

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2026.1.32>

## Выявление и прогнозирование развития дисфункции дыхательной мускулатуры у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания

А.Ю. Крумкачева

Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2026. – Том 25, №1. – С. 32-40.

## Detecting and predicting the respiratory muscle dysfunction in patients with occupational respiratory diseases

H.Yu. Krumkachova

Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2026;25(1):32-40.

---

### Резюме.

Цель – оценить связь показателей антропометрии и функциональных методов исследования с функцией дыхательной мускулатуры (ДМ) у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания (ПЗОД), выявить предикторы дисфункции ДМ и разработать прогностические модели её раннего выявления.

Материал и методы. Обследованы 102 пациента с хроническим профессиональным бронхитом (ХПБ; n=34), профессиональной ХОБЛ (ПХОБЛ; n=38), пневмокозиозом (Пн; n=30) и 23 здоровых добровольца. Проведены антропометрия, спирометрия, 6-минутный тест ходьбы (6-МТХ), измерение силы ДМ и периферической мускулатуры. Использованы методы Байеса с последовательным анализом Вальда и логистической регрессии для прогнозирования риска развития дисфункции ДМ.

Результаты. У всех групп ПЗОД выявлено снижение силы ДМ и периферической мускулатуры ( $p<0,05$ ). При ХПБ и ПХОБЛ наблюдалась высокая частота абдоминального ожирения, при этом индекс массы тела не связан с силой ДМ. При ХПБ сила ДМ ассоциирована с десатурацией при 6-МТХ, при ПХОБЛ – с вентиляционными объёмами, при Пн – с резервными объёмами лёгких. Разработаны две прогностические модели: балльная шкала (учитывает 9 признаков) и логистическая модель (учитывает 2 показателя динамометрии), которые с высокой вероятностью определяют риск развития дисфункции ДМ.

Заключение. Кистевая динамометрия может использоваться для скрининга дисфункции ДМ. Предложенные прогностические модели позволяют раннее выявление пациентов с высоким риском развития дисфункции ДМ.

*Ключевые слова:* дыхательная мускулатура, профессиональные заболевания органов дыхания, кистевая динамометрия, мышечная выносливость, прогнозирование, индекс массы тела.

### Abstract.

Objectives. To assess the association between anthropometric and functional parameters and respiratory muscle strength in patients with occupational respiratory diseases (ORD), identify predictors of respiratory muscle dysfunction (RMD) and develop predictive models for its early detection.

Material and methods. The study included 102 patients with chronic occupational bronchitis (COB; n=34), occupational COPD (OCOPD; n=38), pneumoconiosis (Pn; n=30) and 23 healthy volunteers. Anthropometry, spirometry, the 6-minute walk test (6-MWT) and measurements of respiratory and peripheral muscle strength were performed. Bayesian analysis with Wald's sequential test and logistic regression were used to predict the risk of RMD.

Results. Significant reduction in both respiratory and peripheral muscle strength was observed in all ORD groups ( $p<0.05$ ). Abdominal obesity was highly prevalent in COB and OCOPD, yet body mass index showed no association with respiratory muscle strength. In COB, respiratory muscle strength correlated with oxygen desaturation during the 6-MWT;

in OCOVD – with ventilatory volumes; in Pn – with lung reserve volumes. Two predictive models were developed: a scoring scale (based on 9 clinical and functional parameters) and a logistic regression model (based on two dynamometry parameters), both demonstrating high accuracy in identifying patients at high risk of RMD.

Conclusions. Handgrip dynamometry can be used as a screening tool for RMD. The proposed predictive models enable early identification of patients at high risk of developing respiratory muscle dysfunction.

Keywords: *respiratory muscles, occupational respiratory diseases, handgrip dynamometry, muscle endurance, prediction, body mass index.*

## Введение

Длительное течение хронических заболеваний органов дыхания по обструктивному и рестриктивному типу может привести к развитию утомления или слабости дыхательной мускулатуры (ДМ) – то есть к ее дисфункции. Функциональное нарушение или дисфункция ДМ – «состояние, при котором происходит снижение силы и скорости ее сокращений в результате значительного повышения объема выполняемой работы, недостаточного энергообеспечения и нефизиологического состояния мышц» [1]. Воздействие производственных пыли или аэрозоля, табачного дыма, неизбежно развивающаяся при хронических заболеваниях органов дыхания тканевая гипоксия, нарушение питания, снижение общей мышечной массы, гиподинамия, хроническое системное воспаление и «оксидативный стресс» способствуют развитию белково-энергетической недостаточности, дисбалансу между процессами синтеза и деградации мышечных белков, гипотрофии ДМ с уменьшением количества миофибрилл и их диаметра, что усугубляет функционирование ДМ [2-3].

