DOI: 10.33667/2078-5631-2021-28-10-15

Функциональные методы исследования системы дыхания при хронической обструктивной болезни легких

А.В. Черняк[1], О.И. Савушкина[2, 1], Е.В. Крюков[3]

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России, г. Москва

[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва

[3] Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

Рассмотрены вопросы патофизиологии хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), современные возможности функциональных методов исследования системы дыхания при ХОБЛ, включая диагностику дисфункции мелких дыхательных путей и экспираторного ограничения воздушного потока при спокойном дыхании методом импульсной осциллометрии, а также описаны характерные изменения показателей легочных функциональных тестов при ХОБЛ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ХОБЛ, спирометрия, легочные функциональные тесты, импульсная осциллометрия.*

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена без участия спонсоров.*

Functional diagnostics of the respiratory system in chronic obstructive pulmonary disease

A.V. Cherniak[1], O.I. Savushkina[1, 2], E.V. Kryukov[3]

[1] Federal State Budgetary Institution 'Pulmonology Scientific Research Institute' under Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation, Moscow

[2] Federal State Budgetary Institution 'Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko' of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

[3] Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education 'The S.M. Kirov Military Medical Academy' of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg

SUMMARY

The article deals with the pathophysiology of chronic obstructive pulmonary disease (COPD), modern possibilities of functional methods in COPD, including the diagnosis of small airway dysfunction and expiratory air flow limitation with quiet breathing by impulse oscillometry, and also describes the characteristic changes in the indicators of pulmonary functional tests in COPD.

KEY WORDS: *COPD, spirometry, pulmonary function tests, impulse oscillometry.*

CONFLICT OF INTEREST. *The authors declare that they have no conflicts of interest. The work was done without the participation of sponsors.*

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является распространенным заболеванием во всем мире и представляет глобальную медико-социальную и экономическую проблему во всех промышленно развитых странах [1, 2]. Основным патофизиологическим критерием ХОБЛ является ограничение воздушного потока (ВП) [1].

Скорость ВП, как известно, зависит от таких параметров, как альвеолярное давление (Ралв) и сопротивление дыхательных путей (ДП). Величина Ралв определяется суммой плеврального давления и давления, создаваемого эластическими структурами легких. Скорость движения ВП в ДП (V') прямо пропорциональна движущему давлению (ΔР), величина которого представляет собой разницу Ралв и давления в ротовой полости или атмосферного давления (Ратм) и обратно пропорционально сопротивлению ДП (R) и выражается уравнением: $V' = \Delta P/R$.

К ограничению ВП у больных ХОБЛ приводит как увеличение сопротивления ДП, так и деструкция эластических структур легких (эмфизема), что влияет на величину Ралв. Степень преобладания того или другого компонента патологических изменений легочной ткани при ХОБЛ различается у разных больных.

Хроническое воспаление при ХОБЛ вызывает структурные изменения легочной ткани, а также сужение периферических (или мелких) ДП (МДП), т.е. ДП с диаметром менее 2 мм. За счет деструкции эластических волокон межальвеолярных перегородок происходит снижение эластической тяги легких. Эти нарушения не позволяют ДП оставаться раскрытыми во время выдоха [2].

В 2006 году для диагностики и определения степени тяжести ХОБЛ, согласно международным рекомендациям (Глобальная инициатива по хронической обструктивной болезни легких, GOLD — Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease), необходимо было провести спирометрическое измерение с определением объема форсированного выдоха за первую секунду

($ОФВ_1$) и форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) [3]. В настоящее время изменился подход по определению степени тяжести ХОБЛ [1, 4]. Как и ранее, для подтверждения диагноза ХОБЛ отношение $ОФВ_1$ к ФЖЕЛ ($ОФВ_1$/ФЖЕЛ) после максимальной бронходилатации должно быть менее 0,7 [2–4]. Однако для оценки степени тяжести заболевания наряду с $ОФВ_1$ современный диагностический алгоритм учитывает историю предыдущих обострений и клинические симптомы, такие как одышка, степень тяжести которой определяется с помощью модифицированной шкалы Совета по медицинским исследованиям (mMRC), и состояние здоровья, которое оценивается с помощью шкалы CAT — опросника для выявления степени выраженности симптомов ХОБЛ (Chronic Obstructive Pulmonary Disease Assessment Test) [2–4].

Таким образом, для установления диагноза ХОБЛ необходимо применение бронходилататоров и повторное проведение спирометрии, соответствующее критериям качества [5]. Величина показателя $ОФВ_1$/ФЖЕЛ после применения бронхорасширяющих препаратов менее 0,7 подтверждает наличие ограничения скорости ВП и, следовательно, ХОБЛ [2]. Однако использование фиксированного значения отношения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ для определения ограничения ВП может приводить к гипердиагностике ХОБЛ у лиц пожилого возраста, особенно при болезни легкого течения [6–8]. Hardie J.A. с соавт. обследовали пожилых людей (старше 70 лет), которые никогда не курили и не имели респираторных симптомов, и выявили у 35% этих людей снижение $ОФВ_1$/ФЖЕЛ <0,70. Этот процент увеличивался с возрастом, и у лиц старше 80 лет составлял около 50% [6].

Применение нижней границы нормы (НГН) отношения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ позволяет существенно снизить процент ошибок при диагностике ХОБЛ. Так, из 2 728 лиц старше 45 лет ограничение ВП было выявлено в 10,9% (14,7% среди мужчин и 7,2% среди женщин) случаев при использовании НГН и в 15,5% (21,8% среди мужчин и 9,1% среди женщин) случаев при использовании фиксированного значения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ 0,7. У лиц старше 65 лет ограничение ВП было выявлено в 14,9% при использовании НГН и в 31,1% случаев при использовании фиксированного значения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ=0,7 [7].

