

УДК (612.216/-217+612.284.2)616-008.6:616-073.97

DOI: 10.36604/1998- 5029-2020-78-92-98

СОСТОЯНИЕ ДЫХАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ ПРИ ОБСТРУКТИВНЫХ НАРУШЕНИЯХ ДЫХАНИЯ ВО СНЕ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

А.И.Мирошниченко, А.К.Кунарбаева, К.М.Иванов, И.В.Мирошниченко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской
Федерации, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6

РЕЗЮМЕ. Цель. Изучить функциональное состояние дыхательных мышц у пациентов с обструктивными нарушениями дыхания во сне (ОНДС) различной степени тяжести на основании изменений их электрической активности при использовании ступенчато возрастающей респираторной нагрузки. **Материалы и методы.** По результатам кардиореспираторного мониторинга обследуемые были разделены на 4 группы. В 1 группу вошли 16 пациентов без ОНДС, во 2 группу – 16 пациентов с ОНДС лёгкой степени, в 3 группу – 8 пациентов с ОНДС средней степени, в 4 группу – 8 пациентов с ОНДС тяжёлой степени. Оценка электрической активности инспираторных и экспираторных мышц проводилась с помощью электромиографии (ЭМГ) при выполнении проб со ступенчато возрастающей инспираторной и экспираторной нагрузкой. **Результаты.** При проведении инспираторной пробы наблюдалось уменьшение частоты ЭМГ, свидетельствующее о развитии утомления дыхательных мышц, с одновременным увеличением амплитуды ЭМГ, обусловленным вовлечением дополнительных мотонейронов в мышечное сокращение. Во всех случаях степень увеличения амплитуды ЭМГ преобладала над степенью снижения частоты ЭМГ. У пациентов 3 и 4 групп не было выявлено признаков развития утомления диафрагмы. При анализе результатов экспираторной пробы в 1 группе степень увеличения амплитуды ЭМГ преобладала над степенью уменьшения частоты ЭМГ. В группах пациентов с ОНДС наблюдалось преобладание степени снижения частоты ЭМГ над степенью увеличения амплитуды ЭМГ, что свидетельствует о развитии нервно-мышечного утомления экспираторных мышц. **Заключение.** Изменения функционального состояния дыхательных мышц при ОНДС связаны с ее тяжестью и характеризуются различной динамикой электрической активности инспираторных и экспираторных мышц в ответ на функциональную нагрузочную вентиляционную пробу.

Ключевые слова: обструктивные нарушения дыхания во сне, инспираторные мышцы, экспираторные мышцы, электромиография.

THE CONDITION OF THE RESPIRATORY MUSCLES IN OBSTRUCTIVE SLEEP DISORDERED BREATHING ACCORDING TO ELECTROMYOGRAPHIC DATA

A.I.Miroshnichenko, A.K.Kunarbaeva, K.M.Ivanov, I.V.Miroshnichenko

Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation

SUMMARY. Aim. To study functional state of respiratory muscles in patients with obstructive sleep-disordered breathing (oSDB) of varying severity based on changes in electrical activity when using a stepwise-increasing respiratory load. **Materials and methods.** According to results of cardiorespiratory monitoring, the examined patients were divided into 4 groups. Group 1 included 16 patients without oSDB, group 2 – 16 patients with mild oSDB, group 3 – 8 patients with moderate oSDB, group 4 – 8 patients with severe oSDB. The assessment of electrical activity of inspiratory muscles and

Контактная информация

Анастасия Игоревна Мирошниченко, аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Советская, 6. E-mail: miroshni4enko.nast@yandex.ru

Correspondence should be addressed to

Anastasia I. Miroshnichenko, MD, Postgraduate Student of the Department of Propaedeutic of Internal Medicine, Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation. E-mail: miroshni4enko.nast@yandex.ru

Для цитирования:

Мирошниченко А.И., Кунарбаева А.К., Иванов К.М., Мирошниченко И.В. Состояние дыхательных мышц при обструктивных нарушениях дыхания во сне по данным электромиографического исследования. 2020. Вып. 78. С. 92–98. DOI: 10.36604/1998- 5029-2020-78-92-98

