

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.2

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ТОРАКАЛЬНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ, ЗАДАННЫХ ПРИ НЕОСОЗНАВАЕМОМ ИНСПИРАТОРНО-ЭКСПИРАТОРНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ

К.Г. Кичатов, Е.А. Белякова

Тверской государственный университет, Тверь

У молодых женщин, произвольно управляющих торакальными дыхательными движениями, изучалась точность воспроизведения заданного дыхательного объема с заранее включенным неосознаваемым добавочным инспираторно-экспираторным сопротивлением. При воспроизведении заданного объема со зрительным контролем и без него на фоне сопротивления точность торакальных движений несколько снижалась по причине возрастания суммарных отклонений. Переключение испытуемых на дыхание без неосознаваемого сопротивления приводило к достоверному увеличению дыхательного объема, как за счет торакальных движений, так и произвольных абдоминальных, обусловленное недостаточно точным воспроизведением заданного усилия испытуемыми.

Ключевые слова: *дыхание, произвольное управление движениями, добавочное сопротивление.*

Введение. Спонтанная вентиляция легких у человека обеспечивается деятельностью двух мышечных групп: диафрагмы и межреберных мышц. В связи с этим условно выделяют торакальный (грудной) и абдоминальный (брюшной) компоненты системы дыхания как относительно самостоятельные части дыхательного аппарата, которые включают в себя центральный дыхательный механизм, эффекторы, афферентное звено (Kamide et al., 1987; Дьяченко и др., 2007; Миняев и др., 2007, 2010). Экспериментально доказано, что при спонтанном дыхании автономные механизмы саморегуляции на основании информации от механорецепторов дыхательного аппарата устанавливают энергетически оптимальное соотношение между глубиной и частотой дыхания (Бреслав, Ноздрачев, 2005), а также между торакальными и абдоминальными вкладами в дыхательный объем.

При некоторых видах профессиональной деятельности, а также при респираторной патологии, вызванной нарушением бронхиальной

проходимости, дыхательные мышцы в момент осуществления дыхательных движений вынуждены преодолевать дополнительное (добавочное) сопротивление, что должно сказываться на паттерне дыхания. Характерно, что при дыхании с осознаваемым добавочным инспираторно-экспираторным сопротивлением (в вертикальном положении) на фоне снижения частоты глубина дыхания компенсаторно увеличивается только за счет увеличения торакального вклада в дыхательный объем, абдоминальный вклад при этом практически не меняется (Миняев и др., 2010). Однако в научной литературе отсутствуют сведения об особенностях управления дыхательными движениями при неосознаваемом респираторном сопротивлении за счет только торакального или только абдоминального компонентов дыхания.

Ранее изучалось влияние инспираторно-экспираторного сопротивления, вызывающего значительное изменение паттерна дыхания (Бреслав, 2009). В настоящем исследовании делается попытка оценить воздействие неосознаваемого инспираторно-экспираторного сопротивления, величина которого достаточна для регистрации ее приборами и для оказания некоторого влияния на паттерн дыхания испытуемого, однако неспособна вызвать реакции дыхательной системы как при дыхании с осязаемым сопротивлением.

В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение особенностей воспроизведения дыхательного объема, заданного на фоне неосознаваемого инспираторно-экспираторного сопротивления у женщин, произвольно управляющих торакальными дыхательными движениями.

Методика. В исследовании приняли участие 10 практически здоровых женщин 18-22 лет (студентки Тверского государственного университета), привычных к экспериментальной обстановке. Перед проведением основных исследований они были обучены разделному грудному и брюшному дыханию в положении стоя.

Испытуемые старались использовать только торакальный компонент дыхания, по возможности исключая абдоминальный, и выполняли следующие функциональные пробы по 10 дыхательных циклов в каждой: 1) дыхание при заданном неосознаваемом инспираторно-экспираторном сопротивлении величиной 8 ± 2 мм водного столба; 2) воспроизведение заданного, близкого к $1V_T$, дыхательного объема со зрительным контролем на фоне сопротивления; 3) воспроизведение заданного объема без зрительного контроля с сопротивлением; 4) продолжение воспроизведения заданного объема без зрительного контроля после незаметного для испытуемых отключения неосознаваемого сопротивления дыханию.

Использовался компьютерный трехканальный безмасочный пневмограф с соответствующим программным обеспечением, позволяющий регистрировать, расшифровывать и анализировать объемные, временные и их производные характеристики дыхания человека, не нарушая его естественного паттерна, а также определять торакальные и абдоминальные составляющие параметров дыхательного цикла.