В работе Aggarwal A.N. с соавт. [8] также было показано, что использование фиксированного значения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ <0,7 в качестве функционального показателя обструкции ДП обуславливает гипердиагностику у лиц среднего и пожилого возраста и недооценивает наличие обструктивных нарушений вентиляции у молодых. Таким образом, авторы пришли к выводу, что для оценки отклонения от нормы отношения $ОФВ_1$/ФЖЕЛ целесообразно использовать НГН, рассчитанную по соответствующему референсному уравнению.

Вместе с тем риск ошибочной диагностики ХОБЛ и назначения необоснованного лечения конкретных пациентов при использовании критерия $ОФВ_1$/ФЖЕЛ <0,70 не такой высокий, поскольку в клинической практике диагноз устанавливают с учетом соответствующей клинической картины заболевания и анализа факторов риска [2].

При оценке ХОБЛ необходимо также оценить выраженность ухудшения бронхиальной проходимости. Для классификации степени тяжести ограничения ВП при ХОБЛ используют степень отклонения $ОФВ_1$ после применения бронхорасширяющих препаратов от должного значения (табл. 1).

Таблица 1
Классификация степени тяжести ограничения воздушного потока при ХОБЛ на основании спирометрических данных после ингаляции бронхолитика у пациентов с $ОФВ_1$/ФЖЕЛ <0,70 [2]

GOLD	Степень тяжести	$ОФВ_1$, % от должного
1	Легкая	≥80
2	Средней тяжести	50≤ $ОФВ_1$<80
3	Тяжелая	30≤ $ОФВ_1$<50
4	Крайне тяжелая	<30

При интерпретации результатов спирометрии важно проводить не только количественный анализ ее показателей, но и качественный анализ кривых «поток–объем» форсированного выдоха. Вогнутая форма и пологая нисходящая часть экспираторной кривой «поток–объем» свидетельствуют об обструктивных процессах (рис. 1 а). При выраженной обструкции и эмфиземе легких кривая приобретает характерный изгиб: резкое снижение скорости экспираторного потока, следующее за пиком, сменяется пологим участком кривой, отражающим экспираторный коллапс дистальных отделов ДП (рис. 1 б).

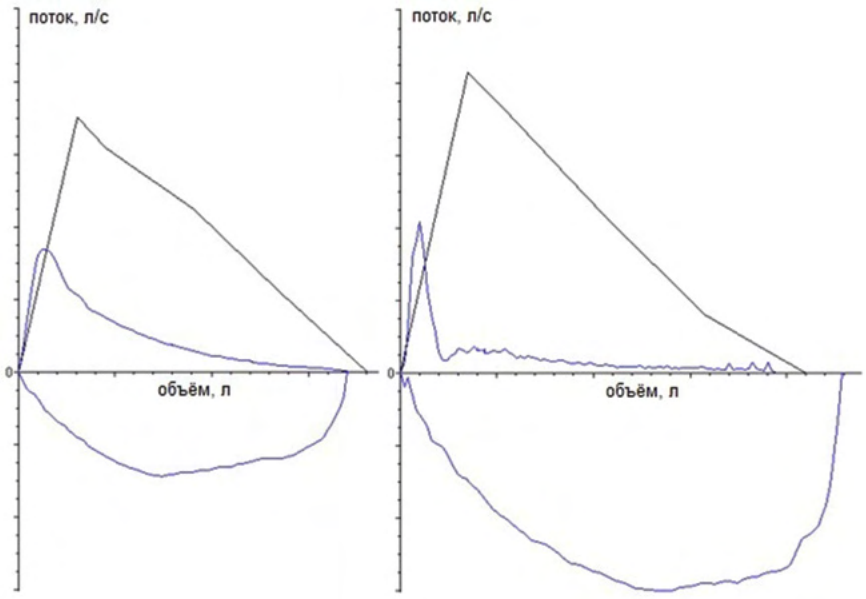

Рисунок 1. Кривые «поток–объем» форсированного выдоха у больных ХОБЛ (синяя кривая): а) «бронхитический тип» кривой; б) «эмфизематозный тип» кривой. Черная линия обозначает должное значение максимальной скорости экспираторного потока при данном объеме легких

Для дифференциальной диагностики ХОБЛ и бронхиальной астмы (БА) Okazawa M. с соавт. [9] предложили использовать комбинацию спирометрических параметров $ОФВ_1$/ФЖЕЛ и ПОСвд/$МОС_{50}$ (ПОСвд — пиковая объемная скорость вдоха, $МОС_{50}$ — максимальная объемная скорость на уровне 50% выдохнутой ФЖЕЛ). Так, сочетание величин этих показателей, такое как $ОФВ_1$/ФЖЕЛ <63,4% и ПОСвд/$МОС_{50}$ >3,29, позволяет с вероятностью 94,4% поставить диагноз ХОБЛ у курящих пациентов [9].