For citation:

Miroshnichenko A.I., Kunarbaeva A.K., Ivanov K.M., Miroshnichenko I.V. The condition of the respiratory muscles in obstructive sleep disordered breathing according to electromyographic data. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2020; (78):92–98 (in Russian). DOI: 10.36604/1998- 5029-2020-78-92-98

expiratory muscles was carried out using electromyography (EMG) when performing tests with a stepwise-increasing inspiratory and expiratory load. **Results.** During inspiratory test, a decrease in EMG frequency was observed, indicating respiratory muscles fatigue development, with a simultaneous increase in EMG amplitude due to the involvement of additional motoneurons in muscle contraction. In all cases, degree of increase in EMG amplitude prevailed over degree of decrease in EMG frequency. In patients of groups 3 and 4, there were no signs of diaphragm fatigue. Results of expiratory test in group 1, degree of increase in EMG amplitude prevailed over degree of decrease in EMG frequency. In the groups of patients with oSDB, prevalence of decrease in the EMG frequency over increase in EMG amplitude was observed, which indicates development of neuromuscular fatigue of expiratory muscles. **Conclusion.** Changes in functional state of respiratory muscles are associated with severity of oSDB and are characterized by different dynamics of the electrical activity of inspiratory and expiratory muscles in response to a functional test.

Key words: obstructive sleep disordered breathing, inspiratory muscles, expiratory muscles, electromyography.

Предполагается, что обструктивные нарушения дыхания во сне (ОНДС), приводящие к развитию интермиттирующей гипоксемии и увеличению инспираторного усилия, повышая нагрузку на дыхательные мышцы, могут способствовать развитию их утомления [1, 2]. Следует отметить, что при ОНДС происходит сужение просвета верхних дыхательных путей, сопровождающееся ограничением экспираторного потока [3]. В связи с этим выдох, являющийся пассивным в обычных условиях, становится активным, о чем свидетельствует увеличение электрической активности мышц живота в конце эпизодов апноэ как во время NREM-сна и REM-сна, так и во время дыхания, сопровождаемого храпом в 3 и 4 фазе NREM-сна у детей [4]. Существующие данные о влиянии ОНДС на функциональное состояние дыхательных мышц противоречивы и получены при изучении состояния диафрагмы и вспомогательных инспираторных мышц (ИМ) [5–8]. До настоящего времени малоизученным остаётся вопрос о функциональном состоянии экспираторных мышц (ЭМ) у взрослых пациентов с ОНДС.

Цель исследования – изучить функциональное состояние дыхательных мышц у пациентов с ОНДС различной степени тяжести на основании изменений их электрической активности при использовании ступенчато возрастающей респираторной нагрузки.

Материалы и методы исследования

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом и проводилось при грантовой поддержке Оренбургского государственного медицинского университета.

Обследуемые были подробно проинформированы о применяемых методах исследования, ходе его проведения, возможности отказа в участии в исследовании и дали письменное согласие на участие в нем.

Критерии включения: наличие ОНДС, мужской пол, возраст 30–69 лет, способность к выполнению дыхательных манёвров, информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Критерии исключения: острые и хронические заболевания дыхательной системы, патологические формы и деформации грудной клетки, операции на органах грудной клетки, ожирение 3 степени (ИМТ > 40 кг/м²); заболевания ЦНС и периферической нервной системы, сопровождающиеся нарушением нервно-мышечной проводимости; приём

препаратов, замедляющих нервно-мышечную проводимость; отказ от участия в исследовании.

Согласно критериям включения и исключения были обследованы 53 пациента, с жалобами на храп и избыточную дневную сонливость. По результатам кардиореспираторного мониторинга 5 пациентов были исключены из исследования в связи с невозможностью заснуть, остальные 48 обследуемых были разделены на 4 группы. В 1 группу вошли 16 пациентов без ОНДС (контрольная группа), во 2 группу – 16 пациентов с ОНДС лёгкой степени, в 3 группу – 8 пациентов с ОНДС средней степени, в 4 группу – 8 пациентов с ОНДС тяжёлой степени. Обследованные группы достоверно не различались по возрасту, сопутствующей патологии.

