

УДК 612.2

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АЭРОБНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА

С.Н. Виноградов, А.С. Платонов

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

Проведено исследование зависимости динамики изменений показателей газотранспортной системы от мощности физической нагрузки у лиц с различным уровнем аэробных возможностей организма. Выявлен характер изменений показателей и их соотношения при различных уровнях максимального потребления кислорода; выведены регрессионные уравнения, описывающие установленные закономерности.

Ключевые слова: *газотранспортная система, ступенчато-повышающаяся нагрузка, максимальное потребление кислорода, регрессионное уравнение.*

Введение. Потребление кислорода является интегральным показателем, находящимся в определённой зависимости от функциональных возможностей отдельных звеньев газотранспортной системы, каждое из которых может являться фактором, лимитирующим доставку кислорода в ткани, аэробные возможности организма и физическую работоспособность. Функциональные возможности и характер изменений параметров каждого из звеньев в итоге определяет особенности реагирования системы транспорта кислорода и уровень потребления кислорода при физической нагрузке. Это отражено в результатах исследований, направленных на выработку прогностических критериев, позволяющих выявить «слабое» звено, которое лимитирует доставку кислорода при физической нагрузке (Розеньлат и др., 1985; Карпман, Меркулова, 1994; Радченко и др., 1997; Юлдашев и др., 2000; Гусев и др., 2007, 2009; Эсселевич, 2008). Однако, описывая тот или иной тип адаптации, указанные авторы не приводят данные о степени взаимосвязей и взаимовлияний параметров различных звеньев газотранспортной системы и мощности физической нагрузки с учётом аэробных возможностей организма. Исходя из этого, целью проведённого исследования явилось выявление реакций кардиореспираторной системы на физические нагрузки у лиц с различным уровнем максимального потребления кислорода и их взаимосвязей.

Методика. В исследовании приняло участие 150 практически здоровых мужчин в возрасте 18-20 лет, чья двигательная активность не превышала повседневно-бытовой уровень, исключавший

систематические занятия физической культурой и спортом. Испытуемые выполняли велоэргометрические нагрузки ступенчато-повышающейся мощности на велоэргометре ВЭ-02 в диапазоне мощностей от 75 Вт до 300 Вт продолжительностью 3 минуты на каждой ступени.

Потребление кислорода (VO_2) определяли с использованием газоанализатора «Спиролит-2» (Германия); показатели гемодинамики (частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный объем крови (УО), минутный объем крови (МОК) – методом тетраполярной реографии по Тищенко с использованием реографа РГПА-6/12-«РЕАН-ПОЛИ». Показатели внешнего дыхания – частота дыхания (ЧД), минутный объем дыхания (МОД), дыхательный объем (ДО) – определяли с использованием спирографа СМП-21/01-«Р-Д».

Полученные данные были обработаны методами корреляционно-регрессионного анализа с выводом уравнений парной регрессии (Владимирский, 1983).

Результаты и обсуждение. В зависимости от максимального потребления кислорода (МПК) при выполнении физической нагрузки все участники исследования были поделены на 5 категорий по И. Астранду (Физиология..., 1982).

Низкое потребление кислорода – ≤ 38 мл/мин/кг

Умеренное потребление кислорода – 39-43 мл/мин/кг

Среднее потребление кислорода – 44-51 мл/мин/кг

Хорошее потребление кислорода – 52-56 мл/мин/кг

Высокое потребление кислорода – ≥ 57 мл/мин/кг

Анализ полученных результатов показал сильную положительную корреляцию между параметрами газообмена, гемодинамики и величиной мощности ступенчато-повышающейся нагрузки. (табл. 1). Это позволило использовать выбранные параметры при выводе закономерностей зависимости их от величины мощности нагрузки. После аппроксимации кривых графиков динамики изменения показателей были выведены полиномиальные регрессионные уравнения с высокой степенью значимости по индексу корреляции R^2 . Сравнительный анализ коэффициентов выведенных уравнений позволил выявить особенности динамики параметров отдельных звеньев системы транспорта кислорода при ступенчато-повышающейся нагрузке.

В группе с низким уровнем МПК наблюдалась нелинейная зависимость динамики параметров внешнего дыхания, характеризующаяся более интенсивным приростом МОД на начальных ступенях нагрузки при практически равномерном увеличении ЧД; затем изменение МОД приобрело более плавный характер (табл. 2, рис 1). Динамика изменения ЧД оставалась равномерной практически на протяжении всего времени выполнения нагрузки. Очевидно, что

сначала прирост МОД определялся в основном изменением дыхательного объёма (ДО), далее – в равной степени ЧД и ДО.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции (r) между параметрами газообмена, гемодинамики и мощностью нагрузки при различных уровнях МПК ($p < 0,05$)

Уровни МПК	Минутный объём дыхания (МОД)	Частота дыхания (ЧД)	Ударный объём сердца (УО)	Частота сердечных сокращений (ЧСС)	Минутный объём крови (МОК)	Потребление кислорода (VO ₂)
Низкий	0,99	0,99	0,93	0,94	0,99	0,94
Умеренный	0,98	0,99	0,98	0,94	0,96	0,88
Средний	0,98	0,99	0,86	0,95	0,95	0,98
Хороший	0,97	0,94	0,94	0,94	0,86	0,98
Высокий	0,91	0,99	0,7	0,92	0,94	0,98

