

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-837-841>

УДК 613.633 + 616-072.7/616.2

© Нененко О.И., 2020

Нененко О.И.

**Кардиореспираторные ассоциации при проведении нагрузочной пробы у рабочих пылеопасных профессий**

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 2, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141014

**Актуальность.** Социальная значимость профессиональной пылевой патологии обусловлена ее лидирующей позицией в структуре смертности от профессиональных болезней. Нагрузочные пробы — важный этап в комплексном подходе к оценке и прогнозу состояния здоровья стажированных рабочих пылевых профессий.**Цель исследования** — изучить взаимосвязь толерантности физической нагрузки и состояния кардиореспираторной системы у работников пылеопасных профессий по результатам теста с 6-минутной ходьбой (6МХ).**Материалы и методы.** С использованием данных эхокардиографии, спирометрии бодиплетизмографии (БПГ), теста с 6МХ и одновременным мониторингом насыщения крови кислородом ( $SpO_2$ ) обследованы 193 рабочих пылевых профессий (ПК) (79 человек), ХОБЛ (56 человек) и пациентов без признаков респираторной патологии (58 человек).**Результаты.** Выявлены особенности спирометрии и БПГ, прослежена взаимосвязь результатов нагрузочного теста с результатами функциональных исследований состояния кардиореспираторной системы.**Заключение.** Выявлено, что  $SpO_2$  в динамике теста 6МХ различным образом проявляет взаимосвязь с показателями спирометрии, характеризуя основные патогенетические моменты формирования дыхательной недостаточности.**Ключевые слова:** тест с 6МХ; профессиональные заболевания органов дыхания; вентиляционная функция; ЭХО-кардиография; насыщение крови кислородом**Для цитирования:** Нененко О.И. Кардиореспираторные ассоциации при проведении нагрузочной пробы у рабочих пылеопасных профессий. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(11): 837–841. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-837-841>**Для корреспонденции:** Нененко Ольга Ивановна, врач-терапевт, ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. E-mail: 4e2ry@mail.ru**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 24.08.2020 / Дата принятия к печати: 19.10.2020 / Дата публикации: 03.12.2020

Olga I. Nenenko

**Cardiorespiratory associations during a load test in workers of dust-hazardous professions**

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2, Semashko str., Mytishchi, Moscow Region, Russia, 141014

**Introduction.** The social significance of occupational dust pathology is due to its leading position in the structure of mortality from occupational diseases. Stress tests are an important stage in a comprehensive approach to assessing and predicting the health status of trained dust workers.**The aim of study** was to study the relationship between exercise tolerance and the state of the cardiorespiratory system in employees of dust-hazardous professions based on the results of a 6-minute walking test (6MW).**Materials and methods.** Using data from echocardiography, spirometry, bodyplethysmography (BPG), a 6MW test and simultaneous monitoring of blood oxygen saturation ( $SpO_2$ ), 193 working dust professions (DP) (79 people), chronic obstructive pulmonary disease (COPD) (56 people) and patients without signs of respiratory pathology (58 people) were examined.**Results.** The peculiarities of spirometry and BPG, traced the relationship of load test results with the results of functional studies of cardio-respiratory status.**Conclusions.** It was found that  $SpO_2$  in the dynamics of the 6mx test shows a different relationship with spirometry indicators, characterizing the main pathogenetic moments of the formation of respiratory failure.**Keywords:** test with 6MW; occupational diseases of the respiratory system; ventilation function; ECHO-cardiography; blood oxygen saturation**For citation:** Nenenko O.I. Cardiorespiratory associations during load testing in workers of dust-hazardous professions. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(11): 837–841. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-837-841>**For correspondence:** Olga I. Nenenko, therapist, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman. E-mail: 4e2ry@mail.ru**Information about author:** <https://orcid.org/0000-0002-3349-5842>**Funding.** The study has no funding.**Conflict of interests.** The author declares no conflict of interests.

