

## ВЕНТИЛЯТОРНАЯ РЕАКЦИЯ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ НА СКОРОСТНУЮ И СИЛОВУЮ ЦИКЛИЧЕСКУЮ МЫШЕЧНУЮ РА- БОТУ С УМЕРЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ

М.А. Папин

*У 10 молодых мужчин изучена динамика показателей вентиляции легких и газообмена при выполнении циклической работы на велоэргометре умеренной мощности с различным темпом педалирования. Показано, что скоростная работа ног сопровождается большими изменениями показателей вентиляции легких, чем силовая, в то время как показатели газообмена существенно не различаются.*

Известно, что в различных условиях жизнедеятельности организма механизмы регуляции дыхания с целью сохранения газового гомеостаза в каждый конкретный момент приводят объем вентиляции легких в соответствие с интенсивностью метаболизма, в том числе и при выполнении умеренной мышечной работы. Экспериментально доказано, что прирост объема вентиляции при циклической работе (в пределах до 225 Вт), как правило, прямо пропорционален ее мощности [1]. При интенсивной работе учащение дыхательных циклов преобладает над увеличением дыхательного объема, который может даже уменьшаться. Общепринято, что механизм, запускающий и поддерживающий объем вентиляции на уровне, соответствующем интенсивности работы, имеет нейрогенную природу, и одним из стимулов в основе этого механизма являются сигналы от проприоцепторов работающих мышц [5;9]. Однако следует понимать, что циклическая работа одной и той же мощности может быть различной по характеру – скоростной или силовой.

В связи с этим *целью* исследования явилось изучение особенностей реакций системы дыхания и газообмена на циклическую мышечную работу, обусловленных характером ее выполнения – скоростным (с высоким темпом выполнения и меньшим усилием) или силовым (с большим усилием, но с меньшим темпом).

**Методика.** Во всех сериях исследования приняли участие 10 практически здоровых мужчин 19-27 лет, не занимающихся систематически спортом, но соблюдающих активный двигательный режим. Для каждого испытуемого порядок серий определялся рандомизированно. Перед основными исследованиями все испытуемые участвовали в серии пробных экспериментов с целью привыкания к экспериментальной обстановке.

В качестве нагрузки была избрана работа на велоэргометре (КЕ-11) на протяжении 5 мин с умеренной мощностью 60 Вт с темпом педалирования – 75 об/мин (скоростная работа) и 45 об/мин (силовая работа).

В каждой серии исследования параметры вентиляции легких и газообмена регистрировались в исходном состоянии, на 5-й мин работы, 1-й и 5-й мин восстановления. Во всех сериях исследования регистрировались следующие параметры вентиляции легких и газообмена: частота дыхания ( $f$ ), дыхательный объем ( $V_T$ ), минутный объем вентиляции легких ( $\dot{V}$ ), парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе ( $P_{ACO_2}$ ), степень оксигенации артериальной крови ( $SaO_2$ ). Кроме того, рассчитывалось потребление кислорода ( $\dot{V}O_2$ ) и коэффициент по-

требления кислорода ( $k \dot{V}O_2$ ). Потребление кислорода рассчитывалось по сумме разностей между объемами вдохов и выдохов в пересчете за минуту.

Коэффициент потребления кислорода рассчитывался как отношение количества потребляемого кислорода ( $\dot{V}O_2$ , мл/мин) за минуту к минутному объему вентиляции ( $\dot{V}$ , л) [5].

При статистической обработке экспериментального материала были вычислены средняя арифметическая ( $M$ ), ошибка средней арифметической ( $\pm m$ ). Достоверность различий изучаемых параметров определялась методом расчета значения критерия  $Z$  Вилкоксона (для сопряженных рядов) по В.Ю. Урбаху [6].

