

УДК 612.2

DOI: 10.26456/vtbio236

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ ДЫХАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА ПРИ ДОБАВОЧНОМ ЭКСПИРАТОРНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ И РЕЧЕВОМ ДЫХАНИИ**

**Г.И. Морозов, А.В. Миняева, М.Н. Петушков**

Тверской государственной университет, Тверь

У 8 практически здоровых молодых женщин исследовано поведение торакального и абдоминального компонентов системы дыхания при произнесении ритмичного текста и при дыхании с дополнительным сопротивлением на выдохе. Выявлено, что речевое дыхание и дыхание с экспираторным сопротивлением имеют сходный паттерн, что позволяет рассматривать речевое дыхание как дыхание с экспираторным сопротивлением.

***Ключевые слова:** паттерн, торакальный, абдоминальный, речевое дыхание, дыхание с экспираторным сопротивлением, изовентиляторная реакция, газовый гомеостаз.*

**Введение.** Вентиляция легких осуществляется за счет ритмичных сокращений торакальной (грудной) и абдоминальной (брюшной) дыхательной мускулатуры. Морфологическая, функциональная и регуляторная автономность эти мышечных групп позволяет нам условно выделить торакальный и абдоминальный компоненты системы дыхания (Миняев, Миняева, 1998).

Поскольку поперечно-полосатая дыхательная мускулатура, наряду с гомеостатической вентиляторной функцией, участвует в реализации произвольных дыхательных актов, существует два уровня регуляции ее активности: автономный и произвольный. Система автономной 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 (Сергиевский, 1950; Бреслав, Глебовский, 1981; Пятин, Никитин, 1998). Система произвольного управления дыхательными движениями включает, в качестве центрального звена, супрабульбарные отделы головного мозга и, прежде всего, двигательную зону коры больших полушарий (Бреслав, 1975; Миняев, 1978; Солопов, 1998).

Звуковая речь и дыхание с дополнительным экспираторным сопротивлением относятся к произвольным дыхательным актам. Во время звуковой речи работа дыхательной системы подчиняется конкретному речевому материалу, то есть зависит от характера текста и громкости его произнесения (Гранстрем, Кожевников, 1973; Морозов, Миняев, 2005, 2006). Звуковая речь реализуется благодаря слаженной работе голосового аппарата, важнейшей частью которого является система дыхания. Дыхательная мускулатура, в данном случае, обеспечивает экспираторный поток воздуха через голосовые связки, в то время как голосовые связки и резонаторы создают определенное сопротивление этому воздушному потоку. При дыхании с добавочным сопротивлением работа дыхательной мускулатуры зависит от величины преодолеваемого сопротивления на вдохе и на выдохе (Миняев и др., 2010).

Однако, до настоящего времени не изучено взаимодействие произвольных и автономных механизмов регуляции дыхания при звуковой речи. Также остается не ясным является ли звуковая речь разновидностью дыхания с экспираторным сопротивлением.

Целью настоящей работы явилось изучение взаимодействия произвольных и автономных механизмов регуляции дыхания при звуковой речи путем сравнительного анализа поведения торакального и абдоминального компонентов системы дыхания при произнесении ритмичного текста и при дыхании с добавочным экспираторным сопротивлением.

**Методика.** В исследовании приняли участие 8 практически здоровых, привычных к экспериментальной обстановке женщин в возрасте 20–23 лет.

Для регистрации параметров дыхания использовали оригинальный метод компьютерной безмасочной пневмографии (Миняев и др., 1998). Регистрировали: минутный объем вентиляции легких ( $\dot{V}$  л/мин), его торакальная ( $Th \dot{V}$ ) и абдоминальная ( $Ab \dot{V}$ ) составляющие; дыхательный объем ( $V_T$ , мл), торакальная ( $Th V_T$ , мл и %) и абдоминальная ( $Ab V_T$ , мл и %) его составляющие; время дыхательного цикла ( $T_T$ , с), время вдоха ( $T_I$ , с), выдоха ( $T_E$ , с) и постэкспираторной паузы ( $T_P$ , с); частота дыхания ( $f$ , цикл/мин); средняя объемная скорость вдоха ( $\bar{v}_I$ , мл/с), скорость торакальной ( $Th \bar{v}_I$ , мл/с) и абдоминальной ( $Ab \bar{v}_I$ , мл/с) составляющих вдоха; средняя объемная скорость выдоха ( $\bar{v}_E$ , мл/с), скорость торакальной ( $Th \bar{v}_E$ , мл/с) и абдоминальной ( $Ab \bar{v}_E$ , мл/с) составляющих выдоха. На протяжении всех экспериментов осуществлялся контроль оксигенации артериальной крови (оксигеметр 057) концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе (капнограф ГУМ-2). Показатели дыхания