Кардиореспираторный мониторинг проводился по стандартной методике с помощью скрининговой системы ApneaLink (ResMed, Австралия). Диагноз ОНДС устанавливался согласно The International Classification of Sleep Disorders, Third Edition, 2014 (<https://vct.iuums.ac.ir/uploads/icsd.pdf>).

Для оценки электрической активности дыхательных мышц проводили биполярную поверхностную электромиографию (ЭМГ) на аппарате Нейро-ЭМГ-Микро (Нейрософт, Россия). Оценивали электрическую активность ИМ: грудинно-ключично-сосцевидной мышцы (ГКСМ), наружных межрёберных мышц (НММ), диафрагмы; и ЭМ: прямой мышцы живота (ПМЖ), внутренних межрёберных мышц (ВММ) и наружной косой мышцы живота (НКМ) с регистрацией средней амплитуды (мкВ), средней частоты (1/с). Поверхностные электроды были представлены металлическими дисками диаметром 8 мм, расположенными на фиксирующей колодке, расстояние между электродами составляло 12 мм. При проведении ЭМГ во избежание регистрации электрической активности сердца электроды накладывались с правой стороны тела. Ось фиксирующей колодки располагалась по направлению мышечных волокон. Для регистрации электрической активности дыхательных мышц были выбраны следующие точки [9]: для записи ЭМГ диафрагмы электроды были расположены на уровне наружного края прямой мышцы живота в 7 межреберье; НММ – в 3 межреберье по среднеключичной линии; ГКСМ – на 2–3 см выше ключицы в области брюшка мышцы; НКМ – в 6 межреберье по передней

подмышечной линии; ПМЖ – на уровне пупка латеральнее от него на 3см; ВММ – во 2 межреберье по окологрудной линии.

С использованием тягонапомера определялись индивидуальные величины максимального инспираторного и экспираторного усилия, по которым рассчитывались мощности вдоха и выдоха в 30 и 50% от максимальных значений. Затем перед обследуемым ставилась задача удерживать по шкале тягонапомера инспираторное усилие мощностью 30% от максимального в течение 5 секунд. После отдыха продолжительностью 3 минуты обследуемому было необходимо удерживать инспираторное усилие мощностью 50% от максимального в течение 5 секунд. Функциональная проба проводилась трижды, с периодом отдыха между попытками в 3 минуты. Регистрация показателей ЭМГ производилась на 5 секунде. Для анализа использова-

лись средние значения показателей ЭМГ, полученные в результате 3 попыток, однако данные не включались в исследование, если при последовательном выполнении трёх попыток были зарегистрированы различия в значениях более 10%. Функциональная проба с экспираторным усилием проводилась по аналогичной методике.

Для обработки данных, полученных в результате исследования, применялся программный комплекс Statistica 10. Для клинических и инструментальных показателей, используемых в работе, рассчитывали медиану (Me), первый и третий квартили (Q1; Q3). Для оценки межгрупповых различий значений признаков применяли Н-критерий Краскелла-Уоллиса, оценка внутригрупповых различий значений признаков проводилась с использованием критерия Вилкоксона.

Таблица 1

Показатели частоты и амплитуды ЭМГ инспираторных мышц при выполнении функциональной пробы со ступенчато возрастающей инспираторной нагрузкой