Для создания неосознаваемого инспираторно-экспираторного сопротивления использовалось специально сконструированное для данного исследования устройство. Величина сопротивления была определена путем проведения предварительных экспериментов.

Учитывались следующие параметры вентиляции легких: частота дыхания (f , цикл/мин), время вдоха (T_I , с), время выдоха (T_E , с), время постэкспираторной паузы (T_P , с), объемная скорость вдоха (\dot{V}_I , мл/с), объемная скорость торакальной ($Th \dot{V}_I$, мл/с) составляющей вдоха, объемная скорость выдоха (\dot{V}_E , мл/с), объемная скорость торакальной ($Th \dot{V}_E$, мл/с) составляющей выдоха, объем вдоха (VT_I , мл), минутный объем вентиляции легких (\dot{V} , л/мин), его торакальная ($Th \dot{V}$, л/мин) и абдоминальная ($Ab \dot{V}$, л/мин) составляющие.

В процессе дыхания с заданной глубиной определялась точность воспроизведения дыхательного объема у каждого испытуемого по средним (в 10 дыхательных циклах) величинам отклонений относительно заданного. Отдельно учитывались ошибки с преувеличением (Δ^+), с преуменьшением (Δ^-) заданного объема, а также суммарное отклонение от уровня заданного объема (Δ). Для более глубокого анализа точности воспроизведения заданных дыхательных объемов аналогичным образом определялись средние величины торакальных ($Th\Delta$, $Th\Delta^-$, $Th\Delta^+$) и произвольных абдоминальных ($Ab\Delta$, $Ab\Delta^-$, $Ab\Delta^+$) ошибок.

Результаты исследований статистически обработаны в программе Microsoft office Excel 2003. Достоверность различий параметров определялась методом Вилкоксона (для сопряженных рядов).

Результаты и обсуждение. Анализ результатов исследования (табл. 1) позволил выявить следующее. При дыхании испытуемых только с помощью торакального компонента на фоне заданного неосознаваемого добавочного сопротивления величина дыхательного объёма (V_T) составила $589,3 \pm 94,2$ мл, торакальной его составляющей

(ThV_T) – $492,7 \pm 82,5$ мл, произвольной абдоминальной составляющей вдоха (AbV_T) – $96,6 \pm 20,1$ мл. Как видно из таблицы 1, торакальный компонент дыхания ($83,9 \pm 3,0\%$ от V_T) ожидаемо обеспечивал основной вклад в объем вентиляции легких, нежели абдоминальный ($16,1 \pm 3,0\%$ от V_T).

Таблица 1

Параметры вентиляции легких при раздельном грудном дыхании
с заранее заданным неосознаваемым добавочным сопротивлением ($M \pm m$)

Параметры	Заданный объем	Воспроизведение заданного дыхательного объема				
		Со зрительным контролем при добавочном сопротивлении	Без зрительного контроля при добавочном сопротивлении	$P_{1,2} <$	Без зрительного контроля без добавочного сопротивления	$P_{2,4} <$
		1	2	3	4	5
\dot{V} , л/мин	$8,1 \pm 1,1$	$7,7 \pm 1,1$	$7,5 \pm 1,2$	0,05	$9,3 \pm 1,6$	0,05
$Th \dot{V}$, л/мин	$6,7 \pm 0,9$	$6,1 \pm 0,9$	$6,0 \pm 0,9$		$7,1 \pm 1,3$	0,05
$Ab \dot{V}$, л/мин	$1,4 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,4$		$2,1 \pm 0,5$	0,05
f , цикл/мин	$14,0 \pm 0,6$	$13,6 \pm 0,7$	$13,7 \pm 0,6$		$14,5 \pm 0,8$	0,05
V_T , мл	$589,3 \pm 94,2$	$580,1 \pm 96,0$	$575,0 \pm 110,7$		$666,5 \pm 134,4$	0,05
$Th V_T$, мл	$492,7 \pm 82,5$	$461,9 \pm 88,0$	$458,2 \pm 91,0$		$515,9 \pm 110,7$	0,05
$Th V_T / V_T, \%$	$83,9 \pm 3,0$	$78,6 \pm 2,9$	$80,2 \pm 2,5$		$76,6 \pm 3,6$	
$Ab V_T$, мл	$96,6 \pm 20,1$	$118,3 \pm 17,8$	$116,7 \pm 25,2$		$150,6 \pm 31,7$	
$Ab V_T / V_T, \%$	$16,1 \pm 3,0$	$21,4 \pm 2,9$	$19,8 \pm 2,5$		$23,4 \pm 3,6$	
T_i , с	$1,9 \pm 0,11$	$2,0 \pm 0,11$	$2,0 \pm 0,12$		$1,8 \pm 0,11$	
T_E , с	$2,3 \pm 0,15$	$2,2 \pm 0,12$	$2,2 \pm 0,13$		$2,1 \pm 0,12$	0,05
T_P , с	$0,1 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,02$		$0,3 \pm 0,04$	
T_T , с	$4,3 \pm 0,18$	$4,5 \pm 0,23$	$4,5 \pm 0,23$		$4,2 \pm 0,22$	0,05