Received: 24.08.2020 / Accepted: 19.10.2020 / Published: 03.12.2020

**Актуальность.** В последние годы в структуре профессиональной патологии в РФ заболевания от воздействия промышленных аэрозолей занимают третье место (15,9–18,3%), тем не менее, социальная значимость их наиболее велика, так как эти заболевания вносят максимальный вклад в показатели смертности от профессиональных заболеваний [1, 2]. Для оценки функционального состояния пациентов, эффективности лечения и прогноза важ-

ное значение имеют нагрузочные пробы, в числе которых одним из наиболее распространенных, информативных и достаточно безопасных, является тест с 6МХ, который позволяет оценивать состояние как сердечно-сосудистой, так и дыхательной систем [3, 4].

**Цель исследования** — изучить взаимосвязь толерантности физической нагрузки и состояния кардиореспираторной системы у работников пылеопасных профессий по

результатам теста с 6МХ.

**Материалы и методы.** Проведено обследование 193 пациентов, разделенных на 3 группы. В первую группу включены 79 пациентов с установленным диагнозом пневмокотоз (ПК)Ц, во вторую группу включено 56 человек с профессиональной хронической обструктивной болезнью легких (ХОБА). В третью группу включено 58 рабочих различных пылеопасных профессий без признаков пылевого поражения респираторного тракта. Все обследованные мужчины, со средним возрастом по группам от 51,5 до 53,9 года, средним стажем работы 20,0–21,5 года, без достоверных различий по возрастнo-стажевым показателям между группами.

Обследованным проведена оценка функции внешнего дыхания (ФВД): жизненная емкость легких (ЖЕЛ, %

от должного), объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1, % от должного) и БПГ с определением общей емкости легких (ОЕЛ, % от должного), остаточного объема легких (ООЛ, % от должного), внутригрудного объема (ВГО, % от должного) и диффузионной способности легких (ТLСО, % от должного).

По данным эхокардиографии (ЭХО-КГ) оценивалось геометрия миокарда и его сократительная способность: конечный диастолический и систолический размеры (КДР, КСР, в см) и конечный диастолический и систолический объемы (КДО, КСО, в мл.) левого желудочка (ЛЖ), толщина задней стенки ЛЖ и межжелудочковой перегородки (ЗСЛЖ, МЖП, в см.), фракция выброса (ФВ, %), переднезадний размер правого желудочка и толщина его стенки (ПЗР, ПЖ) и систолическое давление в легочной

Таблица 1 / Table 1

**Связь показателей вентиляционной функции и ЭХО-КГ и с результатами пробы с 6-МТ в группах обследованных (коэффициент корреляции, r)**  
**Correlation of the indicators of ventilation function and echocardiography and the test results with a 6-minute walk test in groups (correlation coefficient, r)**

Исследование	Показатель	Дистанция, м			Мощность (кг*м/с)		
		Группы					
		Пневмокотоз	Хроническая обструктивная болезнь легких	Контакт	Пневмокотоз	Хроническая обструктивная болезнь легких	Контакт
Эхокардиография	Конечный диастолический объем	0,04	0,08	0,01	0,23	0,29	0,38
	Конечный систолический объем	0,06	0,05	-0,09	0,14	0,28	0,37
	Конечный диастолический размер	0,02	0,07	-0,03	0,24	0,32	0,38
	Конечный систолический размер	0,02	0,03	-0,09	0,24	0,31	0,39
	Задняя стенка левого желудочка	-0,20	0,02	-0,23	0,13	0,39	0,49
	Межжелудочковая перегородка	-0,33	0,00	-0,12	0,01	0,42	0,42
	Толщина стенки правого желудочка	-0,18	0,13	-0,08	-0,04	0,40	0,14
	Переднезадний размер правого желудочка	-0,20	0,40	-0,04	0,06	0,61	0,31
	Систолическое давление легочной артерии	-0,25	0,22	0,01	-0,19	0,32	-0,10
	Фракция выброса	0,17	0,02	0,23	-0,08	-0,17	-0,08
Функция внешнего дыхания и боодиплетизмография	Жизненная емкость легких	0,30	0,11	0,12	0,09	-0,19	-0,25
	Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1)	0,38	0,06	0,12	0,15	-0,07	-0,20
	Диффузионная способность легких (ТLСО)	0,15	0,50	-0,15	0,18	0,03	0,26
	Внутригрудной объем	0,07	0,08	0,01	0,04	0,06	-0,19
	Остаточной объем легких	0,06	0,09	-0,09	0,08	0,12	-0,15

