

**УДК: 612.2: 612.766.1**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ $P_{ACO_2}$ ВО ВРЕМЯ ИНТЕНСИВНОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Найдич С.И.*

*РВУЗ «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь, Украина  
E-mail: tournesi@rambler.ru*

Изучались функции внешнего дыхания у спортсменов высокой и низкой квалификации во время работы на велоэргометре до полного утомления. Выявлено, что достоверным прогностическим параметром функционального состояния внешнего дыхания и аэробных возможностей человека является величина  $P_{ACO_2}$  — чем больше возрастает  $P_{ACO_2}$  при стандартной нагрузке или чем позже он снижается при максимальной нагрузке, тем выше уровень работоспособности и аэробных возможностей организма человека.

**Ключевые слова:** мышечная деятельность, работоспособность, внешнее дыхание.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, одной из основных физиологических систем организма, определяющих уровень его работоспособности, является дыхательная система [1, 2]. Поэтому, изучение функций внешнего дыхания во время мышечной деятельности является актуальным вопросом спортивной практики.

Изменения внешнего дыхания при мышечной деятельности различной интенсивности детально проанализированы в целом ряде изданий по физиологии труда и спорта, однако изучалась в основном взаимосвязь внешнего дыхания с процессом обеспечения организма кислородом [3-5], а процесс накопления и выведения метаболической углекислоты исследовалось недостаточно [6, 7]. С целью получения новых экспериментальных данных по данной тематике и были проведены настоящие исследования.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследованиях принимали участие спортсмены-велосипедисты низкой (16 человек) и высокой (16 человек) квалификаций. Они выполняли работу на велоэргометре ВЭ-02 со ступенчато-возрастающей (каждая ступенька 3 минуты) мощностью до полного утомления. В конце подсчитывался общий объем выполненной работы. В ходе работы определялась частота сердечных сокращений (ЧСС). На 3-й и 20-й минутах восстановления определяли показатели кислотно-основного состояния (КОС) крови в капиллярной крови методом эквивалентности на микроанализаторе ОР-210/3. По номограмме находили напряжение углекислого газа в крови ( $pCO_2$ ), количество буферных оснований (ВВ), концентрацию нелетучих

кислот (BE), общее количество химически связанного и физически растворенного углекислого газа ( $tCO_2$ ).

Во всех обследованиях функции внешнего дыхания изучались в открытой системе методом Дугласа-Холдена. С помощью химического газоанализатора определяли концентрацию  $CO_2$  и  $O_2$  в выдыхаемом и альвеолярном воздухе. По общепринятой методике рассчитывали потребление кислорода, выделение углекислого газа, дыхательный коэффициент, парциальное давление углекислого газа и кислорода в альвеолярном воздухе, кислородный пульс. Дыхательные объемы приводились к альвеолярным условиям (BTPS), а показатели газообмена — к условиям стандартной атмосферы (STPD).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Напряженная мышечная деятельность приводила к значительным функциональным сдвигам в организме испытуемых. Частота дыхания увеличивалась до  $46,6 \pm 1,8$  ц/мин ( $p < 0,001$ ), а легочная вентиляция — до  $122,8 \pm 2,2$  л/мин ( $p < 0,001$ ). Вследствие этого потребление кислорода возрастало до  $4,07 \pm 0,18$  л/мин ( $p < 0,001$ ), а выделение углекислого газа — до  $3,89 \pm 0,16$  л/мин ( $p < 0,001$ ). Дыхательный коэффициент при этом повышался с  $0,819 \pm 0,005$  до  $0,955 \pm 0,01$  отн.ед. ( $p < 0,001$ ). Частота сердечных сокращений возрастала до  $190,7 \pm 1,2$  уд/мин ( $p < 0,001$ ). Сдвиги кислотно-основного состояния крови характеризовались снижением pH до  $7,090 \pm 0,001$  усл.ед. ( $p < 0,001$ ), накоплением нелетучих кислот до  $20,1 \pm 0,6$  ммоль/л ( $p < 0,001$ ), и снижением  $pCO_2$  капиллярной крови до  $42,8 \pm 0,8$  гПа ( $p < 0,001$ ).

