

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кадыков А.С. Реабилитация неврологических больных / А.С. Кадыков, Л.А. Черникова, Н.В. Шапаронова. – М.: МЕДпресс-информ, 2009. – 560 с.
2. Хобзей Н.К. Эпидемиология инсульта, клинические и экспертные аспекты в Украине / [Н.К. Хобзей, Т.С. Мищенко, В.А. Голик, А.В. Ипатов] // Судинні захворювання головного мозку. – 2010. - №4. - С. 2.
3. Cordonnier C. Stroke: the bare essentials / Cordonnier C., Leys D. // Practical Neurology. – 2008. - № 8. – P. 263-272.
4. ESO-Guidelines for Management of Ischaemic Stroke / [Ringleb P., Bousser M., Ford G. et al.] – 2008. – P.120.

УДК 612.22:796.015.6:612.216

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПА РАБОЧЕГО ГИПЕРПНОЭ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Сафронова Н.С., к.б.н., доцент

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского*

Показано, что у здоровых нетренированных лиц при выполнении физической нагрузки формируются различные типы рабочего гиперпноэ: изокапнический, гиперкапнический, гипокапнический. Обследуемым с гипокапническим типом соответствует наименее эффективный режим деятельности дыхательной системы и низкие показатели физической работоспособности. Данный факт следует учитывать при разработке программ респираторной коррекции.

*Ключевые слова: легочная вентиляция, углекислый газ, физическая работоспособность*

Сафронова Н.С. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТИПУ РОБОЧОГО ГІПЕРПНОЕ ПРИ ВИКОНАННІ ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ / Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, Україна.

Показано, що у здорових нетренованих осіб при виконанні фізичного навантаження формуються різні типи робочого гіперпное: ізокапнічний, гіперкапнічний, гіпокапнічний. Обстежуваним з гіпокапнічним типом відповідає найменш ефективний режим діяльності дихальної системи і низькі показники фізичної працездатності. Даний факт слід враховувати при розробці програм респіраторної корекції.

*Ключові слова: вентиляція легенів, вуглекислий газ, фізична працездатність*

Safronova N.S. PECULIARITIES OF FORMING OF TYPE OF WORKER HYPERPNEA DURING MUSCLAR EXERCISE / TAURIDA NATIONAL V.I. VERNADSKY UNIVERSITY

It is shown, that the different types of worker hyperpnea: normocapnic, hypercapnic, hypocapnic type, at the healthy untrained persons during physical exercise are formed. Hypocapnic type persons have the least effective mode of the respiratory system activity and low indexes of physical capacity. It is necessary to take into account this fact at the composition of respirator correction programs.

*Key words: ventilation of lungs, carbon dioxide, physical capacity*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Несмотря на достигнутые успехи в области современной респираторной реабилитации и респираторной тренировки, решение ряда вопросов по данному направлению так и остается открытым. Особого внимания заслуживает проблема выбора оптимального способа воздействия в каждом конкретном случае восстановления, профилактики либо совершенствования дыхательной функции у людей с ее расстройствами, а также расширения функциональных резервов респираторной системы спортсменов и здоровых нетренированных лиц [1-4]. На сегодняшний день среди огромного количества методов, основанных на использовании дыхательных упражнений, как с применением различных аппаратов, так и без них, невозможно выработать четкую стратегию респираторной коррекции без выявления индивидуальных особенностей и оценки резервных возможностей дыхательной системы организма человека. Это становится реальным благодаря широкому внедрению в практику диспансеризации населения современных инструментальных методов исследования в сочетании с доступными функциональными тестами [5].

Учитывая важную роль углекислоты в гуморальной регуляции физиологических процессов и ее диагностическое значение при различных патологических состояниях, является обоснованным при планировании респираторных воздействий количественное изучение динамики  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе не только в состоянии покоя, но и при выполнении нагрузочного тестирования [6]. Отдельные работы в данном направлении не дают полного представления о направленности сдвигов  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$  во время физической работы различной мощности, о взаимосвязи парциального давления углекислого газа в альвеолах и физической работоспособности организма [7, 8]. Основываясь на исследованиях ряда авторов, можно предположить, что характер вентилляторных и газообменных реакций при физической нагрузке имеет индивидуальные особенности, выявление которых не утратило актуальности и в настоящее время [9, 10].