испытуемых регистрировались в вертикальном положении. При дыхании с добавочным экспираторным сопротивлением испытуемого через загубник подключали к системе трубок с клапанами. Выдох осуществлялся через трубку с отверстием 3 мм в диаметре. Ненагруженный вдох осуществлялся через клапан. Перед началом исследования все испытуемые прошли серии тренировочных сеансов дыхания с добавочным экспираторным сопротивлением.

Исследование включало 3 серии. В первой серии исследования на протяжении 3 минут регистрировали спонтанное дыхание испытуемых в состоянии покоя. Во второй серии испытуемые на протяжении 3 минут произносили один и тот же ритмичный, циклично повторяющийся текст (счет "один-два-три-четыре-пять-шесть-семь-восемь"). От испытуемых требовалось четко считать в спокойном ритме с обычной громкостью. В третьей серии испытуемые на протяжении 3 минут дышали с добавочным экспираторным сопротивлением.

При статистической обработке экспериментального материала были вычислены: средняя арифметическая ( $M$ ), ошибка средней арифметической ( $\pm m$ ). Достоверность различий изучаемых параметров определялась с использованием непараметрического критерия  $Z$  Вилкоксона для сопряженных рядов.

**Результаты и обсуждение.** При спонтанном дыхании атмосферным воздухом в положении стоя, вентиляция легких имела изопноический характер и осуществлялась в большей степени за счет торакального компонента системы дыхания, что соответствует данным наших предыдущих исследований (Миняев, Миняева, 1998). Общее время выдоха на  $0,77 \pm 0,25$  с ( $P < 0,01$ ) превышало время вдоха. Наблюдалась короткая постэкспираторная пауза (табл. 1, 2, рисунок).

Произнесение ритмичного текста средней громкости сопровождалось мгновенным изменением дыхательного паттерна (табл. 1, 2, рисунок). Поскольку звукообразование осуществляется на выдохе, и экспираторный поток преодолевает сопротивление голосового аппарата, скорость выдоха снизилась на  $84 \pm 21$  мл/с ( $P < 0,05$ ) за счет удлинения периода экспирации. Снижение скорости выдоха осуществлялось в основном за счет  $\Delta b \bar{v}_E$ .

Наблюдалось резкое повышение скорости вдоха ( $P < 0,01$ ) за счет  $\Delta h \bar{v}_I$ . Частота дыхания уменьшилась на  $4,0 \pm 0,5$  цикл/мин ( $P < 0,01$ ). Поддерживание параметров газового гомеостаза, при выполнении речевого задания, обеспечивалось за счет уменьшения времени вдоха на  $0,18 \pm 0,11$  с и увеличения дыхательного объема на  $227 \pm 51$  мл ( $P < 0,01$ ). Углубление дыхания происходило в большей степени ( $P < 0,01$ ) за счет увеличения торакальной составляющей дыхательного объема.

Таким образом, можно выделить общую стратегию речевого дыхания – быстрый вдох, обеспечивающий максимальный дыхательный объем за минимальное время, и глубокий длительный выдох. Укорочение времени вдоха и уменьшение постэспираторной паузы создают условия для слитной речи без пауз.

Таблица 1

Параметры вентиляции легких при речевом дыхании и дыхании с добавочным эспираторным сопротивлением ( $M \pm m$ )

Параметры	Условия	Спонтанное дыхание	Воздействие	P <
$V_T$ , мл	Речь	623±75	850±82*	0,05
	Сопротивление		735±96	0,05
$ThV_T$ , мл	Речь	387±59	589±65*	0,05
	Сопротивление		463±54	0,05
$Ab V_T$ , мл	Речь	236±39	260±33*	0,05
	Сопротивление		272±46	0,05
f, цикл/мин	Речь	14,1±1,2	10,1±0,5	0,01
	Сопротивление		10,7±1,7	0,01
$\dot{V}$ л/мин	Речь	8,6±1,2	8,6±1,0	-
	Сопротивление		7,1±0,7	0,05
$Th \dot{V}$ , л/мин	Речь	5,3±0,9	6,0±0,8	-
	Сопротивление		4,5±0,4	-
$Ab \dot{V}$ , л/мин	Речь	3,3±0,6	2,6±0,3	0,05
	Сопротивление		2,6±0,4	0,05

Примечание. Достоверности различий параметров при речевом дыхании и дыхании с эспираторным сопротивлением \* –  $P < 0,05$ ; \*\* –  $P < 0,01$ .