Полученные результаты показывают, что при максимальной нагрузке во время работы на велоэргометре наблюдалась гипервентиляция легких, свидетельствующая о возникновении функциональной недостаточности внешнего дыхания организма спортсменов. Одновременно с этим отмечалось значительное снижение  $P_{aCO_2}$ , указывающее на «вымывание» метаболической углекислоты из организма, что согласуется с данными ряда исследователей [6, 7]. Наблюдение за изменением  $P_{aCO_2}$ , во время работы на велоэргометре выявило его характерные особенности (рис. 1).

Полученные данные свидетельствуют о том, что в начале мышечной деятельности возрастает содержание углекислого газа в организме, так как усиление окислительных реакций сопровождается ростом продукции  $CO_2$ . При максимальных нагрузках одновременно с развитием гипервентиляции легких отмечалось значительное снижение  $P_{aCO_2}$ , свидетельствуя о «вымывании» метаболической углекислоты, поскольку величина парциального давления  $CO_2$  в альвеолярном воздухе отображает уровень углекислоты в организме. Проведенный корреляционный анализ показал, что уменьшение эндогенного  $CO_2$  является одним из параметров, определяющих уровень физической работоспособности человека во время интенсивной мышечной работы, поскольку  $P_{aCO_2}$  при максимальной нагрузке достоверно коррелирует с величиной максимального потребления кислорода ( $r = 0,693$ ,  $p < 0,01$ ), кислородным пульсом ( $r = 0,789$ ,  $p < 0,01$ ) и объемом выполненной работы ( $r = 0,724$ ,  $p < 0,01$ ). По-видимому, лимитирующая роль эндогенного  $CO_2$  заключается в снижении регуляторного воздействия углекислоты

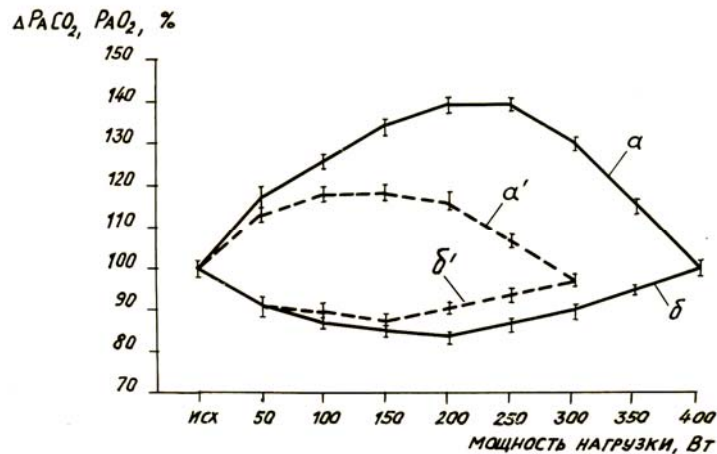


Рис. 1. Динамика  $PACO_2$  (а, а') и  $PAO_2$  (б, б') в % от исходного уровня у спортсменов высокой (сплошная линия) и низкой (пунктирная линия) квалификации во время работы на велоэргометре.

на дыхание и кровообращение [5, 8], изменении процесса диссоциации оксигемоглобина [9], уменьшении бикарбонатной буферной емкости крови [7, 10]. В наших исследованиях у спортсменов высокой квалификации, характеризующихся большим увеличением  $PACO_2$  и его снижением при более высокой мощности нагрузки, объем выполненной работы был на 24,2% больше ( $p < 0,01$ ), чем у малотренированных лиц. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляционная взаимосвязь ( $r = -0,870$ ,  $p < 0,01$ ) между величиной прироста альвеолярной вентиляции и уровнем падения напряжения  $CO_2$  в альвеолярном воздухе, что свидетельствует о более эффективном газообмене спортсменов высокой квалификации. При этом у спортсменов высокой квалификации наряду с более высокими значениями  $PACO_2$  и альвеолярной вентиляции отмечались и более низкие величины  $PAO_2$ , характеризующая лучшую оксигенацию артериальной крови спортсменов. В то же время наблюдалась и достоверная корреляция динамики  $PACO_2$  у спортсменов высокой квалификации с величинами количества буферных оснований (ВВ) и концентрацией нелетучих кислот (ВЕ).