**Результаты исследования и их обсуждение.** В исходном состоянии оперативного покоя показатели дыхания и газообмена были в пределах нормы: минутный объем вентиляции легких ( $\dot{V}$ ) составил  $10,3 \pm 0,5$  л/мин, дыхательный объем ( $V_T$ ) –  $764 \pm 43$  мл, частота дыхания ( $f$ ) –  $13,7 \pm 0,7$  цикл/мин; объем потребления кислорода ( $\dot{V}O_2$ ) –  $303 \pm 5$  мл/мин, коэффициент потребления кислорода ( $k \dot{V}O_2$ ) –  $29,9 \pm 1,4$  мл/л. Параметры газообмена ( $PACO_2$  и  $SaO_2$ ) также были в пределах нормы (таблица).

Скоростная работа, выполняемая с темпом педалирования 75 об/мин, сопровождалась типичными для циклической работы такой мощности изменениями показателей вентиляции. К 5-й мин работы объем вентиляции ( $\dot{V}$ ) увеличился до  $35,6 \pm 2,8$  л/мин, дыхательный объем ( $V_T$ ) – до  $1827 \pm 54$  мл, частота дыхания ( $f$ ) – до  $19,4 \pm 1,3$  цикл/мин. При этом количество потребляемого кислорода ( $\dot{V}O_2$ ) увеличилось до  $1164 \pm 39$  мл/мин, и соответственно коэффициент потребления кислорода ( $\dot{V}O_2/\dot{V}$ ) – до  $34,8 \pm 3,6$  мл/л/мин. Работа сопровождалась увеличением  $PACO_2$  до  $39,4 \pm 0,4$  мм. рт. ст. и снижением  $SaO_2$  до  $91,5 \pm 0,3$  % (таблица).

Силовая работа той же мощности, выполняемая с темпом педалирования 45 об/мин, сопровождалась меньшими сдвигами параметров вентиляции легких. Минутный объем вентиляции ( $\dot{V}$ ) увеличился до  $27,6 \pm 1,1$  л/мин; дыхательный объем ( $V_T$ ) – до  $1478 \pm 46$  мл, частота дыхания ( $f$ ) – до  $18,8 \pm 1,0$  цикл/мин. При этом потребление кислорода составило  $1071 \pm 41$  мл/мин, что существенно не отличалось от потребления кислорода при скоростной работе.

Восстановление параметров вентиляции легких после выполнения работы с темпом педалирования 75 об/мин происходило несколько менее интенсивно, чем после работы с темпом педалирования 45 об/мин (таблица).

Исследование показало, что скоростная работа сопровождается большими изменениями показателей вентиляции легких, чем силовая, в то время как показатели газообмена и потребления кислорода существенно не различаются. Поэтому коэффициент потребления кислорода оказывается незначительно выше при силовой работе, чем при скоростной. Этот факт можно объяснить тем, что скоростная работа (с большим темпом педалирования и меньшим усилием давления на педали) сопровождается более выраженным возбуждением проприоцепторов работающих мышц – основных источников нейрогенного стимула дыхания [2;8], что и приводит к более интенсивной вентиляторной реакции. Факт некоторого увеличения парциального давления двуокиси углерода в альвеолярном газе и незначительной рабочей гипоксемии позволяет полагать, что при работе в устойчивом состоянии в регуляции дыхания участвует и гуморально-рефлекторный механизм, направленный на приведение объема вентиляции в соответствие с химизмом внутренней среды организма. Это положение подтверждается и тем, что сразу после окончания

Динамика показателей вентиляции легких и газообмена в условиях циклической мышечной работы с мощностью 60 Вт и темпом педалирования 75 об/мин (I), 45 об/мин (II) и в процессе восстановления ( $M \pm m$ )

