

УДК 612.2:613.646:613.12(470.111)

КОМПЕНСАТОРНО-ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У НЕФТЯНИКОВ В ДИНАМИКЕ ЭКСПЕДИЦИОННОГО РЕЖИМА ТРУДА В ЗАПОЛЯРЬЕ

© 2011 г. А. С. Сарычев, А. Б. Гудков, О. Н. Попова

Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

Планируемое увеличение добычи нефти в Заполярье (Ненецкий автономный округ, шельф Охотского и Печорского морей) для обеспечения энергетической безопасности России требует огромных капиталовложений, длительного времени на создание новых центров добычи, строительства нефтепроводов и других объектов инфраструктуры в экстремальных природно-климатических условиях. При создании новых производств в труднодоступных районах возникает проблема дефицита трудовых ресурсов необходимого профессионального уровня. Все это является объективной предпосылкой использования при промышленном освоении месторождений вахтовых, экспедиционно-вахтовых и экспедиционных методов организации производства [11, 18].

В рамках развития и совершенствования медицинского обеспечения работающего населения России очевидным является, что и медицинская наука, и практическое здравоохранение должны в полном объеме учитывать своеобразие климатогеографических особенностей территории проживания и реализации трудовой деятельности населения.

Самой незащищенной при контакте с неблагоприятными природно-климатическими факторами Севера и вследствие этого самой уязвимой является система дыхания. За сутки взрослый человек вентилирует через легкие от 10 до 20 тыс. литров воздуха, а сами легкие представляют собой наиболее крупную среди всех тканей организма поверхность контакта с окружающей воздушной средой, величина которой равна 90–100 м², что примерно в 50 раз превышает поверхность тела [2, 30].

Дыхательные пути являются своеобразной «калориферно-очистительной системой», в которой вдыхаемый воздух согревается, увлажняется и освобождается от инородных частиц за счет богатого кровоснабжения слизистой оболочки кондуктивной зоны, что представляется крайне важным при работе в Заполярье [24, 28].

С учетом того, что возникновению патологии органов дыхания, как правило, предшествуют изменения функциональных параметров внешнего дыхания [9, 14, 21], крайне важным представляется углубленное изучение характера компенсаторно-приспособительных реакций системы внешнего дыхания, направленных на уравнивание с внешней средой, у лиц, прибывающих для работы вахтовыми методами в районы Крайнего Севера.

Методы

Основу исследования составили динамические наблюдения, выполненные в зимне-весенний период в полевых условиях на рабочих-нефтяниках, которые доставлялись к месту дислокации производства на о. Колгуев авиационным транспортом. Расстояние авиaperелета около 700 км в пределах одного часового пояса. В вахтовом периоде

В динамике вахтового периода проведено спирометрическое обследование нефтяников, работающих в Заполярье (формула РТО 12×12/52+52). Установлено, что при экспедиционном режиме труда у них происходят существенные изменения со стороны статических легочных объемов и емкостей по сравнению с должными величинами: в начале и завершении вахтового периода снижена величина жизненной емкости легких на 4,4 и 7,3 % ($p_1 = 0,048$; $p_3 = 0,001$) соответственно. В рамках компенсаторно-приспособительных реакций изменяются динамические объемы: на протяжении вахты увеличены минутные объемы дыхания на 55,6, 44,7 и 60,9 % соответственно в начале, середине и завершении ее ($p_1 < 0,001$; $p_2 = 0,001$; $p_3 < 0,001$); с середины вахтового периода значительно увеличивается частота дыхания ($p_{2-3} = 0,024$); снижен относительный резерв дыхания на 10,2 % в начале вахты, 7,9 % в середине и 2,3 % в завершении, что указывает на элементы скрытых функциональных нарушений, ограничивающих резервы дыхательной системы. К 30–35 суткам вахтового периода наблюдается максимальное напряжение функционирования дыхательной системы и снижение ее резервных возможностей.

Ключевые слова: вахтовый труд, Заполярье, внешнее дыхание.

применялись 12-часовые рабочие смены через 12 ч отдыха в течение 52 дней с последующим 52-дневным отдыхом по месту жительства (формула РТО $12 \times 12 / 52 + 52$). Каждого рабочего обследовали в начале, середине и завершении вахтового периода. Все обследованные практически здоровые мужчины в возрасте ($39,6 \pm 3,6$) года.

В спирометрическом обследовании были задействованы с учетом специфики производства 46 человек, что составило почти 90 % вахтовой смены.