Таблица 2

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с низким уровнем МПК

Нагрузка Вт	Покой	75	150	300
VO ₂ , мл/мин/кг	3,37±0,34	17,84±1,23	28,29±0,73	35,07±0,72*
МОД, л/мин	7,31±0,58	70,98±4,6	96,9±0,95	116,23±4,34*
ЧД, в мин	13±1	22±2	27±1	36±2*
МОК, мл/мин/кг	62,65±2,44	80,6±2,54	99,45±0,35	111,06±5,55*
ЧСС, уд/мин	76±3	127±2	156±2	180±3*
УО, мл	67,91±1,34	67,3±1,09	70,09±0,96	81,64±3,14*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с состоянием покоя ($p < 0,05$).

При максимальной нагрузке МОД увеличился по сравнению с состоянием покоя в 15,9 раз, ЧД – в 2,8 раза. Это согласуется с соотношением коэффициентов полиномов 2-й степени, описывающих данные параметры (1) и (2). По показателям гемодинамики также наблюдались нелинейные зависимости в виде более интенсивного прироста ЧСС по сравнению с изменением УО, в отношении которого отмечено даже небольшое снижение в диапазоне нагрузки от 100 до 150 Вт (рис. 2). ЧСС при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием покоя увеличилось в 2,3 раза, УО – в 1,2 раза, МОК – 1,6 раз, VO₂ – 10 раз.

Наиболее интенсивный прирост МОК наблюдался до достижения уровня нагрузки 60% от МПК. Кривая изменения МОК (рис. 3) по своей тенденции сходна с кривой изменения ЧСС, что позволяет сделать вывод, что ЧСС в данном случае является определяющим фактором МОК, что также подтверждается коэффициентами регрессионных уравнений (4) и (6) и соотношением прироста ЧСС и УО по сравнению с состоянием покоя.. Нелинейная зависимость наблюдалась и в динамике

МОК и VO_2 (рис. 3). Согласно формуле Фика (Розенблат и др., 1985), учитывая прирост показателей и динамику изменения кривых, особенно на начальных ступенях нагрузки, можно говорить об увеличении VO_2 преимущественно за счёт артерио-венозной разницы по кислороду ($C_{a-v}\text{O}_2$).

Полиномиальные регрессионные уравнения описывающие динамику изменений параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-возрастающей нагрузке в группе с низким уровнем МПК имеют вид:

$$\text{МОД} \quad y = -0,0017x^2 + 0,8707x + 9,5112; \quad R^2=0,99 \quad (1)$$

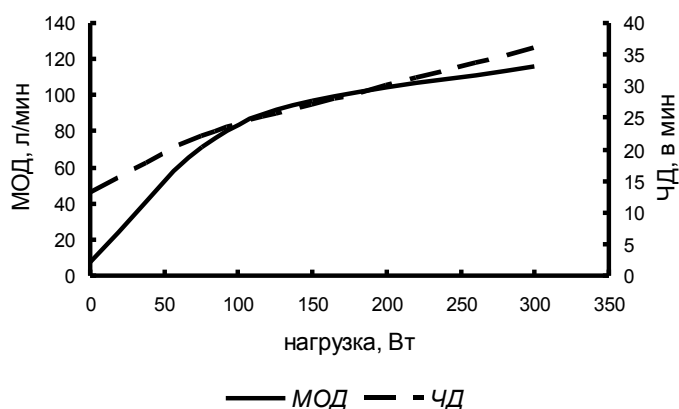
$$\text{ЧД} \quad y = -0,0001x^2 + 0,1153x + 13,3; \quad R^2=0,99 \quad (2)$$

$$\text{УО} \quad y = -0,0002x^2 - 0,0188x + 67,795; \quad R^2=0,99 \quad (3)$$

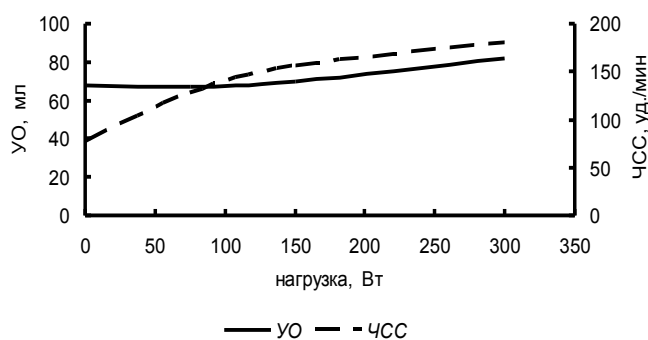
$$\text{ЧСС} \quad y = -0,0013x^2 + 0,7355x + 76,873; \quad R^2=0,99 \quad (4)$$

$$\text{VO}_2 \quad y = -0,0004x^2 + 0,2255x + 3,3043; \quad R^2=0,99 \quad (5)$$

$$\text{МОК} \quad y = -0,0005x^2 + 0,3153x + 61,865; \quad R^2=0,99 \quad (6)$$



Р и с . 1 . Динамика параметров внешнего дыхания при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с низким уровнем МПК



Р и с . 2 . Динамика параметров гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с низким уровнем МПК

