

Исследование функционального состояния дыхательных мышц, современные возможности. Клинические примеры

О.И. Савушкина^{1, 2}, Е.Р. Кузьмина¹, Л.Ю. Комолова¹, О.В. Фесенко^{3, 1}, М.М. Малашенко¹, Е.В. Крюков⁴

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва, Россия

² ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России, Москва, Россия

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

⁴ ФГБОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Дыхательная мускулатура является жизненно важным компонентом респираторной системы. Наиболее доступными в клинической практике диагностическими инструментами для функционального исследования дыхательных мышц являются измерение легочных объемов, оценка максимальных инспираторного и экспираторного давлений в ротовой полости, исследование проведения по диафрагмальному нерву, а также рентгенографические и ультразвуковые методы. Способность осуществлять газообмен во многом зависит от «дыхательного насоса», который перемещает воздух в легкие и из них. Дыхательные мышцы, неотъемлемый и жизненно важный компонент дыхательного процесса, служат важным связующим звеном между различными компонентами «дыхательного насоса», который включает дыхательный центра, периферические нервы, грудную стенку и дыхательные мышцы. Для обеспечения эффективной работы дыхания все эти звенья должны быть хорошо скоординированы. В статье обсуждаются наиболее распространенные методы оценки функции дыхательных мышц при различных заболеваниях и травмах. Авторы рассматривают ряд широко используемых функциональных тестов, которые могут быть применены в клинической практике или научных исследованиях, уделяют особое внимание оценке силы дыхательных мышц, а также исследованию проведения по диафрагмальному нерву, представляют клинические примеры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дыхательные мышцы, легочные функциональные тесты, электромиография, исследование проводимости по нервам.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Respiratory muscle testing, modern possibilities. Clinical cases

Olga I. Savushkina^{1, 2}, Ekaterina R. Kuzmina¹, Liudmila U. Komolova¹, Oxana V. Fesenko^{3, 1}, Maria M. Malashenko¹, Evgeniy V. Kryukov⁴

¹ Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko, Moscow, Russia

² Pulmonology Scientific Research Institute, Moscow, Russia

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

SUMMARY

The respiratory muscles are a vital component of the respiratory system. The most available diagnostic tools in clinical practice for the functional examination of the respiratory muscles are measurement of pulmonary volumes, assessment of the maximum inspiratory and expiratory pressures, phrenic nerve conduction studies, as well as radiographic and ultrasound methods. The ability to carry out gas exchange mainly depends on a «breathing pump» that moves air into and out of the lungs. The respiratory muscles, an integral and vital component of the respiratory process, serve as an important link between the various components of the «respiratory pump», which consists of the respiratory center, peripheral nerves, chest wall and lungs. To ensure effective breathing, all these links must be well coordinated. The most common methods for assessing the function of the respiratory muscles in various diseases and injuries are discussed in the article. The authors consider a number of widely used functional tests that can be applied in clinical practice or scientific research, pay special attention to the assessment of the respiratory muscles strength, as well as phrenic nerve conduction studies, provide clinical cases.

KEYWORDS: respiratory muscles, pulmonary functional tests, electromyography, nerve conduction studies.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Основной дыхательной мышцей, обеспечивающей до 70–80% дыхательного объема, является диафрагма. За счет мышечного сокращения происходит изменение плеврального и, соответственно, альвеолярного давления, которое является движущим давлением в дыхательных путях. Спокойный выдох происходит пассивно за счет эластической тяги легких и грудной стенки. Вспомогательные

дыхательные мышцы активизируются при повышенной нагрузке (физическая активность, форсированный выдох, одышка, кашель, патологические состояния) для обеспечения легочной вентиляции в соответствии с текущими потребностями организма. Поражение центральной нервной системы и дыхательного центра, травма верхнего шейного отдела спинного мозга, а также нейромышечные забо-

левания и болезни грудной клетки обуславливают сбой в работе «дыхательного насоса». Термин «дыхательный насос» включает дыхательный центр, периферическую нервную систему, грудную клетку и дыхательные мышцы.

