

3. Гуревич М. И., Соловьев А. И., Литовченко Л. П., Доломан Л. Б. Импедансная реоплетизмография.— Киев: Наук. думка, 1982.— 175 с.
4. Гуревич М. И., Соловьев А. И., Доломан Л. Б. Возможности и перспективы метода трансторакальной импедансной реоплетизмографии для неинвазивного исследования гемо- и кардиодинамики.— Физиол. журн., 1979, 25, № 4, с. 465—471.
5. Кедров А. А. Попытка количественной оценки центрального и периферического кровообращения электрометрическим методом.— Клин. медицина, 1948, № 5, с. 32—51.
6. Межбич Б. И. Электроплетизмография легких.— Новосибирск: Наука, 1969.— 183 с.
7. Науменко А. И., Скотников В. В. Основы электроплетизмографии.— Л.: Медицина, 1975.— 215 с.
8. Пушкарь Ю. Т., Мухарлямов Н. М., Афанасьева Л. С., Юрьев С. А. Изучение гемодинамики малого круга кровообращения у больных хроническими неспецифическими заболеваниями легких методом основной и дифференциальной реографии.— Кардиология, 1968, 8, № 4, с. 55—58.
9. Тальпис Б. Л. Основная и дифференциальная реопульмонография как метод изучения функционального состояния сердца и гемодинамики в малом круге кровообращения у детей, страдающих хронической пневмонией.— В кн.: Вопросы пульмонологии детского возраста. М.: Медицина, 1969, с. 131—132.
10. Таджиев К. Т., Носенко Г. И. Изучение кровообращения в легких методом реографии.— Сов. медицина, 1967, № 7, с. 33—36.
11. Фринерман Е. А. Зональная реография как метод оценки легочного кровообращения и вентиляции у больных туберкулезом легких.— Пробл. туберкулеза, 1970, № 7, с. 44—49.
12. Kubicek W. G., Karnegis I. M., Patterson R. P. et al. Development and evaluation of an impedance cardiac output system.— Aerospace Med., 1966, 37, Dec., p. 1208—1212.
13. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography a physical and physiologic approach to peripheral vascular study.— Circulation, 1950, N 2, p. 811—821.

Дет. респ. противотуберкулез. санаторий МЗ УССР:
Ин-т физиологии им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев

Поступила 11.03.83

УДК 612.216.2:612.217—053.819

Л. А. Иванов

ОБЪЕМНАЯ СКОРОСТЬ ВДОХА И ВЫДОХА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ДЫХАНИЯ У ЛЮДЕЙ РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА

Большой интерес представляет исследование биомеханики дыхания — связи между работой дыхательной мускулатуры, давлением в разных частях аппарата внешнего дыхания, объемом легких и движением воздуха, что позволяет понять физическую сущность и физиологические механизмы происходящих при этом процессов и их количественные закономерности [9].

В связи с тем, что одним из важнейших показателей биомеханики дыхания является объемная скорость движения дыхательных газов по воздухоносным путям, целью настоящей работы явилось изучение объемной скорости вдоха и выдоха при различных режимах дыхания в пожилом и старческом возрасте.

Методика. Было обследовано 75 практически здоровых людей (30 мужчин, 45 женщин) пожилого и старческого (60—94 года) возраста, а также 30 здоровых молодых людей (11 мужчин, 19 женщин) 19—33 лет, составивших контрольную группу.

Величину дыхательных потоков определяли на аппарате «Пневмотахограф» фирмы «Годарт—Стетхем» при использовании в качестве датчика головки Флейша с регистрацией на рекордере этой же фирмы. Исследование проводили в положении сидя, утром, натощак. Дыхательные потоки определяли при трех режимах дыхания — спокойном, медленном глубоком, форсированном.

Результаты и их обсуждение. Как показали проведенные исследования (см. таблицу), величины дыхательных потоков на вдохе были большими, чем на выдохе, в обеих возрастных группах при спокойном

и глубоком дыхании. Так, у людей молодого возраста объемная скорость дыхательного потока на вдохе была при спокойном дыхании на 23 % выше, а при глубоком — на 24 % выше, чем на выдохе, а у людей пожилого и старческого возраста — соответственно на 12 и 30 %. Преобладание величины дыхательных потоков на вдохе объясняется следующим. Существует, как это было установлено ранее [11], взаимосвязь между внутригрудным давлением и шириной различных частей трахеобронхиального дерева. При вдохе отрицательное плевральное давление, способствующее расширению дыхательных путей, повышается. Расширению дыхательных путей на вдохе способствует также возрастание эластической тяги легких, действующей радиально на стенки бронхов. В связи с тем, что поперечник бронхов в фазу вдоха больше, а объемная скорость дыхательных потоков находится в прямой зависимости от диаметра воздухоносных путей, становится понятной большая величина дыхательных потоков на вдохе, чем на выдохе. При форсированном дыхании обнаруживается обратное соотношение, а именно — объемная скорость дыхательного потока на выдохе больше, чем на вдохе в обеих возрастных группах. Это объясняется тем, что абсолютная величина движущего потока давления — положительного альвеолярного давления на выдохе при форсированном дыхании значительно больше, чем величина отрицательного альвеолярного