При обструктивных заболеваниях органов дыхания (например, хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ)) легочная гиперинфляция и эмфизема приводят к изменению положения диафрагмы, укорочению ее мышечных волокон, повышению нагрузки на инспираторные и экспираторные мышцы и развитию дыхательной недостаточности [4-6]. Установлено, что при ХОБЛ в патологический процесс вовлекается не только ДМ, но и периферическая скелетная мускулатура, часто с опережением [4, 7]. При хроническом бронхите при появлении обструкции бронхов увеличивается работа внутренних и наружных межреберных мышц, мышц брюшного пресса и диафрагмы по преодолению резистивного сопротивления воздушному потоку в воздухоносных путях, что способствует их утомлению [4, 8, 9].

При пневмокониозе (Пн) и других интерстициальных заболеваниях в результате формирования пневмофиброза изменяется соотношение «длина-напряжение» мышц вдоха, прежде всего, – диафрагмы, что в соответствии с законом Лапласа изначально повышает ее эффективность, а переутомление мышцы происходит на поздних стадиях заболеваний [4, 10, 11].

В свою очередь, дисфункция ДМ является не только следствием хронических респираторных заболеваний, но и выступает в качестве самостоятельного фактора, способствующего усугублению нарушений функции внешнего дыхания (ФВД), снижению толерантности к физической нагрузке, усилению одышки, прогрессированию дыхательной недостаточности и ухудшению качества жизни пациентов [4]. В этой связи выявление и прогнозирование развития дисфункции ДМ у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания (ПЗОД) приобретает особую клиническую значимость, поскольку позволяет своевременно идентифицировать группу высокого риска и реализовать превентивные реабилитационные мероприятия по предупреждению развития данной дисфункции.

Цель настоящего исследования – оценить связь показателей антропометрии и функциональных методов исследования с функцией ДМ и вентиляционными нарушениями, выявить предикторы развития дисфункции ДМ и разработать прогностическую модель для раннего выявления функциональных нарушений ДМ у пациентов с ПЗОД.

## Материал и методы

Проведено поперечное аналитическое одноцентровое наблюдательное исследование, по критериям включения и исключения сформированы 3 группы: 1 – пациенты с хроническим профессиональным бронхитом (ХПБ, n=34); группа 2 – пациенты с профессиональной хронической обструктивной болезнью легких (ПХОБЛ, n=38);

группа 3 – пациенты с пневмокониозом (Пн, n=30). Группу сравнения (группа 0) составили 23 здоровых добровольца, работающих в условиях воздействия вредных производственных факторов, но не имеющих установленного диагноза ПЗОД. Всем участникам исследования было проведено комплексное клиническое обследование, включавшее осмотр, сбор жалоб, анамнеза жизни, заболевания и профессионального анамнеза. Также выполнены антропометрические измерения: индекс массы тела (ИМТ), масса тела, рост, окружность грудной клетки на вдохе (ОГК<sub>вд</sub>) и выдохе (ОГК<sub>выд</sub>), окружности талии (ОТ), бедер (ОБ), запястья (ОЗ) и бицепса (ОБц). Инструментальные методы исследования включали спирометрию, проведение 6-минутного теста ходьбы (6-МТХ), измерения показателя насыщения артериальной крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) при помощи переносного пульсового оксиметра «Пульсар»; максимального мышечного усилия (ММУ), измеряемого в деканьютонах (ДаН); времени удержания статической нагрузки (t<sub>уд</sub>) в секундах (с) и показателя мышечной выносливости (ПМВ), равного 1/3 ММУ, умноженного на туд (в ДаН·с) с применением кистевого динамометра ДК-100 (для женщин – ДК-50); измерение силы респираторных мышц выдоха PE<sub>max</sub> и вдоха PI<sub>max</sub> при помощи прибора MicroRPM.

Статистическая обработка выполнена с использованием программ STATISTICA 10.0 и MedCalc. В зависимости от типа распределения, оцененного по критерию Колмогорова-Смирнова, применялись t-критерий Стьюдента или U-критерий Манна-Уитни; качественные переменные оценивались с применением критерия χ<sup>2</sup> Пирсона. Связь между показателями анализировалась по коэффициенту корреляции Спирмена (rs) с учетом шкалы Чеддока. Статистическая значимость принималась при p<0,05.

Диагностическая точность определялась при помощи ROC-анализа. Прогностическая значимость предикторов дисфункции ДМ оценивалась методом Байеса и последовательным анализом Вальда. Рассчитывался диагностический коэффициент по формуле (1):

$$ПКп = 10 \lg (P_1/P_2) \quad (1),$$

где:

n – признак с последующей коррекцией поправочным коэффициентом;

P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub> – частота признака у пациентов с и без дисфункции ДМ соответственно.