Таким образом, дыхательные мышцы являются неотъемлемой частью дыхательной системы, обеспечивая эффективную вентиляцию легких и адаптацию организма к изменяющимся условиям.

Оценка силы дыхательных мышц является важным инструментом в клинической практике, так как позволяет выявлять нарушения дыхательной функции на ранних стадиях, дифференцировать причины одышки: связана ли она с патологией легких, слабостью мышц или комбинацией факторов.

Патологические изменения дыхательной мускулатуры были хорошо изучены у пациентов после перенесенной внебольничной пневмонии [1], торакальных вмешательств [2], у больных хронической обструктивной болезнью легких [3], туберкулезом легких [4]. При проведении сравнительного анализа силы дыхательных мышц у пациентов с внебольничной пневмонией показано, что основным внелегочным механизмом развития дисфункции дыхательной мускулатуры является эндогенная интоксикация, которая вызывает локальное воспаление и повреждение миофибрилл [1]. Слабость дыхательной мускулатуры также может развиваться при приеме глюкокортикостероидов [5].

При новой коронавирусной инфекции возможен широкий спектр различных клинических проявлений, в том числе поражение скелетно-мышечной системы, в патогенезе которого играют роль системное воспаление и гипоксия [6]. По мнению Шостак Н.А. и соавт. [6] в патологии скелетно-мышечной системы также следует учитывать воздействие некоторых противовирусных препаратов и глюкокортикостероидов, которые назначаются пациентам с COVID-19. Малявин А.Г. и соавт. [7] считают, что мышечная утомляемость и слабость после перенесенного COVID-19 обусловлены метаболическими нарушениями вследствие воздействия на организм вируса SARS-CoV-2.

Исследование силы дыхательных мышц

Одним из наиболее доступных в клинической практике функциональных методов исследования дыхательных мышц является оценка их силы посредством измерения давлений в дыхательных путях. В процессе выполнения исследования, когда пациент прикладывает максимум усилий, чтобы сделать вдох от уровня остаточного объема легких, оценивается максимальное инспираторное давление (МIP). Для измерения максимального экспираторного давления пациент прикладывает максимум усилий, чтобы сделать выдох от уровня общей емкости легких (MEP) [8, 9]. Следует акцентировать внимание, что измерение показателей МIP и MEP происходит при перекрытых дыхательных путях. В процессе выполнения таких маневров легочный объем не меняется, что исключает влияние свойств легких на значения показателей МIP и MEP. Следовательно, величина измеряемого давления отражает исключительно суммарную силу сокращений всех мышц, участвующих в акте вдоха или выдоха [5].

При проведении исследования силы дыхательных мышц следует учитывать противопоказания: состояния, при которых необходимо избегать больших перепадов давления в грудной и брюшной полости. В остальном подготовка пациента аналогична таковой при назначении спирометрического исследования [10].

Измерения МIP и MEP следует выполнять с учетом Заключения Европейского респираторного общества (ЕРО) по проведению тестирования дыхательных мышц в покое и при физической нагрузке 2019 г. [9]. При проведении исследования предложено использовать мягкий загубник для минимизации утечки воздуха. При выполнении экспираторных маневров щеки необходимо придерживать руками для предотвращения их раздувания и образования зазора между губами и загубником. При регистрации МIP и MEP максимальное усилие на вдохе и выдохе необходимо сохранять не менее 1 с.

Контроль качества регистрации МIP и MEP [9]:

- Плохое качество – выполнено менее двух правильных попыток;
- Среднее качество – выполнено 2 и более правильных попыток, но критерий повторяемости не достигнут;
- Хорошее качество – выполнено 3 и более правильных попыток, и наибольшие значения показателей отличаются не более, чем на 10%.

Современное программное обеспечение позволяет наглядно оценивать качество проведенного исследования. В окончательный протокол выносятся наибольшие из полученных значений МIP и MEP.