Таблица 2 / Table 2

Связь показателей вентиляционной функции с уровнями  $SpO_2$  во время и после проведения 6-МТ (коэффициент корреляции,  $r$ )Correlation of ventilation function indicators with  $SpO_2$  levels during and after 6-minute walk test (correlation coefficient,  $r$ )

Группы	ФВД	Сатурация кислородом									
		До пробы	Проба, минуты						Отдых, минуты		
			1'	2'	3'	4'	5'	6'	1'	2'	3'
Пневмокопоз	Жизненная емкость легких	0,03	0,05	0,15	0,26	0,24	0,28	0,18	0,38	0,34	0,05
	Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ <sub>1</sub> )	-0,04	0,10	0,16	0,21	0,19	0,22	0,12	0,36	0,31	0,06
	Диффузионная способность легких (TLCO)	-0,08	0,18	0,24	0,36	0,37	0,44	0,33	0,38	0,33	0,09
	Внутригрудной объем	0,09	-0,19	-0,10	0,05	0,02	-0,02	-0,06	0,02	0,07	-0,08
	Остаточной объем легких	-0,03	-0,25	-0,26	-0,13	-0,09	-0,13	-0,08	-0,04	-0,00	-0,06
	Общая емкость легких	-0,12	-0,16	-0,15	0,04	0,08	0,04	0,01	0,07	0,10	-0,02
Хроническая обструктивная болезнь легких	Жизненная емкость легких	0,15	0,20	0,24	0,23	0,17	0,24	0,19	0,24	0,27	0,15
	Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ <sub>1</sub> )	0,17	0,39	0,45	0,38	0,28	0,32	0,23	0,28	0,27	0,31
	Диффузионная способность легких (TLCO)	0,23	0,49	0,30	0,37	0,31	0,29	0,27	0,19	0,24	0,37
	Внутригрудной объем	-0,14	-0,51	-0,56	-0,42	-0,25	-0,16	-0,15	-0,12	-0,13	-0,46
	Остаточной объем легких	-0,19	-0,57	-0,63	-0,49	-0,36	-0,31	-0,24	-0,19	-0,21	-0,48
	Общая емкость легких	-0,07	-0,42	-0,54	-0,38	-0,32	-0,34	-0,18	-0,12	-0,11	-0,38
Контакт	Жизненная емкость легких	0,23	0,14	0,34	0,39	0,26	0,33	0,33	0,31	0,40	0,29
	Объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ <sub>1</sub> )	0,22	0,19	0,31	0,38	0,30	0,36	0,38	0,35	0,43	0,39
	Диффузионная способность легких (TLCO)	-0,09	0,05	0,20	0,15	0,17	0,23	0,24	0,14	-0,06	-0,07
	Внутригрудной объем	0,37	0,37	0,42	0,51	0,38	0,44	0,43	0,36	0,36	0,38
	Остаточной объем легких	0,22	0,09	0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,02	0,01	0,14	0,04
	Общая емкость легких	0,25	0,16	0,19	0,30	0,15	0,24	0,28	0,24	0,32	0,20

артерии (СДАА, мм рт. ст.).

Всем обследованным проведена проба с 6МХ. Непосредственно перед пробой, во время ее проведения и в течение 3 минут после нее проводилось непрерывное мониторирование насыщения крови кислородом ( $SpO_2$ ) с использованием запястного пульсоксиметра «*Choicemmed MD300W*» (*Beijing Choice Electronic Tech Co, Ltd China*).

