

Применение импульсной осциллометрии для диагностики функциональных нарушений внешнего дыхания у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте

О.И. Савушкина¹, А.В. Черняк², Е.В. Крюков¹, А.А. Зайцев¹

¹ Главный военный клинический госпиталь им. Н.Н. Бурденко, Москва

² Научно-исследовательский институт пульмонологии ФМБА России, Москва

The Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in elderly patients with lung cancer

O. Savushkina¹, A. Cherniak², E. Kryukov¹, A. Zaytsev¹

¹ Acad. N.N. Burdenko the Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defence, Moscow

² Pulmonology Research Institute under FMBA of Russia, Moscow

© Коллектив авторов, 2020 г.

Резюме

Традиционные функциональные методы исследования внешнего дыхания (спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест) являются достаточно трудоемкими и сложными для выполнения методами, особенно в пожилом и старческом возрасте. Преимуществом импульсной осциллометрии (ИОС) является то, что все измерения проводятся при спокойном дыхании в течение 30–60 с без активного участия пациента. **Цель:** сравнить ИОС с традиционными функциональными методами внешнего дыхания и изучить ее возможности в диагностике нарушений респираторной функции у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте. **Материалы и методы.** Выполнено наблюдательное поперечное когортное исследование. В исследование были включены 57 пациентов, из них 55 (97%) мужчин и 2 (3%) женщины. Медиана возраста составила 69 (65–73) лет. Курящие или бывшие курильщики составляли 93% (39% и 54% соответственно), некурящие — 7%. Центральный рак легких (ЦР) был диагностирован у 22 (39%), периферический рак легких (ПР) — у 35 (61%) пациентов. **Результаты.** Вентиляционные нарушения были

выявлены у 54 (95%) пациентов, из них у 52 (96%) по обструктивному типу, у 1 — по рестриктивному типу и у 1 — по смешанному типу. Диффузионная способность легких была снижена у 30 (53%) пациентов. По данным ИОС отклонения от нормы показателей R5, X5, AX (R5–R20) выявлены у 43 (75%) пациентов. Были выявлены статистически значимые корреляционные связи между параметрами ИОС с параметрами спирометрии и большинством параметров бодиплетизмографии. **Заключение.** Импульсная осциллометрия может быть использована для оценки вентиляционной функции у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте.

Ключевые слова: импульсная осциллометрия, рак легких, спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест, легочные функциональные методы

Summary

Traditional pulmonary function tests (PFTs) (spirometry, body plethysmography, diffusion test) are quite time-consuming and difficult to perform methods, especially in the elderly patients. Impulse oscillometry (IOS) is advantageous in that all measurements are carried out

with quiet breathing for 30–60 s and do not require the active participation of the patient. **Objective:** to compare IOS with traditional PFTs and to study its capabilities in the diagnosis of respiratory disorders in patients with lung cancer in the elderly patients. **Materials and methods:** an observational cross-sectional cohort study was performed. The study included 57 patients (55 (97%) male and 2 (3%) female, median age 69 (65–73) years). Smokers or ex-smokers accounted for 93% (39% and 54%, respectively), non-smokers — 7%. Central lung cancer was diagnosed in 22 (39%), peripheral lung cancer — in 35 (61%) patients. **Results:** ventilation disorders were detected in 54 (95%) patients, including 52 (96%)

of obstructive, 1 — restrictive and 1 — mixed respiratory defects. Lung diffusion capacity was reduced in 30 (53%) patients. According to IOS data, deviations from the norm of R5, X5, AX (R5–R20) were detected in 43 (75%) patients. There was a statistically significant correlation between the parameters of the IOS with parameters of spirometry and most of the parameters of body plethysmography. **Conclusion:** IOS can be used to assess respiratory mechanics in elderly lung cancer patients.

Keywords: impulse oscillometry, lung cancer, spirometry, body plethysmography, diffusion test, pulmonary function tests

Введение

Рак легких является многоэтапным и многофакторным заболеванием, имеет множество гистологических подтипов и характеризуется обычно неблагоприятным исходом. В 2018 г. во всем мире выявлено 2,09 млн новых случаев рака легких, занимающего первое место среди всех типов рака. Рак легких занимает лидирующую позицию по смертности от заболеваний, обусловленных злокачественными новообразованиями. Пятая часть смертей от всех видов онкологических заболеваний приходится на его долю [1]. Ежегодно в России рак легких диагностируется более чем у 52 тыс. пациентов. Рак легких у мужчин встречается чаще, чем у женщин, — в 18,9 и 3,8% случаев соответственно. Средний возраст больных — 65 лет [2].