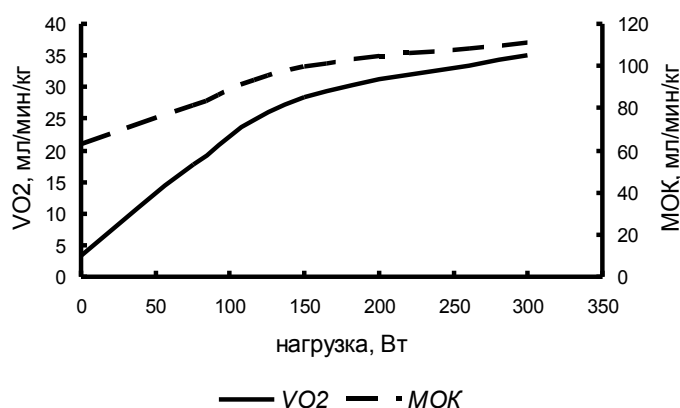


Рис. 3. Потребление кислорода и минутный объём крови при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с низким уровнем МПК

В группе с умеренным уровнем МПК по параметрам внешнего дыхания наблюдалась нелинейная динамика, представленная на рис. 4. и в табл. 3.

Таблица 3

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с умеренным уровнем МПК

Нагрузка Вт	Покой	75	150	300
VO2, мл/мин/кг	3,33±0,29	20,8±0,59	32,2±0,67	40,95±0,69*
МОД, л/мин	6,89±0,85	58,69±2,61	108,5±4,7	157±3,2*
ЧД, в мин.	14±1	21±2	28±2	36±1*
МОК, мл/мин/кг	56,66±4,94	88,75±6,14	99,3±4,95	123,12±7,59*
ЧСС, уд/мин	66±2	120±1	160±2	184±2*
УО, уд/мин	63,34±1,38	70,49±3,92	70,96±1,96	83,47±2,36*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с состоянием покоя (p<0,05).

МОД при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием покоя увеличился в 22 раза, ЧД – в 2,6 раз. Следует отметить более существенный прирост МОД по сравнению с показателем в группе с низким МПК при сходном характере изменения и соотношения кривых и коэффициентов регрессионных уравнений (7) и (8).

МОК интенсивно увеличивался до уровня нагрузки 50% от МПК в основном за счёт прироста УО; затем динамика увеличения несколько замедлилась, прирост происходил преимущественно за счёт увеличения ЧСС. ЧСС при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием покоя увеличилась в 2,7 раза, УО – в 1,3 раза, МОК – в 2,2 раза, VO₂ – в 12 раз. По сравнению с группой с низким МПК наблюдался прирост по показателям ЧСС, МОК и VO₂. Графики, отражающие динамику изменений ЧСС и МОК (рис. 5, 6), описываются полиномами 2-й степени (10) и (12) и сходны по тенденции с графиками аналогичных

параметров при низком МПК. Динамика изменений УО и описывается полиномами 3-й степени (9) и (11) и представлена на рис. 5 и 6.

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие динамику изменений параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-возрастающей нагрузке в группе с умеренным уровнем МПК, имеют вид:

$$\text{МОД } y = -0,0011x^2 + 0,8326x + 5,6608; \quad R^2 = 0,99 \quad (7)$$

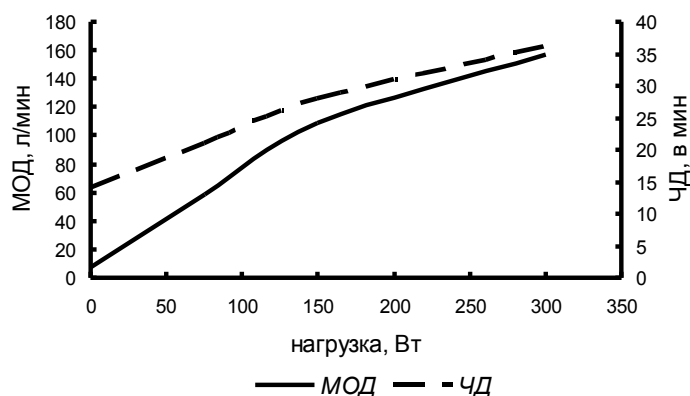
$$\text{ЧД } y = -0,0001x^2 + 0,1104x + 13,836; \quad R^2 = 0,99 \quad (8)$$

$$\text{УО } y = 3 \times 10^{-6} x^3 - 0,0013x^2 + 0,1729x + 63,3; \quad R^2 = 0,99 \quad (9)$$

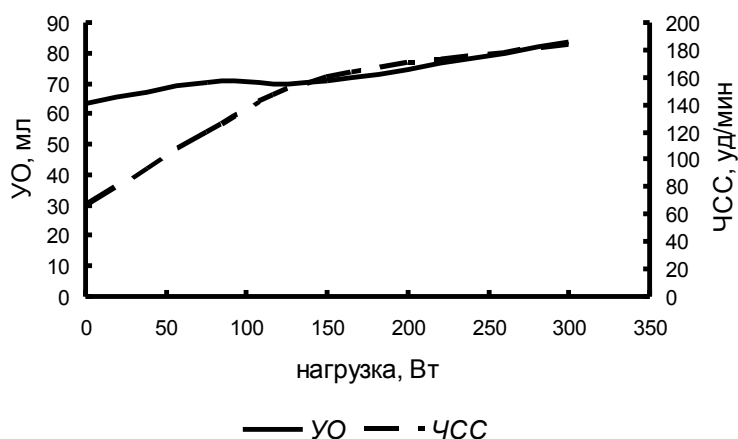
$$\text{ЧСС } y = -0,0015x^2 + 0,8451x + 65,259; \quad R^2 = 0,99 \quad (10)$$

$$\text{VO}_2 \quad y = 7 \times 10^{-6} x^3 - 0,0035x^2 + 0,5632x + 3,3; \quad R^2 = 0,99 \quad (11)$$

