

УДК 616.2-092(035)

В.А.Елисеев

ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДЫХАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА ПРИ ОБСТРУКТИВНОМ СИНДРОМЕ

*Институт водных и экологических проблем СО РАН,
Алтайский государственный медицинский университет, г.Барнаул*

РЕЗЮМЕ

Хроноструктура дыхательного цикла состоит из 8 фаз: на вдохе – ускорение, равномерная, замедление и инспираторное плато; на выдохе – ускорение, равномерная, замедление и экспираторное плато. При спокойном дыхании у больных хроническим бронхитом с обструктивным синдромом отмечено укорочение инспираторного и экспираторного плато, фаз ускорения на вдохе и на выдохе, а также удлинение фазы замедления. В режиме максимальной вентиляции легких зарегистрировано удлинение фазы ускорения на вдохе и фазы замедления на выдохе.

SUMMARY

V.A.Yeliseev

PHASE ANALYSIS OF A RESPIRATORY CYCLE UNDER OBSTRUCTIVE SYNDROME

The chronostructure of a respiratory cycle consists of 8 phases: under inhale – acceleration, uniform phase, slowing down and inspiratory plateau are observed; under exhale – acceleration, uniform phase, slowing down and expiratory plateau are observed. Under quiet breathing the patients suffered from chronic bronchitis with obstructive syndrome had shortened inspiratory and expiratory plateaus and hopped acceleration phases under inhale and exhale as well as stretching the acceleration phase under inhale and the phase slowing down under exhale.

Обструктивный синдром (ОС) есть патологическое состояние организма, связанное с нарушением проходимости дыхательных путей [7]. Наиболее частой причиной этого состояния являются хронические неспецифические заболевания бронхов и легких [6]. Функциональная диагностика ОС производится с помощью различных аппаратов, регистрирующих объемные величины легких (статические показатели) и скоростные изменения воздушного потока (V , л/с). Скорость воздушного потока измеряется на различных уровнях бронхиального дерева и характеризует проходимость крупных, средних и мелких бронхов [3]. Скрытые (компенсированные) изменения в дыхательных путях могут быть определены при форсированном дыхании [5]. Использование современных

пневмотахографических аппаратов дает возможность регистрировать при спокойном и форсированном дыхании скорость воздушного потока в л/с (первая производная от объемных величин) и ускорение воздушного потока в л/с² (вторая производная) [4].

Определяя вторую производную в различных фазах дыхательного цикла, можно выделить различные временные отрезки изменений V , л/с. Еще в 1979 году И.П.Блохиным [1], при проведении исследований функции внешнего дыхания на спирографе закрытого типа, был предложен фазовый анализ дыхательного цикла (ФАДЦ). При спокойном дыхании автор выделил 8 фаз: 4 на вдохе и 4 – на выдохе. На вдохе он определял фазы: ускорения (1 – первая), равномерная (2 – вторая), замедления (3 – третья) и инспираторное плато (4 – четвертая); на выдохе – ускорения (5 – пятая), равномерная (6 – шестая), замедления (7 – седьмая) и экспираторное плато (8 – восьмая). При форсированном дыхании инспираторное и экспираторное плато практически исчезают и остается 6 фаз: 3 на вдохе (ускорение, равномерная и замедление) и 3 на выдохе (ускорение, равномерная и замедление). Изучая ФАДЦ у здоровых лиц в различных положениях (сидя, стоя, лежа, с наклоном), автор отмечает изменения структуры фаз дыхательного цикла, в то время как объемные и скоростные параметры остаются постоянными. При графическом изображении на современных безинерционных пневмотахографических аппаратах открытого типа с регистрацией скорости воздушного потока и его ускорения, довольно просто, можно выделить фазовые отрезки при спокойном и форсированном дыхании.

Целью настоящей работы было изучение фазовой структуры дыхательного цикла у больных бронхолегочной патологией с обструктивным синдромом.

