

## ВЗАИМОСВЯЗИ СОМАТИЧЕСКОЙ И ВИСЦЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ НАПРЯЖЕННОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СПОРТСМЕНОВ

*В работе изучены взаимосвязи соматической и висцеральных систем в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов специализирующиеся в борьбе и велосипедном спорте. Выявлены общие и специфические закономерности во взаимосвязях систем у различно тренированных спортсменов при выполнении физической нагрузки до отказа. Показано, что наибольший вклад в дисперсию вегетативных показателей оказывает активность четырехглавой мышцы бедра. Построены соответствующие математические модели.*

**Ключевые слова:** Взаимосвязи, соматическая система, висцеральные системы, спортсмены, нагрузка, модели.

Оценка и прогнозирование функциональных резервов организма человека тесно связана с проблемой моторно-висцеральных и висцеро-моторных взаимодействий, совершенствование которых в процессе многолетних занятий спортом отражает направленность и специфику адаптационного процесса при различных формах мышечной деятельности.

Если функциональные резервы отдельных вегетативных и соматической систем организма при занятиях спортом изучены достаточно хорошо [1-4], то вопросы их внутри- и межсистемных взаимосвязей в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов освещены недостаточно.

Недостаточность изученности функциональных резервов организма человека с позиций взаимодействия разных компонентов функциональных систем (ФС) определяет актуальность поставленных вопросов.

**Целью работы** является изучение взаимосвязей соматической и висцеральных систем в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов.

В качестве *объекта исследований* определена циклическая физическая нагрузка возрастающей мощности до отказа, в качестве *предмета* – активность и взаимосвязи соматической и висцеральных систем.

В работе применялись различные методы исследования: велоэргометрия, электрокардиография, газоанализ выдыхаемого воздуха, электромиография, оценка мышечной чувствительности, методы статистической обработки и др.

В качестве физической нагрузки, стимулирующей интеграцию и взаимосвязи соматической и вегетативных систем, применялась циклическая работа на велоэргометре возрастающей мощности до отказа.

В качестве испытуемых были спортсмены различной квалификации специализирующиеся в велосипедном спорте и борьбе.

**Результаты исследований.** Проведенные исследования вскрывают как общие (неспецифические), так и специфические черты адаптации во взаимосвязях соматической и висцеральных систем у спортсменов при выполнении циклической физической нагрузки (ФН) повышающейся мощности.

К общим следует отнести усиление внутри- и межсистемных взаимосвязей (ВСВ и МСВ) (табл. 1-2).

Взаимосвязи в отдельных системах более сильны, стабильны и менее изменчивы при нагрузке, чем между системами (табл. 2).

Таблица 1

*Внутри- и межсистемные взаимосвязи соматической и висцеральных систем у спортсменов в покое и при циклической ФН возрастающей мощности (коэффициенты корреляций).*

Условия:	В С В		М С В	
	X m	P	X m P	
Покой	0,341± 0,028	<0,001	0,247 0,016	<0,01
Физическая нагрузка	0,618± 0,036	<0,001	0,634 0,019	0,001
t-критерий Стьюдента	6,07	<0,001	15,6	<0,001

Таблица 2

*Внутри- и межсистемные взаимосвязи отдельных систем у борцов в покое и при физической нагрузке возрастающей мощности*

Условия:	Статпа- раметры	ВСВ			МСВ		
		МС	ССС	ДС	ССС - ДС	ССС- МС	ДС- МС
Покой	X	0.211	0.449	0.442	0.263	0.199	0.261
	m	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03
	P	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05
Нагрузка	X	0.463	0.638	0.885	0.720	0.523	0.571
	m	0.02	0.05	0.005	0.035	0.06	0.03
	P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Достов.	t	4.2	2.7	11.0	10.2	5.3	6.8

различ.	P	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Парам. дисперс анализа	2	0.082	0.112	0.923	0.589	0.068	0.256
	m	0.007	0.017	0.08	0.006	0.004	0.008
	P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Наиболее взаимосвязанными как в покое, так и при ФН являются системы проявляющие относительно низкую вариативность своих показателей – сердечнососудистая (ССС) и дыхательная (ДС).