До начала исследования у нефтяников измерялись длина и масса тела. Несмотря на то, что эти данные не относятся к показателям, характеризующим респираторную функцию легких, в силу их тесной корреляционной связи со многими параметрами дыхания они использовались для получения некоторых расчетных показателей и должных величин.

Исследование проводилось в первой половине дня, через 40 мин после приема пищи, после 10-минутного отдыха, в условиях температурного комфорта и относительного покоя. Все показатели регистрировались в положении сидя.

У нефтяников оценивались: а) легочные объемы и емкости: дыхательный объем (ДО), жизненная емкость легких (ЖЕЛ); б) показатели легочной вентиляции: частота дыхания (ЧД), минутный объем дыхания (МОД), максимальная вентиляция легких (МВЛ). Рассчитывались показатель минутной альвеолярной вентиляции (МАН), величина эффективности вентиляции (ЭВ) [15]. Для оценки степени использования организмом ЖЕЛ определялась величина вентиляционного индекса Гаррисона (ВИ), который рассчитывался по формуле $ВИ = МОД / ЖЕЛ$, а для характеристики потенциала внешнего дыхания по удалению углекислого газа и насыщению крови кислородом рассчитывался показатель внешнего дыхания (ПВД) путем деления ЖЕЛ (мл) на массу тела (кг) [19].

Для оценки функциональных резервов системы дыхания определялся резерв дыхания (РД), а также относительный РД (в % от МВЛ). Для характеристики функционального состояния кардиореспираторной системы (ФСкрс) использовались нагрузочные пробы с задержкой дыхания на вдохе (проба Штанге) и на выдохе (проба Генча) с последующим расчетом показателя ФСкрс по формуле [3, 20]:

$$ФСкрс = \frac{\text{проба Штанге}(с) + \text{проба Генча}(с)}{90}$$

Полученные результаты сравнивались с нижеприведенными величинами и последующей формулировкой заключения: $\leq 42-56$ усл. ед. — неудовлетворительное состояние; $57-95$ усл. ед. — пограничное состояние; $96-121 \geq$ — удовлетворительное состояние резервных возможностей кардиореспираторной системы [3].

Все величины легочных объемов, емкостей и показателей вентиляции переведены в систему ВТРС (Body Temperature, ambient Pressure, Saturated

with water). Количественная оценка полученных у обследованных нефтяников показателей легочных и вентиляционных объемов проводилась путем сопоставления их фактических значений с расчетными должными величинами [16].

Статистический анализ результатов проводился с помощью пакета программ SPSS 13.0. После проверки на правильность распределения (Skewness, Kurtosis, Histogram, Q-Q Plots и по критерию Shapiro-Wilk) сравнение зависимых групп данных (поскольку исследования носили динамический характер), не подчиняющихся закону нормального распределения, проводилось с использованием непараметрического K-Related-Samples Test (t Friedman) с последующим попарным сравнением с помощью Two-Related-Samples Test (t Wilcoxon) и теста Exact. Для сравнения фактических величин, подчиняющихся закону нормального распределения, с должными величинами использовался One-Sample T Test, в остальных случаях применялся One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test. Результаты представлялись в виде медианы (Md), 25-го и 75-го перцентилей. Критический уровень значимости (p) в данной работе принимался равным 0,05 [5].

Результаты

При анализе полученных показателей у нефтяников выявлено снижение фактических величин ЖЕЛ ($ЖЕЛ_{\text{факт}}$) в сравнении с должными (ДЖЕЛ) на протяжении всего вахтового периода (табл. 1). При сравнении значений $ЖЕЛ_{\text{факт}}$ и ДЖЕЛ было установлено, что в начале и завершении вахтового периода $ЖЕЛ_{\text{факт}}$ достоверно ниже должных величин. При этом величина ЖЕЛ, приблизившись к должной ЖЕЛ в середине вахты, значительно снижалась к ее завершению ($p_{2-3} = 0,009$).

Необходимо заметить, что результаты расчета отношения ЖЕЛ к должной ЖЕЛ имели аналогичную тенденцию с дисперсией показателей от 84 до 107 %, что укладывается в границы нормы (80–120 %) [4].

Известно, что ВИ в норме варьирует около 2 усл. ед. [3, 20]. У нефтяников его величина регистрировалась выше 2 усл. ед. на всем протяжении вахты.