При речевом дыхании явно проявляется взаимодействие механизмов произвольного управления дыхательными движениями, обеспечивающих выполнение речевого задания, и автономных механизмов регуляции дыхания, обеспечивающих сохранение газового гомеостаза (Морозов, Миняев, 2005, 2006). Снижение частоты дыхания компенсируется посредством изовентиляторной реакции (Бреслав, 1984) увеличением объема вдоха. В результате объем вентиляции легких сохраняется на уровне, соответствующем потребностям метаболизма.

Дыхание с эспираторным сопротивлением сопровождалось быстрыми изменениями объемно-временной структуры дыхательного

цикла (табл. 1, 2, рисунок). Как и при речевом дыхании, дыхательный объем увеличился ( $P < 0,05$ ) за счет  $ThV_T$  ( $P < 0,05$ ), но данное увеличение было менее выражено. Повышение экспираторного сопротивления вызвало увеличение не только времени выдоха (на  $1,04 \pm 0,39$  с,  $P < 0,01$ ), но и времени вдоха (на  $0,85 \pm 0,20$  с,  $P < 0,01$ ).

Таблица 2

Временные и скоростные параметры дыхания при речевом дыхании и дыхании с добавочным экспираторным сопротивлением ( $M \pm m$ )

Параметры	Условия	Спонтанное дыхание	Воздействие	P <
$T_I$ , с	Речь	$1,62 \pm 0,18$	$1,44 \pm 0,11^{**}$	-
	Сопротивление		$2,47 \pm 0,30$	-
$T_E$ , с	Речь	$2,39 \pm 0,25$	$4,44 \pm 0,28^*$	0,01
	Сопротивление		$3,43 \pm 0,55$	0,01
$T_P$ , с	Речь	$0,43 \pm 0,12$	$0,12 \pm 0,05$	0,05
	Сопротивление		$0,27 \pm 0,06$	-
$T_T$ , с	Речь	$4,44 \pm 0,36$	$6,04 \pm 0,29$	0,01
	Сопротивление		$6,33 \pm 0,78$	0,01
$\bar{V}_I$ , мл/с	Речь	$389 \pm 48$	$603 \pm 75^{**}$	0,01
	Сопротивление		$316 \pm 36$	0,05
$Th \bar{V}_I$ , мл/с	Речь	$220 \pm 40$	$384 \pm 50^*$	0,01
	Сопротивление		$193 \pm 20$	0,05
$Ab \bar{V}_I$ , мл/с	Речь	$145 \pm 22$	$201 \pm 29^*$	0,05
	Сопротивление		$128 \pm 17$	-
$\bar{V}_E$ , мл/с	Речь	$279 \pm 47$	$195 \pm 26$	0,05
	Сопротивление		$204 \pm 18$	0,01
$Th \bar{V}_E$ , мл/с	Речь	$179 \pm 32$	$144 \pm 20$	0,05
	Сопротивление		$134 \pm 10$	-
$Ab \bar{V}_E$ , мл/с	Речь	$120 \pm 23$	$63 \pm 10$	0,01
	Сопротивление		$75 \pm 9$	0,01

Примечание. Обозначения см. табл.1.

Следует отметить, что при дыхании с сопротивлением появилась выраженная постэкспираторная пауза. В результате общее время дыхательного цикла значительно увеличилось (на  $1,89 \pm 0,57$  с,

$P < 0,01$ ), а частота дыхания, соответственно, уменьшилась.

При дыхании с добавочным экспираторным сопротивлением, как и при речевом дыхании, скорость выдоха уменьшилась (на  $75 \pm 46$  мл/мин,  $P < 0,05$ ) преимущественно за счет  $\Delta \bar{V}_{\text{Е}}$  ( $P < 0,01$ ). Скорость вдоха, в отличие от речевого дыхания, уменьшилась (табл. 2, рисунок).