Для расчета должных значений показателей МIP и MEP предложено ряд подходов:

1. По формулам Karvonen J. и соавт. [11]:

Для мужчин

$$\text{MIP} = 12,03 - 0,057 \times \text{возраст},$$

$$\text{MEP} = 15,51 - 0,037 \times \text{возраст}.$$

Для женщин

$$\text{MIP} = 8,25 - 0,046 \times \text{возраст},$$

$$\text{MEP} = 10,66 - 0,063 \times \text{возраст},$$

где МIP и MEP измеряются в кПа, возраст – в годах.

В этом случае за нижнюю границу нормы (НГН) показателей МIP и MEP принимается значение 76% долж. [12].

2. По формулам Evans J.A. и соавт. [13]:

Для мужчин

$$\text{MIP} = 120 - 0,41 \times \text{возраст},$$

$$\text{НГН MIP (муж.)} = 62 - 0,15 \times \text{возраст},$$

$$\text{MEP} = 174 - 0,83 \times \text{возраст},$$

$$\text{НГН MEP (муж.)} = 117 - 0,83 \times \text{возраст}.$$

Для женщин МIP = 108 – 0,61 × возраст,

$$\text{НГН MIP (жен.)} = 62 - 0,50 \times \text{возраст},$$

$$\text{MEP} = 131 - 0,86 \times \text{возраст},$$

$$\text{НГН MEP (жен.)} = 95 - 0,57 \times \text{возраст},$$

где МIP и MEP измеряются в см вод. ст., возраст – в годах.

Эти формулы получили широкое распространение в клинической практике благодаря своей простоте и доступности исходных данных.

Интерпретация результатов МIP и MEP требует учета нормативных значений, возраста, пола и клинического контекста. Снижение этих показателей указывает на сла-

бость дыхательных мышц и может быть связано с различными заболеваниями. Комплексная оценка полученных результатов позволяет своевременно выявить нарушения, определить степень тяжести состояния и разработать индивидуальный план лечения и медицинской реабилитации.

Ниже приводим клинические примеры комплексного применения диагностических методов (рентгенологических и функциональных), позволивших диагностировать слабость дыхательной мускулатуры и уточнить генез повреждения, что оказывает влияние на тактику ведения пациентов.

Клинический пример 1

Пациент муж., 20 лет. Рост 179 см, масса тела 56 кг, ИМТ 17 кг/м².

Диагноз. 1. Нарушение свертываемости крови (наследственная тромбофилия). 2. Внебольничная двусторонняя полисегментарная вирусно-бактериальная пневмония тяжелого течения. Двусторонний гидроторакс. Пункция и дренирование правой плевральной полости. Осложнения: тромбозы глубоких вен нижних конечностей, тромбоэмболия мелких ветвей легочной артерии.

По данным компьютерной томографии органов грудной клетки (КТ ОГК) выявлены участки уплотнения легочной ткани по типу консолидации в базальных сегментах обоих легких. КТ-признаки регресса тромбоэмболии мелких ветвей сегментарных артерий с обеих сторон. При КТ-ангиографии легочной артерии выявлены дефекты контрастирования в мелких ветвях передней сегментарной артерии слева и мелких ветвях медиальной сегментарной артерии справа. При ультразвуковом исследовании вен нижних конечностей выявлен окклюзивный тромбоз суральных вен обеих голеней.

По данным комплексного функционального исследования легких (должные значения рассчитаны по системе Европейского сообщества угля и стали 1993 – ECCS 1993): нарушение вентиляционной способности легких по рестриктивному типу (общая емкость легких (ОЕЛ) 73% долж., отношение объема форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁) к жизненной емкости легких (ЖЕЛ) (ОФВ₁/ЖЕЛ) = 92%, среднетяжелая степень вентиляционных нарушений (ОФВ₁ 57% долж.). Снижение ЖЕЛ до 50% долж. Увеличение отношения остаточного объема легких (ООЛ) к ОЕЛ до 200% долж. Нарушение диффузионной способности легких, умеренная степень (DLCOc = 46% долж. при уровне гемоглобина 11,8 г/дл).