Другой способ прогнозирования риска развития дисфункции ДМ осуществлялся с использованием логистического регрессионного анализа. Вероятность наступления события рассчитывалась по формуле (2):

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} * 100\% \quad (2),$$

где:

p – вероятность развития дисфункции ДМ,

e – основание натурального логарифма,

z – коэффициент, равный B<sub>0</sub>+B<sub>1</sub>\*x<sub>1</sub>+...+B<sub>k</sub>\*x<sub>k</sub>,

где:

B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>k</sub> – постоянные коэффициенты регрессионного уравнения;

x<sub>1</sub>, x<sub>k</sub> – независимые переменные – предикторы патологии;

k – количество предикторов в модели.

## Результаты и обсуждение

У пациентов с ПЗОД большинство антропометрических показателей (ОГК<sub>вд</sub>, ОГК<sub>выд</sub>, ОТ, ОБц, ОЗ, вес, рост) не отличались от аналогичных показателей у здоровых лиц (p>0,05). При этом у пациентов с ХПБ отмечался достоверно более высокий индекс массы тела – 30,7±4,6 кг/м<sup>2</sup> по сравнению с 27,4 [25,6; 30,4] кг/м<sup>2</sup> в группе сравнения (U=243,0; p=0,02), что свидетельствует о преобладании ожирения в данной группе.

При сравнении 3-х групп заболеваний между собой у пациентов с Пн по сравнению с другими группами ПЗОД отмечались достоверно ниже показатели ОТ (U<sub>1-3</sub>=302, p<0,01; U<sub>2-3</sub>=395, p=0,03) и ОБ (U<sub>1-3</sub>=241, p<0,001; U<sub>2-3</sub>=339, p<0,01); а по сравнению с ХПБ – веса (U<sub>1-3</sub>=325, p=0,01), ИМТ (U<sub>1-3</sub>=313, p<0,01), ОГК<sub>выд</sub> (U<sub>1-3</sub>=345, p=0,03), что, возможно, обусловлено как конституциональными особенностями телосложения, так и системными метаболическими нарушениями, связанными с прогрессированием фиброзного процесса при Пн. При оценке трофологического статуса по ИМТ у пациентов с ПЗОД при ПХОБЛ также наблюдалось ожирение (44,8 %), тогда как при Пн чаще отмечались нормальный (у 33,4%) или избыточный вес (в 40% случаев) при низкой частоте встречаемости ожирения (26,6%) в данной группе. При этом андронидный (абдоминальный) тип ожирения (АО) достоверно чаще встречался при ХПБ (47,1%) и ПХОБЛ (44,7 %), чем при Пн, а распространенность метаболического синдрома составила 26,5%, 36,8% и 13,3% соответственно.

**Взаимосвязь показателей динамометрии с силовыми характеристиками ДМ у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания**

Показатели силы дыхательных мышц ( $PE_{max}$  и  $PI_{max}$ ) и показатели силовых характеристик периферической скелетной мускулатуры (ММУ,  $t_{уд}$ , ПМВ) у пациентов 3-х групп заболеваний были достоверно ниже, чем у здоровых лиц ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует о системном характере мышечной дисфункции при ПЗОД. При оценке связей между функцией дыхательной и периферической мускулатуры (табл. 1) у пациентов с ХПБ сила мышц выдоха достоверно ассоциировалась со всеми силовыми характеристиками кисти (ММУ ( $r_s = 0,87$ ;  $p < 0,001$ ),  $t_{уд}$  ( $r_s = 0,70$ ;  $p = 0,02$ ) и ПМВ ( $r_s = 0,75$ ;  $p = 0,01$ ); связь динамометрических показателей с  $PI_{max}$  отсутствовала, что может быть связано с менее выраженной нагрузкой на диафрагму в данной группе. У лиц с ПХОБЛ выявлена положительная связь между  $t_{уд}$  и  $PI_{max}$  ( $r_s = 0,81$ ;  $p = 0,02$ ),  $t_{уд}$  и  $PE_{max}$  ( $r_s = 0,65$ ;  $p = 0,01$ ), а также ПМВ и  $PI_{max}$  ( $r_s = 0,86$ ;  $p < 0,001$ ); у пациентов с Пн все три показателя динамометрии (ММУ,  $t_{уд}$ , ПМВ) достоверно ассоциировалась как с  $PI_{max}$ , так и с  $PE_{max}$ . Таким образом, простой, доступный и неинвазивный метод, как ручная динамометрия, может использоваться для косвенной оценки состояния ДМ и раннего выявления пациентов с высоким риском развития дыхательной недостаточности, а показатели динамометрии целесообразно учитывать при разработке индивидуальных программ реабилитации.