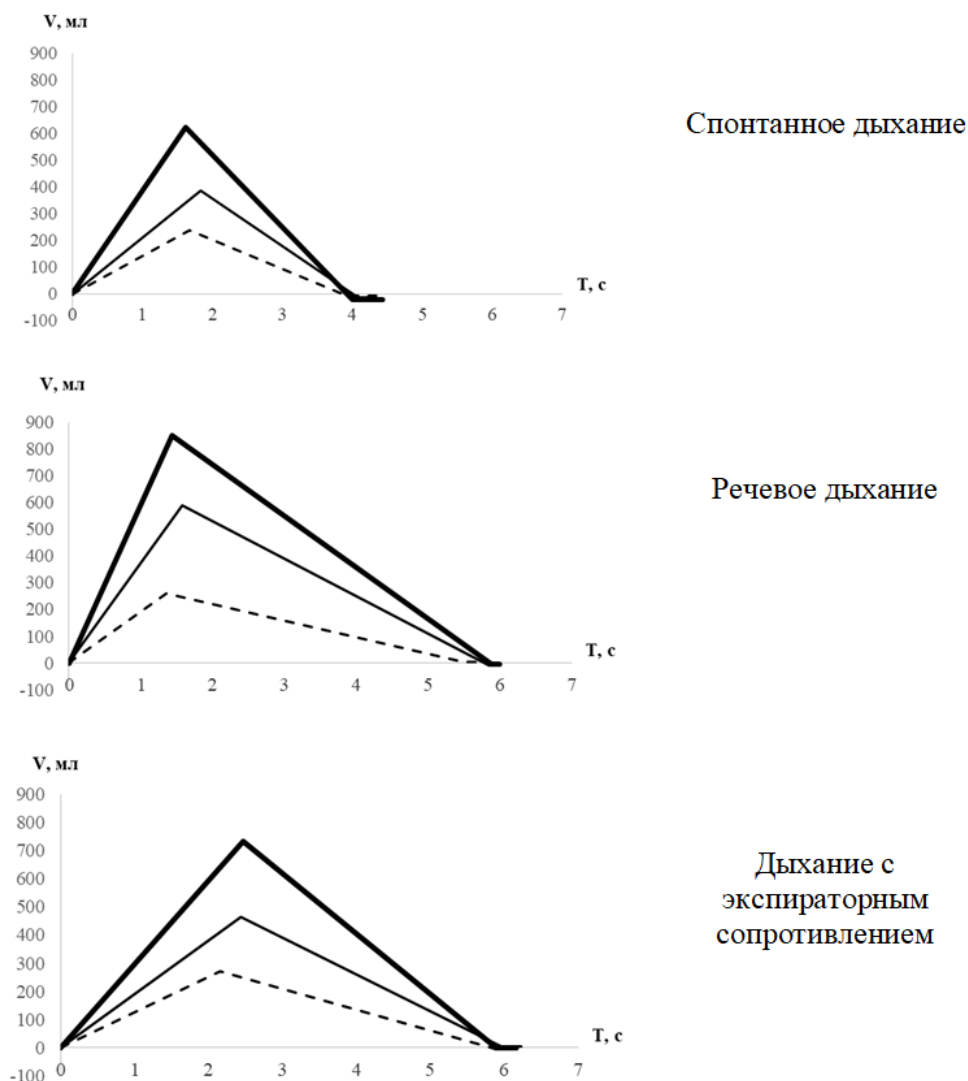


Рисунок. Объемно-временная структура усредненного дыхательного цикла при произнесении ритмичного текста и дыхании с экспираторным сопротивлением: жирная линия – дыхательный объем, тонкая – торакальная, штриховая – абдоминальная его составляющие

Снижение скорости вдоха произошло в равной мере за счет ее торакальной и абдоминальной составляющих. Минутный объем

вентиляции в результате перестроения объемно-временной структуры дыхательного цикла не изменился, и сохранился газовый гомеостаз.

Таким образом, дыхание с экспираторным сопротивлением сопровождается значительными изменениями объемно-временной структуры дыхательного цикла. Дыхание становится более редким за счет увеличения продолжительности вдоха и выдоха, что частично напоминает паттерн речевого дыхания. При наличии экспираторного сопротивления, испытуемый, уменьшая скорость выдоха за счет увеличения времени выдоха, выбирает энергетически наиболее оптимальный паттерн дыхания поскольку сопротивление потоку воздуха прямо пропорционально скорости потока.

**Заключение.** В результате проведенного исследования установлено, что при воспроизведении звуковой речи и дыхании с экспираторным сопротивлением, характер паттерна дыхания по ряду параметров является сходным. В обоих случаях происходит снижение частоты дыхания, за счет увеличения времени выдоха, и изовентиляторное (Бреслав, 1984) увеличение глубины дыхания за счет торакальной составляющей дыхательного объема.