В этой связи целью данной работы стало выявление особенности формирования типа рабочего гиперпноэ при физической нагрузке у здоровых нетренированных лиц.

## МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами было обследовано 28 практически здоровых молодых людей, не занимающихся спортом, в возрасте 18-21 года. При помощи приборов с компьютерной обработкой данных Спиро-тест-РС, «КП-01», «Щит-3-1-6» изучалась динамика следующих показателей: минутного объема дыхания ( $V_E$ , л\*мин<sup>-1</sup>), дыхательного объема ( $V_T$ , л), частоты дыхательных движений ( $f$ , цкл\*мин<sup>-1</sup>), парциального давления углекислого газа и кислорода в альвеолярном воздухе ( $P_{\text{A}}\text{CO}_2$ , мм рт.ст.,  $P_{\text{A}}\text{O}_2$ , мм рт.ст.). Исследования проводились в состоянии покоя и при выполнении велоэргометрического теста со ступенчато-повышающейся мощностью работы, начиная от 50 Вт и до 250 Вт. Время работы на каждой ступени при скорости педалирования 60 об\*мин<sup>-1</sup> составляло 3 минуты. Определялась физическая работоспособность обследуемых ( $W$ , Вт\*кг<sup>-1</sup>). Полученные результаты были обработаны статистически с использованием  $t$ -критерия Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты капнографических и спирографических проб практически здоровых молодых мужчин, полученные в состоянии относительного покоя, в основном, соответствовали данным, приводимым в современной литературе и предыдущих собственных исследованиях [11, 12]. Так, зарегистрированные показатели  $V_E$  варьировали от 8,1 л/мин до 15,5 л/мин. Среднее значение по группе равнялось 12,7 л/мин и свидетельствовало о повышенном уровне легочной вентиляции обследуемых, обусловленном, в большинстве случаев, тахипноическим типом дыхания. При этом диапазон  $V_T$  составил 0,4–1,0 л. Однако, величины парциального давления  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе, находились в пределах физиологической нормы и не позволили нам констатировать состояние гипервентиляции даже у отдельных испытуемых. Далее для более глубокого анализа индивидуальных особенностей капнодинамики было проведено нагрузочное тестирование.

Известно, что мышечная работа сопровождается интенсификацией метаболических процессов и смещением гомеостаза. При этом адаптационные реакции дыхательной системы, направленные на поддержание относительного постоянства кислотно-щелочного и газового состава артериальной крови, имеют как общие, так и индивидуальные черты и детерминированы не только тренированностью, но рядом других факторов. Адекватность протекания данных процессов, в определенной степени, характеризуется содержанием углекислого газа в альвеолах [6, 13].

Анализ динамики показателей легочной вентиляции и  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$  во время выполнения работы ступенчато-повышающейся мощности позволил выделить по принципу гомеостатических особенностей рабочего гиперпноэ три группы обследуемых: 1-я с изокапническим типом легочной вентиляции, при котором сохранялось постоянство  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$ ; 2-я группа с гиперкапническим типом, при котором  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$  с возрастанием тяжести нагрузок увеличивалось и 3-я группа с гипокапническим типом, при котором величина  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$  снижалась [7].