Объемные скорости вдоха и выдоха при различных режимах дыхания

Режим дыхания	Исследуемый показатель	Молодой возраст			
		В целом	Мужчины	Женщины	p половых различий
Спокойное	Объемная скорость вдоха, л/с	$0,60 \pm 0,06$	$0,77 \pm 0,10$	$0,51 \pm 0,04$	$< 0,02$
	Объемная скорость выдоха, л/с	$0,50 \pm 0,06$	$0,70 \pm 0,10$	$0,42 \pm 0,03$	$< 0,02$
	Отношение объемной скорости вдоха к объемной скорости выдоха	$1,23 \pm 0,06$	$1,10 \pm 0,09$	$1,30 \pm 0,06$	$< 0,2$ $> 0,1$
	Отношение длительности выдоха к длительности вдоха	$1,37 \pm 0,05$	$1,31 \pm 0,15$	$1,39 \pm 0,08$	$< 0,6$ $> 0,5$
Глубокое	Объемная скорость вдоха, л/с	$1,45 \pm 0,14$	$2,00 \pm 0,28$	$1,24 \pm 0,16$	$= 0,02$
	Объемная скорость выдоха, л/с	$1,23 \pm 0,07$	$1,67 \pm 0,15$	$0,98 \pm 0,11$	$< 0,01$
	Отношение объемной скорости вдоха к объемной скорости выдоха	$1,24 \pm 0,08$	$1,20 \pm 0,16$	$1,27 \pm 0,16$	$> 0,9$
	Отношение длительности выдоха к длительности вдоха	$1,40 \pm 0,07$	$1,53 \pm 0,15$	$1,32 \pm 0,08$	$= 0,2$
Форсированное	Объемная скорость вдоха, л/с	$5,9 \pm 0,35$	$7,5 \pm 0,50$	$5,1 \pm 0,30$	$< 0,001$
	Объемная скорость выдоха, л/с	$7,1 \pm 0,41$	$9,2 \pm 0,60$	$6,0 \pm 0,30$	$< 0,001$
	Отношение объемной скорости вдоха к объемной скорости выдоха	$0,83 \pm 0,03$	$0,82 \pm 0,07$	$0,84 \pm 0,05$	$> 0,9$
	Отношение длительности выдоха к длительности вдоха	$1,69 \pm 0,21$	$1,29 \pm 0,24$	$1,91 \pm 0,29$	$= 0,1$
	Кратность увеличения объемной скорости вдоха по сравнению со спокойным дыханием	$9,8 \pm 1,31$	$9,4 \pm 1,58$	$10,0 \pm 1,52$	$= 0,9$
	Кратность увеличения объемной скорости выдоха по сравнению со спокойным дыханием	$13,9 \pm 1,49$	$13,4 \pm 1,81$	$14,2 \pm 1,65$	$< 0,8$ $> 0,7$

давления на вдохе [2, 5], по-видимому, в связи с тем, что выдыхательная мускулатура большей силы, чем вдыхательная [5].

При спокойном дыхании величины объемной скорости вдоха и выдоха не отличались у молодых, пожилых и старых людей. При глубоком дыхании величины объемной скорости вдоха различались несущественно у людей разного возраста, а выдоха — оказались в группе 60—94 лет достоверно сниженными по сравнению с молодыми. При форсированном дыхании у пожилых и старых людей была снижена объемная скорость как вдоха, так и выдоха. При спокойном, глубоком и форсированном дыхании длительность выдоха превышала длительность вдоха, причем это преобладание при спокойном и глубоком дыхании было больше выражено в пожилом и старческом возрасте, чем в молодом (см. таблицу).

Таким образом, при некоторых режимах дыхания объемные скорости дыхательных потоков оказались уменьшенными у пожилых и старых людей. Это можно объяснить возрастными изменениями воздухоносных путей, нарушающими бронхиальную проходимость, — инфильтрацией стенок бронхов лимфоидными и плазматическими элементами, склерозированием бронхиальных стенок, появлением в просвете бронхов слизи, слущенного эпителия. Кроме того, разрастание грубоволокнистой соединительной ткани вокруг бронхов в сочетании с час-

у людей молодого, пожилого и старческого возраста ($M \pm m$)