Бронхопровокационные тесты у больных ХОБЛ не получили широкого распространения для диагностики бронхиальной гиперреактивности (БГР). Возможно, это связано с применением пациентами с ХОБЛ антихолинергических препаратов и β-агонистов или их комбинацией, которые являются мощными ингибиторами бронхоконстрикторного ответа при проведении теста с метахолином. Отмена лечения в течение требуемого периода вымывания перед провокационным тестированием является неэтичным и небезопасным. Однако в ряде работ было показано, что у больных ХОБЛ может быть идентифицирована БГР [10], которая обусловлена снижением эластической тяги легких и биомеханическими изменениями в стенках ДП, а именно уменьшением их жесткости [11]. Исторически при проведении клинических исследований по изучению новых методов лечения ХОБЛ наличие БГР и положительного бронходилатационного (БД) теста у больных ХОБЛ были критериями исключения, поскольку у этих больных предполагали наличие БА как сопутствующего заболевания. Важно отметить, что в нескольких независимых исследованиях было показано, что БА и БГР являются факторами риска развития ХОБЛ [12]. Более того, БГР к метахолину является важным предиктором прогрессирования обструкции ДП у постоянных курильщиков с ХОБЛ, независимо от исходного уровня обструкции [12]. Предполагают, что при ХОБЛ положительный тест с маннитолом позволяет предсказать реакцию на ингаляционные глюкокортикостероиды и потенциально может определять эффективность и тактику лечения [13]. Вместе с тем исследования в этом направлении необходимо продолжить.

Таким образом, форсированная спирометрия играет важную роль в диагностике и оценке степени тяжести ХОБЛ. Однако нужно принимать во внимание, что существует слабая корреляция $ОФВ_1$ с симптомами заболевания и качеством жизни больных ХОБЛ [4].

Для оценки механики дыхания у больных ХОБЛ также может быть использована импульсная осциллометрия (ИОС). Теоретические, методические и клинические аспекты ИОС подробно изложены Каменевой М. Ю. с соавт. в книге «Легочные функциональные тесты: от теории к практике» [14]. Причиной отклонения от нормы одного из параметров ИОС, а именно реактанса при частоте осцилляций 5 Гц (X5), является изменение эластических свойств легочной ткани и ее инерционности [15]. Снижение X5 было выявлено у пациентов с симптомами ХОБЛ при отсутствии отклонений от нормы показателей спирометрии, что, возможно, позволит использовать ИОС для ранней диагностики данного заболевания [16]. Кроме того, Lipworth B. и Jabbal S. [17] высказали мнение, что площадь реактанса (AX), величина которой определяется ригидностью периферических отделов ДП (в норме AX не превышает 0,33 кПа/л) [15], может также быть использована для выявления ХОБЛ на ранней стадии и мониторирования заболевания. Кроме того, эти же авторы считают, что при БА резистанс (R) и реактанс (X) меняются в равной степени, тогда как при ХОБЛ имеет место более выраженное изменение реактанса.

По мнению Jaranbäck и соавт. [18], применение спирометрии в сочетании с ИОС позволяет повысить чувствительность выявления ограничения ВП у больных ХОБЛ.

Кроме того, в проведенных ранее исследованиях было выявлено, что степень изменений параметров ИОС у больных ХОБЛ отражает выраженность обструктивных нарушений вентиляции, диагностированных с помощью спирометрии [19–21].

Вместе с тем было показано, что у больных ХОБЛ ИОС обладает низкой информативностью в диагностике вентиляционных нарушений легкой степени, частота выявления которой при использовании базового алгоритма интерпретации показателей, включающего анализ изменений двух параметров, таких как R5 (величины резистанса при частоте осцилляций 5 Гц) и X5, в исследовании Савушкиной О. с соавт. [22] составила 25%.

Необходимо отметить, что у больных ХОБЛ клинически важно своевременно диагностировать значительное снижение вентиляционной функции легких ($ОФВ_1$ <50% от должного), поскольку в этом случае может потребоваться терапия ингаляционными глюкокортикостероидами. Wei X. с соавт. [2] показали, что в качестве альтернативы спирометрическому исследованию, которое требует значительных дыхательных усилий, для идентификации таких пациентов может быть использована ИОС, если выявляется один из признаков:

— увеличение относительной частотной зависимости резистанса (R5-R20)/R5 более 0,355 с чувствительностью 56% и специфичностью 80%, где R20 — величина резистанса при частоте осцилляций 20 Гц;

— увеличение абсолютной величины X5, превышающей 0,185 кПа·сек/л с чувствительностью 80% и специфичностью 64%;

— увеличение резонансной частоты (f_{res}) более 22,4 Гц с чувствительностью 61% и специфичностью 77%;

— увеличение AX более 1,5 кПа/л с чувствительностью 77% и специфичностью 64%.

Однако, как было сказано выше, ключевым местом обструкции у пациентов с ХОБЛ являются МДП [23–25], а именно воспаление, отек и сужение их просвета [26]. Были выявлены корреляционные связи дисфункции МДП (ДМДП) с восприятием одышки и качеством жизни у пациентов с ХОБЛ [27]. ДМДП приводит к сужению их просвета вплоть до полного закрытия, следствием чего является задержка воздуха в альвеолах («воздушная ловушка») и неравномерное распределение вентиляции. Поэтому тесты, которые позволяют оценить эти изменения, могут быть полезными в клинической практике для выявления и количественной оценки ДМДП.

В отличие от традиционных методов функционального исследования систе-

мы дыхания ИОС является более эффективным методом диагностики ДМДП, которая идентифицируется с помощью того же критерия, что и при БА, а именно: R5-R20>0,07 кПа·сек/л [28]. По данным нашего собственного исследования, частота встречаемости ДМДП у пациентов с ХОБЛ в зависимости от тяжести заболевания составила 57% при вентиляционных нарушениях легкой степени ($ОФВ_1$>80% от должного, GOLD 1), 87% — при GOLD 2 и 100% — при тяжелых обструктивных нарушениях вентиляции (GOLD 3–4) [29]. Следует отметить, что ДМДП при ХОБЛ более выражена по сравнению с БА [17].

