферические факторы. Сократимость миокарда (EF) подвержена регуляцией вкладов в следующей последовательности: вегетативные, ГГ, корково-подкорковые и периферические. Регуляция венозного возврата шла по пути доминирования вегетативной регуляции, затем периферической, ГГ и нейрогенной. Амплитуда пульсации аорты последовательно включала звенья вегетативной, ГГ, периферической и корково-подкорковой регуляции кровообращения, а мелких сосудов – соответственно ГГ, нейрогенной, вегетативной и периферической. Дыхательная составляющая пульсации импеданса аорты включала последовательно в порядке значимости: периферические, вегетативные, ГГ и корково-подкорковые звенья управления. Своеобразно выглядели значения регуляции RespT с той лишь разницей, что сначала доминировал вклад ГГ, затем вегетативных, нейрогенных и периферических факторов.

Как следует из вышепредставленного материала, в регуляции звеньев системы кровообращения отмечается индивидуальное своеобразие. Критериями ФР являются последовательные включения гуморально-гормональных, вегетативных и периферических факторов. В случаях централизации регуляции эффективность ФР резко снижается. Из результатов исследования в покое видно, что интегральный показатель МОК (СО) приоритетно подвергался ГГ воздействиям. Автономность регуляторных процессов компонентов кардиогемодинамики включает метаболические процессы и не исключает влияния нейромедиаторов, ВНС. В условиях деаκлиматизации гетерохронные изменения в регуляции звеньев кровообращения обуславливают переходные состояния в системе гемодинамики.

Под воздействием ортопробы произошли изменения в регуляции отдельных звеньев системы кровообращения. Так, регуляция ВР спектра носила нулевой характер. Вклад факторов в управлении HR расположился в следующей последовательности: вегетативные, ГГ, нейрогенные и периферические влияния.

В регуляции СО вклад факторов расположился в следующей последовательности: вегетативные, периферические, ГГ и нейрогенные, что значительно различалось с вектором распределения в покое. В управлении сократимостью миокарда в позах лежа и стоя последовательно шли вегетативные, ГГ, нейрогенные и периферические факторы. В регуляции венозного возврата порядок вкладов был следующий: вегетативные, ГГ, периферические и нейрогенные. В амплитуде регуляции пульсации крупных сосудов определилась следующая последовательность вклада факторов: ГГ, периферические, вегетативные и корково-

подкорковые. Регуляция амплитуды пульсации мелких сосудов приобрела следующий вид: ГГ, нейрогенные и вегетативные факторы.

В результате сравнения показателей под воздействием проб лежа-стоя была выявлена активация ГГ и вегетативных факторов крупных сосудов и ГГ и нейрогенных в регуляции мелких сосудов. Дыхательная составляющая пульсации импеданса аорты подвергалась следующей последовательности вклада факторов: периферические и корково-подкорковые влияния. Изменения с покоем произошли в двух составляющих нейрогенных и периферических.

В заключение необходимо отметить, что деаκлиматизация вызывает возмущающие сдвиги в организме, детерминированные изменением векторов регуляции в различных звеньях центральной и периферической гемодинамики. Исследователи, изучающие адаптацию сердца к гипоксии, отводят S и PS регуляции сердца интегративно, с учетом вклада молекулярно-клеточных и функциональных структурных особенностей. Однако эта форма регуляции является относительно поздней в спортивном онтогенезе под воздействием факторов среды.

ГГ воздействия распространяются на баланс вегетативной регуляции на разных уровнях функционирования гомеостаза. Создание искусственной гипоксии (накопление двуокиси углерода) позволяет сохранить физиологическое последствие горного климата. Применение нагрузки на кровообращение позволяет выявить реактивные свойства сердца и сосудов относительно нервных влияний (периферических, центральных), оценить особенности барорегуляции и ГГ регуляции кардиогемодинамики.

Аκлиматизация и тренировочные воздействия (75–80 % от равнинных) позволяют определить индивидуальную устойчивость к гипоксии посредством применения функциональных проб. Задержка дыхания может служить такой пробой для комплексной оценки регуляции кровообращения (табл. 2).

Как следует из табл. 2, абсолютные значения среднего динамического давления, частоты сердцебиений, ударного объема, фракции выброса, дыхательной составляющей пульсации импеданса крупных и мелких сосудов при задержке дыхания существенно не изменились. Достоверным сдвигам подвергались показатели диастолической волны наполнения миокарда ( $p < 0,0001$ ), АТНRX ( $p < 0,01$ ), АТОЕ ( $p < 0,001$ ), RespX ( $p < 0,05$ ), RespT ( $p < 0,01$ ).

Можно полагать, что при задержке дыхания регуляция кровообращения коснулась амплитуды пульсации сосудов и дыхательной составляющей пульсации крупных и мелких сосудов. Вследствие этих физиологических воздействий снизились значения венозного возврата под влиянием гипоксии.