Величина ПВД оценивается как «хорошо» при значении 61–65 мл на кг массы тела [3, 20]. У нефтяников, работавших на о. Колгуев, этот показатель составлял 52,2 мл/кг в начале вахты, затем значительно ($p_{1-2} = 0,030$) повышался с последующим снижением после 30–35 суток, оставаясь при этом существенно ниже значений оцениваемых как «хорошо», что может быть расценено, как выраженное снижение потенциала внешнего дыхания по удалению углекислого газа и насыщению крови кислородом на всем протяжении вахтового периода.

Достаточно информативным показателем функции системы внешнего дыхания является величина ДО [12]. В динамике вахтового периода она претерпевала разнонаправленные изменения. Начало вахты

Таблица 1

Статистические легочные объемы, емкости и некоторые расчетные показатели у нефтяников в динамике вахтового периода при экспедиционном режиме труда в Заполярье (n = 46) Md (25-й; 75-й перцентили)

Показатель	Начало вахты – 1		Середина вахты – 2		Завершение вахты – 3	
	Фактическая	Должная	Фактическая	Должная	Фактическая	Должная
ЖЕЛ, л	4,4 (3,9;5,2)	4,6 (4,4;5,1)	4,8 (4,4;5,2)	4,8 (4,6;5,2)	4,5 (4,1;4,9)	4,8 (4,6;5,2)
	$p_{1ф/д}=0,048$		$p_{2ф/д}>0,05$		$p_{3ф/д}=0,001$	
ЖЕЛ/ДЖЕЛ, %	92,4 (86,2;107,1)		101,1 (88,9;107,7)		90,0 (84,2;99,6)	
	$p_{1-2}>0,05$		$p_{2-3}=0,010$		$p_{1-3}>0,05$	
ДО, л	0,73 (0,65;0,85)	0,69 (0,66;0,76)	0,79 (0,72;0,86)	0,72 (0,68;0,78)	0,74 (0,66;0,81)	0,72 (0,68;0,78)
	$p_{ф/д}=0,058$		$p_{ф/д}=0,001$		$p_{2-3}=0,009$ $p_{ф/д}>0,05$	
ВИ, усл. ед.	2,64 (1,98;2,97)		2,31 (1,98;2,97)		2,60 (2,30;2,80)	
	$p_{1-2}>0,05$		$p_{2-3}=0,089$		$p_{1-3}>0,05$	
ПВД, мл/кг	52,2 (40,8;60,1)		59,3 (49,8;68,1)		55,0 (44,1;64,8)	
	$p_{1-2}=0,030$		$p_{2-3}=0,002$		$p_{1-3}>0,05$	

характеризовалось самыми низкими значениями ДО и выраженной тенденцией в разнице между фактической и должной его величинами ($p_{ф/д} = 0,058$). К 30–35 суткам работы величина ДО достигала максимальных значений с последующим значимым их снижением к окончанию вахты ($p_{2-3} = 0,009$) на фоне учащения дыхания (табл. 2). Снижение ДО на фоне увеличения ЧД характеризует поверхностный тип дыхания, указывающий на снижение экономичности в деятельности системы дыхания.

Увеличение ЧД и снижение ДО в начале и завершении вахты приводят в большей степени к росту вентиляции мертвого пространства, чем росту вентиляции альвеол, а это снижает эффективность легочной вентиляции в целом. Наибольшая альвеолярная вентиляция наблюдается при достаточно большом ДО и редкой ЧД, что имело место у нефтяников к середине вахтового периода.

Расчет процентного отношения ДО к ЖЕЛ показал, что мужчины при дыхании в состоянии покоя в условиях Заполярья используют 16,5 % абсолютной величины ЖЕЛ, следовательно, 83–84 % ЖЕЛ при спокойном дыхании у них находится в резерве.

При функциональном исследовании аппарата внешнего дыхания большое место занимает изучение легочной вентиляции в покое, и хотя МОД не является абсолютным показателем эффективности альвеолярной вентиляции (т. е. показателем эффективности циркуляции между наружным и альвеолярным воздухом), на диагностическое значение этой величины указывает целый ряд исследователей [7, 10, 13].