Кроме того, в каждой группе отмечалась двухфазная реакция изучаемого параметра в ответ на физическую нагрузку. Первая фаза заключалась в том, что при выполнении работы малой мощности в 50 Вт у всех испытуемых регистрировался прирост показателя  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$ , причем наиболее выраженный у лиц с гиперкапническим типом рабочей вентиляции. Затем, независимо от дальнейшего повышения нагрузки, у них и у обследуемых с изокапническим типом установился относительно постоянный уровень альвеолярного углекислого газа, так называемое «плато». Однако абсолютные величины  $P_{\text{A}}\text{CO}_2$  внутри групп значительно отличались. Если в 1-ой группе значения показателя варьировали от 43 до 48 мм рт.ст., то во 2-ой они находились в пределах 52–55 мм рт.ст. Иная картина наблюдалась у испытуемых с гипокапническим типом вентиляции. Уже на ступени нагрузки в 100 Вт отмечалось резкое падение парциального давления  $\text{CO}_2$  в альвеолах до 33,3 мм рт.ст. с его дальнейшим понижением до 24,7 мм рт.ст. в момент прекращения пробы. В то же время на фоне разнонаправленной динамики показателей углекислого газа, средние величины минутного объема дыхания между группами достоверно не отличались, как и значения показателя  $P_{\text{A}}\text{O}_2$  в состоянии покоя и на всех ступенях нагрузки.

Следовательно, практически одинаковый уровень легочной вентиляции у представителей трех типов рабочего гиперпноэ обеспечивался различными звеньями функциональной системы, ответственной за поддержание оптимальных для метаболизма величин дыхательных параметров. Данный факт может найти свое объяснение на основании теории систем мультипараметрического регулирования, где отклонение одного из компонентов обуславливает перераспределение степени участия остальных с целью обеспечения эффективной деятельности всей системы. Вероятно, что тип рабочего гиперпноэ определяется многими факторами как центрального, так и эффекторного происхождения [15]. При этом немаловажное значение имеют степень вентиляторной чувствительности к гиперкапническому и гипоксическому стимулу, индивидуальные особенности биомеханики и паттерна дыхания, характер протекания метаболических процессов при физической нагрузке [10, 14, 16].

Во время мышечной работы наименьшая чувствительность дыхательного аппарата к  $\text{CO}_2$  наблюдалась у обследуемых 2-й группы, о чем свидетельствует представленная на рис. 1 динамика отношения величины легочной вентиляции к уровню углекислого газа в альвеолах ( $V_E/P_{A\text{CO}_2}$ ). При этом отчетливо проявлялась ведущая роль объемного компонента по сравнению с частотным (рис. 2). Так, значения параметра  $V_T$  на протяжении тестирующей работы возросли в 3,2 раза на ступени мощностью в 200 Вт, ( $p < 0,001$ ), и в 3,7 раз, на ступени в 250 Вт, ( $p < 0,001$ ), тогда как показателя  $f$  в 1,6 раз, ( $p < 0,001$ ), и в 1,7 раз, ( $p < 0,001$ ), соответственно.