Наиболее сильные взаимосвязи проявляются в отдельных системах, среди которых наиболее высокими являются взаимосвязи показателей вегетативных систем (табл. 2).

Увеличение мощности ФН сопровождается усилением к концу нагрузки ВСВ в мышечной системе (МС), системе крови (СК), системе гуморальной регуляции (СГР) и некоторым снижением - в ССС и ДС (табл. 3).

Таблица 3

*Внутрисистемные взаимосвязи в отдельных системах при выполнении нагрузки возрастающей мощности велосипедистами*

Системы:	В начале нагр.	В середине нагр.	В конце нагр.
	r m	r m	r m
МС	0.917 0.028	0.467 0.09	0.992 0.0028
ССС	0.996 0.00097	-	0.658 0.08
ДС	0.958 0.034	-	0.833 0.085
СК, СГР	0.886 0.037	-	0.999 0.0001

Большинство ведущих взаимосвязей ССС и ДС являются линейными, близкими к функциональным, стабильно сохраняются по ходу нагрузки.

Ряд сильных МСВ высоки в начале и в конце нагрузки (табл. 4).

Таблица 4

*Межсистемные взаимосвязи в начале и в конце нагрузки, выполняемой до отказа велосипедистами на велоэргометре*

Взаимодейств. системы:	В начале нагрузки	В конце нагрузки	Достов. различий
	X ± m	X ± m	t P
МС - ССС	0,901 0,01	0,822 0,017	4,0 <0,01
МС - ДС	0,851 0,013	0,963 0,0047	8,1 <0,01
МС- СК, СГР	0,817 0,015	0,998 0,0001	12,0 <0,01
ССС - ДС	0,940 0,0097	0,807 0,018	7,1 <0,01
ССС - СК, СГР	0,885 0,01	0,843 0,025	1,56 >0,05
ДС - СК, СГР	0,898 0,008	0,998 0,0001	12,5 <0,01
X ± m	0,820 0,021	0,905 0,016	0,856 >0,05

**Внутрисистемные взаимосвязи.** Анализ ведущих взаимосвязей в сердечно-сосудистой системе показал, что величины интегрального показателя – минутного объема кровообращения (МОК) у нетренированных спортсменов при ФН в большей степени зависят от изменений частоты сердечных сокращений (ЧСС), а у тренированных – от систолического объема (СО) крови. У тренированных спортсменов эта зависимость носит экспоненциальный характер, у нетренированных – фактически прекращается при околопредельных нагрузках (формулы 1-2).

$$\text{моктр.} = 41,3 + 0,03\text{ЧСС} + 0,00014\text{ЧСС}^2 + 172,2/\text{ЧСС} - 4213/\text{СО}; P < 0,001 \quad (1)$$

$$\text{моктр.} = 0,254\text{СО} - 0,0000033\text{ЧСС}^2 - 11,55; P < 0,001 \quad (2)$$

**Взаимосвязи показателей системы дыхания** в процессе ФН высоки и преимущественно линейны как у тренированных, так и нетренированных спортсменов (формулы 3-6). Отдельные взаимосвязи носят нелинейный характер.

$$V_{O_2\text{тр.}} = (0,022\text{га}O_2 + 0,994\text{ДО} + 0,448\text{МОД}/\text{VE} - 1,802)0,003 \quad (3),$$

$$V_{O_2\text{нтр.}} = (3,9 + 0,117\text{ЧД} + 0,001\text{га}O_2 - 0,08\text{VE} - 0,072\text{га}O_2 - 1274,7)0,002 \quad (4),$$

$$V_{CO_2\text{тр.}} = (0,035\text{МОД} + 0,02\text{VE} + 0,017O_{2RC} - 1,90)0,001 \quad (5),$$

$$V_{CO_2\text{нтр.}} = (0,134 + 0,874V_{O_2} - 0,009\text{ЧД})0,007 \quad (6),$$

где  $VO_2$  – скорость потребления кислорода;  $V_{CO_2}$  – скорость выделения углекислого газа;  $gaO_2$  – скорость доставки кислорода артериальной кровью; ДО – дыхательный объем; МОД – минутный объем дыхания; ЧД – частота дыхания;  $O_{2RC}$  – кислородный эффект дыхательного цикла; VE – вентиляционный эквивалент.