Параметр	1 группа (n=16)	2 группа (n=16)	3 группа (n=8)	4 группа (n=8)	p
Грудинно-ключично-сосцевидная мышца, частота, 1/с					
30% 5с	220,16 (172,67; 243,95)	163,52 (144,3; 195,68)	239,25 (188,97; 305,0)	279,0 (237,35; 297,65)	0,002
50% 5с	159,18* (140,17; 186,2)	139,5* (117,2; 171,03)	194,75* (147,16; 233,0)	242,59* (224,75; 260,48)	0,088
Наружные межрёберные мышцы, частота, 1/с					
30% 5с	280,43 (183,31; 324,22)	223,45 (199,13; 278,6)	266,73 (241,62 330,95)	201,63 (187,48; 250,33)	0,173
50% 5с	225,64* (173,93; 299,71)	216,8* (179,99; 228,43)	236,03* (206,7; 274,42)	198,79* (184,18; 213,06)	0,638
Диафрагма, частота, 1/с					
30% 5с	369,54 (350,75; 389,72)	363,18 (328,5; 387,8)	381,93 (355,85; 399,95)	383,3 (301,5; 397,0)	0,848
50% 5с	344,75* (275,81; 375,15)	323,03* (296,37; 335,97)	364,1 (348,75; 394,92)	376,84 (323,05; 393,86)	0,295
Грудинно-ключично-сосцевидная мышца, амплитуда, мкВ					
30% 5с	3,83 (3,54; 6,01)	5,19 (3,99; 7,44)	3,35 (2,88; 5,13)	2,92 (2,71; 3,35)	0,001
50% 5с	7,19* (4,79; 10,44)	7,05* (5,14; 14,49)	4,93* (3,65; 8,53)	3,48* (3,15; 3,7)	0,009
Наружные межрёберные мышцы, амплитуда, мкВ					
30% 5с	3,12 (2,92; 4,27)	3,44 (3,03; 4,42)	3,16 (2,65; 3,29)	3,68 (3,38; 3,92)	0,112
50% 5с	4,60 (3,17; 5,14)	3,95* (3,47; 4,84)	3,38* (2,98; 3,93)	4,44* (3,85; 5,27)	0,288
Диафрагма, амплитуда, мкВ					
30% 5с	2,57 (2,51; 2,71)	2,58 (2,45; 2,73)	2,59 (2,44; 2,94)	2,54 (2,46; 2,98)	0,995
50% 5с	2,8* (2,6; 3,2)	2,8* (2,54; 3,02)	2,62* (2,52; 3,02)	2,61 (2,46; 3,07)	0,748

Примечание: p – достоверность различий между обследованными группами; * – достоверность различий в группе по сравнению с 30% 5с (p≤0,05).

Результаты исследования

При выполнении инспираторной функциональной пробы со ступенчато возрастающей нагрузкой (табл. 1) в группе пациентов без ОНДС произошло снижение показателей частоты ЭМГ ИМ. Так, частота ЭМГ ГКСМ уменьшилась на 27,7% ($p<0,001$), частота ЭМГ НММ и диафрагмы – на 19,5% ($p=0,017$) и 6,7% ($p=0,001$), соответственно. Одновременно с уменьшением частоты ЭМГ наблюдалось увеличение амплитуды ЭМГ ГКСМ на 87,7% ($p<0,001$), диафрагмы – на 8,9% ($p<0,001$). В группе пациентов с ОНДС лёгкой степени при выполнении функциональной пробы произошло снижение частоты ЭМГ ГКСМ на 12,9% ($p=0,004$), НММ – на 7,5% ($p=0,026$), диафрагмы – на 11,2% ($p=0,001$), а также было зарегистрировано уве-

личение амплитуды ЭМГ ГКСМ на 35,8% ($p<0,001$), НММ – на 14,8% ($p=0,008$), диафрагмы – на 8,5% ($p<0,001$). В группе пациентов с ОНДС средней степени частота ЭМГ уменьшилась на ГКСМ на 18,5% ($p=0,012$), НММ – на 11,5% ($p=0,012$), частота ЭМГ диафрагмы достоверно не изменилась, также установлено увеличение амплитуды ЭМГ ГКСМ на 47,1% ($p=0,012$), НММ – на 6,9% ($p=0,012$), диафрагмы – на 1,2% ($p=0,018$). В группе пациентов с ОНДС тяжёлой степени было зарегистрировано снижение частоты ЭМГ ГКСМ и НММ, составившее 13% ($p=0,017$) и 1,4% ($p=0,036$), соответственно, и увеличение амплитуды ЭМГ ГКСМ и НММ на 19,2% ($p=0,012$) и 20,7% ($p=0,012$), соответственно.