Рак легких обусловлен прежде всего активным и пассивным курением, загрязнением воздуха, воздействием профессиональных факторов, таких как асбест, никель, хром, радиационное излучение. Однако глобальная эпидемия рака в первую очередь связана с табакокурением [3].

Кроме того, довольно часто рак легких сопровождается хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ). Прогнозируется, что в ближайшее десятилетие эти два серьезных заболевания займут, соответственно, шестое и четвертое места среди всех причин смерти. Наиболее высокий риск заболеваемости раком легких имеет место в случае наличия и хронического бронхита, и эмфиземы. Рак легких является одной из самых распространенных причин смертности среди больных ХОБЛ [4].

Одним из критериев для подтверждения диагноза ХОБЛ является отношение объема форсированного выдоха за первую секунду ($ОФВ_1$) к форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) менее 0,7 после максимальной бронходилатации [5], для чего необходимо провести прежде всего спирометрическое исследование, так как основным патофизиологическим

нарушением у больных ХОБЛ является экспираторное ограничение воздушного потока (обструкция дыхательных путей — ДП).

Кроме того, пациентам с заболеваниями легких необходимо проводить комплексную функциональную оценку внешнего дыхания, включающую, помимо спирометрии, бодиплетизмографию и исследование диффузионной способности легких (ДСЛ).

Бодиплетизмография — функциональный метод исследования механики дыхания, позволяющий определять величину бронхиального сопротивления, общей емкости легких и составляющих ее объемов, что дает основание диагностировать рестриктивный и смешанный тип нарушений механики дыхания, выявлять наличие «воздушных ловушек» и гиперинфляцию легких. Однако бодиплетизмография относится к числу достаточно трудозатратных, непростых для выполнения и дорогостоящих функциональных методов, в то время как спирометрия требует максимальных дыхательных усилий от пациента и хорошей кооперации с персоналом. Пациенты пожилого и старческого возраста с тяжелыми вентиляционными нарушениями, лица с когнитивными расстройствами часто не могут соблюсти все необходимые условия выполнения спирометрического и бодиплетизмографического исследований.

Импульсная осциллометрия — инновационный метод исследования респираторной механики. Метод основан на использовании форсированных осцилляций разной частоты, которые подаются в ДП [6]. От других методов исследования вентиляционной функции легких ИОС выгодно отличается тем, что все измерения осуществляются при спокойном дыхании в течение 30–60 с. Отсутствие необходимости выполнения форсированных дыхательных маневров позволяет использовать ИОС для обследования пожилых пациентов, больных с когнитивными и двигательными расстройствами, тяжелыми нарушениями вентиляции.

Цель исследования

Целью данной работы было сравнение ИОС с традиционными функциональными методами внешнего дыхания и изучение ее возможности в диагностике нарушений респираторной функции у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте.

Материалы и методы исследования

Выполнено обсервационное поперечное когортное исследование. В исследование были включены 57 пациентов: 55 (97%) мужчин и 2 (3%) женщины, медиана возраста 69 (65–73) лет, проходивших лечение и наблюдение в 2017–2019 гг. в ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации. Курящие или бывшие курильщики составляли 93% (39 и 54% соответственно), некурящие — 7%. Центральный рак легких (ЦР) диагностирован у 22 (39%), периферический рак легких (ПР) — у 35 (61%) пациентов.

Всем пациентам проводились ИОС, бодиплетизмография, спирометрия, исследование ДСЛ на аппарате Master Screen (*Viasys Healthcare*, Германия). Все исследования выполнены с соблюдением международных стандартов качества их проведения [7–10]. Диффузионная способность легких оценивалась методом однократного вдоха с задержкой дыхания для монооксида углерода (СО) [9].