Разработанные линейные модели свидетельствуют о том, что у тренированных спортсменов (форм. 3) рост  $VO_2$  достигается преимущественно за счет увеличения ДО, соотношения МОД/VE,  $gaO_2$ , а у нетренированных – за счет роста МОД через повышение ЧД и снижение VE (форм. 4).

Результаты отражают более высокую экономичность функционирования организма тренированных спортсменов, большую степень активизации их ДС при предельной или околопредельной работе.

Характеризуя взаимосвязи в мышечной системе, следует отметить, что большинство взаимосвязей мышц нижних конечностей при управлении циклическим движением высоки в начале ( $r=0,917 \pm 0,028$ ) и в конце ( $r=0,992 \pm 0,0028$ ) нагрузки, а в середине они существенно ниже ( $r=0,467 \pm 0,09$ ). В целом они являются жесткими, преимущественно линейными, изменить которые может только выполнение работы до отказа.

При развитии утомления реципрокные отношения между мышцами двух конечностей нарушаются: генерализованный характер возбуждения при утомлении вызывает однонаправленность в функционировании мышц, нарушая координационную структуру циклического движения.

Проявления утомления в межмышечных взаимосвязях у тренированных спортсменов менее выражены и наступают позже, чем у нетренированных.

**Межсистемные взаимосвязи.** Высокая степень МСВ наблюдается между всеми рассматриваемыми физиологическими системами.

Кривые, представленные на рис. 1 отражают тесные взаимосвязи МС, ССС, ДС, системы метаболизма и ГР при ФН как у тренированных, так и нетренированных спортсменов. Экспоненциальный характер изменения адреналина (А), норадреналина (НА), лактата (La) на фоне уменьшения реактивности ССС и ДС у нетренированных спортсменов, при повышении активности МС можно расценить как реакцию СГР и системы анаэробного метаболизма на истощение функциональных резервов ССС и ДС.

Повышение активности четырехглавой мышцы бедра (ЧМБ) и икроножной мышцы (ИМ) детерминируют различную активность и взаимосвязи физиологических систем по ходу нагрузки у различно тренированных спортсменов (рис. 1-3).

Взаимосвязи МС с ССС и ДС характеризуются некоторым снижением реактивности вегетативных систем на рост активности МС, как бы "ускользанием" их функционирования от проприоцептивной афферентации.

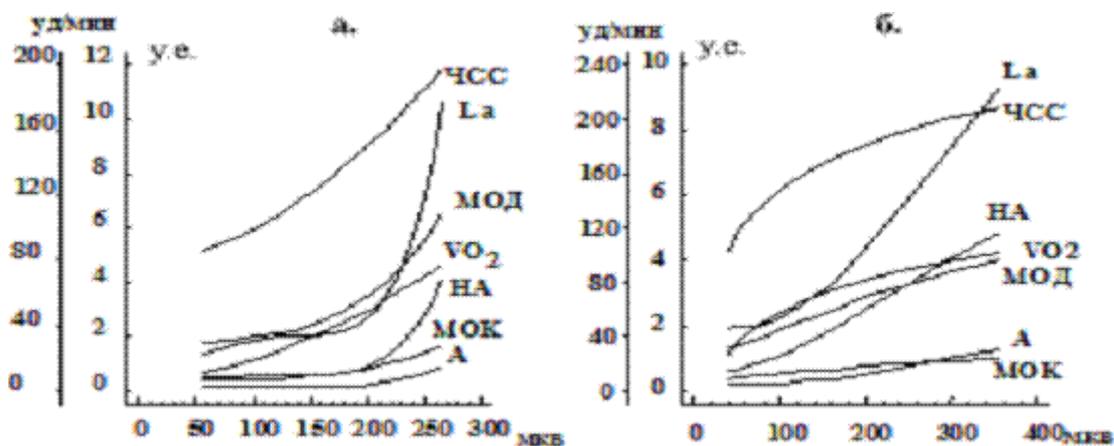


Рис. 1. Изменение вегетативных показателей при усилении активности мышечной системы у тренированных (а) и нетренированных (б) спортсменов.