В данном случае выявлена комплексная рестрикция: сочетание изменений легочной ткани с внелегочной патологией, оказывающей влияние на функциональное состояние дыхательной системы [8]. На наличие рестрикции указывает снижение ОЕЛ. Однако обращает на себя внимание непропорциональное снижение (более 10%) ЖЕЛ и ОФВ₁ по отношению к ОЕЛ в % от должного, и увеличение отношения ООЛ/ОЕЛ при сохранном отношении ОФВ₁/ЖЕЛ. Описанное сочетание признаков предполагает наличие такой патологии, как ограничение подвижности грудной клетки или мышечную слабость, что является показанием для измерения силы дыхательной мускулатуры.

В процессе проведения исследования было выявлено снижение силы как инспираторных, так и экспираторных дыхательных мышц: МІР = 73% долж., МЕР = 63% долж. (табл. 1).

Таблица 1
Результаты исследования силы дыхательных мышц после перенесенной внебольничной двусторонней полисегментарной вирусно-бактериальной пневмонии тяжелого течения

Показатель	Значение		
	Должное (Karvonen J., 1994)	Полученное	% долж
МІР Пик, кПа	10,89	7,90	73
МЕР Пик, кПа	14,77	9,37	63

МІР – максимальное инспираторное давление в ротовой полости; МЕР – максимальное экспираторное давление в ротовой полости; % долж. – % от должного значения.

Обсуждение. Тяжесть состояния обусловлена комбинацией двух заболеваний (бактериальной пневмонии и наследственной тромбофилии), отягощающих течение друг друга. Выявленный рестриктивный тип вентиляционных нарушений обусловлен как изменениями в легких, так и внелегочными причинами: снижением силы дыхательной мускулатуры вследствие перенесенной пневмонии тяжелого течения, сопровождающейся выраженной интоксикацией и «токсической миопатией».

Клинический пример 2

Пациентка жен., 32 года. Рост 176 см, масса тела 65 кг, ИМТ 21 кг/м².

Диагноз. Боковой амиотрофический склероз.

По данным комплексного функционального исследования легких (должные ECCS 1993): нарушений вентиляционной способности легких не выявлено; статические легочные объемы, емкости, показатели бронхиального сопротивления – в пределах нормальных значений; диффузионная способность легких не нарушена.

При тестировании дыхательных мышц было выявлено снижение показателя МІР до 44% долж. Показатель МЕР сохранялся в пределах нормы (113% долж.) (табл. 2).

Таблица 2
Результаты исследования силы дыхательных мышц у пациентки с боковым амиотрофическим склерозом

Показатель	Значение		
	Должное (Karvonen J., 1994)	Полученное	% долж
МІР Пик, кПа	6,78	7,68	113
МЕР Пик, кПа	8,64	3,82	44

МІР – максимальное инспираторное давление в ротовой полости; МЕР – максимальное экспираторное давление в ротовой полости; % долж. – % от должного значения.

Обсуждение. Отличительной чертой ранней стадии нервно-мышечного заболевания является снижение силы дыхательных мышц, что отражается на снижении показателей МІР и/или МЕР. На этом этапе легочные объемы еще остаются в пределах нормы, несмотря на жалобы пациента на одышку при незначительной физической нагрузке. Важно отметить, что показатели, основанные на измерении давления у такой категории пациентов

снижаются раньше, чем показатели, основанные на измерении объемов. Следовательно, в план обследования пациентов с нервно-мышечной патологией необходимо включать оценку силы дыхательных мышц, что позволит выявлять функциональные нарушения дыхательной системы на ранней стадии заболевания и прогнозировать его течение.

Клинический пример 3

Пациент муж., 41 год. Рост 182 см, масса тела 123 кг, ИМТ 37 кг/м².