По результатам 6МХ оценивался уровень произведен-

ной работы ( $P$ ) по формуле  $P = \text{масса (кг)} \cdot \text{пройденное расстояние (м)}$ . Достигнутая мощность ( $W$ ) оценивалась по отношению работы к единице времени (сек):  $W = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{сек}$ .

Статистическая обработка материалов включала методы дисперсионного и корреляционного анализа. Достоверность различий оценивалась с использованием непараметрического критерия Вилкоксона–Манна–Уитни ( $W_{\text{мп}}$ ), критическое значение которого соответствовало

1,96 при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** По результатам оценки вентиляционной функции выявлено достоверное снижение средних значений ( $M \pm SD$ ) объемных и скоростных показателей у пациентов с ХОБЛ (ЖЕЛ —  $77,2 \pm 18,4$  и  $ОФВ_1$  —  $62,6 \pm 23,8\%$ ) по сравнению с пациентами из группы ПК (ЖЕЛ —  $90,6 \pm 18,9$  и  $ОФВ_1$  —  $91,5 \pm 22,5\%$ ) и с пациентами из контактной группы (ЖЕЛ —  $97,5 \pm 13,9$  и  $ОФВ_1$  —  $98,5 \pm 18,5\%$ ). Достигнутые уровни  $W_{эмт}$  составляли от 2,8 до 5,9 ( $p < 0,05$ ). По данным БПГ у пациентов с ХОБЛ отмечены достоверно более высокие средние уровни ООЛ и ВГО ( $186,1 \pm 60,2$  и  $165,5 \pm 44,2\%$  соответственно). Аналогичные показатели у пациентов с ПК и у группы контактных были достоверно ниже и сопоставимы (ООЛ —  $121,1 - 123,2\%$ ; ВГО —  $132,8 - 133,1\%$ ). Достигнутые уровни  $W_{эмт}$  от 3,7 до 5,95 ( $p < 0,05$ ). Показатели, отвечающие за  $TLCO$ , у пациентов с ХОБЛ были наиболее низкими ( $TLCO$  —  $66,3 \pm 20,4\%$ ) по сравнению с пациентами с ПК ( $TLCO$  —  $75,0 \pm 15,9\%$ ,  $W_{эмт} = 2,75$ ,  $p < 0,05$ ) и пациентами из группы контакта ( $TLCO$  —  $77,9 \pm 14,8\%$ ,  $W_{эмт} = 3,08$ ,  $p < 0,05$ ).

Средние значения показателей ЭХО-КГ практически не выходили за рамки нормы во всех группах. В то же время, наиболее низкие средние значения, отражающие размеры полости ЛЖ (КДР, КСР, КДО, КСО), а также толщины МЖП, отмечены у пациентов с ПК. Субклинические признаки перегрузки правых отделов сердца отмечены у пациентов с ХОБЛ в виде наибольших средних значений толщины стенки ПЖ —  $4,5 \pm 0,9$  мм, ПЗР ( $2,8 \pm 0,3$  см) и уровней СДЛА ( $27,6 \pm 5,8$  мм рт. ст.). Самые низкие средние значения аналогичных показателей отмечены у пациентов из группы контакта (ПЗР —  $2,7 \pm 0,2$  см, ПЖ —  $0,4 \pm 0,1$  мм, СДЛА —  $24,2 \pm 3,8$  мм рт. ст.,  $p < 0,05$ ), что свидетельствует о минимальной нагрузке на правые отделы сердца у пациентов данной группы.