Схожесть паттернов дыхания, вероятно, обусловлена тем, что при звуковой речи и при дыхании с добавочным сопротивлением экспираторный воздушный поток преодолевает дополнительную преграду. В первом случае преградой являются голосовые связки и резонаторы (Гранстрем, Кожевников, 1973; Морозов, 2005, 2006), во втором – трубка с отверстием 3 мм. Поэтому энергетически наиболее оптимальным оказывается паттерн дыхания с долгим медленным выдохом. Снижение скорости выдоха происходит в большей степени за счет скорости абдоминальной составляющей выдоха.

Различие дыхательных паттернов состоит в том, что при речевом дыхании скорость вдоха растет, а при дыхании с сопротивлением – падает. Увеличение скорости вдоха при звуковой речи обусловлено как автономной изовентиляторной реакцией, так и произвольным, для воспроизведения слитной речи, уменьшением времени вдоха. Изменение скорости вдоха происходит в большей степени за счет скорости торакальной составляющей выдоха.

Поскольку объем вентиляции легких при речевом дыхании и дыхании с экспираторным сопротивлением практически не изменяется, можно утверждать, что дыхательная система человека способна одновременно обеспечивать выполнение экспериментального задания и решать основную функциональную задачу – поддержание газового гомеостаза организма.

### **Список литературы**

- Бреслав И.С.* 1975. Произвольное управление дыханием у человека. Л.: Наука. С. 152.
- Бреслав И.С.* 1984. Паттерны дыхания. Л.: Наука. С. 204.
- Бреслав И.С., Глебовский В.Д.* 1981. Регуляция дыхания. Л.: Наука. С. 278.
- Гранстрем М.П., Кожевников В.А.* 1973. Дыхание и речь // Руководство по физиологии. Физиология дыхания. Л. С. 287-295.
- Миняев В.И.* 1978. Произвольное управление дыхательными движениями у человека. Калинин: Калинин. ун-т. 77с.
- Миняев В.И., Миняева А.В.* 1998. Зависимость соотношения и степени использования торакального и абдоминального дыхательных резервов от положения тела // Физиол. человека. Т. 24. № 5. С. 11-15.
- Миняев В.И.* 2010. Роль торакального и абдоминального компонентов дыхательного аппарата в компенсаторной реакции и адаптации дыхания к добавочному сопротивлению // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. № 1. С. 16-17.
- Морозов Г.И., Миняев В.И.* 2005. Особенности соотношений торакальных и абдоминальных составляющих параметров вентиляции легких при речевом дыхании в условиях прогрессирующей гиперкапнии // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. № 1. С. 19-24.
- Морозов Г.И., Миняев В.И.* 2006. Особенности объемно-временной структуры дыхательного цикла при заданной внутренней речи // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. № 2. С. 21-24.
- Пятин В.Ф., Никитин О.Л.* 1998. Генерация дыхательного ритма. Самара. С. 96.
- Солопов И.Н.* 1998. Способность человека оценивать изменения и величину основных параметров внешнего дыхания при мышечной работе // Физиология человека. Т. 24 № 5. С. 35.

### **COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF THE RESPIRATORY CYCLE AT ADDITIONAL EXPIRATORY RESISTANCE AND SPEECH RESPIRATION**

**G.I. Morozov, A.V. Minyayeva, M.N. Petushkov**  
Tver State University, Tver

In 8 practically healthy young women, the behavior of the thoracic and abdominal components of the respiratory system was studied when pronouncing a rhythmic text and when breathing with additional resistance on exhalation. It is revealed that speech breathing and breathing with expiratory resistance have a similar pattern, which allows treating speech breathing as breathing with expiratory resistance.

**Keywords:** *pattern, thoracic, abdominal, speech breathing, breathing with expiratory resistance, iso-ventilation reaction, gas homeostasis.*



*Об авторах:*

МОРОЗОВ Глеб Игоревич – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Morozov.GI@tversu.ru.

МИНЯЕВА Арина Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Minyaeva.AV@tversu.ru.

ПЕТУШКОВ Михаил Николаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: Petushkov.MN@tversu.ru.

Морозов Г.И. Сравнительная характеристика структуры дыхательного цикла при добавочном экспираторном сопротивлении и речевом дыхании / Г.И. Морозов, А.В. Миняева, М.Н. Петушков // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 1 (65). С. 24-32.