Параметры	Темп педалирования, об/мин	Исходное состояние	Работа (5-я мин)		Восстановление			
			4	p< 3-4 5	1-я мин	p< 3-6 7	5-я мин	p< 3-8 9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\dot{V}$ , л/мин	75	10,3±0,5	35,6±2,8	0,01	24,2±2,5	0,05	11,2±0,7	0,05
	45	10,3±0,4	27,6±1,1*	0,01	19,7±1,1	0,01	10,9±0,4	
$V_T$ , мл	75	764±43	1827±54	0,01	1323±110	0,01	819±78	
	45	736±57	1478±46**	0,01	1140±58	0,01	748±52	
f, цикл/мин	75	13,7±0,7	19,4±1,3	0,01	18,2±0,7	0,01	14,1±0,8	
	45	14,3±0,7	18,8±1,0	0,01	17,4±0,9	0,01	15,0±1,1	0,05
$\dot{V} O_2$ , мл/мин	75	303±5	1164±39	0,01	984±54	0,01	306±9	
	45	287±11	1071±41	0,01	761±32	0,01	270±13	
k $\dot{V} O_2$ , мл/л	75	29,9±1,4	34,8±3,6		44,3±5,6		28,1±2,0	
	45	28,4±1,6	39,6±2,7	0,05	39,3±2,2	0,05	25,3±1,6	
SaO <sub>2</sub> , %	75	96,0±0,0	91,5±0,3	0,01	91,7±0,3	0,01	93,8±0,2	0,01
	45	96,0±0,0	91,2±0,5	0,01	91,2±0,3	0,01	92,8±0,5	0,01
PACO <sub>2</sub> , мм. рт. ст.	75	36,0±0,5	39,4±0,4	0,01	38,1±0,4	0,01	36,6±0,4	
	45	36,4±0,5	39,9±0,5	0,01	39,0±0,5	0,01	36,7±0,4	

Примечание. Степень достоверности различий показателей дыхания и газообмена при скоростной и силовой работе: \* – P<0,05, \*\* – P<0,01.

работы, когда стимуляция дыхания от проприоцепторов работавших мышц прекращается, объем вентиляции оказывается значительно выше исходного и даже за 5 мин не восстанавливается до исходных величин. Таким образом, дыхательная реакция на мышечную работу зависит не только от ее мощности, но и от скоростного или силового характера ее выполнения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барер А.С., Гноевая Н.К. Некоторые закономерности регуляции внешнего дыхания при физической нагрузке // Космич. биология и авиакосмич. медицина. 1971. Т.5, № 2. С. 82-86
2. Бреслав И. С., Исаев Г. Г., Шмелева А. М. К механизму быстрого нейрогенного компонента реакции дыхания на мышечную работу // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1976. Т. 74, № 11. С. 1283-1285.
3. Данько Ю.И., Евдокимова Т.А. Вработывание кардиореспираторной системы при физических упражнениях силового и скоростного характера // Физиологическая и биохимическая характеристика скоростно-силовых и сложнокоординированных спортивных упражнений: Тез. докл. XV Всесоюз. науч. конф. по физиологии и биохимии спорта. М., 1976. С.47.
4. Исаев Г.Г. Регуляция паттерна дыхания при мышечной деятельности в условиях нормальной и измененной хеморецепторной стимуляции // Физиол. журн. СССР. 1983. Т. 69. С. 472-480.
5. Исаев Г.Г. Регуляция дыхания при мышечной деятельности. Л., 1990.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., 1973.
7. Миняев В.И. Произвольное управление дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб., 1994. С. 500-523.
8. Могендович М.Р. Рефлекторное взаимодействие локомоторной и висцеральной систем. Л., 1957.
9. Сафонов В.А., Миняев В.И., Полунин И.Н. Дыхание. М., 2000.
10. Шик Л.Л. Основные черты управления дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб., 1994. С. 342-354.

#### THE VENTILATORY RESPONSE OF THE RESPIRATION SYSTEM TO THE VELOCITY AND POWER CYCLIC MUSCLE WORK WITH MODERATE VIGOR

**M.A. Papin**

*At 10 young men dynamics of parameters of ventilation lungs and gas exchange is investigated at performance of cyclic work on bicycle ergometer of moderate vigor. It is shown, that the velocity work of legs is accompanied by major changes of parameters of ventilation mild, than power, while the parameters of a gas exchange essentially do not differ.*