

УДК: 612.217:616.233-002.2

С.П.Ершов, Ю.М.Перельман

**ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ
У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКИМ БРОНХИТОМ****РЕЗЮМЕ**

Проведено электромиографическое исследование функционального состояния диафрагмы, грудинно-ключично-сосцевидной, большой грудной мышц и прямой мышцы живота у 92 больных различными формами хронического бронхита и у 30 здоровых лиц. Показано, что у больных хроническим бронхитом имеет место высокий инспираторный драйв и увеличение электрической активности всех дыхательных мышц, нарастающие по мере развития обструктивного синдрома. Установлена связь электрической активности с паттерном дыхания, вентиляционной функцией и регионарным распределением вентиляции и кровотока в легких. Выведены регрессионные уравнения для расчета должных значений электрической активности дыхательных мышц.

SUMMARY

S.P. Ershov, J.M. Perelman

RESPIRATORY MUSCLE ELECTROPHYSIOLOGY EVALUATION IN PATIENTS WITH CHRONIC BRONCHITIS

Electromyographic evaluation of diaphragma, sternocleidomastoid, pectoralis major, rectus abdominis musceec function state was carried out in 92 patients with chronic bronchitis and in 30 health subjects. High respiratory drive and electric activity increase are found in all respiratory muscles in patients with chronic bronchitis. Both values increase with obstructive syndrome exacerbation. Electric activity is correlated with pattern, of breathing ventilatory function, and regional ventilation and blood flow distribution in lungs. Regression equation for calculation of expected values of respiratory muscle electric activity was worked out.

До настоящего времени недостаточно определены роль и место нарушений электрической активности диафрагмы и особенно вспомогательных дыхательных мышц, в частности, большой грудной мышцы в генезе кардиореспираторных нарушений при различных формах хронического бронхита (ХБ). Не изучена электрическая активность дыхательных мышц при необструктивном бронхите, несмотря на то, что эта

форма бронхита в структуре болезней органов дыхания занимает ведущее место [1,5,8]. Незначительное число работ посвящено электромиографии (ЭМГ) дыхательной мускулатуры у больных ХБ. Метод поверхностной ЭМГ вследствие своей неинвазивности обладает большим преимуществом, доступен в повседневной практической деятельности для изучения электрической активности поверхностно лежащих мышц и диафрагмы. Существенное расширение диагностических возможностей ЭМГ может дать применение нагрузочных проб [7]. До настоящего времени не разработаны количественные критерии диагностики электрической активности дыхательных мышц при разных формах ХБ. В литературе имеются противоречивые данные о величине электрического сигнала при хронических неспецифических заболеваниях легких. Одни авторы отмечают увеличение электрической активности мышц, работающих в неблагоприятных условиях повышенного сопротивления дыханию [6,26,27], другие, наоборот, ее снижение [2].

Цель настоящего исследования заключалась в изучении электрической активности дыхательных мышц при разных формах ХБ и разработка количественных электромиографических критериев диагностики нарушений их функционального состояния.

Обследованы 122 человека, составивших 4 группы. В 1 группу включены 30 здоровых лиц. Во вторую группу вошли 41 больной хроническим необструктивным бронхитом. Третью группу составили 26 больных ХБ с обструкцией дыхательных путей умеренной выраженности. В 4 группу вошли 25 больных ХБ со значительной и резкой степенью обструкции дыхательных путей.

Исследования проводились однократно на 2-3 день после поступления больных в стационар, в условиях относительного покоя через 2-3 часа после приема пищи. Электромиограммы (ЭМГ) регистрировали с помощью миографа МГ-42 ("Медикор", Венгрия). Для регистрации использовались поверхностные круглые электроды размером 8 мм в диаметре, выполненные из латуни. Для снижения переходного сопротивления кожу в месте наложения электродов обрабатывали спиртом с целью обезжиривания и наносили электродную пасту. Электроды фиксировались широкополосным лейкопластырем.

Снимались сигналы со следующих 4 групп мышц:

1. Диафрагма (Д). Электроды накладывались в 6-7 межреберье справа на уровне наружного края прямой мышцы живота [19].

2. Большая грудная мышца (БГ). Электроды накладывались справа по средне-ключичной линии в 3-

4 межреберье, у женщин - на одно межреберье выше из-за молочной железы.

3. Грудинно-ключично-сосцевидная мышца (ГКС). Одна из самых мощных вспомогательных мышц. Электроды накладывались следующим образом: нижний - на 2-3 см выше ключицы, верхний - на 2 см выше нижнего электрода [13].

4. Прямая мышца живота (ПЖ). Электроды накладывались на 3 см латеральнее и ниже пупка [16,21].

Исследование электрической активности дыхательных мышц проводилось в положении сидя, в удобном для пациента кресле при полном расслаблении.

ЭМГ регистрировалась при следующих дыхательных маневрах: спокойном дыхании, маневрах максимального вдоха и выдоха, максимальной вентиляции легких (МВЛ). Максимальный вдох осуществлялся от уровня остаточного объема легких (ООЛ) до уровня общей емкости легких (ОЕЛ), максимальный выдох - от уровня ОЕЛ до уровня ООЛ. Кроме того, регистрировали ЭМГ при максимальном инспираторном усилии при перекрытии дыхательных путей на уровне ООЛ и функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ), максимальном экспираторном усилии при перекрытии дыхательных путей на уровне ОЕЛ и ФОЕ.

При анализе электромиограмм рассчитывалась максимальная амплитуда ЭМГ (мкВ) - средняя арифметическая амплитуд ЭМГ в нескольких дыхательных комплексах.