Функция внешнего дыхания (ФВД) регистрировалась на пневмотахографе Казанского производства. По пневмотахограмме (ПТХГ) рассчитывались объемные показатели: частота дыхания в минуту (ЧД), дыхательный объем в литрах (ДО), минутный объем спокойного (МОД) и форсированного (МВЛ) дыхания в литрах; скоростные величины: скорость воздушного потока в л/с (V) и ускорение скорости воздушного потока в л/с² (a). Кроме того, по ПТХГ проводили фазовый анализ дыхательного цикла в сек. и в относительных величинах (%). Степень недостаточности функции внешнего дыхания при обструктивном синдроме оценивалась по классификации, предложенной Л.Л.Шиком, Н.И.Канаевым [5] и

В.Г.Бокша [2]. Авторы выделяют четыре степени вентиляционной недостаточности по обструктивному типу: отсутствие вентиляционной недостаточности (BH_0), умеренная степень недостаточности (BH_1), значительная (BH_2) и резкая (BH_3).

Под нашим наблюдением находилось 295 мужчин и женщин в возрасте 25-50 лет, из них 250 человек страдали хроническим обструктивным бронхитом с различной степенью выраженности обструкции (основная группа), из которых у 83 человек определялась BH_1 , у 86 – BH_2 , у 81 – BH_3 . Контрольную группу составили 45 здоровых людей.

Объемные показатели (МЛД, МВЛ) регистрировались на табло пневмотахографа, ЧД отмечалась на графическом изображении (рис. 1, 2). Скорость воздушного потока определялась по пневмотахограмме. Средняя V л/с оценивалась в фазе равномерного движения воздушного потока на вдохе и выдохе при спокойном дыхании и при максимальной вентиляции.

Ускорение воздушного потока (а) отмечалось по пневмотахограмме на вдохе и на выдохе в фазах ускорения $a(+)$ и в фазах замедления $a(-)$. Расчет производился по формуле: $a = V$ (л/с) / t (с), где: a – ускорение в л/с²; V – средняя скорость воздушного потока в л/с, t – временной отрезок фазы дыхательного цикла в сек.

ФАДЦ проводился с выделением временных отрезков различных фаз при спокойном дыхании и в режиме максимальной вентиляции легких. ВДК вдо-

ха и выдоха определялось во временном сопоставлении этих фаз. Фазовая структура отмечалась в относительных величинах (%) при соотношении отдельных фаз ко всему дыхательному циклу.

При спокойном дыхании изучаемые объемные показатели ФВД практически не отличались в контрольной группе и у больных с различной степенью ВН (табл. 1). Только временное соотношение (ВДК) вдоха и выдоха имеют существенное отличие в различных группах ($p < 0,05$) в сторону относительного увеличения фазы выдоха. В режиме максимальной вентиляции легких все приведенные показатели имели значительные отличия в контрольной и основной группах. С возрастанием обструктивного синдрома уменьшается частота дыхания в минуту и дыхательный объем ($p < 0,05$), значительно снижается МВЛ ($p < 0,05$), возрастает ВДК ($p < 0,05$).

При спокойном дыхании обструкция дыхательных путей функционально «заставляет» менять фазовую структуру дыхательного цикла (диаграмма 1). Даже у лиц с начальными признаками обструкции, на вдохе отмечается укорочение временного отрезка на первой (ускорение) и второй (равномерная) фазах, удлинение третьей фазы (замедления). Значительно укорачивается инспираторное плато (четвертая фаза). На выдохе регистрируется укорочение времени пятой (ускорения) и шестой (равномерная) фаз, а также значительное удлинение седьмой фазы (замедления) и укорочение экспираторного плато (табл. 2).