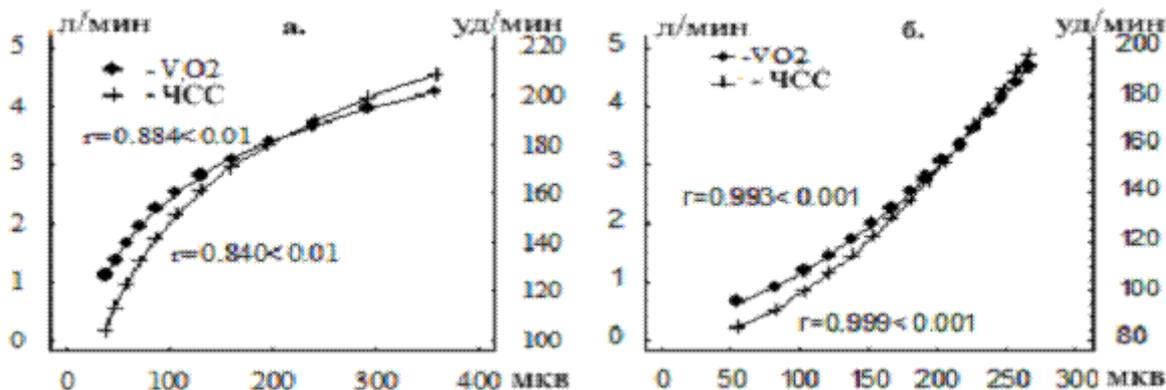


Рис. 2. Изменения ЧСС и  $VO_2$  при усилении активности мышечной системы (ЧМБ) у нетренированных (а) и тренированных (б) велосипедистов.

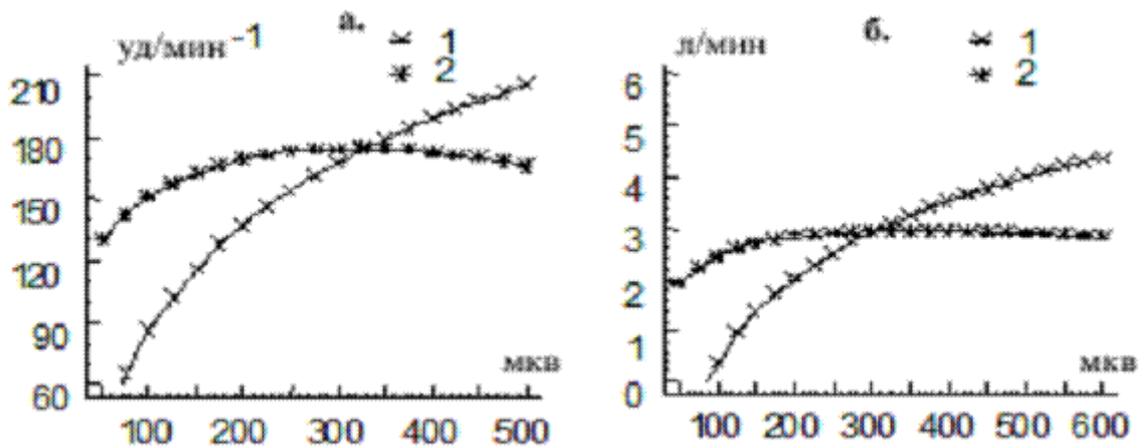


Рис. 3. Изменения ЧСС (а) и  $VO_2$  (б) при усилении активности мышечной системы (ЧМБ) у нетренированных (1) и тренированных (2) борцов.

Однако такой характер изменений показателей ССС и ДС при линейном росте мышечной активности проявляется лишь у нетренированных спортсменов, в то время как у тренированных характер зависимостей близок к линейному (рис. 1-3). У тренированных спортсменов взаимодействующие системы достигают своих предельных значений позже.

