

**ОСОБЕННОСТИ СООТНОШЕНИЙ ТОРАКАЛЬНЫХ
И АБДОМИНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ
ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ ПРИ РЕЧЕВОМ ДЫХАНИИ
В УСЛОВИЯХ ПРОГРЕССИРУЮЩЕЙ ГИПЕРКАПНИИ***

Г.И. Морозов

У 10 практически здоровых мужчин исследованы особенности поведения торакального и абдоминального компонентов при произнесении текста с обычной громкостью в условиях прогрессирующей гиперкапнии. Выявлено, что при речевом дыхании в условиях хеморецепторной стимуляции речевой характер паттерна дыхания сохраняется. Отмечается существенное снижение вентиляторной чувствительности к гиперкапнии.

Известно, что система дыхания человека одновременно является и висцеральной (с автономными механизмами регуляции), и соматической (с механизмами произвольного контроля) [2;9]. Автономная система нейрогуморальной регуляции дыхания включает в себя дыхательный центр и два регулирующих контура – хеморецепторный, обеспечивающий соответствие объема вентиляции интенсивности метаболизма в организме, и механорецепторный, устанавливающий энергетически оптимальный паттерн дыхания [3;5;12;13;15]. Система произвольного управления дыхательными движениями включает в себя в качестве центрального звена супрабульбарные отделы мозга, прежде всего двигательную зону коры больших полушарий [2;9]. При спонтанном и произвольном дыхании вентиляция легких осуществляется за счет ритмичных сокращений торакальных (грудных) и абдоминальных (брюшных) мышц. Морфологически, функционально и регуляторно эти группы мышц автономны, что позволяет условно выделить торакальный и абдоминальный компоненты системы дыхания. В состоянии покоя вентиляция легких осуществляется практически в равной степени за счет обоих вкладов [8]. Дыхательные мышцы помимо выполнения вентиляторной функции – обеспечения газового гомеостаза, которая регулируется автономными механизмами, участвуют в актах человека, относящихся к произвольным [2;6;9;14]. Звуковая речь является одним из таких актов. В литературе имеются данные о роли воздушных потоков в системе дыхания при внешней речи в условиях нормальной газовой среды. Показано, что работа дыхательного аппарата во время речи подчиняется в определенных пределах конкретному речевому материалу [4].

В обеспечении вентиляции легких и в производстве фонаций (звуков) немаловажная роль принадлежит дыхательным мышцам, обеспечивающим поток воздуха в звукообразующей системе. Однако взаимодействие произвольных и автономных механизмов регуляции дыхания при речевом дыхании практически не изучено.

Целью настоящей работы явилось исследование поведения торакального и абдоминального компонентов системы дыхания при произнесении ритмичного текста с обычной громкостью в условиях конкурентных отношений автономных механизмов регуляции дыхания, направленных на сохранение газового гомеостаза,

* Работа поддержана грантом РФФИ 05-06-57603а/Ц.

и механизмов произвольного управления дыхательными движениями, направленными на обеспечение произнесения заданного речевого материала.

Методика. В исследовании участвовали 10 практически здоровых мужчин 22-27 лет, привычных к экспериментальной обстановке.

Использовался автоматизированный метод безмасочной пневмографии [8]. Учитывались следующие параметры: дыхательный объем (V_T), его торакальная (ThV_T) и абдоминальная (AbV_T) составляющие (мл) и их вклады в дыхательный объем (в %), частота дыхания (f , цикл/мин), время вдоха (T_I), выдоха (T_E), постэкспираторной паузы (T_P), время дыхательного цикла (T_T) (с), скорость вдоха (\dot{V}_I), скорость торакальной ($Th\dot{V}_I$) и абдоминальной ($Ab\dot{V}_I$) составляющих вдоха, скорость выдоха (\dot{V}_E), скорость торакальной ($Th\dot{V}_E$) и абдоминальной ($Ab\dot{V}_E$) составляющих выдоха (мл/с). Кроме того, регистрировались показатели газообмена: парциальное давление CO_2 в альвеолярном воздухе (P_ACO_2) – посредством малоинерционного капнографа ГУМ-2 и оксигенация артериальной крови (S_AO_2) – посредством оксигеометра 057 с ушным фотометрическим датчиком.

Испытуемые находились в положении стоя, поскольку в вертикальном положении вентиляция легких, как правило, обеспечивается в равной степени за счет торакальных и абдоминальных дыхательных движений [11]. Исследование включало две серии. В первой серии испытуемые спонтанно дышали в замкнутой системе спирографа в гиперкапнических условиях до увеличения парциального давления CO_2 в альвеолярном газе на 20-22 мм рт. ст. (возвратное дыхание без поглощения CO_2 с добавлением в систему O_2 в количестве, равном потребляемому). Во второй серии испытуемым предлагалось в тех же условиях произносить вслух с обычной громкостью циклично повторяющийся ритмичный текст (счет от 1 до 6: «один-два-три-четыре-пять-шесть»). При расчетах величины дыхательных объемов приводились к сопоставимым условиям (ВТРС). Были вычислены следующие статистические характеристики: средняя арифметическая (M), ошибка среднего арифметического ($\pm m$), коэффициент корреляции (r). Достоверность различий изучаемых параметров определялась методом расчета значения критерия Z Вилкоксона (для сопряженных рядов) по В.Ю. Урбаху [7].