Диагноз. Рак слепой кишки (аденокарцинома) IVb стадии. Билобарное метастатическое поражение печени. Метастазы в большой сальник и регионарные лимфатические узлы.

По данным КТ ОГК отмечается высокое стояние купола диафрагмы, компрессионные субателектазы нижней и средней долей правого легкого, уплотнения по междолевым плеврам справа. По данным исследования проводимости по диафрагмальным нервам достоверных признаков нарушения проведения при их стимуляции не зарегистрировано, что исключает нейрогенный механизм повреждения диафрагмы.

По данным комплексного функционального исследования легких (должные ECCS 1993): нарушение вентиляционной способности легких по рестриктивному типу (ОЕЛ 83% долж., полученное значение ОЕЛ 6,18 л при нижней границе нормы 6,31 л, отношение ОФВ₁/ЖЕЛ 75%), умеренная степень вентиляционных нарушений (ОФВ₁ 57% долж.). Снижение жизненной емкости легких до 65% долж. Нарушений диффузионной способности легких не выявлено (DLCOc = 92% долж. при уровне гемоглобина 14,7 г/дл), что позволяет судить о внелегочном механизме вентиляционных нарушений по рестриктивному типу.

Кроме того, у данного пациента имеет место комплексная рестрикция (см. Клинический пример 1), что дало основание для функционального исследования дыхательной мускулатуры: выявлено снижение силы инспираторных дыхательных мышц (MIP 62% долж). Показатель MEP 84% долж. – в пределах нормальных значений (табл. 3).

Таблица 3
Результаты исследования силы дыхательных мышц у пациента с обширным онкологическим процессом в брюшной полости

Показатель	Значение		
	Должное (Karvonen J., 1994)	Полученное	% долж
MIP Пик, кПа	9,69	6,04	62
MEP Пик, кПа	13,99	11,75	84

MIP – максимальное инспираторное давление в ротовой полости; MEP – максимальное экспираторное давление в ротовой полости; % долж. – % от должного значения.

Обсуждение. В данном случае изолированная дисфункция диафрагмы проявляется сниженным показателя MIP в сочетании с нормальным значением MEP. Слабость диафрагмы и компрессионные субателектазы нижней и средней долей правого легкого обусловили нарушение вентиляции по рестриктивному типу. По данным интраоперационного исследования причиной дисфункции

диафрагмы стало наличие конгломерата злокачественной опухоли больших размеров с инвазией и обширным параканкротным воспалением, вовлекающим окружающие ткани, включая диафрагму.

Из приведенного выше примера следует, что функциональные исследования диафрагмы играют важную роль в дифференциальной диагностике дисфункции дыхательных мышц, так как позволяют оценивать проводимость и целостность диафрагмальных нервов, а также электрическую активность диафрагмы, что помогает выявить причины ее поражения – как нейрогенные (например, повреждение диафрагмального нерва после операций на грудной или брюшной полости, травмы грудной клетки), так и миогенные (различные формы миопатий, опухоли брюшной полости с прорастанием в диафрагму, травмы диафрагмы).

Электронеурография диафрагмального нерва

Электронеурография позволяет оценить проводимость по диафрагмальному нерву с помощью его стимуляции и регистрации M-ответа. Основными параметрами, характеризующими функциональное состояние диафрагмального нерва, являются латентный период (время между стимуляцией и началом ответа), амплитуда, продолжительность и площадь суммарного потенциала действия мышцы, что позволяет объективно оценить функциональное состояние собственно нерва и диафрагмы. Maranhão et al. [14] предоставили нормативные данные показателей проведения по диафрагмальному нерву у взрослых, которые зависят от роста, пола и возраста пациента.