Вентиляционную функцию легких оценивали с помощью бодиплетизмографии на блоке "Бодитест" комплекса "Эрих Егер" (ФРГ). При анализе данных бодиплетизмографии учитывали следующие показатели: эффективное бронхиальное сопротивление (Raw), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), жизненная емкость легких (ЖЕЛ), внутригрудной объем газа (ВГО), остаточный объем легких (ООЛ), общая емкость легких (ОЕЛ), отношение ООЛ/ОЕЛ, ВГО/ОЕЛ, форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ₁), отношение ОФВ₁/ЖЕЛ, ОФВ₁/ФЖЕЛ, пиковая скорость выдоха (ПОС), максимальная скорость выдоха на уровне 50% (МОС₅₀) и 75% ФЖЕЛ (МОС₇₅).

Для оценки регионарного распределения вентиляции, перфузии и вентиляционно-перфузионных отношений использовали методику зональной реографии легких. Электроды размером 24x46 мм, выполненные из латуни, накладывались справа и слева последовательно на область верхних, средних и нижних зон. При анализе зональных реопульмонограмм вентиляции учитывали реографические показатели дыхательного объема (Дор), систолического кровенаполнения (СКр), вентиляционно-перфузионных

отношений (МОВр/МПКр). Кроме зональных показателей рассчитывались суммарные (с шести зон легких) значения.

Для определения достоверности различий между средними значениями сравниваемых параметров между разными выборками использовался непарный критерий Стьюдента, в случаях негауссовых выборок применялись непараметрические непарные критерии Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни. При изучении внутригрупповых различий использовался парный критерий Стьюдента, в случаях негауссовых распределений достоверность различий определялась с помощью непараметрических парных критериев: Вилкоксона (U), Кенделя (S). Различия считались достоверными при $p < 0,05$. При корреляционном анализе рассчитывались коэффициенты корреляции (r). При негауссовом распределении использовалась непараметрическая корреляция по Спирмену, по Кенделю. При наличии положительной корреляции выводились уравнения множественной линейной регрессии.

Результаты исследований

По данным ЭМГ выявлено значительное увеличение электрической активности диафрагмы при спокойном дыхании (А_{ДО}) у всех больных ХБ (табл. 1). При максимальном инспираторном усилии без перекрытия дыхательных путей (А_{ЖЕЛ}), в отличие от пробы с перекрытиями (М_{ООЛ}, М_{ФОЕ}) отмечено увеличение электрической активности Д у больных 4 группы. При максимальных экспираторных усилиях без перекрытия и с перекрытием дыхательных путей (В_{ОЕЛ}, В_{ФОЕ}) достоверных различий не отмечалось. Не было различий в электрической активности Д при максимальной вентиляции легких (А_{МВЛ}).

Таблица 1
Электрическая активность (мкВ) диафрагмы у больных хроническим бронхитом

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
А _{ДО}	0,67±0,08	1,02±0,18 p<0,05	2,35±0,68 p<0,05	5,07±1,17 p<0,05
А _{ЖЕЛ}	18,9±2,92	19,3±2,08	22,7±4,87	29,2±5,90 p<0,05
М _{ООЛ}	21,0±3,96	28,8±7,12	22,1±4,87	19,3±4,16
М _{ФОЕ}	20,2±3,69	24,4±5,84	24,6±5,26	24,1±4,06
В _{ОЕЛ}	31,7±5,54	31,5±5,64	42,1±10,4	44,5±7,61
В _{ФОЕ}	36,8±5,70	49,3±9,68	43,2±10,5	48,2±9,42
А _{МВЛ}	19,5±3,18	17,1±2,30	16,7±2,22	26,2±4,84

Примечание: здесь и далее: p - уровень значимости различий с показателями 1 группы.

Установлена корреляционная зависимость между электрической активностью Д при спокойном дыхании и ДО у больных 2 и 3 групп (соответственно, $r = 0,54$ и $0,51$, $p < 0,05$). У больных 4 группы эта зависимость уменьшалась и была недостоверной. Это относится и к частоте дыхания (ЧД), коэффициенты корреляции с которой составили, соответственно, $-0,55$ и $-0,71$ ($p < 0,05$). У больных 4 группы связь с ЧД также терялась. В то время как в группе здоровых лиц не было выявлено корреляционной связи между $A_{до}$ и минутным объемом дыхания, у больных 2 и 3 групп установлена достоверная связь между этими показателями ($0,43$ и $0,39$, соответственно, $p < 0,05$). У больных с резкой обструкцией указанная связь исчезала.

Исследования структуры дыхательного цикла позволили установить прямую зависимость электрической активности Д при спокойном дыхании от продолжительности вдоха и величины "полезного цикла" ($T_{вд}/T_{о}$) у больных 2 группы (табл. 2). Обратная взаимосвязь с продолжительностью вдоха и средней скоростью инспираторного потока ($ДО/T_{вд}$) установлена у больных 3 группы, в то время как у здоровых лиц и у больных 4 группы изменения $A_{до}$ диафрагмы не влияли на параметры паттерна дыхания.

У больных хроническим обструктивным бронхитом электрическая активность диафрагмы при спокойном дыхании зависела от бронхиальной проходимости. Установлена положительная корреляционная связь между $A_{до}$ и бронхиальным сопротивлением ($r = 0,35$, $p < 0,05$) и отрицательная – между $A_{до}$ и $ОФВ_1$ ($r = -0,45$, $p < 0,05$).

У здоровых лиц во время максимальной вентиляции легких электрическая активность Д зависела от бронхиального сопротивления и воздухонаполненности легких, что подтверждалось наличием корреляционной связи между $A_{МВЛ}$ и R_{aw} ($r = 0,50$, $p < 0,05$), $A_{МВЛ}$ и $ООЛ$ ($r = -0,46$, $p < 0,05$). У больных ХБ такая взаимосвязь терялась.