Общеизвестно, что ХОБЛ — это заболевание, которое характеризуется частично обратимой обструкцией ДП [2, 4]. Тем не менее значительная часть пациентов с ХОБЛ может демонстрировать выраженный положительный БД ответ [30]. Критерием положительного БД ответа, оцениваемого с помощью спирометрии, является увеличение $ОФВ_1$ на 12% и 200 мл или более от исходного значения. В случае изолированного увеличения ФЖЕЛ более 12% и 200 мл от исходного значения проба считается положительной, если прирост ФЖЕЛ не связан с увеличением продолжительности форсированного выдоха [31].

При проведении оценки чувствительности к бронхолитику с помощью ИОС проба считается положительной, если R5 уменьшается на 40%, X5 увеличивается на 50%, AX снижается на 80% [32]. Однако Park J.-H. с соавт. [33] было показано, что у больных ХОБЛ старше 65 лет критерии несколько отличаются. На основании их исследования наиболее значимыми параметрами положительного БД ответа были снижение абсолютной частотной зависимости резистанса (R5-R20) на 15,4% с чувствительностью 100% и специфичностью 84,75% и снижение R5 на 18,2% с чувствительностью и специфичностью 100% и 86,4% соответственно.

Кроме того, ИОС при спокойном дыхании позволяет выявлять экспираторное ограничение потока (expiratory (air) flow limitation — EFL), которое является основной причиной гиперинфляции и снижения толерантности к физическим нагрузкам у больных ХОБЛ.

Так, Dellaca R. L. с соавт. [34] высказали предположение о том, что экспираторное ограничение потока может быть определено с помощью параметра DX5, величину которого следует рассчитывать как разницу средних значений X5 на вдохе ($\overline{X5}$ in) и выдохе ($\overline{X5}$ ex):

$$DX5=\overline{X5}\ in-\overline{X5}\ ex$$

В качестве референтного ими был использован метод Mead и Whittenberger (M-W method), который основывается на анализе зависимости величины воздушного потока и трансмурального давления, определяемого методом пищеводного зондирования. В результате проведенной работы было показано, что измерение величины показателя DX5 позволяет точно и надежно выявлять экспираторное ограничение воздушного потока у больных ХОБЛ.

В работе Aarli B. B. с соавт. [35] на представительной выборке было показано, что значения DX5 более 0,10 кПа·сек/л у больных ХОБЛ связаны с увеличением выраженности одышки. В группе здоровых лиц значения DX5 были достоверно меньше — 0,07 кПа·сек/л, и авторы полагают, что значения DX5 >0,10 кПа·сек/л можно считать признаком экспираторного ограничения потока. Paredi P. с соавт. [36] показали, что у больных с БА DX5 несколько ниже (0,10 кПа·сек/л), чем у больных с ХОБЛ (0,21 кПа·сек/л), хотя достоверных различий между данными значениями выявлено не было (p=0,15). Вместе с тем исследования в этом направлении, возможно, помогут выявить критерии дифференциальной диагностики БА и ХОБЛ, а также наиболее ранний критерий предстоящего обострения ХОБЛ.

Для оценки степени гиперинфляции легких и «воздушных ловушек» у больных ХОБЛ важную роль играет бодиплетизмография, метод которой позволяет измерить общую емкость легких ($ОЕЛ_{плет}$) и составляющих ее объемов, прежде всего внутригрудного объема газа (ВГО) и остаточного объема легких (ООЛ). При условии выявления обструкции ДП при проведении спирометрии увеличение ООЛ и его доли в структуре ОЕЛ ($ООЛ/ОЕЛ_{плет}$) позволяет судить о наличии «воздушных ловушек», тогда как увеличение ВГО — о гиперинфляции легких. Было показано, что гиперинфляция легких является независимым фактором, позволяющим предсказать снижение толерантности к физической нагрузке [37] и выживаемость пациентов с ХОБЛ [38]. В ряде научных публикаций было продемонстрировано, что динамика клинических симптомов (одышка, физическая работоспособность) после применения как b2-агонистов [39, 40], так и антихолинергических препаратов [41] у больных с ХОБЛ статистически значимо коррелировала с динамикой гиперинфляции легких, а не со степенью тяжести ограничения воздушного потока. Однако в повседневной клинической практике изменение статических объемов для оценки БД теста не получило широкого распространения, что обусловлено более высокой вариабельностью этих параметров по сравнению с $ОФВ_1$ и отсутствием четких критериев положительной реакции.

Кроме того, при интерпретации показателей бодиплетизмографии не менее важным является оценка бронхиального сопротивления, а именно соотношения сопротивления на выдохе ($R_{выд}$) и вдохе ($R_{вд}$). Увеличение $R_{выд}$ более чем в 2,5 раза по сравнению с $R_{вд}$ является функциональным признаком утраты эластических свойств ДП, обусловленной эмфизематозной деструкцией легких [42].

В этом случае петли бронхиального сопротивления приобретают характерный вид: булавовидное расширение на выдохе (рис. 2).

Проведение диффузионного теста больным ХОБЛ также имеет важное значение. Измерение диффузионной способности легких (ДСЛ), а именно определение величины трансферфактора (DL), является клинически информативным методом определения способности легких переносить кислород из альвеолярного газа в кровь. В клинической практике наибольшее распространение для измерения ДСЛ получил метод одиночного вдоха газовой смеси, содержащей монооксид углерода (CO), с задержкой дыхания [43]. Снижение показателя DL помогает идентифицировать больных с эмфиземой [44]. Кроме того, нарушение ДСЛ является статистически значимым фактором риска летальности пациентов с ХОБЛ [45, 46]. Измерение ДСЛ также показано больным ХОБЛ с одышкой, несоразмерной тяжести обструкции.