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ полученных данных выявил следующее (табл. 1 и 2).

Исходно в вертикальном положении вентиляция легких (\dot{V}) испытуемых обеспечивается практически в равной степени за счет торакального (ThV_T) и абдоминального (AbV_T) вкладов в дыхательный объем. Соотношение временных характеристик дыхательного цикла соответствует типичному для спонтанного дыхания: вдох (T_I) несколько короче выдоха (T_E), у всех испытуемых отмечается постэкспираторная пауза (T_P) [1;3].

При спонтанном дыхании в условиях прогрессирующей гиперкапнии объем вентиляции легких (\dot{V}) увеличивается за счет практически равного увеличения торакального ($Th\dot{V}$) и абдоминального ($Ab\dot{V}$) вкладов в дыхательный объем, частота дыхания (f) – за счет равномерного уменьшения времени вдоха (T_I), выдоха (T_E) и постэкспираторной паузы (T_P). Скорость вдоха (\dot{V}_I) и выдоха (\dot{V}_E) увеличивается за счет увеличения скорости торакальной ($Th\dot{V}_I$, $Th\dot{V}_E$) и абдоминальной ($Ab\dot{V}_I$, $Ab\dot{V}_E$) составляющих (табл. 2).

При произнесении ритмичного циклически повторяющегося текста (счета) на воздухе параметры дыхательного цикла соответствуют типичным для речевого дыхания. Дыхательный объем (V_T) оказывается больше, частота дыхания (f) –

Таблица 1

Сравнительная динамика параметров газообмена и вентиляции легких при речевом и спонтанном дыхании в условиях прогрессирующей гиперкапнии ($M \pm m$)

Параметры		Воздух		Прогрессирующая гиперкапния				
		Величины	Величины	P < 2-1	Величины	P < 3-1	Величины	P < 4-1
		1	2		3		4	
P_{ACO_2} , мм рт. ст.	Спонтанное дыхание	36,1±0,3	39,7±0,7	0,01	48,5±1,0	0,01	54,7±1,1	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	36,7±0,6	39,8±0,9	0,01	45,7±1,1	0,01	53,5±1,0	0,01
V_T , мл	Спонтанное дыхание	676±43	766±63	0,05	1136±126	0,01	1495±157	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	1121±79**	1211±76*		1612±97*	0,01	2055±145**	0,01
ThV_T , мл	Спонтанное дыхание	342±38	391±51	0,05	607±84	0,01	828±107	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	689±72**	777±70*		1069±104**	0,05	1419±163**	0,01
ThV_T/V_T , %	Спонтанное дыхание	50,0±3,4	50,5±4,3		53,0±4,0		55,0±4,3	
	<i>Речевое дыхание</i>	61,2±3,6**	64,0±3,2*		65,8±3,8**		68,4±4,4**	
AbV_T , мл	Спонтанное дыхание	334±26	375±43		530±76	0,01	667±97	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	432±48**	434±48		544±61	0,05	637±97	0,05
AbV_T/V_T , %	Спонтанное дыхание	50,0±3,4	49,5±4,3		47,0±4,0		45,0±4,3	
	<i>Речевое дыхание</i>	38,8±3,6**	36,0±3,2*		34,2±3,8*		31,6±7,4**	
f, цикл/мин	Спонтанное дыхание	17,5±0,8	18,0±0,9		18,8±0,9	0,05	20,6±0,7	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	10,5±0,2**	9,7±0,2**	0,01	9,7±0,4**		9,9±0,3**	
\dot{V} , л/мин	Спонтанное дыхание	11,6±0,4	13,4±0,7		20,8±2,0	0,01	30,5±3,0	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	11,6±0,7	11,6±0,6		15,5±0,9	0,01	20,1±1,3**	0,01
$Th\dot{V}$, л/мин	Спонтанное дыхание	5,8±0,4	6,8±0,7	0,05	10,9±1,2	0,01	16,8±2,0	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	7,1±0,7*	7,4±0,6		10,2±0,9	0,05	13,8±1,4	0,01
$Ab\dot{V}$, л/мин	Спонтанное дыхание	5,8±0,4	6,6±0,7		9,9±1,4	0,01	13,7±1,9	0,01
	<i>Речевое дыхание</i>	4,5±0,5*	4,2±0,4*		5,3±0,6**		6,3±1,0**	

Примечание. Здесь и далее: степень достоверности различий параметров при речевом и спонтанном дыхании * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.