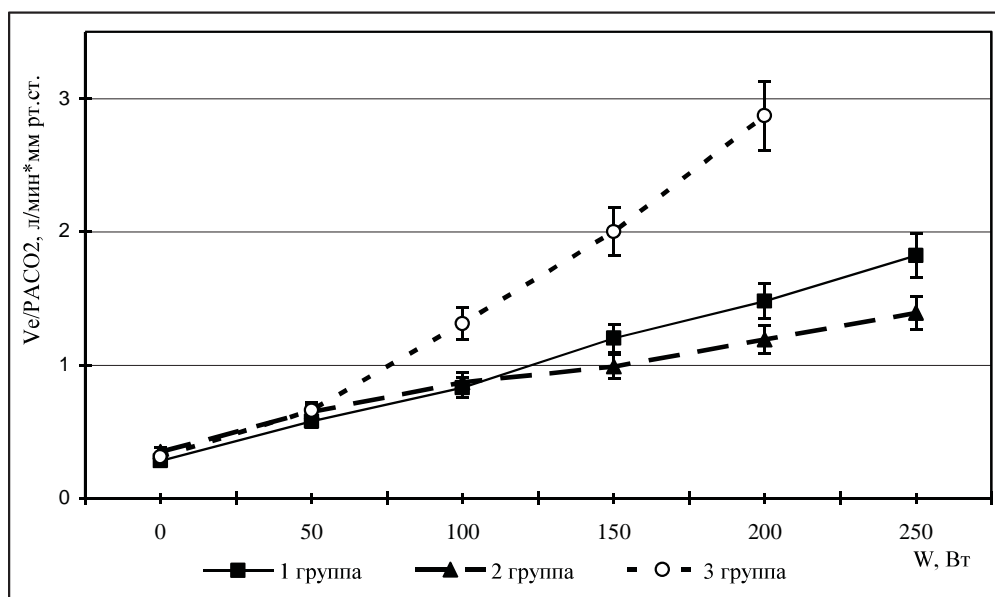


Рис. 1. Динамика показателя  $V_E/P_{A\text{CO}_2}$  у обследуемых 1-й, 2-й и 3-й группы при выполнении работы ступенчато-повышающейся мощности

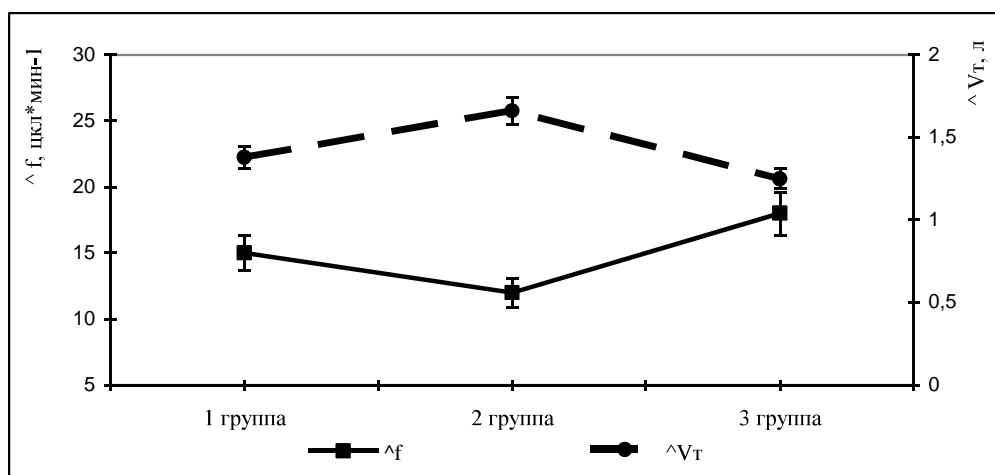


Рис. 2. Прирост ( $\Delta$  0Вт-200Вт) показателей  $f$  и  $V_T$  обследуемых 1-й, 2-й и 3-й группы при выполнении работы ступенчато-повышающейся мощности

Более выраженный вентиляторный ответ на фоне относительного постоянства альвеолярного  $\text{CO}_2$  соответствовал изокапническому типу рабочего гиперпноэ. По сравнению со 2-й группой, как при нагрузке в 200 Вт, так и в 250 Вт отношение  $V_E/P_A\text{CO}_2$  было выше, ( $p<0,05$ ), в основном, за счет увеличения показателя  $f$  в 1,9 раз, ( $p<0,001$ ), и в 2,1 раза, ( $p<0,001$ ), соответственно.

Максимальная вентиляторная реакция проявилась у лиц с гипокапническим типом. У них регистрировались наибольшие значения  $V_E/P_A\text{CO}_2$  в диапазоне нагрузок от 100 до 200 Вт. На ступени теста мощностью в 200 Вт было отмечено повышение дыхательного объема в 2,7 раз, ( $p<0,001$ ), на фоне увеличения частоты дыхания в 2,1 раза, ( $p<0,001$ ).