Наличие корреляционной связи электрической активности диафрагмы при МВЛ с $ООЛ$, отражающей воздухонаполненность легких ($r = 0,45$, $p < 0,05$), позволило применить индекс $A_{МВЛ}/ООЛ$, который оказался сниженным у больных 4 группы - $6,1 \pm 0,64$ мкВ/л (у здоровых - $12,1 \pm 1,13$ мкВ/л, $p < 0,001$).

Выявлена зависимость электрической активности диафрагмы от веса тела у здоровых лиц ($r = 0,42$, $p < 0,05$) и у больных 4 группы ($r = 0,56$, $p < 0,05$).

Электрический потенциал большой грудной мышцы при спокойном дыхании достоверно возрастал только у больных хроническим обструктивным бронхитом (табл. 3). В то же время увеличение электрической активности при предельном инспираторном усилии без перекрытия отмечено уже у больных 2 группы. Достоверное возрастание амплитуды ЭМГ этой мышцы при инспираторном усилии с перекрытием дыхательных путей на уровне $ООЛ$ и $ФОЕ$ зарегистрировано у больных 4 группы. Идентичные изменения обнаружены и при максимальной вентиляции легких.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции между амплитудой ЭМГ диафрагмы при спокойном дыхании и параметрами паттерна дыхания

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Твд	-0,16 $p > 0,05$	0,46 $p < 0,05$	-0,47 $p < 0,05$	-0,34 $p > 0,05$
Твыд	-0,34 $p > 0,05$	0,20 $p > 0,05$	-0,27 $p > 0,05$	-0,16 $p > 0,05$
Твд/То	0,33 $p > 0,05$	0,45 $p < 0,05$	-0,13 $p > 0,05$	-0,10 $p > 0,05$
Твыд/То	-0,28 $p > 0,05$	-0,13 $p > 0,05$	0,52 $p < 0,05$	-0,15 $p > 0,05$
ДО/Твд	-0,19 $p > 0,05$	-0,10 $p > 0,05$	0,52 $p < 0,05$	-0,03 $p > 0,05$

Таблица 3
Электрическая активность (мкВ) большой грудной мышцы

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
$A_{до}$	$0,68 \pm 0,12$	$1,09 \pm 0,18$	$1,72 \pm 0,45$ $p < 0,05$	$3,26 \pm 0,63$ $p < 0,05$
$A_{ЖЕЛ}$	$17,9 \pm 2,13$	$26,5 \pm 3,69$ $p < 0,05$	$25,9 \pm 3,49$ $p < 0,05$	$49,0 \pm 10,80$ $p < 0,05$
$M_{ООЛ}$	$12,6 \pm 2,64$	$15,9 \pm 2,62$	$16,5 \pm 3,65$	$29,7 \pm 7,82$ $p < 0,05$
$M_{ФОЕ}$	$15,4 \pm 2,96$	$22,9 \pm 4,94$	$25,5 \pm 6,86$	$30,4 \pm 9,39$ $p < 0,05$
$V_{ОЕЛ}$	$21,0 \pm 5,51$	$22,8 \pm 4,96$	$19,0 \pm 4,40$	$13,3 \pm 3,10$
$V_{ФОЕ}$	$23,7 \pm 6,38$	$27,5 \pm 8,05$	$20,1 \pm 4,94$	$20,0 \pm 4,97$
$A_{МВЛ}$	$12,1 \pm 2,07$	$18,8 \pm 3,21$	$15,9 \pm 2,21$	$20,4 \pm 3,16$ $p < 0,05$

При анализе взаимосвязи ЭМГ БГ с параметрами паттерна дыхания установлена тесная корреляционная связь электрической активности БГ у здоровых людей с продолжительностью и средними скоростями вдоха и выдоха (табл. 4). У больных ХБ она исчезала и лишь при выраженной обструкции выявлялась зависимость $A_{до}$ от относительной продолжительности вдоха и выдоха.

У больных ХБ выявлена корреляционная зависимость между электрической активностью БГ и бронхиальным сопротивлением ($r = 0,64$, $p < 0,01$), а также $ОФВ_1/ЖЕЛ$ ($r = -0,51$, $p < 0,01$). Электрическая активность БГ у больных хроническим обструктивным бронхитом при максимальной вентиляции легких коррелировала с величиной $ОФВ_1$ ($r = -0,51$, $p < 0,05$).

Фазная электрическая активность грудинно-

ключично-сосцевидной мышцы при спокойном дыхании выявлена лишь у 5 из 30 здоровых лиц, в то время как она отчетливо регистрировалась у всех больных ХБ, достигая максимума при резкой обструкции (табл. 5). Не было выявлено достоверных различий электрической активности этой мышцы при предельных усилиях. В то же время при МВЛ отмечено значительное ее увеличение у больных 4 группы по сравнению со здоровыми лицами.

При исследовании корреляционных связей электрической активности ГКС при спокойном дыхании с показателями паттерна дыхания отмечена прямая корреляционная зависимость между $A_{до}$ и $ДО$ у больных 3 группы (табл. 6). На электрическую активность ГКС у больных 3 и 4 групп влияла степень бронхиальной обструкции, о чем свидетельствовала достоверная корреляция между $A_{до}$ и $ОФВ_1$ ($r=-0,39$, $p<0,05$).