Кроме того, Каменева М. Ю. в своей работе показала, что при исследовании ДСЛ информативными также являются

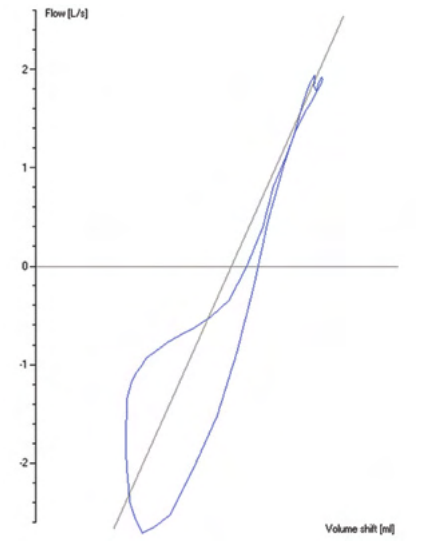

Рисунок 2. Петля бронхиального сопротивления при выраженной обструкции ДП и эмфиземе легких

такие параметры, как альвеолярный объем (АО), который характеризует площадь газообмена, и ОЕЛ, которая определяется по разведению инертного газа ($ОЕЛ_{диф}$), так как по разнице $ОЕЛ_{плет}$ и $ОЕЛ_{диф}$ можно судить об объеме невентилируемого пространства в легких, который в норме не превышает 500 мл [47].

Таким образом, совместное применение разных функциональных методов исследования системы дыхания позволяет проводить комплексную функциональную диагностику и дифференциальную диагностику ХОБЛ, а также мониторировать течение и своевременно прогнозировать обострение заболевания.

Список литературы / References:

1. *Всемирная организация здравоохранения, 2020 г. [Электронный ресурс] // URL: https://www.who.int/ru. World Health Organization, 2020.— URL: https://www.who.int/ru (in Russ.).*
2. *Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2020.— URL: http://www.goldcopd.org/*
3. *Rabe K. F., Hurd S., Anzueto A., Barnes P. J., Buist S. A., Calverley P., Fukuchi Y., Jenkins C., Rodriguez-Roisin R., van Weel C., Zielinski J. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease: Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary // Am. J. Respir. Crit. Care Med.— 2007.— Vol. 176.— P. 532–555. DOI: 10.1164/rccm.200703–456SO.*
4. *Хроническая обструктивная болезнь легких. Клинические рекомендации // Российское респираторное общество 2018. [Электронный ресурс] // Spulmo.ru: информ.-образовательный портал.— 2016.— URL: http://spulmo.ru/upload/federal_klinicheskie_rekomendaciy_hobl.pdf*
   Chronic obstructive pulmonary disease. Clinical guidelines // Russian Respiratory Society 2018.— URL: http://spulmo.ru/upload/federal_klinicheskie_rekomendaciy_hobl.pdf (in Russ.)
5. *Graham B. L., Steenbruggen I., Miller M. R., Barjaktarevic I. Z., Cooper B. G., Hall G. L., Hallstrand T. S., Kaminsky D. A., McCarthy K., McCormack M.C., Oropez C. E., Rosenfeld M., Stanojevic S., Swanney M. P., Thompson B. R. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement // Am. J. Respir. Crit. Care Med.— 2019.— Vol. 200, Issue 8.— P. e70-e88. DOI: 10.1164/rccm.201908–1590ST*
6. *Hardie J. A., Buist A. S., Vollmer W. M., Ellingsen I., Bakke P. S., Mørkve O. Risk of over-diagnosis of COPD in asymptomatic elderly never-smokers // Eur. Respir. J.— 2002.— Vol. 20, № 5.— P. 1117–1122. DOI: 10.1183/09031936.02.00023202.*
7. *Hwang Y. I., Kim C. H., Kang H. R., Shin T., Park S. M., Jang S. H., Park Y. B., Kim C. H., Kim D. G., Lee M. G., Hyun I. G., Jung K. S. Comparison of the prevalence of chronic obstructive pulmonary disease diagnosed by lower limit of normal and fixed ratio criteria // J. Korean Med. Sci.— 2009.— Vol. 24, № 4.— P. 621–626. DOI: 10.3346/jkms.2009.24.4.621.*
8. *Aggarwal A. N., Gupta D., Agarwal R., Jindal S. K. Comparison of the lower confidence limit to the fixed-percentage method for assessing airway obstruction in routine clinical practice // Respir. Care.— 2011.— Vol. 56.— P. 1778–1784. DOI: 10.4187/respcare.01160.*
9. *Okazawa M., Imaizumi K., Mieno Y., Takahashi H., Paré P. D. Ratio of Maximal Inspiratory to Expiratory Flow Aids in the Separation of COPD from Asthma // COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Published online: 01 Apr 2020. To link to this article: DOI: 10.1080/15412555.2020.1742679.*
10. *Davis B. E., Cockcroft D. W. Past, present and future uses of methacholine testing // Expert. Rev. Respir. Med.— 2012. Vol. 6, № 3.— P. 321–329. DOI: 10.1586/ers.12.29.*
11. *Maarsingh H., Bidan C. M., Brook B. S., Zuidhof A. B., Elzinga C. R.S., Smit M., Oldenburger A., Gosens R., Timens W., Meurs H. Small airway hyperresponsiveness in COPD: relationship between structure and function in lung slices // Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.— 2019.— Vol. 316, № 3.— P. L537-L546. DOI: 10.1152/ajplung.00325.2018.*
12. *de Marco R., Accordini S., Marcon A., Cerveri I., Antó J. M., Gislason T., Heinrich J., Janson C., Jarvis D., Kuenzli N., Leynaert B., Sunyer J., Svanes C., Wjst M., Burney P. European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). Risk factors for chronic obstructive pulmonary disease in a European cohort of young adults // Am. J. Respir. Crit. Care Med.— 2011.— Vol. 183, № 7.— P. 891–897. DOI: 10.1164/rccm.201007–1125OC.*
13. *de Nijs S. B., Fens N., Lutter R., Dijkers E., Krouwels F. H., Smids-Dierdorp B.S., van Steenwijk R. P., Sterk P. J. Airway inflammation and mannitol challenge test in COPD // Respir. Res.— 2011.— Vol. 12.— P. 11. DOI: 10.1186/1465-9921-12-11.*
14. *Каменева М. Ю., Савушкина О. И., Черняк А. В. Импульсная осциллометрия // В кн.: Легочные функциональные тесты: от теории к практике. Руководство для врачей / под ред. Савушкиной О. И., Черняка А. В. М.: Фирма Стром, 2017; 192.*
    Kameneva M.Yu., Savushkina O. I., Chernyak A. V. Impul'snaya ostsillometriya // V kn.: Legochnyye funktsional'nyye testy: ot teorii k praktike. Rukovodstvo dlya vrachey. Pod red. Savushkinoy O. I., Chernyak A. V. M.: Firma Strom 2017; 192 (in Russ.).
15. *Brashier B., Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system // Breathe.— Vol. 2015.— Vol. 11, № 1.— P. 57–65. DOI: 10.1183/20734735.020514.*
16. *Frantz S., Nihle´n U., Dencker M., Engstrom G., Lofdahl C.G., Wollmer P. Impulse oscillometry may be of value in detecting early manifestations of COPD // Respir. Med.— 2012.— Vol. 106, № 8.— P. 1116–1123. DOI: 10.1016/j.rmed.2012.04.010.*
17. *Lipworth B. J., Jabbal S. What can we learn about COPD from impulse oscillometry? // Respir. Med.— 2018.— Vol. 139.— P. 106–109. https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.05.004*
18. *Jarenbäck L., Ankerst J., Bjermer L., Tufvesson E. Flow-Volume Parameters in COPD Related to Extended Measurements of Lung Volume, Diffusion, and Resistance // Pulm. Med. 2013; 2013: 782052. DOI: 10.1155/2013/782052.*
19. *Кирюхина Л. Д., Аганезова Е. С., Каменева М. Ю., Яковлева Н. Г. Диагностика нарушений механики дыхания у больных с хроническими обструктивными заболеваниями легких с помощью импульсной осциллометрии // Болезни органов дыхания.— 2005.— Том 2.— С. 9–13.*
    Kiryukhina L. D., Aganezova Ye.S., Kameneva M. YU., Yakovleva N. G. Diagnostika narusheniy mekhaniki dykhaniya u bol'nykh s khronicheskimi obstruktivnymi zabolevaniyami legkikh s pomoshch'yu impul'snoy ostsillometrii // Bolezni organov dykhaniya.— 2005.— Tom 2.— C. 9–13 (in Russ.).
20. *Piorunek T., Kostrzewska M., Cofta S., Batura-Gabryel H., Andrzejczak P., Bogdan´ski P., Wysocka E. Impulse Oscillometry in the Diagnosis of Airway Resistance in Chronic Obstructive Pulmonary Disease // Neuroscience and Respiration.— 2015.— Vol. 7.— P. 47–52. DOI 10.1007/5584_2014_49.*
21. *Wei X, Shi Z, Cui Y, Mi J, Ma Z, Ren J, Li J, Xu S, Guo Y. Impulse oscillometry system as an alternative diagnostic method for chronic obstructive pulmonary disease // Medicine (Baltimore).— 2017.— Vol. 96, № 46.— P. e8543. DOI: 10.1097/MD.0000000000008543.*
22. *Савушкина О. И., Черняк А. В., Крюков Е. В., Зайцев А. А., Неклюдова Г. В., Пашкова Т. Л. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких // Пульмонология.— 2020.— Том 30, № 3.— С. 285–294. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294.*
    Savushkina O. I., Chernyak A. V., Kryukov E. V., Zaytsev A. A., Neklyudova G. V., Pashkova T. L. Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease // Pulmonologiya.— 2020.— Vol. 30, № 3.— P. 285–294. DOI: https://doi.org/10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294 (In Russ.).
23. *Burgel P. R. The role of small airways in obstructive airway diseases // Eur. Respir. Rev.— 2011.— Vol. 20.— P. 23–33. DOI: 10.1183/09059180.00010410.*
24. *Авдеев С. Н. Малые дыхательные пути при хронической обструктивной болезни легких — важнейшая мишень эффективной терапии // Пульмонология.— 2012.— № 6.— С. 111–126. DOI: 10.18093/0869-0189-2012-0-6-111-126.*
    Avdeev S. N. Small airways in chronic obstructive pulmonary disease as a core target of effective therapy // Pulmonologiya.— 2012.— № 6.— P. 111–126. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2012-0-6-111-126 (in Russ.).
25. *Hogg J. C., Paré P. D., Hackett T. L. The Contribution of Small Airway Obstruction to the Pathogenesis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease // Physiol. Rev.— 2017.— Vol. 97. № 2.— P. 529–552. DOI: 10.1152/physrev.00025.2015.*
26. *Hogg J. C., Chu F. S., Tan W. C., Sin D. D., Patel S. A., Pare P. D., Martinez F. J., Rogers R. M., Make B. J., Criner G. J., Cherniack R. M., Sharafkhaneh A., Luketich J. D., Coxson H. O., Elliott W. M., Sciurba F. C. Survival after lung volume reduction in chronic obstructive pulmonary disease: insights from small airway pathology // Am. J. Respir. Crit. Care Med.— 2007.— Vol. 176.— P. 454–459. DOI: 10.1164/rccm.200612–1772OC.*