Таблица 2

Показатели частоты и амплитуды ЭМГ экспираторных мышц при выполнении функциональной пробы со ступенчато возрастающей экспираторной нагрузкой

Параметр	1 группа (n=16)	2 группа (n=16)	3 группа (n=8)	4 группа (n=8)	p
Наружная косая мышца живота, частота, 1/с					
30% 5с	336,92 (301,98; 380,0)	323,47 (239,13; 346,73)	357,95 (328,0; 381,69)	356,0 (337,83; 400,5)	0,110
50% 5с	329,65* (209,72; 373,87)	238,25* (202,39; 324,17)	291,42* (260,15; 348,1)	346,49* (290,32; 401,22)	0,077
Прямая мышца живота, частота, 1/с					
30% 5с	371,5 (297,77; 382,28)	367,32 (330,83; 377,54)	370,93 (357,22; 382,4)	390,5 (374,6; 400,53)	0,178
50% 5с	364,53 (245,39; 380,07)	334,35* (285,50; 366,68)	306,86* (270,87; 346,5)	373,62* (329,27; 399,68)	0,474
Внутренние межрёберные мышцы, частота, 1/с					
30% 5с	347,0 (313,23; 395,25)	333,5 (305,43; 365,75)	331,26 (292,12; 362,35)	391,6 (354,48; 399,95)	0,259
50% 5с	330,87* (286,84; 367,27)	309,64* (282,5; 342,49)	267,48* (232,4; 329,25)	384,3* (342,9; 398,04)	0,062
Наружная косая мышца живота, амплитуда, мкВ					
5с	2,62 (2,52; 2,77)	2,81 (2,61; 3,55)	2,65 (2,47; 2,79)	2,63 (2,47; 2,81)	0,439
10с	2,82* (2,68; 4,16)	3,37* (2,83; 3,86)	2,92* (2,57; 3,51)	2,91 (2,74; 3,04)	0,590
Прямая мышца живота, амплитуда, мкВ					
5с	2,48 (2,39; 2,55)	2,61 (2,5; 2,73)	2,51 (2,44; 2,62)	2,5 (2,44; 2,55)	0,067
10с	2,53* (2,47; 2,81)	2,86* (2,57; 3,03)	2,84* (2,73; 3,04)	2,78* (2,5; 3,02)	0,233
Внутренние межрёберные мышцы, амплитуда, мкВ					
5с	2,66 (2,53; 2,85)	2,63 (2,59; 2,89)	2,75 (2,63; 3,34)	2,56 (2,47; 2,64)	0,202
10с	2,8* (2,64; 3,34)	2,74* (2,68; 3,01)	3,04* (2,89; 4,24)	2,61 (2,48; 2,69)	0,065

Примечание: p – достоверность различий между обследованными группами; * – достоверность различий в группе по сравнению с 30% 5с ($p\leq 0,05$).

При анализе результатов экспираторной функциональной пробы со ступенчато возрастающей нагрузкой (табл. 2) в группе пациентов без ОНДС наблюдалось снижение частоты ЭМГ НКМ на 2,2% ($p=0,003$), ВММ – на 4,6% ($p=0,007$), и было выявлено увеличение амплитуды ЭМГ НКМ на 7,6% ($p<0,001$), ПМЖ и ВММ – на 2% ($p=0,036$) и 5,3% ($p<0,001$), соответственно. В группе пациентов с ОНДС лёгкой степени произошло уменьшение частоты ЭМГ НКМ на 26,3% ($p=0,001$), ПМЖ – на 8,9% ($p=0,015$), ВММ на 7,2% ($p=0,001$), а также увеличение амплитуды ЭМГ НКМ на 19,9% ($p<0,001$), ПМЖ – на 9,6% ($p=0,001$), ВММ – на 4,2% ($p<0,001$). В группе пациентов с ОНДС средней степени было зарегистрировано снижение частоты ЭМГ НКМ на 18,6% ($p=0,012$), ПМЖ и ВММ – на 17,3% ($p=0,012$) и 19,2% ($p=0,012$), соответственно. Амплитуда ЭМГ НКМ увеличилась на 10,2% ($p=0,012$), ЭМГ ПМЖ – на 13,1% ($p=0,012$), ЭМГ ВММ – на 10,5% ($p=0,018$). В группе пациентов с ОНДС тяжёлой степени произошло уменьшение частоты ЭМГ НКМ на 2,7% ($p=0,046$), ПМЖ – на 4,3% ($p=0,028$) и ВММ – на 1,7% ($p=0,028$) с одновременным увеличением только амплитуды ЭМГ ПМЖ на 11,2% ($p=0,043$).