Средние значения пробы 6МХ были минимальными у пациентов с ПК ( $466,9 \pm 63,2$  м) и ХОБЛ ( $467,4 \pm 77,2$  м), а максимальные средние значения — в группе контактных ( $486,8 \pm 67,5$  м), при этом достоверных различий по группам выявлено не было. Максимальные уровни развиваемой мощности отмечены в группе контактных ( $113,2 \pm 18,5$  кг·м/сек), что было достоверно выше аналогичных значений в группе с ПК ( $100,7 \pm 20,9$  кг·м/сек) ( $W_{эмт} = 2,37$ ,  $p < 0,05$ ). При ХОБЛ средние значения данного показателя соответствовали уровню  $111,3 \pm 30,1$  кг·м/сек. Средние значения  $SpO_2$  до пробы и на момент ее завершения достоверно снижались у пациентом с ПК (с  $94,6 \pm 2,1$  до  $93,5 \pm 3,9\%$ ) ( $W_{эмт} = 2,26$ ,  $p < 0,05$ ). В группах ХОБЛ и контактных средние значения уровней  $SpO_2$  также снижались, но без достоверных различий.

Не было получено данных о значимой связи между показателями ЭХО-КГ и теста 6МХ по всем группам, за исключением слабой отрицательной связи для МЖП в группе ПК ( $r = -0,33$ ) и положительной связи между величиной дистанции и ПЗР ПЖ у пациентов с ХОБЛ ( $r = 0,4$ ) (таблица).

Отмечена положительная связь между величиной пройденной дистанции и уровнями ЖЕЛ и  $ОФВ_1$  в группе ПК (коэф. коррел. ( $r$ )  $0,3$  и  $0,38$  соответственно). Значимых уровней корреляции между пройденной дистанцией и показателями вентиляционной функции для группы контактных и пациентов с ХОБЛ не получено. Также не получено убедительных взаимосвязей между показателями вентиляционной функции и уровнями достигнутой мощно-

сти в ходе выполнения пробы для всех групп. При этом, у пациентов с ХОБЛ отмечена положительная связь слабой и умеренной силы ( $r$  от  $0,29$  до  $0,42$ ) между показателями, отражающими размеры и толщину стенок ЛЖ (КДО, КСО, КДР, КСР, ЗСЛЖ, МЖП), а также положительную связь между показателями, отражающими размеры правого желудочка (ПЖ, ПЗР) и уровнем СДЛА ( $r$  от  $0,32$  до  $0,61$ ). У пациентов из группы контактных получены схожие данные между уровнями достижения мощности и показателями, отражающими геометрию ЛЖ ( $r$  от  $0,37$  до  $0,49$ ), а также отмечена слабая связь между достигнутой мощностью и ПЗР ( $r = 0,31$ ) (таблица).

Учитывая, что показатели ФВД и БПГ практически не коррелировали с результатами пробы с 6МХ (дистанция, мощность) проанализирована связь этих показателей с уровнями  $SpO_2$ , зарегистрированными до пробы, во время пробы и в течение трех минут после нее. Выявлено, что показатели  $TLCO$  в группе ПК проявляли положительную связь с  $SpO_2$  регистрируемой с 3-ей по 6-ю минуты пробы и на первых двух минутах отдыха ( $r$  от  $0,33$  до  $0,44$ ). В этой же группе отмечена положительная связь  $SpO_2$  с уровнями  $ОФВ_1$  и ЖЕЛ в течение первых двух минут отдыха, что определенным образом подчеркивает интерстициальный характер нарушений, формирующих дыхательную недостаточность у пациентов с ПК.

У пациентов с ХОБЛ связь показателей  $ОФВ_1$  и  $SpO_2$  была положительной и носила убедительный характер во время всех этапов пробы ( $r$  от  $0,28$  до  $0,45$ ) и в период отдыха ( $r$  от  $0,27$  до  $0,31$ ). Связь между ЖЕЛ и  $SpO_2$  у пациентов с ХОБЛ была положительной, но носила очень слабый характер ( $r$  от  $0,15$  до  $0,27$ ). Обращает на себя внимание, что уровни  $TLCO$  у пациентов с ХОБЛ положительно коррелировали с  $SpO_2$  в течение всего периода физической активности ( $r$  от  $0,27$  до  $0,49$ ) и на последней минуте отдыха ( $r = 0,31$ ), а ОЕЛ, ВГО, ООЛ содружественно отрицательно коррелировали с уровнями  $SpO_2$  в первые четыре минуты пробы ( $r$  от  $-0,25$  до  $-0,63$ ) и на последней минуте отдыха ( $r$  от  $-0,38$  до  $-0,48$ ). Полученные данные иллюстрируют характер дыхательной недостаточности при ХОБЛ, обусловленный обструктивными нарушениями и выраженностью эмфиземы.