27. *Haruna A., Oga T., Muro S., Ohara T., Sato S., Marumo S., Kinose D., Terada K., Nishioka M., Ogawa E., Hoshino Y., Hirai T., Chin K., Mishima M. Relationship between peripheral airway function and patient-reported outcomes in COPD: a cross-sectional study // BMC Pulm. Med.— 2010.— № 10.— P. 10. DOI: 10.1186/1471-2466-10-10.*
28. *Crisafulli E., Pisi R., Aiello M., Vigna M., Tzani P., Torres A., Bertorelli G., Chetta A. Prevalence of Small-Airway Dysfunction among COPD Patients with Different GOLD Stages and Its Role in the Impact of Disease // Respiration. Published online November 17, 2016. DOI: 10.1159/000452479*
29. *Черняк А.В., Савушкина О.И., Пашкова Т.Л., Крюков Е.В. Диагностика дисфункции малых дыхательных путей у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких // Альманах клинической медицины.— 2020.— Том 48, № 5.— С. 307–315. DOI: 10.18786/2072-0505-2020-48-019.*
Cherniak A.V., Savushkina O.I., Pashkova T.L., Kryukov E.V. Diagnosis of small airway dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. // Almanac of Clinical Medicine.— 2020.— Vol. 48, № 5.— P. 307–315. https://doi.org/10.18786/2072-0505-2020-48-019 (in Russ.).
30. *Prentice H.A., Mannino D.M., Caldwell G.G., Bush H.M. Significant bronchodilator responsiveness and 'reversibility' in a population sample // COPD.— 2010.— Vol. 7, № 5.— P. 323–330. DOI: 10.3109/15412555.2010.510161.*
31. *Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V., Crapo R.O., Burgos F., Casaburi R., Coates A., van der Grinten C.P.M., Gustafsson P., Hankinson J., Jensen R.,. Johnson D.C, MacIntyre N., McKay R., Miller M.R., Navajas D., Pedersen O.F., Wanger J. Interpretative strategies for lung function tests // Eur. Respir. J.— 2005.— Vol. 26, № 5.— P. 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.*
32. *King G.G., Bates J., Berger K.I., Calverley P., de Melo P.L., Dellacà R.L., Farré R., Hall G.L., Ioan I., Irvin C.G., Kaczka D.W., Kaminsky D.A., Kurosawa H., Lombardi E., Maksym G.N., Marchal F., Oppenheimer B.W., Simpson S.J., Thamrin C., van den Berge M., Oostveen E. Technical standards for respiratory oscillometry // Eur. Respir. J.— 2020.— Vol. 55.— P. 1900753. DOI: https://doi.org/10.1183/13993003.00753–2019.*
33. *Park J.-H., Lee J.H., Kim H.-J., Jeong N., Jang H.-J., Kim H.-K., Park Ch.S. Usefulness of impulse oscillometry for the assessment of bronchodilator response in elderly patients with chronic obstructive airway disease // J. Thorac Dis.— 2019.— Vol. 11, № 4.— P. 1485–1494. DOI: 10.21037/jtd.2019.03.34.*
34. *Dellacà R.L., Santus P., Aliverti A., Stevenson N., Centanni S., Macklem P.T., Pedotti A., Calverley P.M. Detection of Expiratory Flow Limitation in COPD Using the Forced Oscillation Technique // Eur. Respir. J.— 2004.— Vol. 23.— P. 232–240. DOI: 10.1183/09031936.04.00046804.*
35. *Aarli B.B., Calverley P.M.A., Jensen R.L., Eagan T.M.L., Bakke P.S., Hardie J.A. Variability of within-breath reactance in COPD patients and its association with dyspnoea // Eur. Respir. J. 2015.— Vol. 45.— P. 625–634. DOI: 10.1183/09031936.00051214.*
36. *Paredi P., Goldman M., Alamen A., Ausin P., Usmani O.S., Pride N.B, Barnes P.J. Comparison of inspiratory and expiratory resistance and reactance in patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease // Thorax.— 2010.— Vol. 65.— P. 263–267. DOI: 10.1136/thx.2009.120790*
37. *Aalstad L.T., Hardie J.A., Espehaug B., Thorsen E., Bakke P.S., Eagan T.M.L., Frisk B. Lung hyperinflation and functional exercise capacity in patients with COPD — a three-year longitudinal study // BMC Pulm. Med.— 2018.— Vol. 18, № 1.— P. 187. DOI: 10.1186/s12890-018-0747-9.*
38. *Neder J.A., Alharbi A., Berton D.C., Alencar M.C., Arbex F.F., Hirai D.M., Webb K.A., O'Donnell D.E. Exercise Ventilatory Inefficiency Adds to Lung Function in Predicting Mortality in COPD // COPD.— 2016.— Vol. 13, № 4.— 416–424. DOI: 10.3109/15412555.2016.1158801.*
39. *Черняк А.В., Авдеев С.Н., Пашкова Т.Л., Айсанов З.Р. Бронходилатационный тест у больных с хронической обструктивной болезнью легких // Пульмонология.— 2003.— 1.— С. 51–56.*
Cherniak A.V., Avdeev S.N., Pashkova T.L., Aisanov Z.R Bronchodilator test in patients with chronic obstructive pulmonary disease // Pulmonologiya.— 2003.— № 1.— P. 51–56 (in Russ.).
40. *Di Marco F., Sotgiu G., Santus P., O'Donnell D.E., Beeh K.M., Dore S., Roggi M.A., Giuliani L., Blasi F., Centanni S. Long-acting bronchodilators improve exercise capacity in COPD patients: a systematic review and meta-analysis // Respir. Res.— 2018.— Vol. 19, № 1.— P. 18. DOI: 10.1186/s12931-018-0721-3.*
41. *O'Donnell D.E., Lam M., Webb K.A. Spirometric correlates of improvement in exercise performance after anticholinergic therapy in chronic obstructive pulmonary disease // Am.J. Respir. Crit. Care Med.— 1999.— Vol. 160.— P. 542–549.*
42. *Кольцун С.С. Система интерпретации функционального состояния внешнего дыхания в пульмонологии: автореф. дис. … д.м.н.: 14.00.43 — Пульмонология.— М., 1999.— 52 с.*
Kol'cun S.S. Sistema interpretacii funkcional'nogo sostojanija vneshnego dyhanija v pul'monologii: avtoref. dis. … d.m.n.: 14.00.43 — Pul'monologija.— M., 1999.— 52 s. (in Russ.).
43. *Graham B.L., Brusasco V., Burgos F., Cooper B.G., Jensen R., Kendrick A., MacIntyre N.R., Thompson B.R., Wanger J. ERS/ATS Standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung // Eur. Respir. J.— 2017.— Vol. 49.— P. pii: 1600016. DOI: 10.1183/13993003.00016–2016.*
44. *Nambu A., Zach J., Schroeder J., Jin G.Y., Kim S.S., Kim Y.I., Schnell C., Bowler R., Lynch D.A.— Relationships between diffusing capacity for carbon monoxide (DLCO), and quantitative computed tomography measurements and visual assessment for chronic obstructive pulmonary disease // Eur. J. Radiol.— 2015.— Vol. 84, № 5.— P. 980–985. DOI: 10.1016/j.ejrad.2015.01.010.*
45. *Rose L., Prins K.W., Archer S.L., Pritzker M., Weir E.K., Misialek J.R., Thenappan T. Survival in pulmonary hypertension due to chronic lung disease: Influence of low diffusion capacity of the lungs for carbon monoxide // J. Heart Lung Transplant.— 2019.— Vol. 38, № 2.— P. 145–155. DOI: 10.1016/j.healun.2018.09.011.*
46. *Balasubramanian A., Kolb T.M., Damico R.L., Hassoun P.M., McCormack M.C., Mathai S.C. Diffusing Capacity is an Independent Predictor of Outcomes in Pulmonary Hypertension Associated with Chronic Obstructive Pulmonary Disease // Chest — 2020.— P. pii: S0012–3692 (20) 30445-1. DOI: 10.1016/j.chest.2020.02.047.*
47. *Каменева М.Ю. Синдром нарушения легочного газообмена у больных интерстициальными заболеваниями легких // Бюллетень физиологии и патологии дыхания.— 2015.— Вып. 15.— С. 14–20.*
Kameneva M.Yu. Syndromes of gas exchange abnormalities in patients with interstitial lung diseases. Bulletin Physiology and Pathology of Respiration.— 2015.— Issue 56.— P. 14–20 (in Russ.).