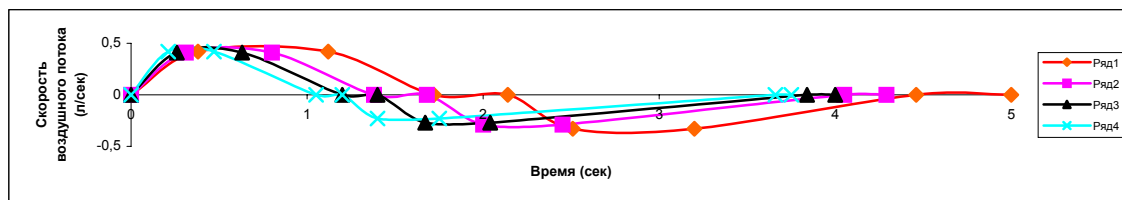


Рис. 1. Пневмотахограмма спокойного дыхания у здоровых (ряд 1) и у больных с BH_1 (ряд 2), с BH_2 (ряд 3) и с BH_3 (ряд 4).

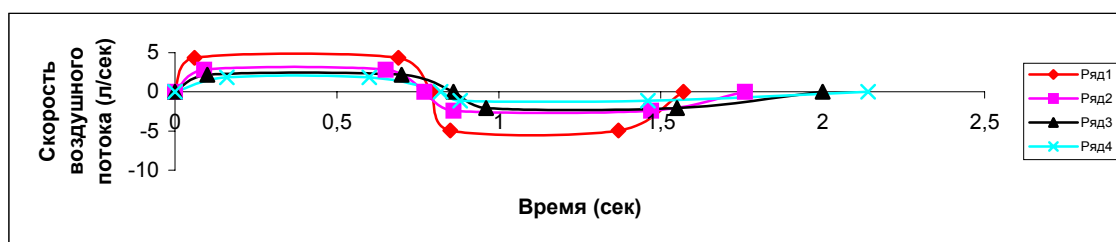


Рис. 2. Пневмотахограмма в режиме максимальной вентиляции у здоровых (ряд 1) и у больных с BH_1 (ряд 2), с BH_2 (ряд 3) и с BH_3 (ряд 4).

Таблица 1

Показатели ФВД у здоровых и у больных с различной степенью ВН при спокойном дыхании и в режиме максимальной вентиляции ($M \pm m$)

Показатели	Здоровые, n=45	ВН ₁ , n=83	ВН ₂ , n=86	ВН ₃ , n=81
Спокойное дыхание				
ЧД в мин	12 $\pm$ 1	14 $\pm$ 1	15 $\pm$ 1	16 $\pm$ 1
ДО, л	0,56 $\pm$ 0,02	0,48 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,01*	0,42 $\pm$ 0,01*
МОД, л	6,72 $\pm$ 0,25	6,72 $\pm$ 0,19	6,60 $\pm$ 0,17	6,72 $\pm$ 0,19
ВДК	1:1,34 $\pm$ 0,04	1:1,55 $\pm$ 0,05	1:1,86 $\pm$ 0,06	1:2,13 $\pm$ 0,08*
В режиме максимальной вентиляции				
ЧД в мин	38 $\pm$ 1	34 $\pm$ 1	30 $\pm$ 1*	28 $\pm$ 1*
ДО, л	2,89 $\pm$ 0,1	1,79 $\pm$ 0,04*	1,71 $\pm$ 0,04*	1,13 $\pm$ 0,03*
МВЛ/ДМВЛ, %	108,4 $\pm$ 3,7	81,1 $\pm$ 2,1*	63,2 $\pm$ 1,6*	46,4 $\pm$ 1,3*
ВДК	1:0,99 $\pm$ 0,03	1:1,29 $\pm$ 0,04*	1:1,33 $\pm$ 0,04*	1:1,55 $\pm$ 0,05*

Примечание: здесь и далее * - $p < 0,05$.