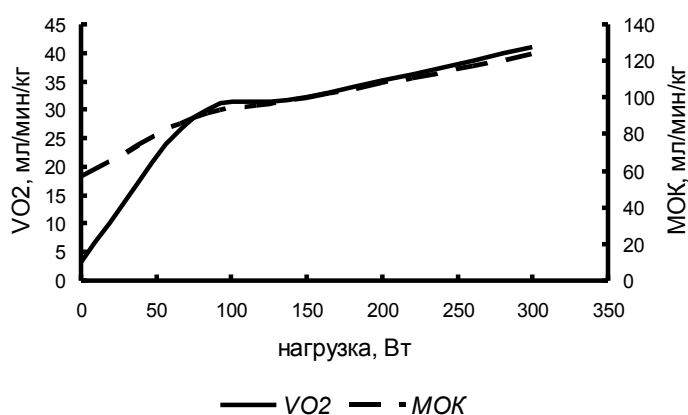
$$\text{МОК } y = -0,0006x^2 + 0,3796x + 58,497; \quad R^2 = 0,98 \quad (12)$$



Р и с . 4 . Динамика изменения параметров внешнего дыхания при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с умеренным уровнем МПК



Р и с . 5 . Динамика параметров гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с умеренным уровнем МПК



Р и с . 6. Потребление кислорода и минутный объём крови при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с умеренным уровнем МПК

При среднем уровне МПК и максимальной нагрузке относительно состояния покоя МОД увеличился почти в 18 раз, причём прирост по данному параметру оказался ниже, чем в группе с умеренным МПК. Прирост ЧД не изменился – в 2,6 раза (табл. 4). Характер изменений МОД и ЧД представлен на рис. 4 и описан уравнениями (13) и (14).

Т а б л и ц а 4
Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе со средним уровнем МПК

Нагрузка Вт	Покой	75	150	300
VO2, мл/мин/кг	3,41±0,3	19,9±3,2	33,76±1,64	47,53±0,93*
МОД, л/мин	6,74±9,61	49,39±4,15	80,44±10,59	121,17±10*
ЧД, в мин	14±1	21±2	27±2	36±2*
МОК, мл/мин/кг	76,44±4,8	106,6±5,3	118±3,58	140±4,98*
ЧСС, уд/мин	72±2	114±2	162±3	186±3*
УО, мл	70,26±0,52	64,9±3,9	72,47±1,97	83,89±1,94*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с состоянием покоя ($p < 0,05$).

Прирост ЧСС и УО по сравнению с группой с умеренным МПК оказался несколько меньше; данные показатели увеличились при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием покоя соответственно в 2,6 и 1,2 раза. В динамике УО на начальном этапе отмечено небольшое снижение с последующим увеличением при постоянном росте ЧСС (рис. 8), что описывается регрессионным уравнением в виде полинома 3-й степени (15). МОК более интенсивно увеличивался до уровня нагрузки 50% от МПК. При этом увеличение УО было более существенно, чем изменение ЧСС. Выше этого уровня более существенным фактором в увеличении МОК являлся прирост ЧСС. Увеличение МОК в 1,8 раза при максимальной нагрузке по

сравнению с состоянием покоя оказалось также ниже по сравнению с приростом МОК при умеренном МПК. VO_2 увеличилось в 13,9 раза. Сравнительный анализ графиков динамики (рис. 9) и величин прироста МОК и VO_2 , а также коэффициентов уравнений (17) и (18), указывают на преобладающее влияние C_{a-v}O_2 на показатель VO_2 .

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие динамику изменений параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-возрастающей нагрузке в группе со средним уровнем МПК выглядят следующим образом:

$$\text{МОД} \quad y = -0,0008x^2 + 0,6082x + 7,0725; \quad R^2=0,99 \quad (13)$$

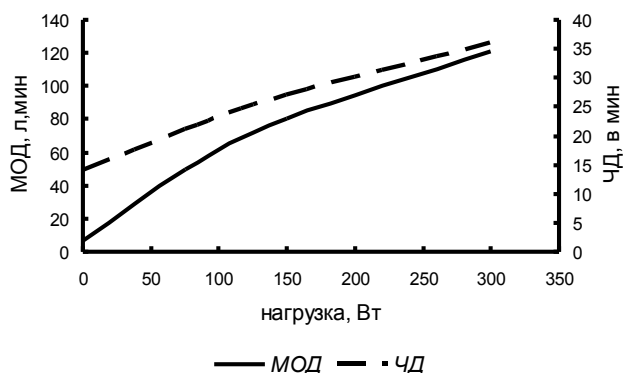
$$\text{ЧД} \quad y = -9 \times 10^{-5}x^2 + 0,1x + 14; \quad R^2=0,99 \quad (14)$$

$$\text{УО} \quad y = -4 \times 10^{-6}x^3 + 0,0021x^2 - 0,2062x + 70,3; \quad R^2=0,99 \quad (15)$$