Обсуждение результатов исследования

Увеличение амплитуды ЭМГ свидетельствует о привлечении в мышечное сокращение дополнительных мотонейронов [10]. Уменьшение показателей частоты ЭМГ или смещение центроидной частоты ЭМГ в сторону низких частот наблюдается при развитии мышечного утомления [11, 12]. Следует отметить, что у пациентов без ОНДС суммарный прирост амплитуды ЭМГ ИМ преобладал над суммарным уменьшением частоты ЭМГ ИМ при выполнении ступенчато возрастающей инспираторной нагрузки, свидетельствуя, таким образом, о том, что удержание и компенсация развивающегося утомления происходит за счёт включения в мышечное сокращение дополнительных мотонейронов. Сходная картина наблюдалась и в группе пациентов с ОНДС лёгкой степени. Однако в группах пациентов с ОНДС средней и тяжёлой степени

не было выявлено достоверных изменений частоты ЭМГ диафрагмы при выполнении нагрузочной пробы, что свидетельствует о развитии устойчивости диафрагмы к утомлению, формирующемуся при инспираторной нагрузке. Известно, что физические тренировки с удержанием инспираторного усилия, схожие по механизму действия с нагрузками на ИМ, возникающими при ОНДС, приводят к повышению устойчивости ИМ к утомлению [13, 14]. Кроме того адаптационное действие к физическим нагрузкам периодически возникающей гипоксии является общеизвестным фактом [15].

При анализе данных ЭМГ ЭМ, полученных при выполнении пробы с экспираторным усилием, у пациентов без ОНДС наблюдались аналогичные ИМ изменения, свидетельствующие о компенсации развивающегося утомления ЭМ за счёт вовлечения дополнительных мотонейронов в мышечное сокращение. По мере прогрессирования степени тяжести ОНДС наблюдалось преобладание уменьшения частоты ЭМГ ЭМ над увеличением амплитуды ЭМГ ЭМ, что может свидетельствовать о развитии нервно-мышечного утомления ЭМ при ступенчато возрастающей нагрузке.

Заключение

Таким образом, проведение ЭМГ дыхательных мышц с использованием ступенчато возрастающей нагрузочной вентиляционной пробы позволяет оценить их функциональное состояние на основании изменений электрической активности. Изменения функционального состояния дыхательных мышц при ОНДС связаны с тяжестью ОНДС и характеризуются различной динамикой электрической активности ИМ и ЭМ в ответ на функциональную нагрузочную вентиляционную пробу.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

ЛИТЕРАТУРА

1. Sleep-related breathing disorders in adults: recommendations for syndrome definition and measurement techniques in clinical research. The Report of an American Academy of Sleep Medicine Task Force // Sleep. 1999. Vol.22, №5. P.667–689.
2. Wilcox P.G., Pare P.D., Road J.D., Fleetham J.A. Respiratory muscle function during obstructive sleep apnea // Am. Rev. Respir. Dis. 1990. Vol.142, №3. P.533–539. doi: 10.1164/ajrccm/142.3.533
3. Stănescu D., Kostianev S., Sanna A., Liistro G., Veriter C. Expiratory flow limitation during sleep in heavy snorers // Eur. Respir. J. 1996. Vol.9, №10. P.2116–2121. doi: 10.1183/09031936.96.09102116
4. Praud J.P., D'alless A.M., Nedelcoux H., Curzi-Dascalova L., Guilleminault C., Gaultier C. Sleep-related abdominal muscle behavior during partial or complete obstructed breathing in prepubertal children // Pediatr. Res. 1989. Vol.26, №4. P.347–350. doi: 10.1203/00006450-198910000-00012
5. Martin R.J., Fernandez E., Hudgel D.W., Hill P. The association of sleep apnea to the high/low ratio of the diaphragmatic EMG (abstract) // Am. Rev. Respir. Dis. 1982. Vol.125. P.107.
6. Montserrat J.M., Kosmas E.N., Cosio M.G., Kimoff R.J. Lack of evidence for diaphragmatic fatigue over the course of the night in obstructive sleep apnea // Eur. Respir. J. 1997. Vol.10, №1. P.133–138. doi: 10.1183/09031936.97.10010133