**Взаимосвязь показателей антропометрии с силовыми характеристиками ДМ у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания**

У пациентов с Пн (табл. 2) наблюдались положительные связи ИМТ с показателем  $PE_{max}$  ( $r_s = 0,87$ ,  $p = 0,04$ ),  $PI_{max}$  и ОЗ ( $r_s = 0,82$ ;  $p = 0,02$ ) и  $PE_{max}$  и ОЗ ( $r_s = 0,74$ ;  $p = 0,01$ ), что может указывать на ассоциацию антропометрических характеристик, отражающих мышечную массу и нутритивный статус, с функциональным состоянием ДМ в условиях рестриктивного поражения легких. У пациентов с ХПБ и ПХОБЛ (табл. 2) достоверной связи между ИМТ и силой дыхательной мускулатуры ( $PI_{max}$ ,  $PE_{max}$ ) выявлено не было. Однако в группе ПХОБЛ обнаружена положительная статистически значимая связь между  $PI_{max}$  и ОЗ ( $r_s = 0,71$ ;  $p = 0,02$ ), что может свидетельствовать о связи функции ДМ скорее с мышечным, чем с жировым компонентом телосложения [12].

Несмотря на частую распространенность АО у пациентов с ХПБ и ПХОБЛ, прямой связи между ИМТ и показателями силы ДМ выявлено не было. Это свидетельствует о том, что при ПЗОД с обструктивным нарушением ФВД влияние избыточной массы тела на респираторную систему опосредовано сложным взаимодействием с бронхиальной обструкцией, гиперинфляцией и системным воспалением, вследствие чего ИМТ утрачивает статус независимого прогностического маркера при данных заболеваниях, в отличие от Пн с рестриктивным нарушением ФВД, где такая связь сохраняется.

Таблица 1 – Ассоциации между силой дыхательной мускулатуры и показателями динамометрии у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания (коэффициенты  $r_s$  по Спирмену)

Параметры	Хронический профессиональный бронхит		Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких		Пневмокониоз		Здоровые	
	$PI_{max}$ , см.водн.ст.	$PE_{max}$ , см.водн.ст.	$PI_{max}$ , см.водн.ст.	$PE_{max}$ , см.водн.ст.	$PI_{max}$ , см.водн.ст.	$PE_{max}$ , см.водн.ст.	$PI_{max}$ , см.водн.ст.	$PE_{max}$ , см.водн.ст.
ММУ, ДаН	0,26	0,87**	0,10	-0,17	0,75**	0,31	-0,25	-0,26
$t_{уд}$ , с	0,24	0,70*	0,81*	0,65*	0,68*	0,75*	0,05	0,13
ПМВ, ДаН×с	0,29	0,75*	0,86**	0,28	0,62*	0,68*	-0,2	-0,15

Примечание: \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,001$

Таблица 2 – Ассоциации между силой ДМ и показателями антропометрии у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания (коэффициенты  $r_s$  по Спирмену)

Показатели антропометрии	Хронический профессиональный бронхит		Профессиональная хроническая обструктивная болезнь легких		Пневмокониоз	
	PI <sub>max</sub> , см.водн.ст.	PE <sub>max</sub> , см.водн.ст.	PI <sub>max</sub> , см.водн.ст.	PE <sub>max</sub> , см.водн.ст.	PI <sub>max</sub> , см.водн.ст.	PE <sub>max</sub> , см.водн.ст.
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	0,03	0,06	-0,31	-0,05	0,14	0,87*
Вес, кг	-0,09	-0,20	0,45	-0,11	0,03	0,23
ОГК <sub>вд</sub>	-0,12	0,06	-0,79*	-0,21	-0,12	0,05
ОГК <sub>выд</sub>	-0,15	0,05	-0,65*	-0,19	-0,16	0,14
ОТ, см	-0,08	0,09	-0,55*	-0,16	-0,14	0,23
ОБ, см	-0,05	0,01	-0,55*	-0,26	-0,04	0,43
ОЗ, см	-0,06	0,05	0,71*	0,32	0,82*	0,74*

**Индекс массы тела и другие показатели антропометрии и связь их с вентиляционными нарушениями при профессиональных заболеваниях органов дыхания**