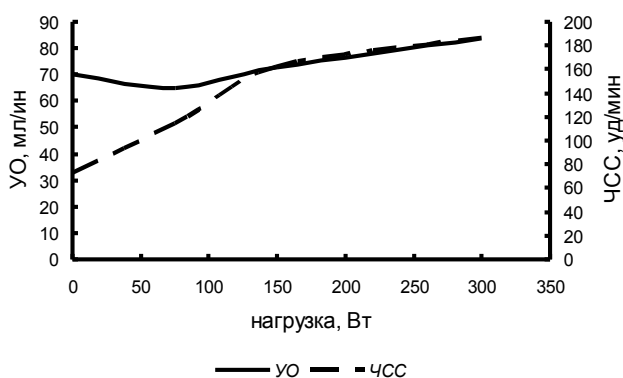
$$\text{ЧСС} \quad y = -0,0013x^2 + 0,7764x + 69,545; \quad R^2=0,99 \quad (16)$$

$$\text{VO}_2 \quad y = -0,0004x^2 + 0,2562x + 3,2374; \quad R^2=0,99 \quad (17)$$

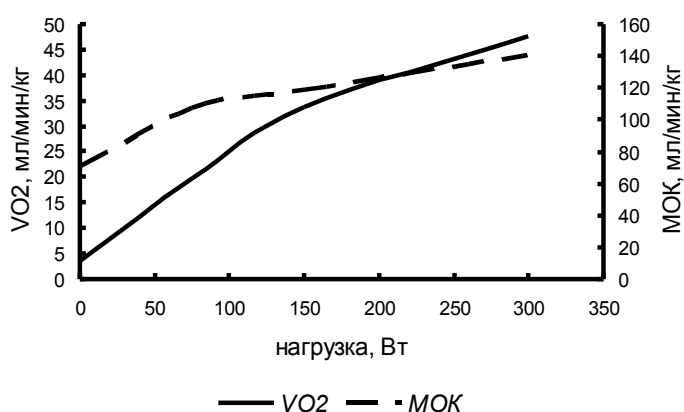
$$\text{МОК} \quad y = -0,0007x^2 + 0,4379x + 72,444; \quad R^2=0,98 \quad (18)$$



Р и с . 7 . Динамика параметров внешнего дыхания при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе со средним уровнем МПК



Р и с . 8 . Динамика параметров гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе со средним уровнем МПК



Р и с . 9 . Потребление кислорода и минутный объём крови при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе со средним уровнем МПК

В группе с хорошим уровнем МПК прирост МОД оказался меньше, чем в группах с умеренным и средним МПК; данный показатель увеличился в 15,8 раза, практически как и в группе с низким МПК. ЧД увеличилась в 2,5 раза (табл. 5). В динамике нелинейного изменения МОД наблюдалось снижения величины данного параметра в ходе выполнения нагрузки с последующим повышением. Это сопровождалось одновременным существенным нелинейным увеличением ЧД (рис. 10). Указанная закономерность описывается полиномами 3-й степени (19) и (20).

Т а б л и ц а 5

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с хорошим уровнем МПК

Нагрузка, Вт	Покой	75	150	300
VO2, мл/мин/кг	3,93±0,52	25,1±0,2	35,85±1,35	53,77±2,12*
МОД, л/мин	7,1±1	54,7±4,77	55,03±6,23	112,5±7,85*
ЧД	15±1	22±2	33±2	37±2*
МОК, мл/мин/кг	67,13±5,84	108±3,2	123±3,3	153,9±2,9*
ЧСС, уд/мин	72±2	120±1	154±2	176±3*
УО, мл	71,1±0,7	69,53±0,43	76,17±1,56	85,33±2,17*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с состоянием покоя (p<0,05).

Увеличение МОК в 2,3 раза оказалось более существенным, чем в предыдущих группах, несмотря на то, что прирост ЧСС и УО практически не отличался и был, соответственно, в 2,4 и в 1,2 раза. Динамика изменения МОК показала интенсивный прирост до уровня нагрузки 50% от МПК при похожей тенденции прироста ЧСС. В нелинейной динамике УО также отмечалось небольшое снижение величины данного показателя с последующим увеличением на фоне достаточно равномерного нелинейного увеличения ЧСС (рис. 11).

Прирост VO_2 при максимальной нагрузке по сравнению с состоянием покоя в 13,7 раз оказался незначительно меньше в сравнении с приростом VO_2 при среднем уровне МПК на фоне увеличения МОК в 2,3 раза (рис. 12). Это указывает на увеличение роли МОК в приросте и согласуется с коэффициентами уравнений (22) и (23).