Таблица 2

Фазовая структура спокойного дыхательного цикла (%) у здоровых и у больных с различной степенью ВН ($M \pm m$)

Показатели	Фаза							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Здоровые	7,7 $\pm$ 0,3	14,4 $\pm$ 0,4	12,0 $\pm$ 0,4	8,4 $\pm$ 0,4	7,8 $\pm$ 0,3	13,8 $\pm$ 0,4	25,3 $\pm$ 0,6	10,6 $\pm$ 0,4
ВН ₁	7,2 $\pm$ 0,2	11,4 $\pm$ 0,3*	13,6 $\pm$ 0,3*	7,0 $\pm$ 0,2*	7,5 $\pm$ 0,2	10,4 $\pm$ 0,3*	37,4 $\pm$ 0,5*	5,5 $\pm$ 0,2*
ВН ₂	6,6 $\pm$ 0,2*	9,2 $\pm$ 0,3*	14,2 $\pm$ 0,3*	5,1 $\pm$ 0,1*	6,7 $\pm$ 0,2*	9,2 $\pm$ 0,3*	45,1 $\pm$ 0,7*	3,9 $\pm$ 0,1*
ВН ₃	6,0 $\pm$ 0,2*	6,5 $\pm$ 0,2*	15,5 $\pm$ 0,3*	3,9 $\pm$ 0,1*	5,0 $\pm$ 0,2*	9,3 $\pm$ 0,3*	51,4 $\pm$ 0,7*	2,4 $\pm$ 0,1*

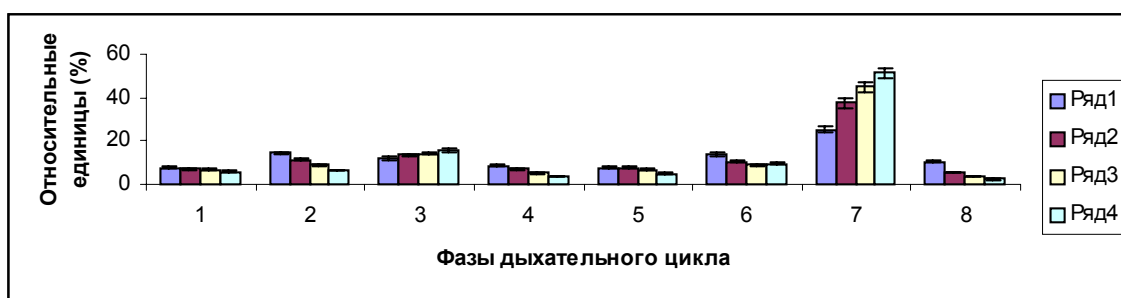


Диаграмма 1. Соотношение длительности фаз свободного дыхательного цикла у здоровых (ряд 1) и больных с ВН₁ (ряд 2), с ВН₂ (ряд 3) и с ВН₃ (ряд 4).

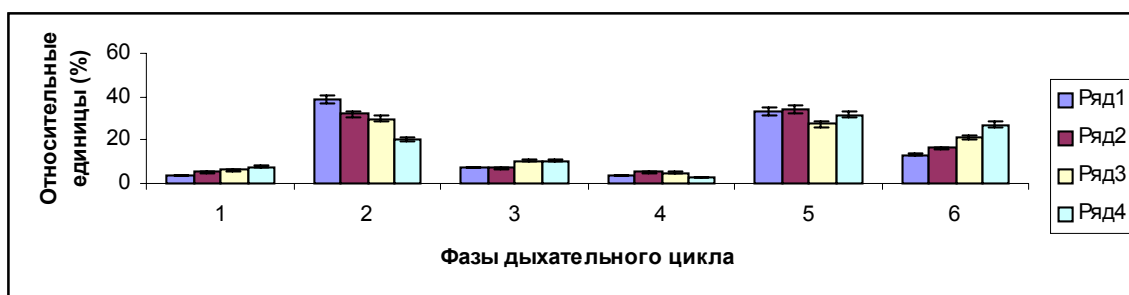


Диаграмма 2. Соотношение длительности фаз дыхательного цикла в режиме максимальной вентиляции у здоровых (ряд 1) и у больных с ВН₁ (ряд 2) с ВН₂ (ряд 3) и с ВН₃ (ряд 4).