Таблица 2

Сравнительная динамика временных и скоростных параметров вентиляции легких при речевом и спонтанном дыхании в условиях прогрессирующей гиперкапнии ($M \pm m$)

Параметры		Воздух		Прогрессирующая гиперкапния					
		Величины		P < 2-1	Величины		P < 3-1	Величины	
		1	2		3		4		
T_I, c	Спонтанное дыхание	1,49±0,06	1,43±0,06		1,41±0,05		1,29±0,04	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	1,38±0,06	1,44±0,08		1,46±0,07		1,50±0,08		
T_E, c	Спонтанное дыхание	1,81±0,12	1,84±0,16		1,75±0,15	0,05	1,61±0,08	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	4,20±0,13**	4,68±0,10**	0,01	4,70±0,17**	0,05	4,59±0,17**		
T_P, c	Спонтанное дыхание	0,20±0,02	0,15±0,02		0,11±0,01	0,05	0,04±0,01	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	0,13±0,03*	0,12±0,01		0,09±0,02		0,05±0,02		
T_T, c	Спонтанное дыхание	3,50±0,17	3,41±0,18		3,27±0,19	0,05	2,94±0,10	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	5,76±0,13**	6,24±0,14**	0,01	6,26±0,20**		6,14±0,18**		
$\bar{V}_I, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	452±18	526±30		797±74	0,01	1153±110	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	824±65**	858±61**		1131±95	0,05	1407±134	0,05	
$\text{Th } \bar{V}_I, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	222±19	265±30	0,05	417±46	0,01	621±76	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	493±57**	529±41**		731±75**	0,05	961±140*	0,05	
$\text{Ab } \bar{V}_I, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	236±19	264±26		387±50	0,01	541±69	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	336±53*	330±45		405±65		447±70		
$\bar{V}_E, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	373±14	425±25		656±63	0,01	932±94	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	256±17**	256±18**		342±15**	0,01	440±25**	0,01	
$\text{Th } \bar{V}_E, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	200±12	227±23		356±34	0,01	550±68	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	159±16*	167±16*		230±19*	0,05	304±29*	0,01	
$\text{Ab } \bar{V}_E, \text{мл/с}$	Спонтанное дыхание	185±14	219±22		307±46	0,01	415±61	0,01	
	<i>Речевое дыхание</i>	98±9**	98±10**		117±12**	0,05	138±20**	0,05	

меньше, чем при спонтанном дыхании, минутный объем вентиляции (\dot{V}) практически не меняется. Вентиляция легких обеспечивается с явным превалированием торакального вклада (ThV_{TI}/V_{TI}) в дыхательный объем. Временная структура дыхательного цикла приобретает типичный для речевого дыхания характер: время вдоха (T_I) и постэкспираторной паузы (T_P) уменьшается, время выдоха (T_E) увеличивается [4]. Соотношение скоростных параметров также становится типичным для речевого дыхания – скорость вдоха (\dot{V}_I) увеличивается, выдоха (\dot{V}_E) – существенно снижается (табл. 1 и 2).

При произнесении ритмичного текста в условиях прогрессирующей гиперкапнии отмечено существенно большее увеличение дыхательного объема (V_T) в большей степени за счет торакальной (ThV_T) его составляющей. Абдоминальная составляющая (AbV_T) дыхательного объема при этом количественно не меняется (табл. 1).

По мере нарастания гиперкапнии временные параметры, характерные для речевого дыхания, сохраняются. В отличие от спонтанного гиперпноэ при произнесении текста в условиях прогрессирующей гиперкапнии частота дыхания (f) практически не изменяется, поскольку она определяется речевым заданием. Более выраженное, чем при спонтанном гиперпноэ, увеличение дыхательного объема (V_T) не компенсирует недостаточную для данных условий частоту дыхания (табл. 1). В результате объем вентиляции ($\dot{V} = 20,0 \pm 1,2$ л/мин) оказывается существенно меньшим, чем при спонтанном гиперпноэ ($\dot{V} = 30,4 \pm 3,0$ л/мин).

При произнесении ритмичного текста в условиях гиперкапнии в результате увеличения дыхательного объема (V_T) и уменьшения времени вдоха (T_I) объемная скорость вдоха (\dot{V}_I) существенно увеличивается в основном за счет скорости торакальной составляющей ($Th\dot{V}_I$) вдоха. Скорость абдоминальной составляющей вдоха ($Ab\dot{V}_I$) увеличивается в меньшей степени (табл. 2).