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие динамику изменения параметров газообмена при ступенчато-возрастающей нагрузке в группе с хорошим уровнем МПК, выглядят как:

$$\text{МОД } y = 2 \times 10^{-5} x^3 - 0,0086x^2 + 1,1705x + 7,1; \quad R^2=0,99 \quad (19)$$

$$\text{ЧД } y = -3 \times 10^{-6} x^3 + 0,001x^2 + 0,0333x + 15; \quad R^2=0,99 \quad (20)$$

$$\text{УО } y = 0,0002x^2 + 0,00055x + 70,32; \quad R^2=0,95 \quad (21)$$

$$\text{ЧСС } y = -0,0013x^2 + 0,7447x + 71,891; \quad R^2=0,99 \quad (22)$$

$$\text{VO}_2 \quad y = -0,0004x^2 + 0,273x + 4,6775; \quad R^2=0,99 \quad (23)$$

$$\text{МОК } y = -0,0007x^2 + 0,4963x + 69,247; \quad R^2=0,98 \quad (24)$$

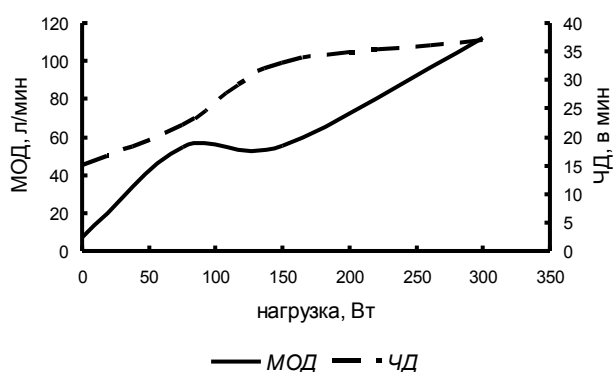


Рис. 10. Динамика параметров внешнего дыхания при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с хорошим уровнем МПК

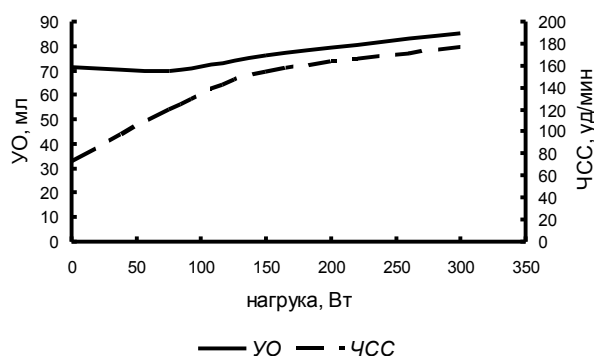


Рис. 11. Динамика параметров гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с хорошим уровнем МПК

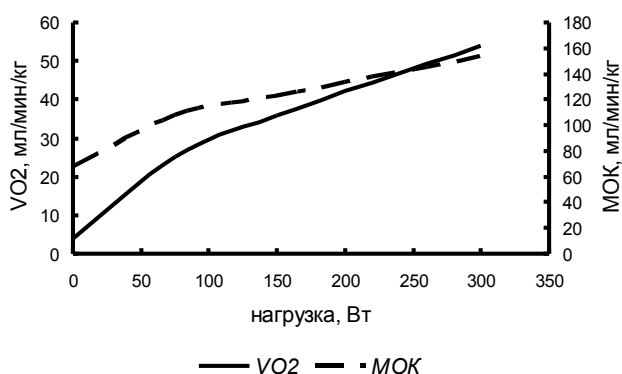


Рис. 12. Потребление кислорода и минутный объём крови при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с хорошим уровнем МПК

При высоком уровне МПК, по сравнению с состоянием покоя, МОД при максимальной нагрузке увеличился в 16,2 раза. При этом более существенный прирост отмечен на начальном этапе выполнения нагрузки (рис. 13). Изменение ЧД происходило почти линейно с увеличением по сравнению с состоянием покоя в 2,3 раза.

Таблица 6

Динамика параметров газообмена и гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с высоким уровнем МПК

Нагрузка Вт	Покой	75	150	300
VO2, мл/мин/кг	3,05±0,05	21,5±1,6	46,35±	64,45±0,35*
МОД, л/мин	6,15±0,85	55,9±4,3	87,8±5,73	100±6,9*
ЧД	15±3	20±2	26±2	34±2*
МОК, мл/мин/кг	67,35±7,15	114,33±8,37	122,6±1,2	152,2±7,9*
ЧСС, уд/мин	57±3	127±3	149±2	180±2*
УО, мл	72,05±5,45	63,7±5,9	70,01±0,1	80,15±2,15*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с состоянием покоя ($p < 0,05$).

Наиболее существенный прирост по сравнению с другими группами происходил по величинам ЧСС – в 3,2 раза, МОК – в 3 раза; VO₂ – в 21 раз. УО существенно не изменялся; он увеличился лишь в 1,1 раза. Интенсивный прирост МОК наблюдался до уровня нагрузки 40% от МПК затем динамика изменения замедлилась на фоне преобладающей динамики изменения ЧСС. Выше этого уровня прирост величин УО и ЧСС имел схожий характер.

Динамика изменений данных параметров имела нелинейный характер (рис.14, рис15) и описана уравнениями (27), (28), (29) и (30). Вид уравнений и характер кривых графиков указывают на увеличение влияния МОК на VO₂ как фактора, определяющего данный параметр.