В результате этого величина торакальной составляющей минутного объема вентиляции легких ($Th \dot{V}$) по сравнению с его абдоминальной составляющей ($Ab \dot{V}$) имела большее значение.

Таким образом, испытуемые, предварительно обученные грудному дыханию на фоне неосознаваемого добавочного сопротивления, справились с заданием и осуществляли дыхательные движения с преобладанием торакального компонента. Однако полностью исключить абдоминальный компонент не представлялось возможным.

При воспроизведении заданного дыхательного объема с использованием зрительного контроля на фоне добавочного неосознаваемого сопротивления за счет торакального компонента аппарата дыхания величины дыхательного объема (V_T), минутного объема вентиляции легких (\dot{V}) и их торакальных составляющих (ThV_T , $Th\dot{V}$) имели тенденцию к уменьшению за счет увеличения их произвольных абдоминальных составляющих (AbV_T , $Ab\dot{V}$). Частота дыхания (f) стала несколько реже. Время вдоха и постэкспираторная пауза имели тенденцию к увеличению, тогда как время выдоха несколько снижалось (табл. 1).

При этом превалировала торакальная ошибка с преуменьшением ($Th\Delta^-$), общий размах ($Th\Delta$) которой составил $81,7 \pm 14,2$ мл (табл. 2, рис. 1B). Среди отклонений произвольных абдоминальных движений от исходного уровня доминировала ошибка с преувеличением ($Ab\Delta^+$), что можно рассматривать как желание испытуемого компенсировать ошибки с преуменьшением за счет торакального компонента (рис. 1C). В итоге общий размах отклонений (Δ) при воспроизведении заданного дыхательного объема составил $69,6 \pm 12,3$ мл (рис. 1A). Таким образом, испытуемые, используя информацию от зрительного анализатора, довольно точно воспроизводили заданный дыхательный объем за счет торакального компонента аппарата дыхания. Удерживая абдоминальную составляющую на чуть повышенном уровне, по сравнению с заданным, им удавалось легче манипулировать торакальной составляющей. Характеристика временных параметров дыхательного цикла также свидетельствовала о желании испытуемых как можно точнее воспроизвести величину дыхательного объема.