Анализ полученных результатов показал, что у нефтяников на о. Колгуев фактическая легочная вентиляция существенно превышает должную на протяжении всей вахты (см. табл. 2). При этом наблюдался незначительный прирост величины МОД,

Таблица 2

Динамические легочные объемы у нефтяников на протяжении вахтового периода при экспедиционном режиме труда в Заполярье (n = 46) Md (25-й; 75-й перцентили)

Показатель	Начало вахты – 1	Середина вахты – 2	Завершение вахты – 3	Величина p
ЧД /мин (в покое)	16,0 (12,0;18,0)	14,0 (12,0;18,0)	16,0 (14,0;17,0)	$p_{2-3}=0,024$
МОД, л/мин	9,8* (8,5;12,1)	10,6* (9,2;11,7)	10,3* (9,0;12,2)	
ДМОД, л/мин	7,6 (7,1;8,0)	7,7 (7,2;8,2)	7,8 (7,2;8,1)	
МAB, л/мин	8,3 (7,6;10,9)	9,6 (8,1;10,4)	8,9 (7,7;10,9)	
ЭВ, усл. ед.	79,3 (77,1;82,4)	81,2 (79,2;82,6)	79,6 (77,4;81,4)	$p_{1-2}=0,089$ $p_{2-3}=0,015$ $p_{1-3}>0,05$
МВЛ, л/мин	125,9* (118,2;135,2)	132,7* (119,4;140,4)	131,8* (119,5;139,5)	$p_{1-3}=0,076$ $p_{2-3}=0,035$
ДМВЛ, л/мин	115,5 (110,4;126,0)	119,1 (114,6;130,0)	119,1 (114,1;130,0)	
РД, л/мин	114,6* (108,4;123,0)	121,8* (107,3;128,4)	121,6* (109,8;126,4)	$p_{1-3}=0,098$
РД должн., л/мин	108,6 (103,6;117,5)	112,0 (107,1;121,8)	112,0 (106,9;121,8)	
РД отн., %	91,4* (89,4;92,7)	91,1* (90,2;92,2)	91,3* (89,0;92,5)	$p_{2-3}=0,087$
РД отн., должн. %	93,7 (93,1;94,2)	93,8 (93,2;94,1)	93,7 (93,1;94,0)	
FC _{крс} , усл. ед.	75,6 (55,0;86,7)	78,9 (63,9;97,2)	85,6 (63,9;97,8)	$p_{1-2}=0,071$

Примечание. * – $p < 0,001$ в сравнении с должными величинами.

начиная с середины вахтового периода. В то же время прирост МОД по отношению к должным величинам был максимально и значимо высоким в начале вахты и в ее завершении.

Особое значение при оценке параметров респираторной системы имеют исследование МАВ и определение величины ЭВ. Самые низкие значения МАВ и ее эффективности определялись в начале вахтового периода. Середина вахты характеризовалась слабо выраженной тенденцией к росту величины ЭВ ($p_{1-2} = 0,089$), что может указывать на более благоприятные условия обеспечения организма нефтяников кислородом в силу увеличения МАВ. Завершение вахты (с 35–37 суток) характеризовалось достоверным снижением величины ЭВ ($p_{2-3} = 0,015$). В альвеолярной вентиляции легочной ткани у нефтяников участвовало от 8,3 до 9,6 л/мин воздуха, а это 84–88 % от величины МОД при норме 60–80 % от МОД [23, 26], что свидетельствует об альвеолярной гипервентиляции на всем протяжении вахтового периода.

При оценке вентиляционной функции легких важнейшее значение имеет вопрос о резервах дыхательной системы. Очень важным динамическим показателем, дающим представление о величине резервов дыхания, является показатель МВЛ. Его величина является суммарным показателем вентиляционной функции аппарата внешнего дыхания и отражает предельные способности системы внешнего дыхания использовать функциональные резервы.

У нефтяников на протяжении всей вахты величина МВЛ превышала должные значения. После 30–35 суток вахты отмечалось достоверное снижение МВЛ как в абсолютных величинах, так и при сравнении с должными величинами, что свидетельствует о снижении потенциальных возможностей дыхательной системы и ее функциональных резервов.

В оценке функционального состояния дыхательной системы наряду с МВЛ большое значение имеет определение резерва дыхания. Чем выше резерв дыхания, тем совершеннее функция аппарата внешнего дыхания, и наоборот, чем ниже резерв дыхания, тем меньше возможности организма и системы дыхания, в частности, по компенсации возрастающих потребностей в кислороде в процессе интенсивной трудовой деятельности.

Величина РД у нефтяников была больше должных величин на всем протяжении рабочего цикла: на 4,8 л/мин в начале ($p_{1 \text{ ф/д}} = 0,040$), 12 л/мин в середине, снижаясь к завершению вахты до 8,3 л/мин ($p_{3 \text{ ф/д}} = 0,026$), что составило соответственно 4,3, 10,9 и 7,3 %. Иначе выглядела динамика относительных величин РД (в % от МВЛ), которые при сравнении с должными были ниже на всем протяжении вахты, к тому же отмечалась слабо выраженная тенденция к снижению этого показателя (в % от МВЛ) в динамике вахтового периода (см. табл. 2).