Электрический потенциал прямой мышцы живота при спокойном дыхании достоверно возрастал лишь при резкой обструкции дыхательных путей (табл. 7). При максимальном инспираторном усилии без перекрытия электрическая активность ПЖ увеличивалась у больных 3 и 4 групп, но не удалось отметить ее роста при экспираторных усилиях с перекрытием и без перекрытия дыхательных путей. При максимальной вентиляции легких электрическая активность ПЖ увеличивалась только у больных 4 группы. У больных с резкой обструкцией выявлена достоверная положительная связь электрической активности ПЖ при спокойном дыхании с величиной $ДО$ ($r=0,60$, $p<0,01$). У здоровых лиц обнаружена взаимосвязь между $A_{до}$ ПЖ и $ОФВ_1/ЖЕЛ$ ($r=0,81$, $p<0,001$), у больных ХОБ эта связь была противоположной ($r=-0,72$, $p<0,001$). При нагрузочных пробах Мюллера, Вальсальвы и МВЛ электрическая активность ПЖ не влияла на паттерн дыхания и вентиляционную функцию легких.

Корреляционный анализ электрической активности дыхательных мышц позволил вывести следующее уравнение регрессии, отражающее взаимодействие диафрагмы и вспомогательных мышц при максимальном инспираторном усилии от уровня ФОЕ с перекрытием дыхательных путей (проба Мюллера):

$$A_d = 17 + 0,86 \times A_{БГ} - 0,13 \times A_{ГКС}$$

где A_d - амплитуда ЭМГ диафрагмы при спокойном дыхании, $A_{БГ}$ - большой грудной мышцы, $A_{ГКС}$ - груднично-ключично-сосцевидной мышцы.

Ни в одной из групп больных ХБ аналогичной зависимости не было выявлено.

Для того, чтобы выяснить, как увеличение активности дыхательных мышц у больных ХБ влияет на их резервные возможности, нами оценивался показатель резерва инспираторной активности, представляющий собой отношение разницы амплитуд ЭМГ соответствующей мышцы при максимальном инспираторном усилии (выполнение маневра определения ЖЕЛ) и спокойном дыхании к амплитуде ЭМГ при максимальном усилии $[(A_{ЖЕЛ} - A_{до})/A_{ЖЕЛ}, \%$]. Этот

Таблица 4
Коэффициенты корреляции между амплитудой ЭМГ большой грудной мышцы при спокойном дыхании и параметрами паттерна дыхания

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Твд	0,68 $p<0,05$	-0,23 $p>0,05$	0,10 $p>0,05$	0,03 $p>0,05$
Твыд	0,63 $p<0,05$	-0,19 $p>0,05$	-0,18 $p>0,05$	-0,28 $p>0,05$
Твд/То	-0,19 $p>0,05$	-0,19 $p>0,05$	0,29 $p>0,05$	0,66 $p<0,05$
Твыд/То	0,25 $p>0,05$	0,12 $p>0,05$	0,36 $p>0,05$	0,67 $p<0,05$
ДО/Твд	-0,61 $p<0,05$	-0,20 $p>0,05$	-0,05 $p>0,05$	0,06 $p>0,05$
ДО/Твыд	0,70 $p<0,05$	-0,32 $p>0,05$	-0,40 $p>0,05$	0,39 $p>0,05$

Таблица 5
Электрическая активность (мкВ) груднично-ключично-сосцевидной мышцы

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
$A_{до}$	-	1,02±0,18	1,22±0,33	2,77±0,56 $p_1<0,05$
$A_{ЖЕЛ}$	78,2±7,02	86,0±12,0	74,0±11,8	87,6±13,4
$M_{ООЛ}$	51,1±10,6	68,2±11,2	79,5±15,6	85,3±15,4
$M_{ФОЕ}$	70,1±12,2	76,5±15,5	85,3±15,4	81,8±18,8
$V_{ОЕЛ}$	28,6±3,86	40,2±6,84	42,3±9,05	23,6±4,29
$V_{ФОЕ}$	24,2±3,53	35,0±6,06	47,0±18,9	21,0±5,65
$A_{МВЛ}$	27,7±4,04	37,4±6,78	25,0±4,30	42,3±8,56 $p<0,05$

Примечание: здесь и далее p_1 - уровень значимости различий с показателями 2 группы.

Таблица 6
Коэффициенты корреляции между амплитудой ЭМГ груднично-ключично-сосцевидной мышцы при спокойном дыхании и параметрами паттерна дыхания

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
ДО	-0,12 $p>0,05$	0,12 $p>0,05$	0,41 $p<0,05$	-0,03 $p>0,05$
Твд	0,17 $p>0,05$	0,16 $p>0,05$	0,01 $p>0,05$	-0,14 $p>0,05$
Твыд	0,22 $p>0,05$	0,15 $p>0,05$	-0,05 $p>0,05$	-0,10 $p>0,05$
Твд/То	-0,12 $p>0,05$	-0,02 $p>0,05$	0,26 $p>0,05$	-0,07 $p>0,05$
Твыд/То	0,03 $p>0,05$	0,15 $p>0,05$	0,26 $p>0,05$	0,65 $p<0,05$
ДО/Твд	0,10 $p>0,05$	-0,02 $p>0,05$	-0,15 $p>0,05$	0,21 $p>0,05$

показатель существенно снижался во всех группах больных ХБ. У больных 4 группы резерв инспираторной активности диафрагмы составлял в среднем $62 \pm 6,0\%$ (у здоровых - $97 \pm 9,8\%$, $p < 0,001$).

Падение резерва инспираторной активности мышц сопровождалось параллельным снижением резерва дыхания [(МВЛ-МОД)/МВЛ, %]. У больных 4 группы резерв дыхания составил $61 \pm 7,5\%$ (у здоровых он был равен $86 \pm 8,7\%$).