Пожилый и старческий возраст				р возрастных различий		
В целом	Мужчины	Женщины	р половых различий	между группами	между мужчинами	между женщинами
$0,62 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,04$	$0,53 \pm 0,03$	$<0,001$	$<0,7$	$<0,9$	$>0,9$
$0,58 \pm 0,03$	$0,70 \pm 0,04$	$0,48 \pm 0,03$	$<0,001$	$>0,6$	$>0,8$	$<0,2$
$1,12 \pm 0,05$	$1,13 \pm 0,07$	$1,11 \pm 0,08$	$>0,9$	$=0,2$	$>0,9$	$>0,1$
				$<0,3$	$<0,9$	$<0,1$
				$>0,2$	$>0,8$	$>0,05$
$1,52 \pm 0,05$	$1,54 \pm 0,07$	$1,50 \pm 0,08$	$=0,7$	$=0,05$	$<0,05$	$<0,4$
						$>0,3$
$1,30 \pm 0,06$	$1,60 \pm 0,10$	$1,10 \pm 0,06$	$<0,001$	$=0,3$	$=0,2$	$=0,4$
$1,03 \pm 0,06$	$1,20 \pm 0,09$	$0,90 \pm 0,08$	$=0,01$	$<0,05$	$<0,05$	$<0,6$
						$>0,5$
$1,30 \pm 0,14$	$1,30 \pm 0,18$	$1,22 \pm 0,19$	$>0,9$	$<0,5$	$=0,6$	$=0,6$
				$>0,4$		
$2,00 \pm 0,15$	$1,94 \pm 0,17$	$2,03 \pm 0,21$	$=0,7$	$<0,001$	$<0,1$	$<0,003$
					$>0,05$	
$4,1 \pm 0,13$	$4,6 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,15$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$
$5,2 \pm 0,36$	$5,6 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,18$	$=0,01$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$
$0,78 \pm 0,03$	$0,82 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,06$	$>0,9$	$<0,9$	$<0,9$	$>0,9$
				$>0,8$	$>0,8$	
$1,79 \pm 0,11$	$1,76 \pm 0,16$	$1,81 \pm 0,15$	$=0,8$	$<0,7$	$=0,1$	$<0,8$
				$>0,6$		$>0,7$
$6,5 \pm 0,28$	$6,0 \pm 0,47$	$6,7 \pm 0,3$	$<0,7$	$<0,01$	$<0,05$	$<0,05$
			$>0,6$			
$8,9 \pm 0,37$	$7,85 \pm 0,5$	$9,1 \pm 0,5$	$<0,2$	$<0,001$	$<0,01$	$<0,01$
			$>0,1$			

тичной атрофией эластики в бронхиальной стенке приводит к неравномерной деформации бронхов [3, 10]. Возрастное уменьшение дыхательных потоков особенно выражено в фазе выдоха. Это проявляется в более отчетливом удлинении выдоха по сравнению со вдохом при спокойном и глубоком дыхании у пожилых и старых людей, чем у молодых, в снижении мощности выдоха при глубоком дыхании, в более значительном уменьшении мощности выдоха, чем вдоха, при форсированном дыхании у пожилых и стариков. Указанная особенность обусловлена, во-первых, уменьшением поперечника дыхательных путей в фазе выдоха, когда становятся более отчетливыми возрастные различия их просвета. Во-вторых, при старении снижается эластичность легких [8, 15]. Между тем эластическое спадение легких является важным фактором, обуславливающим мощность выдоха [6, 12].

Выраженность возрастных изменений величин дыхательных потоков нарастает при переходе от спокойного дыхания к глубокому и форсированному. При спокойном дыхании у пожилых и стариков отмечается лишь увеличение отношения продолжительности выдоха к длительности вдоха, при глубоком дыхании к нему присоединяется уменьшение мощности выдоха, при форсированном дыхании нарастают возрастные различия мощности выдоха и присоединяется возрастное снижение величины вдоха (см. таблицу). Указанная особенность объясняется следующим. При переходе от спокойного дыхания к глубокому объемная скорость движения воздуха увеличивается примерно вдвое. В результате преимущественно ламинарный поток в дыхательных путях, который наблюдается при спокойном дыхании, приближается к турбулентному. А при турбулентном потоке, согласно закону Пуазейля, увеличивается зависимость скорости потока от поперечника дыхательных путей, что приводит к более четкому выявлению возрастного уменьшения бронхиальной проходимости. Еще более резко выражена турбулентность дыхательного потока при форсированном дыхании, когда его скорость по сравнению со спокойным дыханием возрастает во много раз (см. таблицу). Увеличению возрастных различий объемной скорости выдоха при форсированном дыхании способствует также частичное и полное спадение воздухоносных путей в результате резкого увеличения внутригрудного давления, которое приобретает при форсированном выдохе положительное значение [1, 6, 12]. Сдавлению бронхов при этом препятствуют сопротивление их структурных элементов и эластическая тяга легочной ткани, растягивающая бронх. Возрастное уменьшение структурной устойчивости бронхов и эластичности легких способствует сдавлению бронхов при форсированном выдохе у пожилых и старых людей и тем самым четкому выявлению возрастных различий величин дыхательных потоков при форсированном выдохе.