Ультразвуковое исследование

Ультразвуковое (УЗ) исследование диафрагмы также становится все более популярным в клинической практике. Оно позволяет оценивать движение диафрагмы (в режиме M-mode), толщину мышцы (TdiFRC, TdiTLC), динамику утолщения диафрагмы во время вдоха (ΔTdi), наличие парадоксального движения (признак паралича) [15]. Кроме того, широкое применение получило УЗ-исследование диафрагмального нерва с целью визуализации и оценки его целостности и толщины.

Заключение

Исследование функции дыхательных мышц является важным этапом диагностики при различных патологических состояниях: бронхолегочных заболеваниях, заболеваниях средостения, нервно-мышечных, метаболических и воспалительных заболеваниях, после травм и хирургических вмешательств на шее и грудной клетке, при искусственной вентиляции легких. Однако для получения наиболее полной информации о состоянии дыхательных мышц необходим комплексный подход, включающий функциональные, ультразвуковые и рентгенологические методы диагностики. Вместе с тем для повышения качества научных исследований и обеспечения сопоставимости их результатов требуется строгая стандартизация методик и более детальное описание технических аспектов их выполнения.

Список литературы / References

- Gel'tser B.I., Dej A.A., Titorenko I.N., Kotelnikov V.N. Сравнительный анализ силы дыхательных мышц при внебольничной пневмонии с различной тяжестью эндогенной интоксикации. *Терапевтический архив*. 2020;92(3):19–24. <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.03.000372>.
Geltser BI, Dej AA, Titorenko IN, Kotelnikov VN. Comparative analysis of the strength of the respiratory muscles in community-acquired pneumonia with different severity of endogenous intoxication. *Therapeutic Archive*. 2020;92(3):19–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.03.000372>.
- Кожанов А.Г., Копаев В.А., Гельцер Б.И. Оценка силы дыхательных мышц в ранние сроки после торакальных вмешательств. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2020;(75):32–39. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-75-32-39>.
Kozhanov AG, Kopayev VA, Geltser BI. Assessment of the strength of the respiratory muscles in the early stages after thoracic interventions. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2020;(75):32–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2020-75-32-39>.
- Курпатов И.Г., Гельцер Б.И., Киньякин М.Ф. Результаты оценки силы дыхательных мышц у больных с различными вариантами коморбидности хронической обструктивной болезни легких. *Терапевтический архив*. 2020;92(3):7–12. <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.03.000239>.
Kurpatov IG, Geltser BI, Kinyaikin MF. Assessment of the respiratory muscles strength at patients with chronic obstructive pulmonary disease with various forms of comorbidity. *Therapeutic Archive*. 2020;92(3):8–12. <https://doi.org/10.26442/00403660.2020.03>.
- Кирюхина Л.Д., Сысоева В.В., Кокорина Е.В., Гаврилов П.В., Савин И.Б., Денисова Н.В., Яблонский П.К. Исследование работоспособности дыхательной мускулатуры и активности дыхательного центра у больных туберкулезом легких. *Медицинский альянс*. 2023;11(1):35–43. <https://doi.org/10.36422/23076348-2023-11-1-35-43>.
Kiryukhina L, Syssoeva V, Kokorina E, Gavrilov P, Savin I, Denisova N, Yablonskiy P. Assessment of respiratory muscle strength and inspiratory drive in patients with pulmonary tuberculosis. *Medicinskij al'ians*. 2023;11(1):35–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.36422/23076348-2023-11-1-35-43>.
- Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных. *Физиология человека*. 2019;45(2):115–27. <https://doi.org/10.1134/S0131164619010120>.
Segizbaeva MO, Aleksandrova NP. Assessment of the Functional Status of Respiratory Muscles: Methodical Aspects and Interpretation of Data. *Fiziologiya cheloveka*. 2019;45(2):115–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0131164619010120>.