Величина $\Phi C_{\text{крс}}$ варьировала в динамике вахты от 75,6 до 85,6 усл. ед., что позволяет расценивать состояние резервных возможностей кардиореспира-

торной системы как пограничное на всем протяжении рабочего цикла со слабо выраженной тенденцией прироста величины показателя с середины вахты ($p_{1-2} = 0,071$). Причем в начале вахты у 26,8 % от общей численности нефтяников этот показатель регистрировался ниже 56 усл. ед., что характеризует состояние резервных возможностей кардиореспираторной системы как неудовлетворительное. К середине вахты количество нефтяников с оценкой $\Phi C_{\text{крс}}$ «неудовлетворительное» снижалось до 14,6 %, а после 30–35 суток вахты вновь возрастало до 17,1 %.

Обсуждение результатов

При анализе результатов динамического исследования системы внешнего дыхания у нефтяников, работающих в Заполярье, установлено, что фактическая величина ЖЕЛ, позволяющая косвенно оценивать максимальную площадь дыхательной поверхности легких, обеспечивающей газообмен, и характеризующая аэробные возможности системы внешнего дыхания, ниже в сравнении с должными величинами на протяжении всего 52-суточного вахтового периода. Низкие значения ЖЕЛ в сравнении с должными величинами, вероятно, могут быть следствием холодовой бронхоконстрикции в процессе контакта с низкотемпературной воздушной средой Заполярья после периода «чистого» отдыха, проходившего в более благоприятных климатических условиях [29].

Высокие (более 2 усл. ед.) значения ВИ у нефтяников свидетельствуют о малой эффективности дыхательной функции на фоне возрастающей частоты дыхательных движений в динамике вахтового периода ($p_{2-3} = 0,024$).

Известно, что величина ВИ возрастает по мере увеличения объема легочной вентиляции, а также при физической работе большой напряженности, что в полной мере согласуется с динамикой трудовой деятельности на вахте как в период вработывания в ее начале, так и на этапе завершения вахты, вероятно, из-за сформировавшегося недвосстановления организма в результате постепенного накопления послерабочего утомления при предложенном ритме рабочих смен.

Величина ПВД, позволяющая характеризовать потенциал внешнего дыхания по удалению углекислого газа и насыщению крови кислородом, свидетельствует о выраженном снижении функции внешнего дыхания на всем протяжении вахтового периода, поскольку состояние внешнего дыхания оценивалось как «плохое» в начале и завершении вахты, приближаясь к оценке «удовлетворительно» в ее середине. Такое положение, видимо, может быть обусловлено отсутствием условий для полноценного отдыха и восстановления нефтяников в межвахтовый период, поскольку в результате анкетирования установлено, что 15,8 % от их числа вместо отдыха временно трудоустроивались по месту жительства на период от 40 до 50 суток.

Величина МАВ у нефтяников составила 84–88 % от величины МОД, что свидетельствует об альвеоляр-

ной гипервентиляции на всем протяжении вахтового периода. Известно, что эффективность работы легких оценивают по соотношению между вентиляцией и перфузией. Указанное соотношение определяется числом вентилируемых альвеол, которые соприкасаются с хорошо перфузируемыми капиллярами. При спокойном дыхании у человека верхние отделы легкого расправляются полнее, чем нижние. В норме неравномерное распределение объема вентиляции обусловлено массой легких и их расположением в грудной полости. Давление, способствующее расправлению легких, меньше в зависимых (нижних) отделах, поскольку именно они обеспечивают механическую поддержку расположенных выше отделов. Зависимые отделы слабо вентилируются из-за того, что действующие на них силы слишком малы для полноценного заполнения их воздухом, а воздухоносные пути, подходящие к альвеолам, могут быть перекрыты, и воздух в них не поступает. Дело в том, что меньшие по диаметру периферические воздухоносные пути во время выдоха подвергаются компрессии, становясь постепенно все более узкими по мере того, как объем легких приближается к остаточному. Это приводит к снижению скорости воздушного потока в легких и закрытию мелких воздухоносных путей. В итоге у здорового человека в состоянии покоя воздухоносные пути нижних отделов легких нередко могут быть закрыты, что обуславливает их слабую вентиляцию и нарушение газообмена [25, 27].