Обращает на себя внимание факт, что именно у обследуемых 3-й группы были выявлены наиболее низкие значения физической работоспособности по сравнению с остальными. Вероятно, что именно нарастающая от ступени в 100 Вт гипокапния стала лимитирующим фактором продолжения мышечной работы представителями 3 группы. Нагрузку мощностью 250 Вт ни один из них выполнить не смог. Ступень в 200 Вт преодолели пять человек из этой группы (63 %). В конечном итоге, среднее значение показателя  $W$  у лиц с гипокапническим типом гиперпноэ составило  $2,60 \pm 0,10$  Вт/кг, тогда, как в 1-й группе обследуемых –  $2,93 \pm 0,11$  Вт/кг, ( $p<0,05$ ), во 2-ой –  $3,12 \pm 0,10$  Вт/кг ( $p<0,01$ ). При этом все испытуемые с гиперкапническим типом вентиляции сумели выполнить нагрузку в 200 Вт, и четверо из них завершили тестирование на ступени в 250 Вт (36 %). В 1-ой группе обследуемых только один человек прекратил работу после нагрузки в 150 Вт (13 %) и еще четверо после 200 Вт (рис. 3).

Таким образом, формирование у здоровых нетренированных лиц нескольких типов реакций вентиляторного аппарата в ответ на выполнение мышечной работы было связано с различной степенью участия компонентов единой функциональной системы, обеспечивающей оптимальный в данных условиях уровень метаболизма. Необходимо отметить, что наиболее экономичный и эффективный режим деятельности системы соответствовал обследуемым с повышенными или сохраненными относительно состояния покоя величинами альвеолярного  $\text{CO}_2$ . Крайним напряжением приспособительных механизмов сопровождалось выполнение мышечной нагрузки лицами с гипокапнической реакцией дыхательного аппарата. Очевидно, что тип рабочего гиперпноэ является одним из факторов, детерминирующим физическую работоспособность человека.

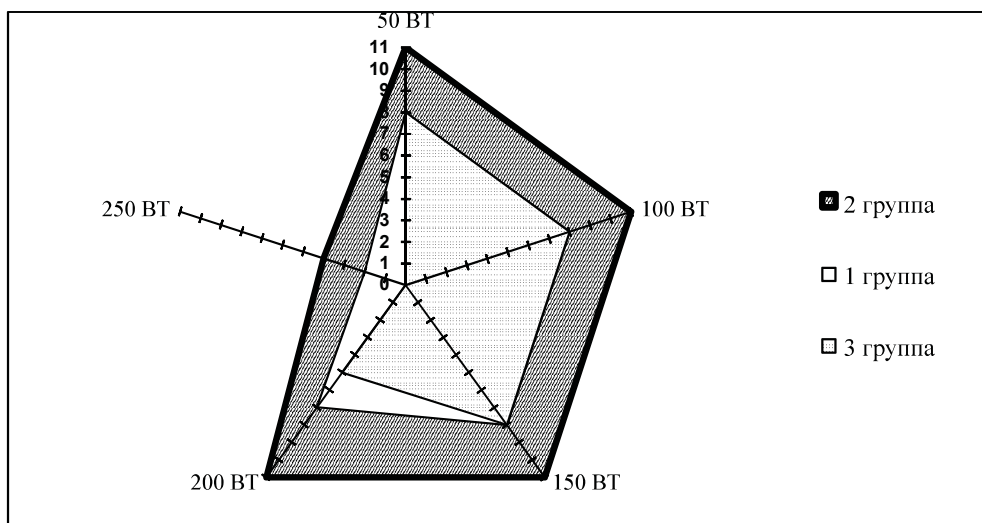


Рис. 3. Толерантность к физической нагрузке обследуемых 1-й, 2-й и 3-й группы

Примечание: 1-11 – количество обследуемых

В этой связи, при составлении программ респираторной тренировки следует учитывать индивидуальные особенности реакций дыхательной системы на физическую нагрузку и целенаправленно осуществлять коррекцию механизмов, формирующих уровень альвеолярного  $\text{CO}_2$  и рабочий паттерн дыхания.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что у здоровых нетренированных лиц формируются различные реакции дыхательной системы в ответ на выполнение физической нагрузки. У одних наблюдается накопление метаболической углекислоты в тканях и повышение  $P_a\text{CO}_2$ , у других отмечается избыточная элиминация  $\text{CO}_2$ , сопровождающаяся развитием гипокапнии, у третьих регистрируется относительное постоянство исходного уровня углекислого газа в течение всей тестирующей работы