В результате исследования были проанализированы:

- 1) показатели ИОС: общего дыхательного сопротивления (дыхательного импеданса) при частоте осцилляций 5 Гц (Z_5); резистивного компонента дыхательного импеданса (резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц (R_5 и R_{20} соответственно); реактивного компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц (реактанса, X_5), величина которого оценивалась по разнице между его должным и измеренным значениями ($\Delta X_5 = X_{5\text{долж}} - X_{5\text{факт}}$); частотной зависимости резистанса: относительной — $(R_5 - R_{20})/R_5 \times 100\%$ и $(R_5 - R_{20})/R_{20} \times 100\%$, и абсолютной — $(R_5 - R_{20})$; резонансной частоты (F_{res}); площади реактанса (A_X);
- 2) показатели бодиплетизмографии: статических легочных объемов и емкостей, таких как жизненная емкость легких (ЖЕЛ), емкость вдоха ($E_{\text{вд}}$), резервный объем выдоха ($PO_{\text{вд}}$), общая емкость легких (ОЕЛ), остаточный объем легких (ООЛ), его доля в общей емкости легких (ООЛ/ОЕЛ), внутригрудной объем газа (ВГО);

показателей бронхиального сопротивления: общего бронхиального сопротивления ($R_{aw\text{общ}}$), бронхиального сопротивления на выдохе ($R_{aw\text{выд}}$), бронхиального сопротивления на вдохе ($R_{aw\text{вд}}$);

- 3) показатели спирометрии: ФЖЕЛ, ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, ОФВ₁/ЖЕЛ, средней объемной скорости на участке кривой поток–объем форсированного выдоха между 25 и 75% ФЖЕЛ ($СОС_{25-75}$);
- 4) показатели ДСЛ: фактор переноса DLCO и его отношение к альвеолярному объему (VA) — $DLCO/VA$.

Интерпретация показателей внешнего дыхания осуществлялась с учетом международных и отечественных рекомендаций [11–13]. Выраженность вентиляционных нарушений, выявленных с помощью ИОС, оценивалась по степени отклонения базовых показателей R_5 и X_5 : легкие (1 степень), умеренные (2 степень), тяжелые (3 степень), крайне тяжелые (4 степень) [14].

Статистическая обработка результатов выполнена методами описательной статистики с применением прикладного пакета программ STATISTICA 10.0. Описательная статистика для непрерывных переменных с ненормальным распределением представлена размером выборки (n) и медианой (Me) (интерквартильный размах). Для сравнения изучаемых параметров в зависимости от локализации опухолевого процесса в легких (ЦР или ПР) проведен статистический анализ с помощью U -критерия Манна–Уитни. Корреляционный анализ выполнен с использованием ранговой корреляции Спирмена. Величина уровня статистической значимости p принята равной 0,05.

Результаты и обсуждение

Проведен анализ результатов легочных функциональных методов во всей группе в целом (1-я группа), а также пациентов с ЦР (2-я группа) и ПР (3-я группа) по отдельности.

Характеристика пациентов, а также значения показателей механики дыхания, ДСЛ и ИОС в трех группах представлены в табл. 1.

Анализ всей группы показал, что по данным спирометрии и бодиплетизмографии вентиляционные нарушения были выявлены у 54 (95%) пациентов, из них у 52 (96%) по обструктивному типу [индекс Тиффно (ИТ) <70%, общая емкость легких (ОЕЛ) >80% долж.], у 1 — по рестриктивному типу (ИТ >70%, ОЕЛ <80% долж.) и у 1 — по смешанному типу (ИТ <70%, ОЕЛ <80% долж.). У 3 (5%) пациентов вентиляционных нарушений выявлено не было. Таким образом, в обследованной группе у подавляющего большинства больных раком легких выявлен обструктивный тип вентиляционных

Таблица 1

Характеристика пациентов, показатели спирометрии, бодиплетизмографии, ДСЛ и ИОС всей группы в целом (1-я группа), пациентов с ЦР (2-я группа) и пациентов с ПР (3-я группа) (n — количество пациентов в группе)