Статья поступила / Received 20.08.21
Поступила после рецензирования / Revised 17.09.21
Принята в печать / Accepted 18.10.21

Информация об авторах

Черняк Александр Владимирович, к.м.н., зав. лабораторией функциональных и ультразвуковых методов исследования[1], ORCID 0000-0002-2001-5504
Савушкина Ольга Игоревна, к.б.н., зав. отделением исследований функции внешнего дыхания Центра функционально-диагностических исследований[2], старший научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования[1], ORCID 0000-0002-7486-4990
Крюков Евгений Владимирович, д.м.н., проф., член-корр. РАН, начальник[3], ORCID 0000-0002-8396-1936

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России, г. Москва
[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва
[3] Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

Автор для переписки: Черняк Александр Владимирович, e-mail: achi2000@mail.ru

Author information

Cherniak Alexander V., PhD, Head of the Laboratory of Functional and Ultrasonic Research Methods[1]. ORCID: 0000-0002-2001-5504.
Savushkina Olga I., PhD, Head of Department of Lung Function Testing, Center of Functional Diagnostic Investigations[2], Senior researcher of the Laboratory of Functional and Ultrasonic Research Methods[1]. ORCID: 0000-0002-7486-4990.
Kryukov Evgeniy V., MD, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of Institution[3]. ORCID: 0000-0002-8396-1936.

[1] Federal State Budgetary Institution 'Pulmonology Scientific Research Institute' under Federal Medical and Biological Agency of the Russian Federation, Moscow
[2] Federal State Budgetary Institution 'Main Military Clinical Hospital named after academician N.N. Burdenko' of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow
[3] Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education 'The S.M. Kirov Military Medical Academy' of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg

Contact information: Cherniak Alexander V., e-mail: achi2000@mail.ru

Для цитирования: Черняк А.В., Савушкина О.И., Крюков Е.В. Функциональные методы исследования системы дыхания при хронической обструктивной болезни легких. Медицинский алфавит. 2021;(28):10–15. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-28-10-15.

For citation: Cherniak A.V., Savushkina O.I., Kryukov E.V. Functional diagnostics of the respiratory system in chronic obstructive pulmonary disease. Medical alphabet. 2021;(28):10–15. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-28-10-15.