С уменьшением резерва инспираторной активности диафрагмы возрастали показатели, отражающие величину мышечной активности на единицу дыхательного объема. Отношение $A_{ДО}/ДО$ (электрический дебит) при спокойном дыхании постепенно увеличивалось по мере нарастания тяжести заболевания, превышая у больных 4 группы его значения у здоровых более, чем в 7 раз (табл. 8). Отмечено увеличение электрического дебита БГ при спокойном дыхании у больных 3 и 4 групп. Электрический дебит ГКС и ПЖ увеличивался только у больных 4 группы.

Отношение $A_{ЖЕЛ}/ЖЕЛ$ (максимальный электрический дебит) Д, БГ и ПЖ также резко возрастало у больных 4 группы, а ГКС – не отличалось от здоровых, хотя имела тенденция к его увеличению (табл. 9).

Обнаруженная зависимость амплитуды ЭМГ дыхательных мышц от обструкции дыхательных путей и воздухонаполненности легких позволила разработать уравнения регрессии для диагностики изменения электрической активности в зависимости от показателей, отражающих бронхиальную проходимость и воздухонаполненность легких, которые имеют следующий вид:

для Д: $A_{ДО} = -0,5 + 0,02 \times ВГО/ОЕЛ + R_{взд}$,

для БГ: $A_{ДО} = -2,2 + 0,03 \times ОФВ_1/ЖЕЛ + 1,31 \times R_{взд}$,

для ПЖ: $A_{ДО} = -2,3 + 0,04 \times ОФВ_1/ЖЕЛ$.

Если фактическое значение $A_{ДО}$ превышает его расчетную величину более, чем на 0,30 мкВ, диагностируют увеличение электрической активности соответствующей дыхательной мышцы, свидетельствующее о ее гиперфункции. Если фактическое значение меньше расчетного более, чем на 0,30 мкВ, диагностируют ее снижение, отражающее гипофункцию дыхательной мышцы.

У здоровых лиц выявлена тесная корреляционная зависимость между МВЛ, отражающей резервные возможности аппарата дыхания, и электрической активностью вспомогательных дыхательных мышц. Коэффициенты корреляции составили для БГ 0,88 ($p < 0,01$), для ГКС - 0,70 ($p < 0,01$). Это позволило вывести регрессионные уравнения для расчета должной электрической активности вспомогательных мышц при МВЛ:

а) для БГ $A_{МВЛ} = -6,41 + 0,24 \times МВЛ$ (л),

б) для ГКС $A_{МВЛ} = 0,26 + 0,33 \times МВЛ$ (л).

На всей популяции больных ХБ отмечена более выраженная электрическая активность диафрагмы при проведении пробы Мюллера, чем при инспираторном усилии на уровне ЖЕЛ (соответственно, $25,6 \pm 4,40$ и $24,2 \pm 3,08$ мкВ, $p < 0,05$). Противоположные изменения выявлены для мышц грудной клетки

Таблица 7
Электрическая активность (мкВ) прямой мышцы живота у больных хроническим бронхитом

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
$A_{ДО}$	-	$1,19 \pm 0,25$	$1,04 \pm 0,33$	$4,21 \pm 1,50$ $p_1 < 0,05$
$A_{ЖЕЛ}$	$3,26 \pm 0,69$	$11,0 \pm 4,75$	$8,12 \pm 1,44$ $p < 0,05$	$12,7 \pm 3,35$ $p < 0,05$
$M_{ООЛ}$	$15,8 \pm 5,68$	$17,4 \pm 8,70$	$8,70 \pm 1,53$	$16,1 \pm 3,84$
$M_{ФОЕ}$	$18,3 \pm 7,92$	$12,5 \pm 6,25$	$7,65 \pm 2,16$	$17,5 \pm 5,47$
$V_{ОЕЛ}$	$29,1 \pm 8,35$	$21,9 \pm 5,48$	$34,7 \pm 10,7$	$34,1 \pm 6,06$
$V_{ФОЕ}$	$36,5 \pm 9,64$	$9,43 \pm 2,12$	$25,8 \pm 5,78$	$35,0 \pm 6,92$
$A_{МВЛ}$	$10,1 \pm 1,63$	$9,43 \pm 2,12$	$8,49 \pm 1,44$	$21,2 \pm 6,14$ $p < 0,05$

Таблица 8
Электрический дебит дыхательных мышц ($A_{ДО}/ДО$, мкВ/л)

Мышца	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Д	$1,03 \pm 0,21$	$1,50 \pm 0,21$	$2,82 \pm 0,82$ $p < 0,05$	$7,42 \pm 1,72$ $p < 0,001$
БГ	$1,04 \pm 0,22$	$1,62 \pm 0,28$	$2,54 \pm 0,26$ $p < 0,05$	$4,00 \pm 1,04$ $p < 0,001$
ГКС	-	$1,63 \pm 0,28$	$1,75 \pm 0,33$	$3,36 \pm 0,92$ $p_1 < 0,05$
ПЖ	-	$1,72 \pm 0,30$	$1,51 \pm 0,24$	$5,19 \pm 1,30$ $p_1 < 0,01$

Примечание: p - достоверность различий с показателями 1 группы, p_1 - с показателями 2 группы.