В группе ХПБ достоверных связей между показателями ФВД и ИМТ выявлено не было ( $p > 0,05$ ). Обратная связь между жизненной емкостью легких (ЖЕЛ) и экскурсией грудной клетки ( $r_s = -0,82$ ;  $p = 0,03$ ) может указывать на наличие легочной гиперинфляции. У пациентов с ПХОБЛ отмечено достоверное снижение резервного объема вдоха ( $P_{0вд}$ ) и дыхательного объема (ДО) по мере увеличения ИМТ ( $r_s = -0,79$ ;  $p = 0,02$  и  $r_s = -0,76$ ;  $p = 0,04$  соответственно), что свидетельствует об ограничении вентиляционных резервов при абдоминальном ожирении вследствие краниального смещения диафрагмы и повышения внутрибрюшного давления. У пациентов с Пн, имевших наименьшие антропометрические показатели среди 3-х групп, выявлена сильная обратная статистически значимая связь между ИМТ и резервным объемом выдоха  $PO_{выд}$  ( $r_s = -0,77$ ;  $p = 0,04$ ), что может отражать повышенную чувствительность вентиляционных резервов к изменениям массы тела в условиях рестриктивного поражения легких. Даже умеренное увеличение ИМТ у таких пациентов сопровождается снижением  $PO_{выд}$ , вероятно вследствие дополнительного ограничения подвижности грудной клетки на фоне фиброза.

Связь функциональных нарушений ДМ, гипоксии и вентиляционных нарушений, возникающих в условиях физической нагрузки при ПЗОД

У пациентов с Пн выявлена тесная связь силы дыхательных мышц ( $PI_{max}$ ,  $PE_{max}$ ) с резервным объемом вдоха ( $PO_{вд}$ ,  $r_s = 0,89$ ;  $p = 0,018$  и  $r_s = 0,004$

соответственно) и показателями бронхиальной проходимости (пиковой объемной скорости выдоха и объемом форсированного выдоха за 1-ую секунду ( $ОФВ_1$ )), что отражает зависимость вентиляционных возможностей от функции ДМ при рестриктивном типе нарушений. Связь между  $SpO_2$  во время 6-МТХ и силой ДМ не выявлена. У лиц с ХПБ обнаружена крайне высокая связь между  $PE_{max}$  и ЖЕЛ после нагрузки ( $r_s = 0,84$ ;  $p = 0,01$ ), вероятно, обусловленная динамической гиперинфляцией. Кроме того, отмечена тесная положительная связь между  $SpO_2$  (на 3-5-й минутах 6-МТХ) и силой ДМ, что подчеркивает ключевую роль респираторной мускулатуры в поддержании эффективности газообмена при физической нагрузке. У пациентов с профессиональной ПХОБЛ  $PE_{max}$  достоверно ассоциировался с минутным объемом дыхания (МОД) после нагрузки ( $r_s = 0,70$ ;  $p = 0,02$ ), что свидетельствует о компенсаторной активации экспираторных мышц для поддержания адекватной вентиляции на фоне эмфиземы и бронхообструкции. Как и при Пн, связь  $SpO_2$  с силой ДМ отсутствовала.

**Выявление групп высокого риска и прогнозирование развития функционального нарушения ДМ у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания**

1-ый способ. Нами проанализированы результаты исследований (антропометрических, динамометрических, спирографических, пульсоксиметрических и изучения силы ДМ) 102 пациентов с ПЗОД. При помощи статистического метода Байеса с применением последовательного анализа Вальда были выделены признаки с их пороговыми диапазонами, являющиеся пред-

Таблица 3 – Шкала оценки вероятности развития функционального нарушения дыхательной мускулатуры у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания

Порядковый номер	Признак	Значение признака	Балльная оценка
1	Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	Менее 25	+4
		25-29	-1
		30-34	-3
		35 и выше	-1
2	Окружность бёдер, см	90 и менее	+2
		91-100	-1
		101-110	-1
		111 и более	+5
3	Окружность талии, см	84 и менее	+1
		85-99	+2
		100-109	-4
		110 и более	0
4	Окружность запястья, см	15 и менее	-6
		Более 15	+2
5	ЖЕЛ, % от должного	Менее 50	-2
		50-59	-3
		60-69	+6
		70-84	+2
		Более 84	-6
6	ОФВ <sub>1</sub> /ФЖЕЛ, % от должного	50 и менее	+3
		51-60	+3
		61-70	-3
		Более 70	0
7	SpO <sub>2</sub> , %	Менее 95	+5
		95 и более	-1
8	ММУ, ДекаНьютон (ДаН)	30 и менее	+4
		31-40	-1
		41 и более	-2
9	t <sub>уд</sub> , сек	60 и менее	+9
		61-100	+7
		101-179	-3
		180 и более	-5

кторами развития функционального нарушения ДМ у пациентов с ПЗОД: ИМТ менее 25 кг/м<sup>2</sup>, окружность бедер более 111 см, окружность талии 85-99 см, окружность запястья более 15 см, спирометрии – ЖЕЛ 60-69% от должного, отношение ОФВ<sub>1</sub> к форсированной ЖЕЛ (ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ) менее 60% от должного, оксиметрии – SpO<sub>2</sub> менее 95%, силы периферической скелетной мускулатуры (ММУ менее 30 ДаН, t<sub>уд</sub> менее 100 с). На основании вышеуказанных показателей была сформирована шкала оценки функционального нарушения ДМ у пациентов с ПЗОД.