Регрессионные модели изменений ССС и ДС при росте активности МС у спортсменов формализуют эти зависимости и могут использоваться для оценки и прогнозирования состояния вегетативных систем при изменении активности МС в процессе нагрузки (формулы 7-10).

$$VO_2 \text{ тр.} = 1,1 \text{LOG}A_{\text{ЧМБ}} + 1,01 \text{LOG}t_{\text{аИМ}} - 2112,8/A_{\text{ИМ}} - 9,15 \quad (7),$$

$$VO_2 \text{ нтр.} = 0,945 \text{LOG}A_{\text{ЧМБ}} - 0,0026A_{\text{ЧМБ}} - 1,66 \quad (8),$$

$$\text{ЧСС}_{\text{тр.}} = 42,45 \text{LOG}A_{\text{ЧМБ}} + 32,39 \text{LOG}t_{\text{аИМ}} - 9,56/A_{\text{ПБМ2}} - 259,1 \quad (9),$$

$$\text{ЧСС}_{\text{нтр.}} = 11,9 + 32,8 \text{LOG}A_{\text{ЧМБ}} - 0,00016A_{\text{ЧМБ}}^2 - 3,6/A_{\text{ИМ}}^2 \quad (10),$$

где:  $VO_2$  – скорость потребления кислорода; ЧСС – частота сердечных сокращений;  $A_{\text{ЧМБ}}$ ,  $A_{\text{ИМ}}$  – амплитуда электромиограммы четырехглавой и икроножной мышц, соответственно;  $t_{\text{аИМ}}$  – продолжительность активности икроножной мышцы.

Прекращение роста  $VO_2$  и ЧСС при относительно невысокой активности мышц у нетренированных борцов, снижение градиента их прироста у нетренированных велосипедистов, а также экспоненциальный характер изменения лактата (La) свидетельствуют об относительно невысоких аэробных резервах нетренированных спортсменов и более раннем включении анаэробных механизмов энергообеспечения.

Взаимосвязи показателей мышечной системы и гуморальной регуляции в обеих группах спортсменов сильны и нелинейны (рис. 4).

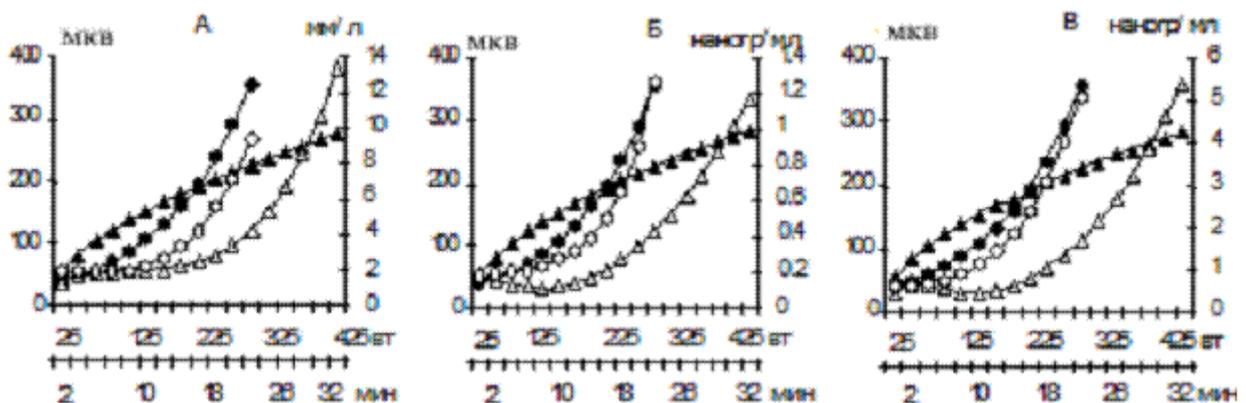


Рис. 4 Изменение лактата (А,  $\Delta$ ,  $\square$ ), адреналина (Б,  $\Delta$ ,  $\square$ ), норадреналина (В,  $\Delta$ ,  $\square$ ), электрической активности четырехглавой мышцы бедра ( $\blacktriangle$ ,  $\blacksquare$ ) в процессе велоэргометрического тестирования.

Условн. обознач.:  $\triangle$ ,  $\blacktriangle$  – тренированные спортсмены;  $\square$ ,  $\blacksquare$  – нетренированные спортсмены.

Наибольший вклад в детерминацию исследуемых параметров оказывают ЧМБ и ИМ.

Нелинейный характер взаимосвязей МС, системы метаболизма и СГР сходен по форме у различно тренированных спортсменов.