Таблица 9
Максимальный электрический дебит ($A_{ЖЕЛ}/ЖЕЛ$, мкВ/л)

Мышца	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Д	$3,81 \pm 0,56$	$4,60 \pm 0,64$	$6,40 \pm 1,68$	$8,09 \pm 2,19$ $p < 0,001$
БГ	$3,20 \pm 0,54$	$6,40 \pm 1,52$	$6,90 \pm 1,64$	$12,2 \pm 3,04$ $p < 0,001$
ГКС	$17,5 \pm 4,05$	$19,4 \pm 4,65$	$18,9 \pm 4,20$	$24,6 \pm 4,95$
ПЖ	$4,62 \pm 0,89$	$4,21 \pm 0,71$	$5,64 \pm 1,13$	$11,7 \pm 2,76$ $p < 0,001$

и шеи, у которых более выраженная активность отмечалась при максимальном вдохе без перекрытия дыхательных путей, нежели при пробе Мюллера: для БГ $34,5 \pm 5,46$ и $21,5 \pm 4,45$ мкВ, соответственно ($p < 0,05$), для ГКС $81,2 \pm 11,4$ и $77,4 \pm 15,7$ мкВ, соответственно ($p < 0,05$). У здоровых лиц не выявлено различий электрической активности дыхательных мышц при проведении пробы Мюллера и максимальном инспираторном усилии без перекрытия дыхательных путей.

При изучении зависимости регионарных функций легких от активности диафрагмы на всей популяции больных ХБ отмечено, что амплитуда ЭМГ коррелировала с ДОР ($r=0,58$, $p < 0,001$) и МОВр/МПКр в нижней зоне правого легкого ($r=0,46$, $p < 0,01$), а также с суммарным значением МОВр/МПКр ($r=0,66$, $p < 0,001$). У больных 3 группы выявлена корреляционная зависимость между электрической активностью БГ и МОВр/МПКр в верхней зоне правого легкого ($r=0,93$, $p < 0,01$), электрической активностью ГКС и суммарным ДОР ($r=0,90$, $p < 0,01$). У больных 4 группы имела место корреляция электрической активности с суммарными ДОР и МОВр/МПКр. Коэффициенты корреляции составили, соответственно, $0,59$ ($p < 0,05$) и $0,71$ ($p < 0,01$).

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали увеличение электрической активности всех исследованных мышц при спокойном дыхании у больных ХБ. В первую очередь это относится к диафрагме, являющейся главной мышцей вдоха и создающей более двух третей дыхательного объема [22,25]. Электрическая активность большой грудной мышцы выявлена, в отличие от здоровых людей, у всех больных хроническим бронхитом и имела сильную тенденцию к увеличению по мере возрастания вентиляции легких, достигавшую степени статистической достоверности с появлением обструктивного синдрома. Фазная электрическая активность ГКС и ПЖ также проявлялась уже у больных хроническим необструктивным бронхитом, в то время как у здоровых лиц большая часть вспомогательной дыхательной мускулатуры принимает участие в дыхании лишь при выраженной гипервентиляции [4]. Исчезновение достоверной множественной корреляции между электрической активностью Д, БГ и ГКС при максимальных инспираторных усилиях во всех группах больных ХБ свидетельствовало о возникающей уже на самых ранних стадиях заболевания дискоординации дыхательных мышц, что может являться важным фактором формирующейся дыхательной недостаточности.

Электрический потенциал Д, БГ, ГКС возрастал параллельно увеличению бронхиального сопротивления, что подтверждалось тесной корреляционной зависимостью между ними. Это свидетельствовало о том, что при прогрессировании хронического бронхита важной причиной гиперфункции дыхательных мышц становится обструкция дыхательных путей.

Мы не получили корреляционной зависимости электрической активности дыхательных мышц с

ФОЕ и ООЛ у больных ХБ вследствие того, что рост ФОЕ был менее значимым, чем увеличение ООЛ. Последнее объясняется тем, что одновременно с утомлением инспираторных мышц снижается сократительная способность экспираторных [23], что способствует снижению резервного объема выдоха.

Выявленное увеличение дыхательного объема в покое у больных 4 группы оказалось достоверно связанным с возросшей электрической активностью прямой мышцы живота. Активность ПЖ на выдохе изменяет кривую длина-напряжение диафрагмы у больных хроническим обструктивным бронхитом, которая имеет уплощенную форму [18]. Увеличивая ее кривизну, ПЖ способствует росту электрической активности Д вследствие повышения силы ее сокращения [16].

При изучении влияния легочных объемов на электрическую активность дыхательных мышц было установлено, что у больных обструктивным бронхитом из-за эмфиземы изменялась структура общей емкости легких в сторону более значительного увеличения ООЛ, нежели ФОЕ, вследствие снижения резервного объема выдоха и сдвига нейтральной позиции дыхательной системы в инспираторную сторону [17]. В связи с этим не было отмечено различия в электрической активности дыхательных мышц на уровне ООЛ и ФОЕ, в то время как у здоровых она была выше на уровне ООЛ для диафрагмы и на уровне ФОЕ для большой грудной и грудинно-ключично-сосцевидной мышц. Более выраженное увеличение электрической активности диафрагмы было отмечено у больных 3 и 4 групп при перекрытии дыхательных путей, по сравнению с тем, когда они не перекрывались. M.V.Hershenson et al. [20] показали это при исследовании силы сокращения дыхательных мышц и объяснили, что при максимальных респираторных усилиях без перекрытия дыхательных путей активна преимущественно одна диафрагма, резервные возможности которой при хроническом обструктивном бронхите снижены. При перекрытии дыхательных путей значительно проявляется электрическая активность прямой мышцы живота, которая способствует увеличению электрической активности диафрагмы при ее инспираторном усилии. Исследования электрической активности инспираторных дыхательных мышц у больных хроническим обструктивным бронхитом при максимальных усилиях позволили установить снижение их резервных возможностей.

Интерес также представляют полученные данные о взаимосвязи паттерна дыхания и функции дыхательных мышц у больных хроническим бронхитом. Эти изменения связываются с наличием обструкции дыхательных путей и эмфиземы легких. Отчетливым проявлением связи паттерна дыхания и дыхательных мышц являлось наличие обратной корреляционной зависимости электрической активности большой грудной мышцы и дыхательного "полезного цикла" у больных 3 группы.