В режиме максимальной вентиляции при обструкции изменения фазовой структуры дыхательного цикла отмечаются наглядно с возрастанием степени ВН (диаграмма 2). На вдохе существенно увеличиваются временные отрезки в фазах ускорения и замедления, уменьшаются в равномерной фазе. На выдохе резко возрастает фаза замедления (табл. 3).

Скорость воздушного потока при спокойном дыхании и в режиме МВЛ в контрольной группе и у больных с обструктивным синдромом различной степени выраженности приведены в таблице 4. Скорость на вдохе была несколько больше, чем на выдохе, и колебалась во всех группах от 0,41 до 0,42 л/с. Скорость воздушного потока на выдохе статистически достоверно уменьшалась во всех группах больных ($p < 0,05$). У здоровых людей V (л/сек) выдоха составляла $0,33 \pm 0,01$ л/с, у больных с ВН₁ - $0,29 \pm 0,01$ л/с, с ВН₂ - $0,27 \pm 0,01$ л/с, с ВН₃ - $0,23 \pm 0,01$ л/с.

На вдохе и на выдохе в режиме максимальной вентиляции скорость потока существенно отличались во всех группах ($p < 0,05$). С возрастанием обструкции у больных было отмечено снижение этого показателя. Так, в контрольной группе V (л/сек) вдоха составила $4,35 \pm 0,16$ л/с. У больных с ВН₁ она уменьшилась до $2,82 \pm 0,08$ л/с, с ВН₂ до $2,17 \pm 0,06$ л/с, с ВН₃ до $1,84 \pm 0,05$ л/с. Скорость воздушного потока на выдохе у здоровых людей составила $4,94 \pm 0,18$ л/с. У больных она также уменьшилась до $2,41 \pm 0,06$ л/с с ВН₁, до $2,08 \pm 0,05$ л/с с ВН₂, до $1,12 \pm 0,04$ л/с с ВН₃.

Ускорение воздушного потока при спокойном дыхании в контрольной группе и у больных с обструктивным синдромом с различной степенью выраженности приведены на диаграмме 3. На вдохе в первой

фазе во всех группах больных отмечается достоверное увеличение ускорения ($p < 0,05$). Так, у здоровых лиц этот показатель соответствовал $1,11 \pm 0,04$ л/с². Статистически достоверно ускорение увеличивалось у больных с ВН₁ до $1,32 \pm 0,03$ л/с², с ВН₂ до $1,58 \pm 0,03$ л/с² и с ВН₃ до $2,05 \pm 0,04$ л/с². На вдохе в фазе замедления не было зарегистрировано статистически достоверного изменения отрицательного ускорения и этот показатель колебался от 0,70 до 0,72 л/с². На выдохе в четвертой фазе вновь отмечаются достоверные отличия по группам ($p < 0,05$). С возрастанием тяжести обструкции возрастает положительное ускорение. Так, в контрольной группе оно составляло $0,89 \pm 0,03$ л/с². У больных этот показатель возрастал: при ВН₁ до $0,91 \pm 0,02$ л/с², при ВН₂ до $1,00 \pm 0,03$ л/с², при ВН₃ до $1,15 \pm 0,03$ л/с². На выдохе в фазе замедления изменения отрицательного ускорения имели обратную закономерность. У больных с возрастанием тяжести обструкции ускорение уменьшалось ($p < 0,05$). Так, в контрольной группе этот показатель составил $0,26 \pm 0,01$ л/с². У больных отрицательное ускорение уменьшилось при ВН₁ до $0,18 \pm 0,01$ л/с², при ВН₂ до $0,15 \pm 0,01$ л/с², при ВН₃ до $0,12 \pm 0,01$ л/с².

Ускорение воздушного потока в режиме максимальной вентиляции легких в контрольной группе и у больных с обструктивным синдромом с различной степенью выраженности представлены на диаграмме 4. Существенные различия были отмечены в сравнении в группах здоровых и больных в фазах ускорения и замедления на вдохе и на выдохе ($p < 0,05$). С возрастанием ВН все показатели ускорения положительные и отрицательные статистически достоверно уменьшились (табл. 5).