- Шостак Н.А., Клименко А.А., Демидова Н.А., Кондрашов А.А., Андрияшклина Д.Ю., Саакян Ю.М., Вараксин Г.А., Тарантина А.Ю. Скелетно-мышечные проявления новой коронавирусной инфекции: фокус на артралгии и миалгии. *Клиницист*. 2021;15(1–4):31–41. <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2021-15-1-4-K650>.
Shostak NA, Klimenko AA, Demidova NA, Kondrashov AA, Andryashkina DYU, Saakyan Yum, Varaksin GA, Tarantina AYU. Musculoskeletal manifestations of the new coronavirus infection: focus on arthralgia and myalgia. *The Clinician*. 2021;15(1–4):31–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2021-15-1-4-K650>.
- Малыгин А.Г., Горелов А.В., Васенина Е.Е., Екушева Е.В., Кобзева Н.Д., Ковальчук В.В., Эсауленко Е.В. Постинфекционная астения: современные подходы к терапии. Резолюция Экспертного совета Российского научного медицинского общества терапевтов и Национальной ассоциации специалистов по инфекционным болезням им. академика РАН В.И. Покровского. *Профилактическая медицина*. 2023;26(9):88–97. <https://doi.org/10.17116/profmed20232609188>.
Malyavin AG, Gorelov AV, Vasenina EE, Ekusheva EV, Kobzeva ND, Kovalchuk VV, Esaulevko EV. Postinfectious asthenia: modern approaches to therapy. *The Russian Scientific Medical Society of Therapists and the National Association of Infectious Diseases Specialists named after academicians of the RAS Pokrovsky VI. Expert Council Resolution*. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2023;26(9):88–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/profmed20232609188>.
- Скэнлон П.Д., Хайатт Р.Е. Интерпретация результатов легочных функциональных тестов / пер. с англ. под ред. О.И. Савушкиной, А.В. Черняка. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2023. – 312 с. – ISBN: 978-5-9704-7249-1.
Skenlon P.D., Khayatt R.E. Interpretatsiya rezul'tatov legochnykh funktsional'nykh testov / per. s angl. pod red. O.I. Savushkinoy, A.V. Chernyaka. – Moskva: GEO-TAR-Media, 2023. – 312 s. – ISBN: 978-5-9704-7249-1. (In Russ.)
- ERS Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, Dubé BP, Fauroux B, Gea J, Guenette JA, Hudson AL, Kabitz HJ, Laghi F, Langer D, Luo YM, Neder JA, O'Donnell D, Polkey MI, Rabinovich RA, Rossi A, Series F, Similowski T, Spengler CM, Vogiatzis I, Verges S. statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019;53(6):1801214. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>.
- Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Малыгин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чущин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. *Пульмонология*. 2023;33(3):307–340. <https://doi.org/10.18093/08690189-2023-33-3-307-340>.
Kameneva MYu, Chernyak AV, Ajsanov ZR, Avdeev SN, Babak SL, Belevskij AS, Beresten' NF, Kalmanova EN, Malyavin AG, Perel'man Yu M, Prihod'ko AG, Struchkov SYU, Chikina SYu, Chushkin MI. Spirometry: Methodological guide. *Pulmonology*. 2023;33(3):307–340. (In Russ.) <https://doi.org/10.18093/08690189-2023-33-3-307-340>.
- Karvonen J, Saarelainen S, Nieminen MM. Measurement of respiratory muscle forces based on maximal inspiratory and expiratory pressures. *Respiration*. 1994;61(1):28–31. <https://doi.org/10.1159/000196299>.
- Vincken WG, Elleker MG, Cosio MG. Flow-volume loop changes reflecting respiratory muscle weakness in chronic neuromuscular disorders. *Am J Med*. 1987;83(4):673–680.
- Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care*. 2009;54(10):1348–1359.
- Maranhão AA, da Silva Carvalho SR, Caetano MR, Alamy AH, Peixoto EM, Peçanha Filgueiras DE. Phrenic nerve conduction studies: normative data and technical aspects. *Arq Neuropsiquiatr*. 2017;75(12):869–874. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20170153>.
- Skalsky AJ, Lesser DJ, McDonald CM. Evaluation of Phrenic Nerve and Diaphragm Function with Peripheral Nerve Stimulation and M-Mode Ultrasonography in Potential Pediatric Phrenic Nerve or Diaphragm Pacing Candidates. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2015;26(2):133–143. <https://dx.doi.org/10.1016/j.pmr.2014.09.010>.