В соответствии с таблицей 3 полученную величину каждого исследуемого показателя (признака) соотносили со значением признака в

таблице 3 и оценивали ее в баллах. Затем определяли показатель ПК<sub>кон</sub> в баллах по формуле 3 и интерпретировали его значение:

$$ПК_{кон} = ПК_{ИМТ} + ПК_{ОБ} + ПК_{ОТ} + ПК_{ОЗ} + ПК_{ЖЕЛ} + ПК_{ОФВ1/ФЖЕЛ} + ПК_{SpO2} + ПК_{ММУ} + ПК_{t_{уд}} \quad (3),$$

При значении ПК<sub>кон</sub> >8 баллов судят о высокой вероятности развития функционального нарушения ДМ. Чувствительность прогностической модели составила 87,8% (95% ДИ 80,7-96,5%), специфичность – 91,1% (95% ДИ 81,7-97,8%), площадь под кривой – 0,92 (95% ДИ от 0,86 до 0,97).

2 способ. На основании выявленных ассоциаций между силовыми показателями динамометрии, антропометрическими параметрами,

данными ФВД, пульсоксиметрии и показателями силы ДМ, в логистический регрессионный анализ для прогнозирования риска развития дисфункции ДМ были включены следующие переменные:  $t_{уд}$ , ПМВ, ИМТ, окружность запястья, ФЖЕЛ,  $ОФВ_1$ /ФЖЕЛ, ЖЕЛ и  $SpO_2$ . По результатам анализа статистической моделью были отобраны наиболее информативные предикторы развития дисфункции ДМ –  $t_{уд}$  и ПМВ, что подтверждает ключевую роль периферической мышечной выносливости в оценке риска нарушений функции ДМ у пациентов с ПЗОД. Таким образом, полученное логистическое регрессионное уравнение выглядело следующим образом (формула 4):

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(1,65 - 0,0068 * ПМВ + 0,045 * t_{уд})}} * 100\% \quad (4),$$

где:

$p$  – показатель вероятности развития дисфункции ДМ;

ПМВ – показатель мышечной выносливости;

$t_{уд}$  – время удержания статической нагрузки.

При значении  $p > 68\%$  судят о высокой вероятности развития дисфункции ДМ. Чувствительность прогностической модели составила 82% (95% ДИ 74–88%), специфичность – 79% (95% ДИ 70–86%), площадь под кривой составила 0,87 (95% ДИ от 0,81 до 0,93).

### Заключение

Достоверное снижение силы дыхательной и периферической скелетной мускулатуры у пациентов с ПЗОД свидетельствует о системном поражении поперечнополосатой мускулатуры, а тесная связь между функцией дыхательной мускулатуры и показателями кистевой динамометрии обосновывает её включение в стандарт обследования для скрининга риска развития дыхательной недостаточности.

У пациентов с ХПБ и ПХОБЛ выявляется высокая частота абдоминального ожирения (47,1% и 44,7% соответственно) и метаболического синдрома (26,5% и 36,8%), однако индекс массы тела не ассоциирован с силой дыхательной мускулатуры, что указывает на отсутствие связи между функцией дыхательной мускулатуры и избыточной жировой массой, а определяется другими патофизиологическими механизмами заболеваний.

У лиц с ХПБ сила дыхательной мускулатуры достоверно ассоциирована с уровнем  $SpO_2$  во время физической нагрузки и жизненной ёмкостью лёгких, подчёркивая ведущую роль ДМ

в обеспечении оксигенации даже при умеренных вентиляционных нарушениях.

У пациентов с ПХОБЛ сила инспираторных мышц связана с окружностью запястья (антропометрическим показателем, отражающим мышечную массу), а экспираторных – с минутным объёмом дыхания после физнагрузки, что может отражать компенсаторную активацию дыхательной мускулатуры на фоне бронхообструкции; при этом ИМТ обратно связан с резервным объёмом вдоха и дыхательным объёмом, свидетельствуя о снижении вентиляционных резервов на фоне краниального смещения диафрагмы при абдоминальном ожирении.

Сила ДМ у лиц с Пн, отличающихся достоверно более низкими антропометрическими показателями по сравнению с ХПБ и ПХОБЛ, напрямую ассоциирована с резервными объёмами лёгких, проходимость дыхательных путей, а также с окружностью запястья – антропометрическим показателем, косвенно отражающим конституциональные особенности и степень мышечного развития.