Таблица 3

Фазовая структура дыхательного цикла (%) в режиме максимальной вентиляции у здоровых и у больных с различной степенью ВН ($M \pm m$)

Показатели	Фаза					
	1	2	3	4	5	6
Здоровые	$3,9 \pm 0,1$	$38,6 \pm 0,9$	$7,4 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,1$	$33,3 \pm 0,8$	$13,2 \pm 0,1$
ВН ₁	$5,3 \pm 0,1^*$	$32,0 \pm 0,5^*$	$7,0 \pm 0,2^*$	$5,2 \pm 0,1^*$	$34,3 \pm 0,6^*$	$16,2 \pm 0,1^*$
ВН ₂	$6,3 \pm 0,1^*$	$29,7 \pm 0,5^*$	$10,6 \pm 0,3^*$	$4,9 \pm 0,2^*$	$27,5 \pm 0,5^*$	$21,0 \pm 0,4^*$
ВН ₃	$7,5 \pm 0,2^*$	$20,6 \pm 0,4^*$	$10,5 \pm 0,3^*$	$2,6 \pm 0,1^*$	$31,7 \pm 0,5^*$	$27,1 \pm 0,4^*$

Таблица 4

Скорость воздушного потока (л/сек) при спокойном дыхании и в режиме МВЛ у здоровых и у больных с различной степенью ВН ($M \pm m$)

Показатели	Спокойное дыхание		В режиме МВЛ	
	V , л/сек вдоха	V , л/сек выдоха	V , л/сек вдоха	V , л/сек выдоха
Здоровые	$0,42 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,01$	$4,35 \pm 0,16$	$4,94 \pm 0,18$
ВН ₁	$0,41 \pm 0,01$	$0,29 \pm 0,01$	$2,82 \pm 0,02^*$	$2,41 \pm 0,06^*$
ВН ₂	$0,41 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,01$	$2,17 \pm 0,06^*$	$2,08 \pm 0,05^*$
ВН ₃	$0,42 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,01^*$	$1,84 \pm 0,05^*$	$1,12 \pm 0,04^*$

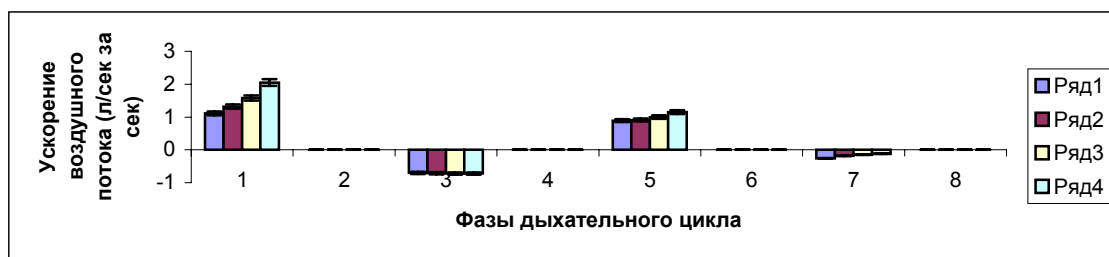


Диаграмма 3. Ускорение воздушного потока при спокойном дыхании у здоровых (ряд 1) и у больных с ВН₁ (ряд 2), с ВН₂ (ряд 3) и с ВН₃ (ряд 4).