2. Виявлено, що більше високі значення фізичної работоспособності відповідають людям з гіперкапінічним і ізокапінічним типом робочого гіперпнозу по порівнянню з гіпокапінічним типом.
3. При розробці респіраторних впливів цілесобразно ухвалювати тип робочого гіперпнозу і оптимізувати механізми його формування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Триняк Н.Г. Управление дыханием и здоровье / Н.Г. Триняк. – К.: Здоров'я, 1991. – 160 с.
2. Зильбер А.П. Респираторная медицина / А.П. Зильбер. – Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1996. – 488 с.
3. Клапчук В.В. Вольове керування диханням як метод респіраторної реабілітації / В.В. Клапчук, С.В. Маргіт'як, В.В. Фетісова // Вісник Запорізького національного університету. – 2011. – № 1 (5). – С. 114-122.
4. Бобрик Ю.В. Клініко-фізіологічне обґрунтування вольового керування диханням при зниженні функціональних резервів зовнішнього дихання та інтенсивних фізичних тренуваннях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. мед. наук: спец. 14.01.24 „Лікувальна фізкультура та спортивна медицина”/ Ю. В. Бобрик . – Дніпропетровськ, 2004. – 20 с.
5. Малявин А.Г. Респираторная медицинская реабилитация: [практическое руководство для врачей] / А.Г. Малявин. – М.: Практическая медицина, 2006. – 416 с.
6. Буков Ю.А. Работоспособность в условиях измененной газовой среды. Кислород, азот, гелий, CO<sub>2</sub> / Ю.А. Буков, Н.П. Красников. – Симферополь, 2008. – 212 с.
7. Кучкин С.Н. Факторы, определяющие эффективность произвольного снижения вентиляции при мышечной работе с использованием инструментальной обратной связи / С.Н. Кучкин // Физиология человека. – 1984. – Т. 10 №4. – С.623-629.
8. Ханларова Т.А. Об особенностях баланса CO<sub>2</sub> при физической нагрузке у здоровых нетренированных людей / Т.А. Ханларова // Физиология человека. – 1983. – Т. 9 №1. – С.103-107.
9. Низовцев В.П. Скрытая дыхательная недостаточность и ее моделирование / В.П. Низовцев. – М.: Медицина, 1978. – 272 с.
10. Исаев Г.Г. регуляция дыхания при мышечной работе / Г.Г. Исаев. – Л.: Наука, 1990. – 120 с.
11. Сафронова Н.С. Некоторые аспекты респираторной реабилитации мигрантов / Н.С. Сафронова, А.В. Фоменко // Ученые записки ТНУ им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – Симферополь, 2010. – Т. 23 (62), №3. – С.136-142.
12. Копейкина Е.Н. Анализ занятий дыхательными упражнениями со студентами с нарушениями в деятельности дыхательной системы / Е.Н. Копейкина А.А. Горелов, О.Г. Румба // Культура физическая и здоровье: науч.-методич. журнал. – Воронеж: Изд-во ВГПУ, 2009. – Вып. 1 (20). – С. 68-72.
13. Филиппов М.М. Условия образования и переноса углекислого газа в процессе мышечной деятельности / М.М. Филиппов // Наука в олимпийском спорте. – 1994. – №1. – С. 73-78.
14. Wasserman K. Breathing during exercise / K. Wasserman // N. Eng. J. Med. – 1978. – Vol. 298. – P. 780-785.
15. Юматов Е.А. Проблема многосвязной регуляции дыхательных показателей (рН, P<sub>O2</sub>, P<sub>CO2</sub>) организма / Е.А. Юматов // Успехи физиол. наук. – 1975. – Т. 6, №4. – С. 34-64.
16. Askanazi J. Influence of exercise and CO<sub>2</sub> on breathing pattern of normal man / J. Askanazi, J. Milic-Emili, J.R. Broell, A.I. Human, J.M. Kinney // J. Appl. Physiol. – 1979. – Vol. 47. – P. 193-196.