Разработаны две прогностические модели для раннего выявления дисфункции дыхательной мускулатуры у пациентов с ПЗОД: балльная шкала на основе антропометрических, спирометрических, пульсоксиметрических и динамометрических показателей (чувствительность 87,8%, специфичность 91,1%,  $AUC=0,92$ ) и логистическая модель, включающая два показателя динамометрии –  $t_{уд}$  и ПМВ (чувствительность 82%, специфичность 79%,  $AUC=0,87$ ). При  $ПК_{кон} > 8$  или  $p > 68\%$  определяется высокий риск дисфункции ДМ, что позволяет использовать обе модели в амбулаторной и стационарной практике.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность Алексейчику С.Е. – научному руководителю, за методическую и научную поддержку; Рыбиной Т.М. – за помощь в проведении исследований силы дыхательной мускулатуры; Дударевой Н.И. – зав. отделением аллергологии и профессиональной патологии 10-ой городской клинической больницы г. Минска (на момент выполнения исследования) – за организационную поддержку и предоставление возможности набора пациентов. Автор также благодарит анонимных рецензентов за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества рукописи.

**Acknowledgements.** The author expresses sincere gratitude to the supervisor Alexeychik S.E. for

*methodological and scientific support; to Rybina T.M. – for assistance in conducting studies of the respiratory muscle strength; to Dudareva N.I. – the head of the Department of Allergology and Occupational Pathology of the 10th City Clinical Hospital in Minsk (at the time when the research was being carried out) – for organizational support and the opportunity to recruit patients. The author also thanks the anonymous reviewers for their valuable comments that helped to improve the quality of the manuscript.*

## Литература

1. Клинический протокол диагностики и лечения пациентов с профессиональной хронической обструктивной болезнью легких : прил. 3 к приказу М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28 июня 2013 г. № 751. ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 13.02.2026).
2. Respiratory muscle training: state of the art / O. Göhl, D. J. Walker, S. Walterspacher [et al.] // *Pneumologie*. 2016 Jan. Vol. 70, № 1. P. 37–48. DOI: 10.1055/s-0041-109312
3. Muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: update on causes and biological findings / J. Gea, S. Pascual, C. Casadevall [et al.] // *Journal of thoracic disease*. 2015 Oct. Vol. 7, № 10. P. E418–E438. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.08.04
4. Крумкачева, А. Ю. Возможности ультразвуковой диагностики в оценке структуры и функции дыхательных мышц у пациентов с профессиональными заболеваниями органов дыхания / А. Ю. Крумкачева // *Лечебное дело*. 2023. № 1. С. 24–30.
5. Дисфункция респираторных мышц и болезни органов

- дыхания / Б. И. Гельцер, И. Г. Курпатов, А. А. Дей, А. Г. Кожанов // *Терапевтический архив*. 2019. Т. 91, № 3. С. 93–100.
6. Comparison of diaphragm thickness measurements among postures via ultrasound imaging / N. J. Hellyer, N. M. Andreas, A. S. Bernstetter [et al.] // *PM and R*. 2017 Jan. Vol. 9, № 1. P. 21–25. DOI: 10.1016/j.pmrj.2016.06.001
7. Системные проявления хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ): состояние мышечной ткани / С. С. Лемешевская, А. Э. Макаревич, А. Ю. Почтавец [и др.] // *Медицинский журнал*. 2014. № 3. С. 127–131.
8. Panagiotou, M. Respiratory and lower limb muscle function in interstitial lung disease / M. Panagiotou, V. Polychronopoulos, C. Strange // *Chronic respiratory disease*. 2016 May. Vol. 13, № 2. P. 162–172. DOI: 10.1177/1479972315626014
9. Bronchial reactivity and lung function after world trade center exposure / T. K. Aldrich, J. Weakley, S. Dhar [et al.] // *Chest*. 2016 Dec. Vol. 150, № 6. P. 1333–1340. DOI: 10.1016/j.chest.2016.07.005
10. Common mechanisms of dyspnea in chronic interstitial and obstructive lung disorders / A. Faisal, B. J. Alghamdi, C. E. Ciavaglia [et al.] // *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2016 Feb. Vol. 193, № 3. P. 299–309. DOI: 10.1164/rccm.201504-0841OC
11. Respiratory muscle function in interstitial lung disease / S. Walterspacher, D. Schlager, D. J. Walker [et al.] // *European respiratory journal*. 2013 Jul. Vol. 42, № 1. P. 211–219. DOI: 10.1183/09031936.00109512
12. Крумкачева, А. Ю. Вероятность развития дисфункции дыхательной мускулатуры при профессиональных заболеваниях органов дыхания / А. Ю. Крумкачева // *БГМУ в авангарде медицинской науки и практики : рец. ежегод. сб. науч. тр. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Белорусский гос. мед. ун-т ; под ред. С. П. Рубникова, В. А. Филонюка*. Минск, 2021. Вып. 11. С. 310–318.