Статья поступила / Received 10.08.2025
Получена после рецензирования / Revised 10.11.2025
Принята в печать / Accepted 14.11.2025

Информация об авторах

Савушкина Ольга Игоревна^{1,2} – к.б.н., заведующий отделением исследований функции внешнего дыхания центра функционально-диагностических исследований, старший научный сотрудник лаборатории клинической пульмонологии
E-mail: olga-savushkina@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-7486-4990
Кузьмина Екатерина Рафаильевна¹ – к.м.н., врач отделения исследований функции внешнего дыхания центра функционально-диагностических исследований
E-mail: damietta@mail.ru. ORCID: 0009-0006-9969-9051
Комолова Людмила Юрьевна¹ – заведующий кабинетом интраоперационного нейрофизиологического мониторинга нейрохирургического центра
E-mail: ludmilakomolova@yandex.ru
Фесенко Оксана Вадимовна^{3,4} – д.м.н., профессор кафедры пульмонологии, пульмонолог-консультант, руководитель программ факультета непрерывного медицинского образования
E-mail: ofessenko@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0078-4071
Малашенко Мария Михайловна¹ – к.м.н., заведующий отделением физиотерапии
E-mail: mar-malashenko@yandex.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8204-6269
Крюков Евгений Владимирович⁴ – д.м.н., профессор, академик РАН, начальник
E-mail: evgeniy.md@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8396-1936

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва, Россия

² ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России, Москва, Россия

³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

⁴ ФГБОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Савушкина Ольга Игоревна. E-mail: olga-savushkina@yandex.ru

Для цитирования: Савушкина О.И., Кузьмина Е.Р., Комолова Л.Ю., Фесенко О.В., Малашенко М.М., Крюков Е.В. Исследование функционального состояния дыхательных мышц, современные возможности. Клинические примеры. *Медицинский асфавит*. 2025;(31):32–36. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-31-32-36>

Author information

Olga I. Savushkina^{1,2} – PhD, Head of the Department of External Respiratory Function Research, Center for Functional Diagnostic Research, Senior Researcher, Laboratory of Clinical Pulmonology, Federal Pulmonology Researcher
E-mail: olga-savushkina@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-7486-4990
Katerina R. Kuzmina¹ – PhD, Doctor of External Respiratory Function Research, Center for Functional Diagnostic Research
E-mail: damietta@mail.ru. ORCID: 0009-0006-9969-9051
Liudmila I. Komolova¹ – Head of the Office of intraoperative neurophysiological monitoring of the Neurosurgical Center
E-mail: ludmilakomolova@yandex.ru
Oxana V. Fesenko³ – MD, Chair professor of the Pulmonology Department; Pulmonologist-consultant
E-mail: ofessenko@mail.ru. ORCID: 0000-0003-0078-4071
Maria M. Malashenko¹ – PhD, Head of the Physiotherapy Department
E-mail: mar-malashenko@yandex.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8204-6269
Evgeniy V. Kryukov⁴ – MD, Professor, Academician of the RAS, Chief
E-mail: evgeniy.md@mail.ru. ORCID: 0000-0002-8396-1936

¹ Main Military Clinical Hospital named after academicians N.N. Burdenko, Moscow, Russia

² Pulmonology Scientific Research Institute, Moscow, Russia

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁴ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

Contact information

Olga I. Savushkina. E-mail: olga-savushkina@yandex.ru

For citation: Savushkina O.I., Kuzmina E.R., Komolova L.U., Fesenko O.V., Malashenko M.M., Kryukov E.V. Respiratory muscle testing, modern possibilities. Clinical cases. *Medical alphabet*. 2025;(31):32–36. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-31-32-36>