Показатель	1-я группа	2-я группа	3-я группа	p*
	(n=57)	ЦР (n=22)	ПР (n=35)	
Возраст, годы	69 (8)	66 (6)	70 (9)	0,009
Рост, см	171 (7)	171 (5)	169 (10)	0,7
ИМТ, кг/м ²	29 (6,5)	29 (7)	29 (6)	1,0
ЖЕЛ, %долж.	98 (19)	97 (16)	98 (23)	0,6
ФЖЕЛ, %долж.	88 (20)	86 (17)	88 (29)	0,8
ОФВ ₁ , %долж.	72 (36)	68 (25)	77 (37)	0,2
ОФВ ₁ /ЖЕЛ, %	54 (15)	53 (10)	56 (16)	0,5
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, %	65 (14)	63 (13)	66 (14)	0,2
СОС ₂₅₋₇₅ , %долж.	38 (28)	32 (23)	45 (31)	0,3
ПОСвыд, %долж.	67 (29)	63 (18)	70 (32)	0,4
ОЕЛ, %долж.	104 (21)	103 (14)	104 (26)	0,5
ВГО, %долж.	111 (38)	108 (28)	111 (46)	0,8
Евд, %долж.	102 (29)	100 (24)	105 (28)	0,2
РОВыд, %долж.	74 (56)	80 (41)	67 (58)	0,3
ООЛ, %долж.	118 (42)	119 (34)	118 (51)	0,7
ООЛ/ОЕЛ, %долж.	109 (29)	112 (19)	108 (32)	0,9
Raw _{общ} , кПа·с/л	0,46 (0,37)	0,46 (0,38)	0,46 (0,39)	0,8
Raw _{выд} , кПа·с/л	0,60 (0,52)	0,56 (0,49)	0,61 (0,58)	0,7
Raw _{вд} , кПа·с/л	0,36 (0,18)	0,34 (0,23)	0,36 (0,17)	0,7
DLCO, %долж.	78 (27,0)	77 (26)	80 (28)	0,9
DLCO/VA, %долж.	96 (24)	98 (15)	95 (36)	0,5
Z5, %долж.	133 (100)	133 (113)	136 (97)	0,6
R5, %долж.	130 (90)	128 (93)	133 (88)	0,7
R20, %долж.	100 (31)	106 (36)	96 (33)	0,3
(R5–R20)/R5, %	34 (26)	33 (27)	35 (26)	0,9
(R5–R20)/R20, %	52 (58)	50 (63)	53 (58)	0,3
(R5–R20), кПа·с/л	0,12 (0,18)	0,13 (0,21)	0,12 (0,19)	0,9
deltaX5, кПа·с/л	0,11 (0,17)	0,13 (0,19)	0,10 (0,15)	0,4
AX, кПа/л	1,1 (2,2)	1,06 (1,94)	1,16 (2,73)	0,8
F _{res} , Гц	20 (10)	20 (7)	20 (10)	0,8

Примечание: данные представлены как медиана (интерквартильный размах); * U-критерий Манна-Уитни.

нарушений: снижение ОФВ₁ при снижении ОФВ₁/ЖЕЛ, ОФВ₁/ФЖЕЛ, СОС₂₅₋₇₅, тогда как ЖЕЛ и ОЕЛ оставались в пределах нормы. В пределах нормальных значений сохранялись также ВГО, ООЛ, отношение ООЛ/ОЕЛ, тогда как Raw_{вд}, Raw_{общ} и Raw_{выд} были увеличены.

Диффузионная способность легких была снижена (менее 80% долж.) у 30 (53%) пациентов.

По данным ИОС в среднем по группе были выявлены патологическая частотная зависимость резистанса, увеличение AX, F_{res}, тогда как показатели R5, R20 и X5 находились в пределах нормальных значений.

Изменения базовых показателей R5 и X5 были выявлены у 26 (45%) пациентов: у 4 пациентов (7%) — 1 степени, у 10 (18%) — 2 степени, у 6 (10%) — 3 степени, у 6 (10%) — 4 степени тяжести. Степень отклонения показателей ИОС не всегда соответствовала степени вентиляционных нарушений, установленных с помощью спирометрии и бодиплетизмографии. Так, например, у пациентов с легкой обструкцией по данным спирометрии были выявлены нарушения механики дыхания по данным ИОС умеренной степени у 2 пациентов, тяжелой степени — у 2 пациентов, крайне тяжелой степени — у 1 пациента. Кроме того, у 7 пациентов из числа тех, у которых по данным бодиплетизмографии «воздушные ловушки» диагностированы не были, были выявлены «воздушные ловушки» при выполнении ИОС.

У 31 (55%) пациента базовые показатели R5 и X5 оставались в пределах нормальных значений. Однако у 17 (55% пациентов из данной группы, что составило 30% всех обследованных) было выявлено увеличение AX и/или (R5–R20) (0,33 кПа/л и более [15] и более 0,07 кПа·с/л [16] соответственно), что дало возможность судить о наличии изменений в периферических отделах легких у этих пациентов [16, 17]. Таким образом, включение в алгоритм интерпретации результатов ИОС таких параметров, как AX и (R5–R20), позволило выявить нарушения механики дыхания у 75% пациентов с раком легких. Кроме того, обратил на себя внимание тот факт, что у двух пациентов из трех, у которых не было выявлено вентиляционных нарушений по данным спирометрии и бодиплетизмографии, были увеличены AX и (R5–R20), что указывало на наличие у этих пациентов дистальной обструкции ДП.