Таким образом, можно предполагать, что именно такой механизм имеет место в основе невысокой эффективности альвеолярной вентиляции на фоне гипервентиляции легких в условиях Заполярья.

Известно, что у жителей Европейского Севера фактические величины ДО значительно превышают должные [10]. Превышение фактических величин ДО над должными у нефтяников, работающих в условиях Заполярья, по всей видимости, связано с увеличением количества участвующих в газообмене альвеол.

Увеличение статических легочных объемов одни авторы объясняют включением резервных респираторных структур [1, 28], другие — изменением биомеханики дыхания [17]. По мнению О. В. Гришина и Н. В. Устюжаниновой [7], механизмом включения резервных структур легких в процесс воздухообмена является увеличение функциональной остаточной емкости (ФОЕ) легких. Если учесть, что ФОЕ за вычетом анатомического мертвого пространства (внутреннего объема воздухопроводящих путей) представляет собой сумму объемов всех функционирующих ацинусов, то за счет включения в вентиляцию резервных ацинусов функциональная остаточная емкость легких может увеличиваться, т. е. происходит мобилизация тканевых резервов респираторных отделов легких. Несомненно, что включение в вентиляцию дополнительного количества ацинусов сопровождается значительным укрупнением и усложнением вентилируемой системы. Чем больше в системе функционирующих ацинусов и чем больше всех функционирующих микроструктур, тем сложнее

вентилируемая система и больше возможность для усиления неравномерности вентиляции [27].

Величина МОД зависит от потребности организма в кислороде и степени утилизации вентилируемого воздуха, т. е. от количества кислорода, поглощаемого из определенного объема воздуха. Потребность в кислороде даже у одного и того же лица резко меняется в зависимости от многих факторов, и в первую очередь она определяется интенсивностью процессов метаболизма в организме, обусловленной физической нагрузкой. У лиц, проживающих и осуществляющих трудовую деятельность в Заполярье, уровень обменных процессов выше, чем у жителей умеренных широт, в том числе и за счет увеличения энергетической стоимости единицы выполненной работы. Следовательно, гипервентиляция является важным приспособительным механизмом внешнего дыхания у жителей северных регионов в ответ на повышенную потребность организма в кислороде, направленную на обеспечение усиленного тканевого метаболизма, обусловленного повышенными энергозатратами. С этих позиций гипервентиляцию следует рассматривать, с одной стороны, как целесообразную компенсаторно-приспособительную реакцию на суровые климатогеографические условия Заполярья, а с другой — как фактор пульмонологического риска возможного формирования хронической легочной патологии.

Характерной особенностью гипервентиляции у северян является то, что она преимущественно обусловлена значительным увеличением ДО при незначительном увеличении ЧД [10]. По всей видимости, организм, как система, способная к саморегуляции, использует в конкретный временной промежуток наиболее рациональный алгоритм достижения оптимального МОД за счет учащения дыхания или за счет увеличения его глубины. Более рациональным механизмом следует считать увеличение МОД за счет повышения ДО, поскольку такой механизм обеспечения необходимого уровня легочной вентиляции для организма будет являться менее энергозатратным [22]. У нефтяников, начиная с 30–35 суток вахты, ЧД значительно возрастала с одновременным уменьшением глубины дыхания, что может свидетельствовать о развитии респираторной гипоксии. Усиление легочной вентиляции определяется компенсаторной перестройкой процессов жизнеобеспечения и обусловлено главным образом гиперкапническим стимулом, который связывает дыхание с интенсивностью метаболизма [6, 8].

Анализ величины $\Phi_{\text{крс}}$, характеризующей состояние резервных возможностей кардиореспираторной системы, позволяет выявить группу риска срыва адаптации — лиц, у которых существует высокая вероятность развития хронического утомления, обострения имеющихся хронических заболеваний и других функциональных состояний, ведущих к снижению профессиональной надежности персонала (количество их варьировало от 14,6 до 26,8 % на протяжении вахты).

Таким образом, в результате эколого-физиологических исследований, выполненных в полевых условиях, установлены характерные компенсаторно-приспособительные реакции внешнего дыхания у нефтяников в динамике экспедиционного режима труда в Заполярье.

Выводы

1. У рабочих нефтегазовой отрасли при экспедиционном режиме труда в Заполярье происходят существенные изменения со стороны статических легочных объемов и емкостей по сравнению с должными величинами: в начале и завершении вахтового периода снижена величина ЖЕЛ на 4,4 и 7,3 % ($p_1 = 0,048$; $p_3 = 0,001$) соответственно.