Для пожилого и старческого возраста характерно ограничение диапазона увеличения дыхательных потоков при переходе от спокойного дыхания к форсированному (см. таблицу). Это отражает общую закономерность старения дыхательной системы — снижение ее функциональных возможностей в условиях напряженного функционирования [4, 7].

Что касается половых особенностей, то следует, во-первых, отметить меньшую величину дыхательных потоков у женщин в обеих возрастных группах при всех режимах дыхания. Это согласуется с литературными данными [13] и обусловлено меньшей силой дыхательной мускулатуры у женщин. Во-вторых, возрастное снижение дыхательных потоков у женщин в общем выражено меньше. При глубоком дыхании объемная скорость выдоха у мужчин старше 60 лет была достоверно снижена, а у женщин возрастные различия этого показателя были недостоверны (см. таблицу). При форсированном дыхании объемная скорость вдоха у мужчин пожилого и старческого возраста была снижена по сравнению с молодыми на 2,9 л/с, у женщин — на 1,5 л/с. Возрастное снижение мощности форсированного выдоха соответствен-

но составило 3,8 и 1,6 л/с. Вероятно, это обусловлено меньшими возрастными изменениями бронхиального дерева у женщин, в частности, вследствие меньшего неблагоприятного воздействия средовых факторов, в том числе курения. Действительно, среди обследованных женщин пожилого и старческого возраста курящих или длительно куривших в прошлом было 4 % от общего числа обследованных в то время как среди мужчин — 57 %.

Таким образом, возрастные различия дыхательных потоков наиболее четко выявляются при форсированном дыхании. Это соответствует широко распространенному мнению о том [1, 14], что именно маневр форсированного выдоха позволяет дать наиболее полную оценку функциональных возможностей дыхательной системы. На основании представленных данных можно полагать, что представляет интерес также исследование дыхательных потоков при различных режимах дыхания с определением соотношения их величин на вдохе и выдохе, отношения продолжительности фаз дыхания, диапазона изменения дыхательных потоков при переходе от спокойного к форсированному дыханию.

Выводы. Как в молодом, так в пожилом и старческом возрасте при спокойном и глубоком дыхании отмечается преобладание мощности вдоха над мощностью выдоха, а при форсированном дыхании — объемной скорости выдоха над скоростью вдоха.

В пожилом и старческом возрасте при спокойном и глубоком дыхании более отчетливо, чем в молодом, увеличено отношение длительности выдоха к продолжительности вдоха, при глубоком дыхании — уменьшена мощность выдоха, при форсированном дыхании — резко снижена объемная скорость вдоха и выдоха.

У женщин в обеих возрастных группах объемные скорости дыхательных потоков при разных режимах дыхания снижены и при старении это снижение выражено меньше, чем у мужчин.

L. A. Ivanov

INSPIRATORY AND EXPIRATORY FLOW RATES IN YOUNG, ELDERLY AND OLD PERSONS UNDER VARIOUS REGIMES OF BREATHING

Inspiratory and expiratory flow rates were measured in 75 clinically healthy elderly and old people (aged 60-94) and 30 clinically healthy young people (aged 19-33) by means of pneumotachography at quiet, slow and deep, and forced breathing. Under conditions of quiet and deep breathing the inspiratory flow rate exceeded the expiratory flow rate in both age groups. The relationship was reverse under forced breathing. At a quiet and deep breathing the prolongation of expiration as compared with that of inspiration was more pronounced in older people than in younger ones. The flow rate of expiration with deep breathing and especially with forced breathing decreased in older people. At forced breathing inspiratory flow rate decreased with aging. In older people the range of increase in force of inspiration and expiration was limited in transition from quiet to forced breathing. In women at all regimes of breathing the flow rates were decreased and grade of these age-associated changes was less pronounced as compared with men.

Institute of Gerontology, Academy
of Medical Sciences, USSR, Kiev

Список литературы

1. Вотчал Б. Е., Бибилова Т. И. Значение нарушений механизма дыхания (легочной динамики) в клинике и патогенезе эмфиземы легких. — Клин. медицина, 1949, 27, № 1, с. 19—32.
2. Вотчал Б. Е., Шнейдер М. С. Оценка современных методов исследования бронхиальной проходимости в клинике. — Там же, 1959, 37, № 3, с. 9—17.
3. Добрынин В. А. Морфологические особенности бронхов людей старше 40 лет. — В кн.: Старение и физиологические системы организма. Киев, 1969, с. 295—300.
4. Иванов Л. А. Показатели функции внешнего дыхания и газообмена при максималь-