Соотношение периодов отдыха и работы играет значительную роль в утомлении дыхательной мускулатуры [9]. Отмеченное увеличение отношения продолжительности вдоха к продолжительности выдоха

(Твд/Твйд) у больных с умеренной обструкцией дыхательных путей служит прогностическим признаком наступающего утомления инспираторных мышц при спокойном дыхании. Корреляционная связь между электрической активностью диафрагмы и ДО/Твд у больных 3 группы говорит о высокой скорости инспираторного потока вследствие ее гиперфункции.

В нашей работе отмечен рост ДО у больных с резкой и значительной степенью обструкции. Его увеличение связано с высокой активностью добавочных инспираторных и особенно экспираторных мышц. Удлинение выдоха и уменьшение "полезного цикла" связано с гиперфункцией инспираторных мышц у больных 2 и 3 групп, а тенденция к увеличению "полезного цикла" предрасполагает к их слабости, что подтверждается данными увеличения электрического дебита, утомления диафрагмы по данным спектра ЭМГ и снижением Рвд.

Увеличение МОД уже у больных 2 группы сопровождалось усиленной работой дыхательных мышц, в частности Д, для обеспечения адекватных условий вентиляции. Интенсивная работа дыхательных мышц способствует поддержанию нормальных $PaCO_2$ и PaO_2 при увеличенном сопротивлении дыханию как за счет увеличения ДО, что подтверждается наличием корреляционных связей электрической активности дыхательных мышц и ДО у больных хроническим обструктивным бронхитом, так и за счет увеличения частоты дыхания. ДО зависит от нервно-мышечной импульсации, которая определяется средней скоростью и продолжительностью вдоха. Увеличение $PaCO_2$ ускоряет начало вдоха и увеличивает его продолжительность. Высокая электрическая активность, отмеченная у больных 4 группы преимущественно с дыхательной недостаточностью 2 и 3 степени, свидетельствует об усилении возбуждения дыхательного центра. Нами получены корреляционные связи между ДО и Твд у больных ХОБ. Это объясняется тем, что для поддержания необходимого ДО требуется более продолжительное время, что связывается с наличием у них гиперкапнии, которая в свою очередь является причиной увеличения скорости инспираторного сокращения дыхательных мышц. Изменение вентиляции отражают нарушение функции диафрагмы и повышение функции вспомогательных мышц. Учащение дыхания - результат афферентных сигналов от утомленных мышц [3]. У больных с более частым дыханием отмечается меньший дыхательный объем в связи с утомлением дыхательных мышц.

Показанная в нашей работе взаимосвязь функции дыхательных мышц и веса тела, а следовательно и массы мышц при отсутствии ожирения согласуется с данными N.S.Agora, D.F.Rochester [10]. Указанная связь постепенно терялась по мере нарастания эмфиземы легких и бронхиального сопротивления. Это объясняется тем, что на электрические процессы в мышечных волокнах диафрагмы и вспомогательных дыхательных мышц в большей степени начинают влиять другие факторы, в том числе, нарушения ионного обмена [12], функции мышечной мембраны [15], энергетического метаболизма [14], инфекция [24].

Таким образом, нами было показано, что у боль-

ных ХБ имеет место высокий инспираторный драйв и увеличение электрической активности всех дыхательных мышц, нарастающие по мере развития обструктивного синдрома, приводящего к повышению неэластического сопротивления дыханию и эмфиземе легких. Показана связь электрической активности с паттерном дыхания, вентиляционной функцией и регионарным распределением вентиляции и кровотока в легких. Выведены регрессионные уравнения для расчета должных значений электрической активности дыхательных мышц.

Выводы

1. У больных хроническим необструктивным бронхитом возрастает электрический потенциал диафрагмы, что указывает на ее гиперфункцию, которая необходима для обеспечения повышенного минутного объема дыхания. Увеличивается электрическая активность БГ при нагрузочных пробах.

2. При появлении обструкции, повышенного неэластического сопротивления дыханию и эмфиземы легких увеличивается электрическая активность как диафрагмы, так и вспомогательной мускулатуры вдоха при спокойном дыхании.

3. У больных хроническим бронхитом возникает дискоординация деятельности дыхательных мышц.

4. По мере прогрессирования хронического бронхита наступает утомление диафрагмы при спокойном дыхании, возникает несоответствие между процессами ее возбуждения и сокращения, что подтверждается увеличением электрического дебита. В результате резко возрастает электрическая активность не только вспомогательных мышц вдоха, но и выдоха.

5. Определена взаимосвязь паттерна дыхания с электрической активностью дыхательных мышц. По мере увеличения нервного драйва фаза вдоха укорачивается, указывая на гиперфункцию дыхательных мышц, особенно диафрагмы, вследствие чего средняя скорость инспираторного потока увеличивается. При утомлении диафрагмы, несмотря на сохранение ее высокой электрической активности, увеличенные ДО и МОД обеспечиваются работой вспомогательных мышц как вдоха, так и выдоха.

6. Выявлены взаимосвязи электрической активности дыхательных мышц с регионарной вентиляцией и вентиляционно-перфузионными отношениями в легких. У больных ХБ реографический показатель дыхательного объема, вентиляционно-перфузионные отношения в нижних зонах легких и суммарные обеспечиваются преимущественно диафрагмой. У больных хроническим обструктивным бронхитом вследствие утомления диафрагмы вентиляционно-перфузионные отношения зависят преимущественно от активности вспомогательных мышц вдоха и выдоха.

7. Критериями диагностики снижения или увеличения электрической активности дыхательных мышц являются отклонения от разработанных должных значений амплитуд ЭМГ при спокойном дыхании и нагрузочных пробах. Представлены регрессионные уравнения для расчета должных величин электрической активности.