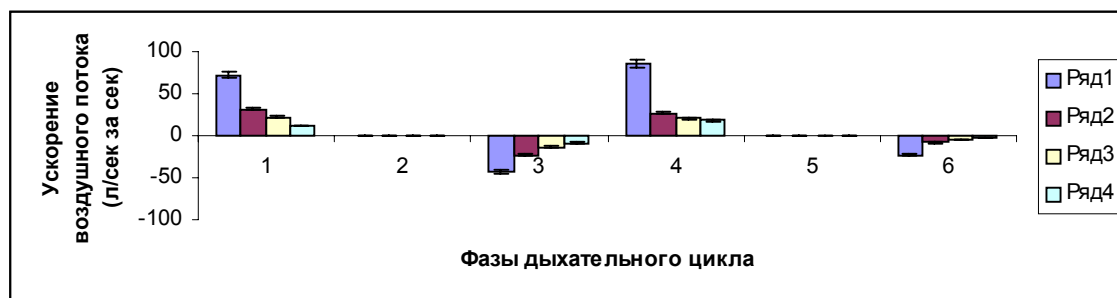


Диаграмма 4. Ускорение воздушного потока в режиме максимальной вентиляции у здоровых (ряд 1) и у больных с ВН₁ (ряд 2), с ВН₂ (ряд 3) и с ВН₃ (ряд 4).

Таблица 5
Ускорение воздушного потока (в) л/сек²
в режиме МВЛ у здоровых и у больных
с различной степенью ВН (М±m)

Показатели	Вдох		Выдох	
	а (+)	а (-)	а (+)	а (-)
Здоровые	72,5±3,1	43,5±1,8	85,7±3,7	23,4±1,2
ВН ₁	31,3±1,5*	23,5±0,9*	26,7±1,0*	8,3±0,5*
ВН ₂	21,7±1,1*	13,5±0,8*	20,8±0,9*	4,6±0,1*
ВН ₃	11,5±0,8*	8,36±0,5*	18,6±0,9*	1,65±0,04*

Таким образом, анализ фазовой структуры дыхательного цикла у больных с бронхо-легочными заболеваниями дает возможность функционально диагностировать обструкцию дыхательных путей с выделением степени вентиляционной недостаточности.

Выводы

1. Перестройка фазовой структуры спокойного дыхания при обструктивном синдроме идет по пути укорочения инспираторного и экспираторного плато (четвертая и восьмая фазы), фаз ускорения на вдохе (первая) и на выдохе (пятая), равномерной фазы на вдохе (вторая), удлинения фазы замедления на вдохе (третья) и на выдохе (седьмая).

2. В режиме максимальной вентиляции при обструкции дыхательный цикл перестраивается удлинением фазы ускорения на вдохе и фазы замедления на выдохе, укорочением равномерной фазы на вдохе.

3. При спокойном дыхании у лиц с обструктив-

ными проявлениями отмечается достоверное увеличение положительного ускорения воздушного потока на вдохе и отрицательного ускорения на выдохе.

4. Наряду со снижением скорости воздушного потока в режиме максимальной вентиляции у больных с обструктивным синдромом резко уменьшается положительное и отрицательное ускорение воздушного потока на вдохе и на выдохе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин И.П. Фазовый анализ дыхательного цикла//Физиологический журнал СССР им. И.М.Сеченова.- 1979.- №12.- С.1787-1992.
2. Бокша В.Г. Санаторно-климатическое лечение больных хронической пневмонией.- Киев: Здоров'я, 1976.- 115 с.
3. Бреслав И.С. Паттерны дыхания. – Л.: Наука, 1984.- 206 с.
4. Левицкая В.Л. Роль пневмотахографии в диагностике и оценки эффективности лечения дистоний бронхов при заболеваниях органов дыхания пылевой этиологии//Тер. архив.- 1988.- №3.- С.64-66.
5. Руководство по клинической физиологии дыхания/Под ред. Л.Л.Шика, Н.Н.Канаева.- Л.: Медицина, 1980.- 376 с.
6. Руководство по пульмонологии / Под ред. Н.В.Путова, Г.Б.Федосеева.- Л.: Медицина, 1978.- 504 с.
7. Физиологические и патофизиологические механизмы проходимости бронхов/Г.Б.Федосеев, С.С.Жихарев, Т.Р.Лаврова и др.- Л.: Наука, 1984. - 280 с.