Таблица 2

Абсолютные значения и спектральные характеристики гемодинамики  
при задержке дыхания на вдохе у легкоатлетов-бегуний на средние дистанции  
после двадцати дней пребывания в верхнем среднегорье (n = 10)

PAR	M		Power		Fm		P1		P2		P3
	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M
BP	86,00	6,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HR	56,78	1,56	18,52	1,46	0,05	0,00	4,31	0,59	10,67	1,11	3,32
SV	40,11	2,62	11,96	0,95	0,07	0,01	1,74	0,19	5,17	0,50	4,96
CO	2,44	0,18	0,15	0,03	0,09	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,06
EF	49,33	2,09	1,54	0,22	0,08	0,01	0,21	0,06	0,67	0,13	0,64
FW	0,44	0,07	2,73	0,28	0,08	0,01	0,37	0,03	0,89	0,10	1,18
ATHRX	7,33	0,53	2,16	0,26	0,16	0,01	0,22	0,04	1,14	0,15	0,80
ATOE	13,11	1,24	861,89	120,49	0,02	0,00	291,83	21,86	455,20	62,78	3,75
RespX	199,78	0,18	1540,97	327,78	0,18	0,01	0,84	0,22	13,52	2,43	979,75
RespT	196,00	0,32	59,55	6,43	0,02	0,00	27,68	3,16	31,68	3,26	0,19
PAR	P3	P4		%P1		%P2		%P3		%P4	
	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
BP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HR	0,25	0,21	0,05	14,11	1,34	48,11	1,80	34,67	2,19	3,00	0,64
SV	0,40	0,08	0,01	9,44	0,92	38,00	2,72	40,22	2,55	1,33	1,21
CO	0,01	0,03	0,01	9,44	1,31	26,56	2,12	35,67	2,93	6,44	1,27
EF	0,07	0,01	0,00	6,11	0,92	28,78	2,12	52,78	3,54	1,00	0,18
FW	0,13	0,29	0,05	12,78	1,27	28,67	2,09	38,00	2,33	9,67	1,13
ATHRX	0,11	0,00	0,00	4,89	0,53	22,22	2,12	17,22	1,59	0,00	0,00
ATOE	0,85	0,00	0,00	45,00	0,81	53,56	0,46	1,33	0,35	0,00	0,00
RespX	183,15	546,85	141,99	0,33	0,07	1,67	0,25	33,44	2,97	52,33	3,15
RespT	0,03	0,00	0,00	44,11	0,92	53,56	0,64	2,22	0,42	0,11	0,04

Что касается общей мощности спектра (ОМС, Power), то ее значения достоверно снижались в условиях гипоксии следующих показателей: BP, HR, SV, ATHRX, ATOE, RespX, RespT ( $p < 0,05-0,01$ ), повышались: EF ( $p < 0,05$ ). Значения середины спектра статистически значимо изменялись в показателях: HR, ATHRX, RespT ( $p < 0,05-0,01$ ). В спектре регуляции звеньев кровообращения в условиях искусственной гипоксии факторы последовательно распределились: HR – ГГ, вегетативные, центральные и периферические; SV, CO, EF, FW – вегетативные, ГГ, корково-подкорковые, периферические; ATHRX – ГГ, вегетативные, нейрогенные; ATOE – ГГ, корково-подкорковые, вегетативные, периферические.

Итак, можно полагать, что в период деакклиматизации создание искусственной гипоксии вызвало в регуляции центральной гемодинамики активацию вегетативных и ГГ звеньев.

В управлении амплитудой пульсации сосудов доминировали ГГ факторы, а в дыхательных составляющих пульсации крупных и мелких сосудов – соответственно вклад периферических и гуморально-гормональных звеньев регуляции.

Вероятно, что последствие среднегорья повышает анаэробный метаболизм с целью удовлетворения энергетических потребностей организма вследствие ограниченного окисления в условиях созданной искусственной гипоксии. Активация ГГ факторов, повышенная капилляризация, снижение аккумуляции лактата в крови и мышцах – следствия воздействия горного климата [2, 3]. Условия

среднегорья не влияют на развитие быстроты и поэтому при снижении объема нагрузки в горах на 20 % возможность сохранения ее интенсивности на отрезках спринта сохраняется.

Проведение целевых тренировочных занятий в условиях верхнего среднегорья направлено на улучшение деятельности спортсменов, занимающихся видами спорта, требующими проявления специальной выносливости. Улучшается кислород – транспортная возможность крови. Повышенное кровоснабжение капилляров, увеличение их количества, снижение активности метаболических ферментов свидетельствуют об адаптационных реакциях скелетных мышц.

#### Литература

1. Изменение ключевых биохимических и кардиопульмональных показателей бегунов на средние дистанции на специально-подготовительном этапе подготовки в условиях верхнего среднегорья / А.П. Исаев, В.В. Эрлих, В.А. Обносков, В.В. Епишев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». – 2011. – Вып. 28. – № 26 (243). – С. 36–40.
2. Operation Everest II: Oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude / J.R. Sutton, J.T. Reeves, P.D. Wagner et al. // Journal of Applied Physiology. – 1988. – Vol. 64. – P. 1309–1321.
3. Operation Everest II: Muscle energetics during maximal exhaustive exercise / A.J. Green, J. Sutton, P. Young et al. // Journal of Applied Physiology. – 1989. – Vol. 66. – P. 142–150.

Поступила в редакцию 21 июля 2012 г.