Отличия заключаются в меньшей степени сдвигов у тренированных спортсменов при неопределяемой нагрузке, в большем градиенте прироста величин вегетативных показателей в ответ на увеличение активности мышечной системы перед отказом от работы, который наступает позже и при большей мощности выполняемой ФН чем у тренированных спортсменов.

Анализ *совокупного влияния* ведущих параметров различных систем на отдельные показатели ССС и ДС при ФН повышающейся мощности показал, что изменения ЧСС,  $VO_2$  у различно тренированных спортсменов могут обеспечиваться функциональными системами с разным набором физиологических компонентов (формулы 11-14).

$$\text{ЧСС}_{\text{тр.}} = (76 + 21,2V_{\text{CO}_2} + 2,5\text{НА} - 0,025A_{\text{ЧМБ}} - 13,01A) 0,17 \quad (11),$$

$$\text{ЧСС}_{\text{нтр.}} = (53,9 + 0,065A_{\text{ЧМБ}} + 0,027A_{\text{ИМ}} + 22,1V_{\text{O}_2} + 3,7\text{НА} - 20,1A) 0,02 \quad (12)$$

$$VO_{2\text{тр.}} = (0,03CO + 0,002La + 0,11O_{2\text{СС}} + 0,002A_{\text{ИМ}} - 0,002A_{\text{ЧМБ}} - 0,009\text{НА} - 3,4) 0,004 \quad (13)$$

$$VO_{2\text{нтр.}} = (0,000065A_{\text{ЧМБ}} + 0,03\text{ЧСС} + 0,1A - 0,00008A_{\text{ИМ}} - 0,0034La - 0,03\text{НА} - 1,54) 0,001 \quad (14),$$

где обозначения аналогичны выше приведенным в формулах и в тексте.

При этом наибольший вклад в дисперсию вегетативных показателей оказывает активность четырехглавой мышцы бедра (ЧМБ).

МС оказывает стимулирующее воздействие на ССС как прямо – через усиление моторно-кардиальных рефлексов, так и опосредованно - через другие системы – ДС, СГР, СК. Из представленных моделей следует, что в усилении ЧСС при активизации МС значительная роль принадлежит ДС, усилившей свои взаимосвязи с МС. МС, усиливая деятельность ДС стимулирует рефлекторные висцеро-висцеральные взаимосвязи и гуморальные механизмы активизации сердечной деятельности.

Исключение МС из модели проявляет взаимосвязи ДС и ССС при ФН свидетельствующие о том, что увеличение параметров дыхания, в первую очередь,  $V_{\text{CO}_2}$ , является стимулятором сердечной деятельности, а увеличение ЧСС, СО усиливает дыхание.

Ведущие компоненты МС, ССС, ДС и системы крови при различном их соотношении в разных моделях детерминируют сходный характер и направленность сдвигов  $V_{\text{O}_2}$ ,  $V_{\text{CO}_2}$ , ЧСС (форм. 11-18).

$$Y_{VO_2\text{тр.}} = (0,054CO - 0,003\text{НА} - 0,0006La - 0,00043A_{\text{ЧМБ}} - 4,96) 0,004 \quad (15)$$

$$Y_{VO_2\text{нтр.}} = (0,00018A_{\text{ЧМБ}} + 0,012La + 0,03\text{ЧСС} - 0,106A - 1,48) 0,001 \quad (16)$$

$$Y_{VCO_2\text{тр.}} = (0,061CO - 0,00037A_{\text{ИМ}} - 5,92) 0,001 \quad (17)$$

$Y_{VCO_2\text{нтр.}} = (0,84 + 0,000029A_{\text{ИМ}} - 0,00259A_{\text{ИМ}}) 0,008 \quad (18)$ , где обозначения аналогичны выше приведенным в формулах и в тексте.

Отличия проявляются, прежде всего, в тесноте взаимосвязей их с разными компонентами ФС, во взаимосвязях компонентов каждой физиологической системы, а также во взаимосвязях соматической и висцеральных систем, влияющих на "конечный результат" ФС.