7. Vincken W., Guilleminault C., Silvestri L., Cosio M., Grassino A. Inspiratory muscle activity as a trigger causing the airways to open in obstructive sleep apnea // *Am. Rev. Respir. Dis.* 1987. Vol.135, №2. P.372–377. doi: 10.1164/arrd.1987.135.2.372
8. Griggs G.A., Findley L.J., Suratt P.M., Esau S.A., Wilhoit S.C., Rochester D.F. Prolonged relaxation rate of inspiratory muscles in patients with sleep apnea // *Am. Rev. Respir. Dis.* 1989. Vol.140, №3. P.706–710. doi: 10.1164/ajrccm/140.3.706
9. Ершов С. П., Перельман Ю. М. Электрофизиологическая характеристика дыхательных мышц у больных хроническим бронхитом // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 1999. Вып.5. С.28–35.
10. Miller K.J., Garland S.J., Ivanova T., Ohtsuki T. Motor-unit behavior in humans during fatiguing arm movements // *J. Neurophysiol.* 1996. Vol.75, №4. P.1629–1636. doi: 10.1152/jn.1996.75.4.1629
11. Солнушкин С.Д., Чихман В.Н., Сегизбаева М.О., Погодин М.А., Александров В.Г. Аппаратно-программный комплекс для регистрации и анализа электромиограммы дыхательных мышц человека // *Физиология человека*. 2014. Т.40, №2. С.119–122. doi: 10.7868/S0131164614010184
12. Сегизбаева М.О., Александрова Н.П., Тимофеев Н.Н., Курьянович Е.Н. Функциональное состояние инспираторных мышц человека при физических нагрузках «до отказа»: ЭМГ-анализ // *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2015. №3. С.79–90.
13. Тимофеев Н.Н., Сегизбаева М.О., Курьянович Е.Н., Александрова Н.П. Влияние тренировки инспираторных мышц на их устойчивость к развитию утомления при интенсивных мышечных нагрузках // *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2015. №3. С.91–101.
14. Geddes E.L., O'Brien K., Reid W.D., Brooks D., Crowe J. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review // *Respir. Med.* 2008. Vol.102, №12. P.1715–1729. doi: 10.1016/j.rmed.2008.07.005
15. Hoppeler H., Vogt M. Muscle tissue adaptations to hypoxia // *J. Exp. Biol.* 2001. Vol.204 (Pt 18). P. 3133–3139.