Полиномиальные регрессионные уравнения, описывающие динамику изменений параметров газообмена и гемодинамики при

ступенчато-возрастающей нагрузке в группе с высоким уровнем МПК, выглядят следующим образом:

$$\text{МОД} \quad y = -0,0015x^2 + 0,7768x + 6,2032; \quad R^2 = 0,99 \quad (25)$$

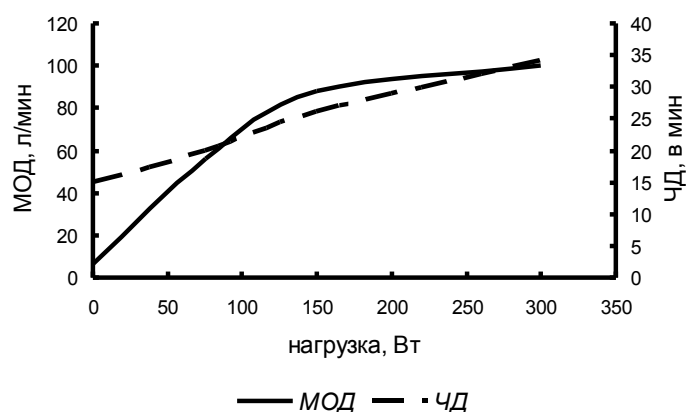
$$\text{ЧД} \quad y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0799x + 14,809; \quad R^2 = 0,99 \quad (26)$$

$$\text{УО} \quad y = -5 \times 10^{-6}x^3 + 0,0023x^2 - 0,2607x + 72,05; \quad R^2 = 0,99 \quad (27)$$

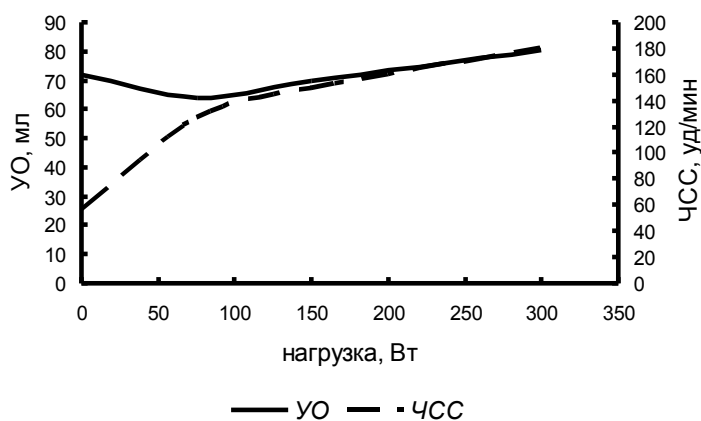
$$\text{ЧСС} \quad y = -0,0016x^2 + 0,8802x + 60,573; \quad R^2 = 0,98 \quad (28)$$

$$\text{VO}_2 \quad y = -5 \times 10^{-6}x^3 + 0,0017x^2 + 0,1469x + 3,05; \quad R^2 = 0,99 \quad (29)$$

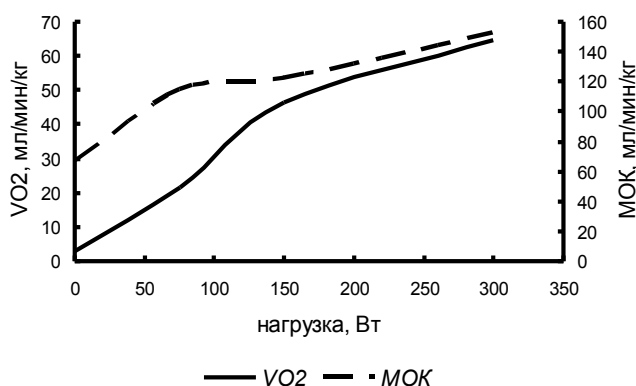
$$\text{МОК} \quad y = 10^{-5}x^3 - 0,0063x^2 + 1,028x + 67,35; \quad R^2 = 0,99 \quad (30)$$



Р и с . 1 3 . Динамика изменения параметров внешнего дыхания при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с высоким уровнем МПК



Р и с . 1 4 . Динамика изменения параметров гемодинамики при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с высоким уровнем МПК



Р и с . 1 5 . Динамика изменения потребления кислорода и минутного объема крови при ступенчато-повышающейся нагрузке в группе с высоким уровнем МПК

Заключение. Анализ полученных результатов показал нелинейный характер изменений параметров внешнего дыхания, гемодинамики и потребления кислорода при различных уровнях МПК в зависимости от мощности ступенчато-повышающейся нагрузки; эти параметры с высокой достоверностью описываются регрессионными уравнениями в виде полиномов 2-й и 3-й степеней. Динамика изменений каждого параметра в зависимости от уровня МПК имеет свои особенности динамики прироста на определенном этапе выполнения ступенчато-возрастающей нагрузки. При низком уровне МПК интенсивность прироста МОК оказывается наиболее существенной до уровня нагрузки 60% от МПК; при умеренном, среднем и хорошем уровнях МПК – до уровня 50% МПК; при высоком уровне – до уровня 40% от МПК. Следует отметить, что увеличение УО при ступенчато-возрастающей нагрузке, по сравнению с состоянием покоя, всех случаях было практически одинаково независимо от уровня МПК.