Поступила 22.01.2026 г.

Принята в печать 16.02.2026 г.

## References

1. Clinical protocol for the diagnosis and treatment of patients with occupational chronic obstructive pulmonary disease: pril 3 k prikazu M-va zdravookhraneniya Resp Belarus' ot 28 iyunya 2013 g. № 751. ETALON: inform.-poiskovaya sistema [Accessed 10th February 2026]. (In Russ.).
2. Göhl O, Walker DJ, Walterspacher S, Langer D, Spengler CM, Wanke T. Respiratory muscle training: state of the art. *Pneumologie*. 2016 Jan;70(1):37-48. doi: 10.1055/s-0041-109312
3. Gea J, Pascual S, Casadevall C, Orozco-Levi M, Barreiro E. Muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: update on causes and biological findings. *Journal of Thoracic Disease*. 2015 Oct;7(10):E418-E438. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.08.04
4. Крумкачева АЮ. The potential of ultrasound diagnosis in assessing the structure and function of respiratory muscles in patients with occupational diseases of the respiratory organs. *Lechebnoe Delo*. 2023;(1):24-30. (In Russ.).
5. Geltser BI, Kurpatov IG, Dey AA, Kozhanov AG. Respiratory muscle dysfunction and respiratory disease. *Terapevticheskiy Arkhiv*. 2019;91(3):93-100. (In Russ.).
6. Hellyer NJ, Andreas NM, Bernstetter AS, Cieslak KR, Donahue GF, Steiner EA, et al. Comparison of diaphragm thickness measurements among postures via ultrasound imaging. *PM and R*. 2017 Jan;9(1):21-25. doi: 10.1016/j.pmrj.2016.06.001
7. Lemeshevskaya SS, Makarevich AE, Pochtavtsev AYU, Nedzved MK, Lemeshevskiy AI. Systemic manifestations of chronic obstructive pulmonary disease (COPD): muscle tissue condition. *Meditinskii Zhurnal*. 2014;(3):127-131. (In Russ.).
8. Panagiotou M, Polychronopoulos V, Strange C. Respiratory and lower limb muscle function in interstitial lung disease. *Chronic Respiratory Disease*. 2016 May;13(2):162-172. doi: 10.1177/1479972315626014
9. Aldrich TK, Weakley J, Dhar S, Hall CB, Crosse T, Banauch GI, et al. Bronchial reactivity and lung function after world trade center exposure. *Chest*. 2016 Dec;150(6):1333-1340. doi: 10.1016/j.chest.2016.07.005
10. Faisal A, Alghamdi BJ, Ciavaglia CE, Elbehairy AF, Webb KA, Ora J, et al. Common mechanisms of dyspnea in chronic interstitial and obstructive lung disorders. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2016 Feb;193(3):299-309. doi: 10.1164/rccm.201504-0841OC
11. Walterspacher S, Schlager D, Walker DJ, Müller-Quernheim J, Windisch W, Kabitz HJ. Respiratory muscle function in interstitial lung disease. *European Respiratory Journal*. 2013 Jul;42(1):211-219. doi: 10.1183/09031936.00109512
12. Крумкачева АЮ. The likelihood of developing respiratory muscle dysfunction in occupational respiratory diseases. V:

М-vo zdravookhraneniya Resp Belarus', Belorusskii gos  
med un-t; Rubnikovich SP, Filonyuk VA, red. BGMU v

avangarde meditsinskoj nauki i praktiki: rets ezhegod sb  
nauch tr. Minsk, RB; 2021. Vyp 11. P. 310-318. (In Russ.).

*Submitted 22.01.2026*

*Accepted 16.02.2026*

**Сведения об авторах:**

Крумкачева Анна Юрьевна – старший преподаватель кафедры внутренних болезней, гастроэнтерологии и нутрициологии с курсом повышения квалификации и переподготовки, УО «Белорусский государственный медицинский университет», <https://orcid.org/0009-0006-1950-3128>, e-mail: [krumkachevahanna@gmail.com](mailto:krumkachevahanna@gmail.com).

**Information about authors:**

Hanna Yu. Krumkachova – senior lecturer of the Chair of Internal Diseases, Gastroenterology and Nutritional Science with the course of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Belarusian State Medical University, <https://orcid.org/0009-0006-1950-3128>, e-mail: [krumkachevahanna@gmail.com](mailto:krumkachevahanna@gmail.com).