*МСВ* между ДС и ССС у различно тренированных спортсменов высоки и носят преимущественно линейный характер. Высокая степень интеграции двух систем у тренированных спортсменов более длительна во времени. Наибольшая взаимосвязь дыхательной и сердечно-сосудистой систем проявляется по параметрам  $VO_2$ , СО,  $O_{2\text{СС}}$  у тренированных спортсменов и  $VO_2$ , ЧСС – у нетренированных.

*МСВ ССС и ДС с системой крови и СГР* носят преимущественно нелинейный характер.

Роль гуморальных факторов в регуляции вегетативных функций при мышечной деятельности возрастает экспоненциально.

Изменения ЧСС, МОК у тренированных спортсменов в большей степени зависимы от изменений А и НА и их совместного взаимодействующего воздействия, у менее тренированных - от La, А, НА.

Необходимо отметить, что взаимосвязь А и НА при изменении ЧСС в этих условиях отрицательна ( $r = -0,980$ ,  $P < 0,01$ ) - уменьшение А сопровождается повышением НА, усилением его влияния на ССС и наоборот.

**Заключение.** Т.о., выполнение ФН растущей мощности может обеспечиваться различными сочетаниями соматических и вегетативных компонентов двигательной ФС у тренированных и нетренированных спортсменов.

Многовариантность способов взаимодействия соматической и вегетативных систем проявляется на фоне линейных сдвигов большинства их абсолютных показателей в диапазоне неопределяемых для организма физических нагрузок. Однако в отдельных парных взаимосвязях могут проявляться нелинейные взаимосвязи между собой и с результатом функциональной системы. Видимо, скоординированность взаимодействий компонентов ФС, каким-то образом управляется в строгом соответствии с изменениями параметров линейно растущей нагрузки (конечного приспособительного результата).

Нелинейность в сдвигах и во взаимосвязях в большей мере проявляется при выполнении ФН до отказа и свидетельствует или о полном использовании функционального резерва физиологической системы (при прекращении прироста ее показателей на рост нагрузки) или о достижении пороговой величины, при которой резко увеличивается реактивность неопредельно функционировавшей системы, усиливаются ее внутри- и межсистемные взаимодействия.

Снижение прироста в показателях активности ССС и ДС при усилении деятельности МС, сопряженное с нелинейным усилением анаэробного метаболизма и гормональных сдвигов, можно расценить как компенсаторную реакцию системы метаболизма на истощение аэробных резервов ССС и ДС.

Такой характер функционирования соматической и вегетативных систем при напряженной мышечной деятельности более выражен у нетренированных спортсменов, в то время как у тренированных нелинейность во взаимосвязях и достижение предельных значений проявляются значительно позже.

Результаты отражают более высокую экономичность функционирования взаимодействующих систем у тренированных спортсменов при неопредельной нагрузке, более высокую степень их активизации и взаимодействия при предельной или околопредельной работе.

Формализованные в регрессионных моделях взаимосвязи систем организма у различно тренированных спортсменов могут использоваться в качестве критериев их уровня подготовленности и проявления скрытых признаков утомления при тестировании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Голубев В.Н.* Оценка функциональных резервов в системе управления движением / Голубев В.Н., Давиденко Д.Н., Мозжухин А.С., Шабанов А.И. // Системные механизмы адаптации и мобилизации функциональных резервов организма в процессе достижения высшего спортивного мастерства / ГДОИФК им П.Ф. Лесгафта. – Л., 1987. – С. 12-18.

2. *Давиденко Д.Н.* Общие и частные аспекты проблемы функциональных резервов адаптации организма к мышечной деятельности / Давиденко Д.Н. // Функциональные резервы и адаптация: Матер. Всес. конференции. – Киев, 1990. – С. 157-161.

3. *Мищенко В.С.* Функциональные возможности спортсменов / В.С. Мищенко. – К.: Здоров'я, 1990. – 200 с.

4. *Приймаков А.А.* Активность мышц и межмышечные взаимосвязи при управлении циклическим повторяющимся движением в условиях напряженной мышечной деятельности у спортсменов / А.А. Приймаков // Науковий часопис НПУ ім. М.П. Драгоманова. Серія 15. – Випуск 11. Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова. – Київ, 2011. – С. 211-215.

*Подано до редакції 20.07.12*

---