Вид регрессионных уравнений и значения регрессионных коэффициентов указывают на преобладающее влияние ряда параметров звеньев газотранспортной системы на величину МПК. При низком и хорошем уровнях МПК зависимости VO₂, МОК, УО и ЧСС от величины нагрузки описываются полиномами 2-й степени с наиболее существенными по величине регрессионными коэффициентами в уравнении, описывающем зависимость ЧСС. При умеренном уровне МПК полиномами 3-й степени представлены зависимости величины нагрузки VO₂ и УО, полиномами 2-й степени – зависимости ЧСС и МОК. При среднем уровне МПК полиномом 3-й степени описана зависимость от нагрузки УО, полиномами 2-й степени – зависимости VO₂, МОК и ЧСС. При высоком уровне МПК зависимости VO₂, МОК, УО от величины нагрузки описываются полиномами 3-й степени, ЧСС –

полиномом 2-й степени. Полученные регрессионные уравнения могут использоваться в моделировании процессов адаптации газотранспортной системы к экстремальным нагрузкам.

Список литературы

- Ванюшин Ю.С., Ситдигов Ф.Г.* 1997. Адаптация сердечной деятельности и состояние газообмена у спортсменов к физической нагрузке // Физиол. чел. Т. 23. № 4. С. 69-73.
- Владимирский Б.М.* 1983. Математические методы в биологии. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та. 304с.
- Граевская Н.Д.* 1985. Влияние спорта на сердечно-сосудистую систему. М.: Медицина. 278 с.
- Гусев А.В., Котов Ю.Б., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Эсселевич И.А.* 2007. Исследование динамики высоких физических нагрузок с помощью методов компьютерного тестирования и методов математического моделирования // Информационные технологии и вычислительные системы. №1. С.49-55.
- Гусев А.В., Котов Ю.Б., Орджоникидзе З.Г., Павлов В.И., Эсселевич И.А.* 2009. Об экспертном определении достижения спортсменом предельной нагрузки в ходе тестирования // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Тр. VII междунар. конф. М. С. 438-441.
- Дудник Е.Н., Глазачёв О.С.* 2006. Формализованный критерий респираторно-кардиальной синхронизации в оценке оперативных перестроек вегетативного гомеостаза // Физиол. чел. Т. 32. №4. С. 42-49.
- Карпман В.Л.* 1994. Сердечно-сосудистая система и транспорт кислорода при мышечной работе // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов: юбилейный сб. М.: РГАФК. С. 12-39.
- Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А.* 1974. Исследование физической работоспособности у спортсменов. М.: ФиС. 135 с.
- Карпман В.Л., Меркулова Р.А.* 1994. Производительность сердца при мышечной работе // Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов: сб., посвящ. 25-летию каф. спорт. медицины им. проф. В.Л. Карпмана / РГАФК. М. С. 47-53.
- Меделяновский А.Н.* 1987. Функциональные системы, обеспечивающие гомеостаз // Функциональные системы организма. М.: Медицина. С 77-97.
- Радченко А.С., Борилкевич В.Е., Зорин А.И.* 1997. Оценка эффективности адаптивной реакции при циклической мышечной работе // Теория и практика физической культуры. № 2. С 2-8.
- Розенблат В.В., Малафеева С.Н., Поводатор А.И.* 1985. Два типа адаптации кардиореспираторных показателей человека к физической нагрузке // Физиол. чел. Т.11. № 1. С. 102-106.
- Физиология мышечной деятельности.* 1982 / под ред. Я.М. Коца М.: ФиС. 347 с.
- Эсселевич И.А.* 2008. Выделение различных фаз адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке // Препринт института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. № 39. 20 с.

Эсселевич И.А. 2008. Модели адаптации организма спортсмена к высокой физической нагрузке // Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук: тр. 51-й науч. конф. МФТИ. Ч. 9. Инновации и высокие технологии. М.: МФТИ. С. 13-15.

Юлдашев Р.Р., Войтенко Ю.Л., Балыкин М.В. 2000. Типы реагирования кислородтранспортных систем организма на максимальную физическую нагрузку // Физиология мышечной деятельности: тез. докл. междунар. конф. М. С. 170-172.

DYNAMICS OF PARAMETERS IN DIFFERENT ELEMENTS OF GAS-TRANSPORTING SYSTEM UNDER THE PHYSICAL LOAD IN VARIOUS LEVELS OF AEROBIC CAPACITIES OF THE ORGANISM

S.N. Vinogradov, A.S. Platonov

Ulyanovsk's State University, Ulyanovsk's

Connections between the dynamics of parameters in different elements of gas-transporting system and the level of physical load in individuals with various levels of aerobic capacities have been studied. Shifts in the trends of parameters' changes under the varying consumption of the oxygen are revealed; corresponding regression equations were built.

Keywords: *gas-transporting system, stepwise increasing load, maximal oxygen consumption, the regression equation.*

Об авторах:

ВИНОГРАДОВ Сергей Николаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии труда и спорта, ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», 432017, Ульяновск, ул. Л. Толстого, д. 42, e-mail: serzg.vi@yandex.ru.

ПЛАТОНОВ Александр Сергеевич – аспирант кафедры адаптивной физической культуры, ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», 432017, Ульяновск, ул. Л. Толстого, д. 42, e-mail: serzg.vi@yandex.ru.

Виноградов С.Н. Динамика показателей звеньев газотранспортной системы при физической нагрузке при различных уровнях аэробных возможностей организма / С.Н. Виноградов, А.С. Платонов // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2014. № 1. С. 25-39.