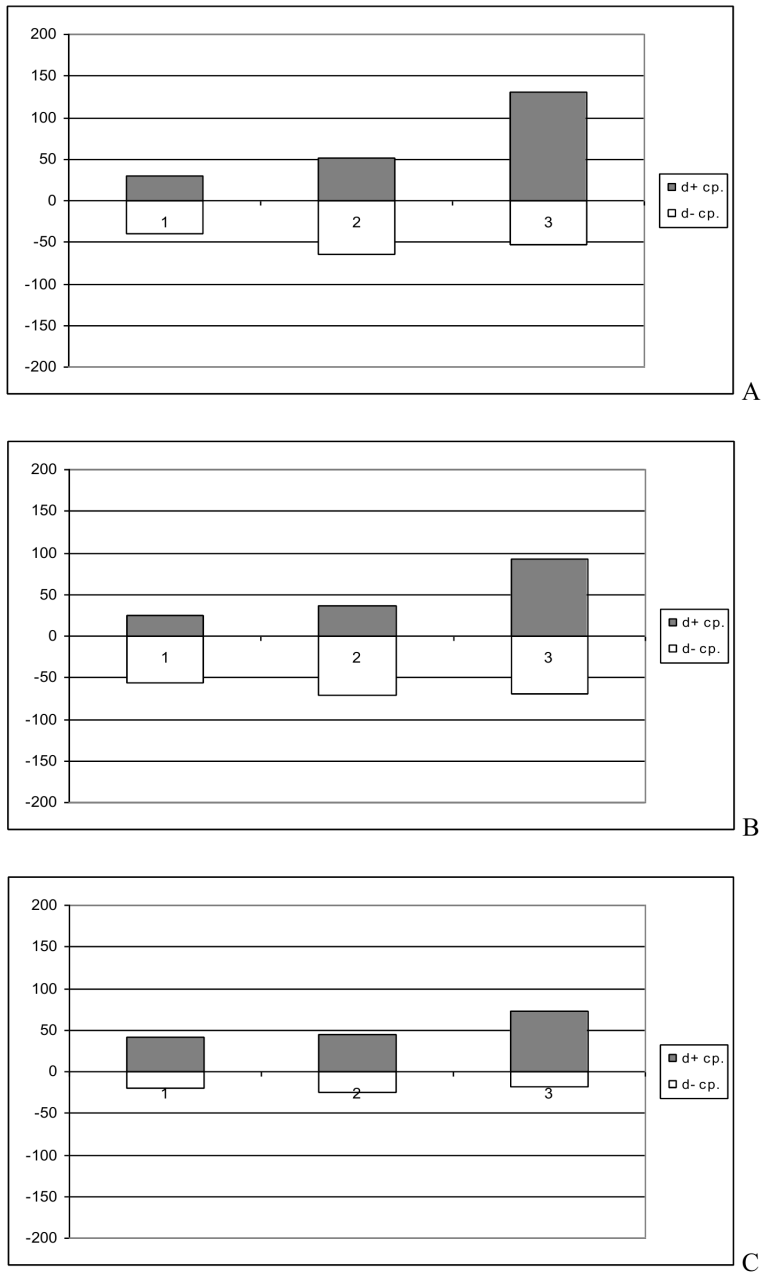
При переключении испытуемых на дыхание без зрительного контроля с сохранением основных условий эксперимента величины дыхательного объема, его торакальной и произвольной абдоминальной составляющей незначительно снизились относительно функциональной пробы со зрительным контролем (табл. 1). Минутный объем вентиляции легких также имел тенденцию к уменьшению в основном за счет незначительного снижения величины своей торакальной составляющей. Произвольная абдоминальная составляющая минутного объема вентиляции, частота дыхания и временные характеристики остались без изменений.

Таблица 2

Ошибки воспроизведения заданных дыхательных объемов при отдельном грудном дыхании с заранее заданным неосознаваемым добавочным сопротивлением ($M \pm m$)

Параметры	Заданный дыхательный объем	Величина ошибки (Δ , мл) при воспроизведении заданного дыхательного объема					
			При зрительном контроле с сопротивлением	Без зрительного контроля с сопротивлением	$P_{4,5} <$	Без зрительного контроля без сопротивления	$P_{5,7} <$
1	2	3	4	5	6	7	8
V_T	589,3±94,2	Δ	69,6±12,3	115,3±25,2		182,8±45,9	0,05
		$\Delta+$	30,2±9,1	50,5±28,6		130,0±50,4	0,05
		$\Delta-$	-39,4±11,9	-64,8±19,2		-52,8±29,8	0,05
ThV_T	492,7±82,5	Δ	81,7±14,2	106,6±21,7		162,5±36,4	
		$\Delta+$	25,4±7,5	36,1±22,5		92,8±41,3	0,05
		$\Delta-$	-56,3±18,6	-70,5±16,2		-69,7±29,5	
AbV_T	96,6±20,1	Δ	61,5±8,5	70,6±11,7		91,1±13,2	0,05
		$\Delta+$	41,6±9,9	45,4±11,2		72,6±16,7	0,05
		$\Delta-$	-19,9±6,6	-25,2±10,9		-18,5±12,6	0,05

Торакальная ошибка с преувеличением выросла незначительно (36,1±22,5 мл), ошибка с преуменьшением (-70,5±16,2 мл) и общая торакальная ошибка (106,6±21,7 мл) увеличились. Непроизвольные отклонения абдоминальных движений от исходного уровня при грудном дыхании составили: с преувеличением – 45,4±11,2 мл, с преуменьшением – 25,2±10,9 мл, с общим размахом – 70,6±11,7 мл. В итоге общая ошибка составила 115,3±25,2 мл, ошибка с преувеличением – 50,5±28,6 мл, с преуменьшением – 64,8±19,2 мл (табл. 2, рис. 1). Таким образом, воспроизведение заданного дыхательного объема оказалось менее точным в большей степени за счет торакальных ошибок.