REFERENCES

1. Sleep-related breathing disorders in adults: recommendations for syndrome definition and measurement techniques in clinical research. The Report of an American Academy of Sleep Medicine Task Force. *Sleep* 1999; 22(5):667–689.
2. Wilcox P.G., Paré P.D., Road J.D., Fleetham J.A. Respiratory muscle function during obstructive sleep apnea. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1990; 142(3):533–539. doi: 10.1164/ajrccm/142.3.533
3. Stănescu D., Kostianev S., Sanna A., Liistro G., Veriter C. Expiratory flow limitation during sleep in heavy snorers. *Eur. Respir. J.* 1996; 9(10): 2116–2121. doi: 10.1183/09031936.96.09102116
4. Praud J.P., D'allest A.M., Nedelcoux H., Curzi-Dascalova L., Guilleminault C., Gaultier C. Sleep-related abdominal muscle behavior during partial or complete obstructed breathing in prepubertal children. *Pediatr. Res.* 1989; 26(4):347–350. doi: 10.1203/00006450-198910000-00012
5. Martin R.J., Fernandez E., Hudgel D.W., Hill P. The association of sleep apnea to the high/low ratio of the diaphragmatic EMG (abstract). *Am. Rev. Respir. Dis.* 1982; 125:107.
6. Montserrat J.M., Kosmas E.N., Cosio M.G., Kimoff R.J. Lack of evidence for diaphragmatic fatigue over the course of the night in obstructive sleep apnea. *Eur. Respir. J.* 1997; 10(1):133–138. doi: 10.1183/09031936.97.10010133
7. Vincken W., Guilleminault C., Silvestri L., Cosio M., Grassino A. Inspiratory muscle activity as a trigger causing the airways to open in obstructive sleep apnea. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1987; 135(2):372–377. doi: 10.1164/arrd.1987.135.2.372
8. Griggs G.A., Findley L.J., Suratt P.M., Esau S.A., Wilhoit S.C., Rochester D.F. Prolonged relaxation rate of inspiratory muscles in patients with sleep apnea. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1989; 140(3):706–710. doi: 10.1164/ajrccm/140.3.706
9. Ershov S.P., Perelman J.M. Respiratory muscle electrophysiological evaluation in patients with chronic bronchitis. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 1999; (5):28–35 (in Russian).
10. Miller K.J., Garland S.J., Ivanova T., Ohtsuki T. Motor-unit behavior in humans during fatiguing arm movements. *J. Neurophysiol.* 1996; 75(4):1629–1636. doi: 10.1152/jn.1996.75.4.1629
11. Solnushkin S.D., Chihman V.N., Segizbaeva M.O., Aleksandrov V.G. Hardware and software for EMG recording and analysis of respiratory muscles of human. *Human Physiology* 2014; 40(2):220–223. doi: 10.1134/S0362119714010174
12. Segizbayeva M.O., Alexandrova N.P., Timofeev N.N., Kur'yanovich E.N. Functional condition of inspiratory muscles of the person under exercise stresses "to refusal": EMG-analysis. *Actual Problems of Physical and Special Training of Law Enforcement Agencies* 2015; (3):79–90 (in Russian).
13. Timofeev N.N., Segizbayeva M.O., Kur'yanovich E.N., Alexandrova N.P. The inspiratory muscles training influence on the resistance to fatigue development under intensive muscle exercising. *Actual Problems of Physical and Special Training of Law Enforcement Agencies* 2015; (3):91–101 (in Russian).
14. Geddes E.L., O'Brien K., Reid W.D., Brooks D., Crowe J. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir. Med.* 2008; 102(12):1715–1729. doi:

10.1016/j.rmed.2008.07.005

15. Hoppeler H., Vogt M. Muscle tissue adaptations to hypoxia. *J. Exp. Biol.* 2001; 204 (Pt 18): 3133–3139.

Информация об авторах:

Анастасия Игоревна Мирошниченко, аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: miroshni4enko.nast@yandex.ru

Адель Камидулловна Кунарбаева, аспирант кафедры пропедевтики внутренних болезней, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: kunarbaeva.adel@yandex.ru

Константин Михайлович Иванов, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой пропедевтики внутренних болезней, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: kmiwanov@mail.ru

Игорь Васильевич Мирошниченко, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой нормальной физиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: miv_2000@mail.ru

Author information:

Anastasia I. Miroshnichenko, Postgraduate Student of the Department of Propaedeutic of Internal Medicine, Orenburg State Medical University; e-mail: miroshni4enko.nast@yandex.ru

Adel K. Kunarbaeva, Postgraduate Student of the Department of Propaedeutic of Internal Medicine, Orenburg State Medical University; e-mail: kunarbaeva.adel@yandex.ru

Konstantin M. Ivanov, MD, PhD, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Propaedeutic of Internal Medicine, Orenburg State Medical University; e-mail: kmiwanov@mail.ru

Igor V. Miroshnichenko, MD, PhD, D.Sc. (Med.), Professor, Head of the Department of Normal Physiology, Orenburg State Medical University; e-mail: miv_2000@mail.ru

Поступила 20.10.2020
Принята к печати 10.11.2020

Received October 20, 2020
Accepted November 10, 2020