У пациентов из группы контактных уровни  $SpO_2$  проявляли преимущественно слабую положительную связь с ЖЕЛ и  $ОФВ_1$  со второй минуты пробы до третьей минуты отдыха ( $r$  от  $0,26$  до  $0,43$ ). ОЕЛ в группе контактных также носила положительный характер с  $SpO_2$  в течение всего исследования, однако связь эта носила преимущественно слабой характер ( $r$  от  $0,15$  до  $0,32$ ). Обращала на себя внимание в этой группе следующая особенность — устойчивая положительная связь в течение всего исследования между уровнями  $SpO_2$  и ВГО ( $r$  от  $0,36$  до  $0,51$ ) и отсутствие взаимосвязи  $TLCO$  с уровнями  $SpO_2$ . При этом ООЛ у контактных и  $SpO_2$  не проявляли взаимосвязи между собой, что косвенным образом свидетельствует об отсутствии гиперинфляции. Однонаправленная положительная связь  $SpO_2$  с ЖЕЛ,  $ОФВ_1$  и ВГО может указывать на оптимальную функциональность резервного объема выдоха у пациентов данной группы, а отсутствие связи между  $SpO_2$  и  $TLCO$  указывает, на наш взгляд, на отсутствие дыхательной недостаточности.

**Заключение.** Интерпретация пробы с 6МХ у работников пылеопасных профессий должна отличаться от подходов, традиционно применяемых в соответствии с классификацией сердечной недостаточности Нью-Йоркской

ассоциации кардиологов (1994). Целесообразно проведение одновременной оценки вентиляционной функции, диффузионной способности с определением мощности, достигаемой пациентом в ходе выполнения пробы.

Толерантность к физической нагрузке у рабочих пылевых профессий определяется проходимостью дыхательных

путей, выраженностью эмфиземы, фиброзных изменений и сократительной способностью миокарда. Взаимосвязь насыщения крови кислородом на фоне физической нагрузки с уровнями гиперинфляции может быть критерием ранних проявлений различных вариантов развития пылевой патологии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2020.
2. Яцына И.В., Попова А.Ю., Сааркоппель Л.М., Серебряков П.В., Федина И.Н. Показатели профессиональной заболеваемости в Российской Федерации. *Мед. труда и пром. экол.* 2015; 10: 1–4.
3. Ватутин М.Т., Смирнова А.С., Гасейндич Е.С., Тов И.В. Современный взгляд на кардиопульмональное нагрузочное тестирование (обзор рекомендаций ЕАСРР/АНА, 2016). *Архив внутренней медицины.* 2017; 1: 5–14.
4. Абросимов В.Н., Перегудова Н.Н., Косяков А.В. Оценка функциональных показателей дыхательной системы у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких при проведении 6-минутного шагового теста. *Наука молодых.* 2019; 7(3): 323–31.

#### REFERENCES

1. On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2019: State report. Moscow: Federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare; 2020.
2. Yatsyna I.V., Popova A.Yu., Saarkoppel L.M., Serebryakov P.V., Fedina I.N. Indicators of occupational morbidity in the Russian Federation. *Med. truda i prom. ekol.* 2015; 10: 1–4.
3. Vatutin M.T., Smirnova A.S., Gaseindich E.S., Tov I.V. Modern view on cardiopulmonary load testing (review of EACPR/AHA recommendations, 2016). *Arkhiv vnutrennej meditsiny.* 2017; 1: 5–14.
4. Abrosimov V.N., Peregudova N.N., Kosyakov A.V. Evaluation of functional indicators of the respiratory system in patients with chronic obstructive pulmonary disease during a 6-minute step test. *Nauka molodykh.* 2019; 7(3): 323–31.