2. В рамках компенсаторно-приспособительных реакций изменяются динамические объемы: на протяжении всей вахты увеличены МОД на 55,6, 44,7 и 60,9 % соответственно в начале, середине и завершении вахтового периода ($p_1 < 0,001$; $p_2 = 0,001$; $p_3 < 0,001$); с середины вахтового периода значительно увеличивается ЧД ($p_{2,3} = 0,024$); снижен относительный РД на 10,2 % в начале вахты, 7,9 % в середине и 12,3 % в ее завершении, что указывает на элементы скрытых функциональных нарушений, ограничивающих резервы дыхательной системы.

3. В динамике вахты от 14,6 до 26,8 % нефтяников имеют сниженные резервные возможности кардиореспираторной системы и составляют группу риска срыва адаптации.

4. Резервные способности системы внешнего дыхания в начале и завершении вахты снижены значительно и оцениваются как неудовлетворительные более чем у четверти (26,8 %) от общей численности нефтяников на вахте.

5. К 30–35 суткам вахтового периода наблюдается максимальное напряжение функционирования дыхательной системы и снижения ее резервных возможностей.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания / Н. А. Агаджанян, В. В. Гневушев, А. Ю. Катков. — М. : Изд-во УДН, 1987. — 186 с.
2. Агаджанян Н. А. Экологическая физиология: проблема адаптации и стратегия выживания / Н. А. Агаджанян // Экологические проблемы адаптации : материалы X междунар. симп. — М., 2001. — С. 5–10.
3. Актуальные проблемы физиологии военного труда / под ред. проф. В. И. Шостака. — СПб. : ВМА им. С. М. Кирова, 1992. — 238 с.
4. Баранов В. Л. Исследование функции внешнего дыхания / В. Л. Баранов, И. Г. Куренкова, В. А. Казанцев. — СПб. : Элби-СПб., 2002. — 302 с.
5. Гланц С. Медико-биологическая статистика : пер. с англ. / С. Гланц. — М. : Практика, 1998. — 459 с.
6. Гришин О. В. Интенсивность энергетического обмена у человека в норме и при хронической патологии : автореф. дис.... д-ра мед. наук / Гришин О. В. — Новосибирск, 2001. — 50 с.
7. Гришин О. В. Медленно развивающиеся реакции органов дыхания / О. В. Гришин, Н. В. Устюжанинова // Дыхание на Севере. Функция. Структура. Резервы. Патология. — Новосибирск, 2006. — С. 38–40.
8. Гришин О. В. Механизмы адаптивного снижения энергообмена / О. В. Гришин // Материалы докладов Четвертого съезда физиологов Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск, 2002. — С. 64.
9. Гришин О. В. Система внешнего дыхания при переходе от здоровья к хроническим заболеваниям / О. В. Гришин, И. М. Митрофанов, Н. В. Устюжанинова // Бюллетень СО РАМН. — 2004. — № 2. — С. 118–122.
10. Гудков А. Б. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере / А. Б. Гудков, О. Н. Попова. — Архангельск : Изд-во СГМУ, 2009. — 242 с.
11. Гудков А. Б. Физиологическая характеристика нетрадиционных режимов организации труда в Заполярье / А. Б. Гудков, Ю. Р. Теддер, Ю. Л. Пацевич. — Архангельск, 1998. — 208 с.
12. Давидовская Е. И. Исследование функции внешнего дыхания в терапевтической практике: новые возможности / Е. И. Давидовская, Э. Г. Слипченко, А. В. Хапалок // Медицинские новости. — 2005. — № 3. — С. 81–84.
13. Дембо А. Г. Легочные объемы / А. Г. Дембо // Физиология дыхания. — Л., 1973. — С. 4–16.
14. Зуевская Т. В. Влияние климатоэкологических факторов на возникновение и течение бронхолегочной патологии в условиях Севера / Т. В. Зуевская и др. — Изд-во ХМГМИ, 2008. — 150 с.
15. Иванов Ю. И. Статистическая обработка результатов медико-биологических исследований на микрокалькуляторах по программам / Ю. И. Иванов, О. Н. Погорелюк. — М. : Медицина, 1990. — 217 с.
16. Клемент Р. Ф. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей / Р. Ф. Клемент, А. А. Лаврушин, П. А. Тер-Погосян. — Л., 1986. — 80 с.
17. Кузнецова В. К. Механика дыхания / В. К. Кузнецова, Г. А. Любимов // Физиология дыхания. — СПб., 1994. — С. 54–104.
18. Матюхин В. А. Физиология перемещений человека и вахтовый труд / В. А. Матюхин, С. Г. Кривошеков, Д. В. Демин. — Новосибирск : Наука, 1986. — 200 с.
19. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты : пособие для врачей / И. Л. Мызников, Л. И. Глико, Ю. А. Паюсов и др. — Мурманск : Север, 2008. — 128 с.
20. Методы исследования в физиологии военного труда : руководство / под ред. В. С. Новикова. — М. : Военное изд-во, 1993. — 231 с.
21. Миронова Г. Е. Хронический обструктивный бронхит в условиях Крайнего Севера (значение антиоксидантного статуса и антиоксидантной терапии) / Г. Е. Миронова, Е. П. Васильев, Б. Т. Величковский. — Красноярск : Сибирь, 2003. — 87 с.
22. Попова О. Н. Особенности внешнего дыхания у молодых лиц, уроженцев Европейского Севера / О. Н. Попова, А. Б. Гудков // Известия Самарского научного центра РАН. — 2007. — Экология и здоровье человека (спец. вып.). — С. 71–76.
23. Сахно Ю. Ф. Исследование вентиляционной функции легких : учеб.-метод. пособие / Ю. Ф. Сахно, Д. В. Дроздов, С. С. Ярцев. — М. : Изд-во РУДН, 2005. — 84 с.
24. Солонин Ю. Г. Возрастная динамика некоторых физиологических функций у жителей Севера / Ю. Г. Солонин // Физиология человека. — 1998. — Т. 24, № 1. — С. 98–103.
25. Уэст Дж. Физиология дыхания / Дж. Уэст. — М. : Мир, 1988. — 200 с.