Р и с . 1 . Динамика соотношения ошибок с преувеличением (темные столбики) и преуменьшением (белые столбики) при воспроизведении заданного дыхательного объема со зрительным контролем с заданным добавочным неосознаваемым сопротивлением дыханию (1), без зрительного контроля с заданным добавочным неосознаваемым сопротивлением дыханию (2), без зрительного контроля без сопротивления (3) при грудном дыхании (средние величины): А – суммарные отклонения, В – торакальные отклонения; С – абдоминальные отклонения.
По оси ординат – величина ошибки, мл

После незаметного для испытуемых отключения добавочного неосознаваемого сопротивления дыхательный объем и его торакальная составляющая достоверно ($P < 0,05$) увеличились до $666,5 \pm 134,4$ мл и $515,9 \pm 110,7$ мл соответственно относительно предыдущей функциональной пробы, в то время как произвольная абдоминальная составляющая имела тенденцию к увеличению ($150,6 \pm 31,7$ мл). На фоне незначительного возрастания частоты дыхания соответственно отмечалась тенденция к снижению временных характеристик дыхательного цикла (табл. 1). В результате увеличения глубины дыхания минутный объем вентиляции легких статистически значимо ($P < 0,05$) увеличился до $9,3 \pm 1,6$ л/мин за счет увеличения обоих его составляющих: торакальная возросла до $7,1 \pm 1,3$ л/мин ($P < 0,05$), а абдоминальная – до $2,1 \pm 0,5$ л/мин ($P < 0,05$).

При этом торакальная и абдоминальная ошибки с преувеличением заданного дыхательного объема оказались достоверно ($P < 0,05$) больше, чем при его воспроизведении без зрительного контроля с сопротивлением, и составили соответственно $92,8 \pm 41,3$ и $72,6 \pm 16,7$ мл (табл. 2, рис. 1). Абдоминальная ошибка с преуменьшением достоверно ($P < 0,05$) снизилась относительно предыдущей функциональной пробы, в то время как торакальная ошибка с преуменьшением практически не изменилась. Вследствие чего увеличились значения общего размаха отклонений ($Th\Delta$; $Ab\Delta$), а общее суммарное отклонение (Δ) от уровня заданного объема составило $182,8 \pm 45,9$ мл, что статистически достоверно ($P < 0,05$) относительно функциональных проб с добавочным сопротивлением. Установлено, что отключение добавочного неосознаваемого инспираторно-экспираторного сопротивления при воспроизведении заданного дыхательного объема без использования зрительного контроля за счет торакального компонента аппарата дыхания сопровождалось статистически значимым снижением точности управления дыхательными движениями.

Заключение. Воспроизведение заданного дыхательного объема без неосознаваемого инспираторно-экспираторного сопротивления в случае грудного дыхания приводило к достоверному увеличению величины дыхательного объема, причем как за счет торакальных движений, так и произвольных абдоминальных. В итоге точность управления дыхательными движениями закономерно снижалась, судя по величине ошибок с преувеличением заданного объема. Вероятно, это обусловлено недостаточно точным воспроизведением испытуемыми заданного усилия мускулатурой торакального компонента аппарата дыхания.