8. Увеличение отношения продолжительности вдоха

к продолжительности выдоха (Твд/Твыд) у больных с умеренной обструкцией дыхательных путей служит прогностическим признаком наступающего утомления инспираторных мышц при спокойном дыхании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Ф., Кокосов А.Н. Эпидемиология и течение хронических неспецифических заболеваний легких в контрастных климатических зонах СССР. - М.: Медицина, 1982. - 168 с.
2. Болотова Н.А., Курманбекова С.К. Электромиографическая характеристика дыхательной мускулатуры у больных хроническими неспецифическими заболеваниями легких с различной степенью дыхательной недостаточности//Теоретические и клинические аспекты патофизиологии дыхания: Тезисы докл. научно-практ. конф. - Куйбышев, 1983. - С.73-75.
3. Бреслав И.С., Глебовский В.Д. Регуляция дыхания.-Л.:Наука. -1981.- 280 с.
4. Зильбер А.П. Дыхательная недостаточность: Руководство для врачей. - М.: Медицина, 1989. - С.196-200.
5. Кокосов А.Н., Герасин В.А. Хронический бронхит//Руководство по пульмонологии/Под ред. Н.В. Путова, Г.Б.Федосеева.- Л.: Медицина, 1984. - С.89-125.
6. Мандель П.И., Федорин Р.В. Электромиография дыхательных мышц и капнография в диагностике дыхательной недостаточности// Теоретические и клинические аспекты патофизиологии дыхания:Тез. докл. научно-практ. конф.- Куйбышев, 1983.- С.107-108.
7. Панкова В.Б., Никифорова Н.А. Характеристика биоэлектрической активности дыхательных мышц у больных с профессиональными аллергозами верхних дыхательных путей//Вестник отоларингологии.- 1988.- № 4.- С.49-52.
8. Сулейманов С.Ш. Эпидемиология неспецифических заболеваний легких в регионе Забайкалья// Терапевтический архив.- 1989.- Т.61, № 3.- С.72-75.
9. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р. Нарушение функции дыхательных мышц при хронических обструктивных заболеваниях легких//Терапевтический архив.- 1988.-Т. 60, № 7.- С.126-131.
10. Arora N.S., Rochester D.F. Effect of body weight and muscularity on human diaphragm muscle mass, thickness and area//J.Appl.Physiol.: Respirat.Environ. Exercise Physiol.- 1982.- Vol.52.- P.64-70.
12. Aubier M., Murciano D., Recocqiu J. et al. Effect of hypophosphatemia on diaphragmatic contractility in patient with acute respiratory failure//N. Engl.J.Med.- 1985.- Vol. 313.- P.420-424.
13. Campbell E.J.M. The role of the scalene and sternomastoid muscles in breathing in normal subjects. An electromyographic study//J.Anat.- 1955.- Vol. 89.- P.378-386.
14. Campbell J.A., Hughes R.L., Sahgal V. et al. Alterations in intercostal muscle morphology and biochemistry in patients with obstructive lung disease// Am.Rev.Resp.Dis.- 1980.- Vol. 122.- P.679-686.
15. Cunningham J.N., Carter N.W., Rector F.C. et al. Resting transmembrane potential difference of skeletal muscle in normal subjects and severely ill patients//J. Clin. Invest.-1970.-Vol. 50.- P.49-59.
16. De Troyer A. Mechanical action of the abdominal muscles//Bull.Physiopathol.Resp.- 1983.- V.19.- P.575-581.
17. De Troyer A., Estenne M. Functional anatomy of the respiratory muscles//Clin.Chest Med. - 1988.- Vol.9, № 2.- P.175-193.
18. Estenne M., Heilporn A., Delhez L. et al. Chest wall stiffness in patients with chronic respiratory muscle weakness //Am.Rev.Resp.Dis.- 1983.- Vol.128.- P.1002-1007.
19. Gross D., Grassino A., Rose W.R.D. et al. Electromyogram pattern of diaphragmatic fatigue// J.Appl.Physiol.:Respir.Environ.Exercise Physiol.- 1979.- Vol. 46, № 1.- P.1-7.
20. Hershenson M.B., Kikuchi Y., Loring S.H. Relative strengths of the chest wall muscles//J.Appl. Physiol. - 1988. - Vol. 65, № 2.- P.852-862.
21. Nava S., Ambrosino N., Crotti P. et al. Recruitment of some respiratory muscles during three maximal inspiratory manoeuvres//Thorax.- 1993.- Vol. 48.- P.702-707.
22. Newsom-Davis J., Goldman M., Loh L. et al. Diaphragm function and alveolar hypoventilation// Q.J.Med.- 1976.- Vol.177.- P.87-100.
23. Rochester D.F., Braun N.M.T., Arora N.S. Respiratory muscle strength in chronic obstructive pulmonary disease//Am.Rev.Resp.Dis.- 1979.- Vol.119, Part 2.- P.151-154.
24. Ruff R.L., Secrist D. Inhibitors of prostaglandin synthesis or cathepsin B prevent muscle wasting due to sepsis in the rat//J.Clin.Invest.- 1984.- Vol.73, № 5.- P.1483-1486.
25. Sant'Ambrogio G., Saibene F. Contractile properties of the diaphragm in some mammals// Resp. Physiol.-1970.-Vol.10.-P.349-357.
26. Shannon R., Zechman F.W. The reflex mechanical response of the respiratory muscles to an increased airflow resistance//Resp.Physiol.- 1972.- Vol.16.- P.51-69.
27. Whitelaw W.A., McBride B., Amar Y. et al. Respiratory neuromuscular output during breath-holding //J.Appl.Physiol. - 1981.- Vol.50.- P.435-443.