26. Чучалин А. Г. Хронические обструктивные болезни легких / А. Г. Чучалин. — М. : Изд-во БИНОМ, 2000. — 512 с.

27. Шишкин Г. С. Изменение легочных объемов при дыхании холодным воздухом у рабочих-строителей на севере Западной Сибири / Г. С. Шишкин, О. Э. Никольская, О. В. Гришин // Физиология человека. — 1992. — Т. 18, № 4. — С. 12–17.

28. Шишкин Г. С. Проблемы пограничных состояний в пульмонологии / Г. С. Шишкин // Материалы докладов Четвертого съезда физиологов Сибири и Дальнего Востока. — Новосибирск, 2002. — С. 305.

29. Якименко М. А. Потребление кислорода и некоторые показатели внешнего дыхания при адаптации к холоду / М. А. Якименко, Т. В. Нешумова, Е. Я. Ткаченко // Физиология человека. — 1977. — Т. 3, № 4. — С. 717–719.

30. Guyton A. C. Textbook of Medical Physiology / A. C. Guyton. — Philadelphia ; London ; Toronto ; Tokyo, 2006. — 562 p.

**COMPENSATORY-ADAPTIVE REACTIONS
OF EXTERNAL RESPIRATION IN OIL INDUSTRY
WORKERS IN DYNAMICS OF FIELD WORK REGIME
IN POLAR REGION**

A. S. Sarychev, A. B. Gudkov, O. N. Popova

Northern State Medical University, Arkhangelsk

In dynamics of the shift period, a spirometric examination of oil industry workers of the Polar region (formula PTO

12×12/52+52) has been conducted. It has been established that by field work regime, they had significant changes in static lung volumes and capacities in comparison with due values: at the beginning and the end of the shift period, the value of lung vital capacity was 4.4 and 7.3 % ($p_1 = 0.048$; $p_3 = 0.001$) lower respectively. In the framework of the compensatory-adaptive reactions, dynamic volumes changed: during one shift, minute respiratory volumes increased by 55.6, 44.7 and 60.9 % respectively at the beginning, in the middle and at the end of it ($p_1 < 0.001$; $p_2 = 0.001$; $p_3 < 0.001$); from the middle of the shift period, frequency of respiration increased significantly ($p_{2,3} = 0.024$); relative breathing reserve was 10.2 lower % at the shift beginning, 0.9 % — in the middle and 2.3% at the end, what was indicative of latent functional defects limiting reserves of the respiratory system. On 30-35 days of the shift period, there was observed the maximum stress in functioning of the respiratory system and its low reserve abilities.

Key words: shift work, Polar region, external respiration.

Контактная информация:

Сарычев Александр Сергеевич — кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены и медицинской экологии Северного государственного медицинского университета

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

Тел. (8182) 28-58-02

E-mail: k69069@yandex.ru