Таким образом, аэробные возможности человека при интенсивных физических упражнениях связаны с уровнем элиминации  $CO_2$  о чем свидетельствует падение напряжения  $CO_2$  в альвеолярном воздухе и артериальной крови.

### ВЫВОДЫ

1. Определение  $PACO_2$  в процессе выполнения физических упражнений является важным прогностическим параметром функционального состояния системы внешнего дыхания и аэробных возможностей человека.
2. Величину парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе можно использовать как метод определения функционального состояния

системы внешнего дыхания и отбора лиц с высокими аэробными возможностями, регистрируя значения P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> до и после физической нагрузки. Чем больше возрастает P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> при стандартной нагрузке или чем позже он снижается при максимальной нагрузке, тем выше уровень работоспособности и аэробных возможностей организма человека.

### Список литературы

1. Михайлов В.В. Дыхание спортсмена / Михайлов В.В. – М.: ФИС, 1983. – 103 с.
2. Евгеньева Л.Я. Дыхание / Евгеньева Л.Я. – Киев: Здоровье, 1974. – 102 с.
3. Коц Я.М. Физиология мышечной деятельности / Коц Я.М. – М., ФИС, 1982. – 347 с.
4. Борилкевич В.Е. Физическая работоспособность в экстремальных условиях мышечной деятельности / Борилкевич В.Е. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – 10 с.
5. Агаджанян Н.А. Функции организма в условиях гипероксии и гиперкапнии / Н.А. Агаджанян, А.И. Елфимов – М.: Медицина, 1986. – 272 с.
6. Ханларова Т.А. Об особенностях баланса CO<sub>2</sub> при физической нагрузке у здоровых нетренированных людей / Т.А. Ханларова // Физиология человека. – 1983. – №1. – С. 103–107.
7. Красников Н.П. Значение газообменной функции легких и кислотно-основного состояния крови в механизме повышения работоспособности и развития мышечного утомления : автореф. дисс. док. биол. наук / Н.П. Красников – М., 1995. – 37 с.
8. Маршак М.Е. Физиологическое значение углекислоты / Маршак М.Е. – М.: Медицина, 1969. – 143 с.
9. Иржак Л.И. Гемоглобин и его свойства / Иржак Л.И. – М.: Наука. 1975. – 240 с.
10. Gollnick P.D. Biochemical adaptation to exercise: anaerobic metabolism / P.D. Gollnick, L. Hermansen // Exercise and Sports Sciences Reviews New York. – 1973. – vol.1. – P. 1–43.

**Найдич С.І.** Дослідження динаміки P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> під час інтенсивних фізичних вправ / С.І. Найдич // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62). – № 1. – С. 80-83.

Досліджувались функції зовнішнього дихання у спортсменів високої та низької кваліфікації під час роботи на велоергометрі до повної втоми. Виявлено, що аеробні можливості людини під час інтенсивних фізичних вправ залежать від рівня елімінації CO<sub>2</sub> та зменшення загальної кількості вуглекислоти в організмі людини, про що свідчить падіння напруги CO<sub>2</sub> в альвеолярному повітрі та артеріальній крові. Достовірним прогностичним параметром функціонального стану зовнішнього дихання та аеробних можливостей людини є величина P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> — чим вона більша під час стандартної навантаження або чим пізніше вона знижується під час максимальної навантаження, тим вище рівень працездатності та аеробних можливостей людини.

**Ключові слова:** м'язова діяльність, працездатність, зовнішнє дихання

**Naidych S.I.** Research of dynamics P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> during intensive muscular activity / S.I. Naidych // Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – V.23 (62). – № 1. – P. 80-83.

The research was carried out on the exterior breathing functions of high and low qualified sportsmen during their work on the cycle-ergometer up to gull fatigue. It was revealed that in intensive physical exercise the human aerobic capability depends on the elimination of CO<sub>2</sub> and lowering of the general quantity of carbon dioxide level in the body, that is understood from the carbon dioxide level in the alveolar air and arterial blood getting low. The verified prognostic parameter of the functional condition of the exterior breathing and human aerobic capability is P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub>. The higher is P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> under standard work, or the later it decreases under maximum work, the higher is the level of work capacity and aerobic capability of the human body.

**Keywords:** muscle's activity, work capacity, exterior breathing.

*Поступила в редакцію 13.04.2010 г.*