Список литературы

- Александрова Н.П.* 2007. Координация дыхательных мышц в реализации компенсаторных реакций дыхательной системы // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания. Тверь. С. 3-15.
- Бреслав И.С.* 1994. Особенности регуляции дыхания человека // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб. С. 473-499.
- Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д.* 2005. Дыхание. Висцеральный и поведенческий аспекты. СПб. 310 с.
- Бреслав И.С.* 2009. Произвольное управление дыханием у человека: теория и «современные практики» // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 14, № 18. С. 25-37.
- Глебовский В.Д.* 1994. Центральные механизмы, определяющие и регулирующие периодическую деятельность дыхательных мышц // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб. С. 355-415.
- Дьяченко А.И., Миняев В.И., Миняева А.В.* 2007. Методы исследования торакального и абдоминального компонентов системы дыхания в вентиляции легких // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 6, № 22 (50). С. 15-21.
- Исаев Г.Г.* 1994. Физиология дыхательных мышц // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб.: Наука. С. 178-196.
- Миняев В.И.* 1994. Произвольное управление дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб. С. 500-523.
- Миняев В.И., Визирь Я.Г., Давыдов В.Г., Калашикова Р.А., Маркова К.Б., Миняева А.В., Морозов Г.И., Петушков М.Н., Саакян С.А., Чапоров В.Н., Шляпников М.Ф.* 2007. Особенности регуляции дыхания и произвольного управления дыхательными движениями при различных функциональных нагрузках // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания. Тверь. С. 139-149.
- Миняев В.И., Петушков М.Н.* 2005. Особенности произвольного управления торакальными и абдоминальными дыхательными движениями // Физиология человека. Т. 31, № 6. С. 44-48.
- Миняев В.И., Миняева А.В., Морозов Г.И., Маркова К.Б., Петушков М.Н., Золотухина Я.Г., Дуля Е.А., Некрасова С.Б., Орехова А.В., Фокина Е.В.* 2010. Роль торакального и абдоминального компонентов дыхательного аппарата в компенсаторной реакции и адаптации дыхания к добавочному сопротивлению // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. Вып. 17, № 16. С. 16-25.
- Сафонов В.А., Миняев В.И., Полуни И.Н.* 2000. Дыхание. М. 254 с.
- Сергиевский М.В., Габдарахманов Р.Ш., Огородов А.М., Сафонов В.А., Якунин В.Е.* 1993. Структура и функциональная организация дыхательного центра. Новосибирск. 192 с.
- Солопов И.Н.* 1996. Способность человека оценивать и управлять основными параметрами функции дыхания: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Волгоград. 40 с.

- Шук Л.Л.* 1994. Основные черты управления дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб. С. 342-354.
- Euler C.* 1980. Central pattern generation during breathing // Trends Neuroscience. V. 3. P. 275-277.
- Gandevia S.C., Rothwell J.C.* 1987. Activation of the human diaphragm from the motor cortex // J. Physiol. V. 384. P. 109-118.
- Godfrey S., Campbell E.J.M.* 1970. The role of afferent impulses from the lung and chest wall in respiration control and sensation // Breathing. Hering-Breuer Centenary Symposium. London. P. 219-221.
- Goldman M., Grimby G., Mead J.* 1976. Mechanical work of breathing derived from rib cage and abdominal V-P partitioning // J. Appl. Physiol. V. 41. P. 752-763.
- Isaev G., Murphy K., Guz A., Adams L.* 2002. Areas of the brain concerned with ventilatory load compensation in awake man // J. of Physiology. 2002. V. 593(3). P. 935-945.
- Kamide N.* 1987. Effect of hypercapnia on hypoxia induced ventilatory depression in man // Jikeikai Med. J. V. 34. P. 603-607.
- Mura S.R., Mc Donald S., Zechman E.W.* 1984/ Comparison of subjects perception of inspiratory and expiratory resistance // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exercise Physiol. V. 56, № 1. P. 211-216.
- Ohyabu Y., Yoshida A., Hayashi F., Honda Y.* 1982. Ventilatory response to CO₂ after brief simulation of the peripheral chemoreceptors in man // Jap. J. Physiol. V. 32. P. 627-636.

PECULIARITIES OF THE THORACAL RESPIRATORY MOVEMENTS UNDER THE UNCONSCIOUS INSPIRATOR- EXPIRATOR RESISTANCE

K.G. Kichatov, E.A. Belyakova

Tver State University, Tver

We studied the accuracy of the thoracal respiratory movements under the unconscious inspiratory-expirator resistance in a group of young women. The accuracy of the thoracal movements somewhat decreased due to the general deviation. Breathing without the unconscious resistance led to a significant increase in the respiratory volume, both due to the thoracic movements and involuntary abdominal ones, because of an inadequate reproduction of the given effort by the subjects.

Keywords: *respiration, control of voluntary movements, additional resistance.*

Об авторах:

КИЧАТОВ Кирилл Германович – магистрант направления Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: nearf1988@gmail.com

БЕЛЯКОВА Евгения Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: jeene4ka@yandex.ru

Кичатов К.Г. Особенности воспроизведения торакальных дыхательных движений, заданных при неосознаваемом инспираторно-экспираторном сопротивлении / К.Г. Кичатов, Е.А. Белякова // Вестн. ТвГУ. Сер.: Биология и экология. 2017. № 1. С. 7-17.