При речевом дыхании в гиперкапнических условиях увеличение объемной скорости выдоха (\dot{V}_E) значительно менее выражено, чем при спонтанном гиперпноэ в этих условиях, так как по мере увеличения дыхательного объема (V_T) время выдоха (T_E) практически не изменяется. Прирост скорости выдоха (\dot{V}_E) обеспечивается за счет скорости как торакальной ($Th\dot{V}_E$), так и абдоминальной ($Ab\dot{V}_E$) составляющих выдоха (табл. 2).

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что при воспроизведении звуковой речи в условиях умеренной гиперкапнии речевой характер паттерна дыхания в основном сохраняется. При этом (как и при дыхании воздухом) вентиляция легких обеспечивается в основном за счет торакальных дыхательных движений, в большей степени подверженных произвольному контролю [9]. Прирост дыхательного объема и торакальной его составляющей в ответ на гиперкапнию оказывается значительно большим, чем при спонтанном гиперпноэ в тех же гиперкапнических условиях, что свидетельствует об аддитивности волевого и хеморецепторного стимулов [10]. Абдоминальная составляющая дыхательного объема в этих условиях оказывается такой же, как при спонтанном гиперпноэ.

При воспроизведении звуковой речи в гиперкапнических условиях значительно большая, чем при спонтанном гиперпноэ, продолжительность выдоха, обусловленная речевым заданием, по мере нарастания гиперкапнии и усиления хеморецепторной стимуляции не меняется. В результате частота дыхания и скорость торакальной и абдоминальной составляющих выдоха оказываются существенно меньшими, чем при спонтанном гиперпноэ.

Изовентиляторная реакция [3] – увеличение дыхательного объема – не компенсирует недостаточную для данных условий заданную речевым ритмом частоту

дыхания. В результате объем вентиляции при речевом дыхании в гиперкапнических условиях оказывается значительно меньшим, чем при спонтанном гиперпноэ в тех же условиях, что свидетельствует о конкурентных отношениях между механизмами произвольного управления дыхательными движениями, обеспечивающими звуковую речь, и автономными механизмами регуляции дыхания, направленными на поддержание газового гомеостаза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блохин И.П. Фазовый анализ дыхательного акта // Физиол. журн. СССР. 1980. Т. 65, № 12. С. 1783-1789.
2. Бреслав И.С. Произвольное управление дыханием у человека. Л., 1975.
3. Бреслав И.С., Глебовский В.Д. Регуляция дыхания. Л., 1981.
4. Гранстрем М.П., Кожевников В.А. Дыхание и речь // Руководство по физиологии. Физиология дыхания. Л., 1973.
5. Исаев Г.Г. Регуляция дыхания при мышечной работе. Л., 1990.
6. Исаев Г.Г. Физиология дыхательных мышц // Физиология дыхания. СПб., 1994. С. 178-196.
7. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., 1973.
8. Миняев В.И., Гречишкин Р.М., Миняева А.В. и др. Особенности реакций грудного и брюшного компонентов дыхания на прогрессирующую гиперкапнию // Физиол. журн. им И.М. Сеченова. 1993. Т. 79, № 2. С. 74-78.
9. Миняев В.И. Произвольное управление дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб., 1994. С. 500-523.
10. Миняев В.И., Давыдов В.Г. Роль торакального и абдоминального компонентов системы дыхания при гипервентиляции на фоне хеморецепторной стимуляции различной интенсивности // Физиол. человека. 2000. Т. 26, № 4. С. 83-87.
11. Миняев В.И., Миняева А.В. Зависимость соотношения и степени использования торакального и абдоминального дыхательных резервов от положения тела // Физиол. человека. 1998. Т. 24, № 5. С. 11-15.
12. Сафонов В.А., Чумаченко А.А., Ефимов В.И. Структура и функции дыхательного центра // Современные проблемы физиологии дыхания. Куйбышев, 1980. С. 12-22.
13. Сергиевский М.В. Дыхательный центр млекопитающих. М., 1950.
14. Солопов И.Н. Влияние измененной температуры вдыхаемого воздуха на способность человека воспроизводить заданные величины дыхательных параметров // Пути оптимизации функции дыхания при нагрузках, в патологии и в экстремальных состояниях. Тверь, 1997. С. 104-109.
15. Шик Л.Л. Основные черты управления дыханием // Физиология дыхания. Основы современной физиологии. СПб., 1994. С. 342-354.

FEATURES OF INTERRELATIONS THORACAL AND ABDOMINAL COMPONENTS PARAMETERS OF LUNG VENTILATION AT SPEECH BREATHING IN REQUIREMENTS OF A PROGRESSING HYPERCAPNIA

G.I. Morozov

At 10 practically of able-bodied men the features of behaviour thoracal and abdominal components are explored at speech breathing in requirements of a progressing hypercapnia. Is revealed, that at speech respiration in requirements of chemoreception stimulation the speech character of pattern respiration is maintained. The essential downstroke (drop) of ventilatory sensitivity to a hypercapnia is scored.