При сравнении 2-й и 3-й групп больных с ЦР и ПР соответственно были выявлены статистически значимые различия по возрасту: пациенты с ЦР были моложе пациентов с ПР. По всем остальным показателям спирометрии, бодиплетизмографии, ДСЛ, ИОС статистически значимые различия выявлены не были. Однако у больных ЦР отмечались более низкие значения показателей ОФВ₁ и DLCO (в среднем по группе умеренное и легкое снижение соответственно), тогда как

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа показателей спирометрии, бодиплетизмографии, ДСЛ и ИОС по Спирмену у больных раком легких (n=57)

Показатель	R5, %долж.	R20, %долж.	(R5-R20)/R5, %	(R5-R20)/R20, %	R5-R20, кПа·с/л	deltaXs5, кПа·с/л	F _{res} , Гц	AX, кПа/л
ЖЕЛ, %долж.	-0,54	-0,33	-0,60	-0,60	-0,63	-0,59	-0,65	-0,65
ФЖЕЛ, %долж.	-0,67	-0,45	-0,68	-0,68	-0,72	-0,70	-0,76	-0,76
ОФВ ₁ , %долж.	-0,71	-0,50	-0,68	-0,68	-0,73	-0,74	-0,78	-0,77
ОФВ ₁ /ЖЕЛ, %	-0,57	-0,43	-0,49	-0,49	-0,53	-0,58	-0,58	-0,57
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, %	-0,44	-0,30	-0,38	-0,38	-0,40	-0,47	-0,46	-0,44
ОЕЛ, %долж.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
ООЛ, %долж.	0,27	NS	0,27	0,27	0,29	0,27	0,40	0,34
ООЛ/ОЕЛ, %	0,54	0,32	0,56	0,56	0,59	0,58	0,70	0,66
ВГО, %долж.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Raw _{общ} , кПа·с/л	0,8	0,57	0,73	0,73	0,8	0,78	0,86	0,84
DLCO, %долж.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,28	NS

Примечание: NS — достоверных корреляционных связей не выявлено.

у больных ПР снижение ОФВ₁ было легкой степени, показатель DLCO находился на нижней границе нормы. Кроме того, у больных ПР было выявлено более выраженное увеличение бронхиального сопротивления, снижение PO_{выдг}, увеличение (R5-R20)/R5, более значимое увеличение AX, что позволяет судить о более выраженной патологии периферических отделов ДП по сравнению с ЦР.

Корреляционный анализ показателей спирометрии, бодиплетизмографии, ДСЛ и ИОС по Спирмену у больных раком легких позволил выявить следующие зависимости (табл. 2).

Были выявлены статистически значимые взаимосвязи:

- умеренная обратная корреляционная зависимость ЖЕЛ, ОФВ₁/ЖЕЛ, ОФВ₁/ФЖЕЛ с параметрами ИОС;
- сильная обратная корреляционная зависимость ФЖЕЛ с (R5-R20), deltaX5, F_{res}, AX и умеренная обратная корреляционная зависимость с R5, R20, (R5-R20)/R5, (R5-R20)/R20;
- сильная обратная корреляционная зависимость ОФВ₁ с R5, (R5-R20), deltaX5, F_{res}, AX и умеренная обратная корреляционная зависимость с R20, (R5-R20)/R5, (R5-R20)/R20;
- слабая прямая корреляционная зависимость ООЛ с параметрами ИОС, за исключением F_{res} и AX, с которыми выявлена умеренная прямая корреляционная связь;
- умеренная прямая корреляционная зависимость ООЛ/ОЕЛ с параметрами ИОС, за исклю-

чением F_{res} с которым выявлена сильная прямая корреляционная связь;

- сильной прямой корреляционной зависимости Raw_{общ} с параметрами ИОС, за исключением R20, с которым выявлена умеренная прямая корреляционная связь.

Статистически значимых корреляционных связей параметров ИОС с ОЕЛ, ВГО и DLCO выявлено не было.

Выводы

1. Импульсная осциллометрия может быть использована для оценки вентиляционной функции у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте.
2. Статистически значимых различий показателей функциональных методов исследования внешнего дыхания (спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста, импульсной осциллометрии) у больных с центральным и периферическим раком легких не установлено.
3. Показатели импульсной осциллометрии находятся в статистически значимой зависимости от показателей традиционных функциональных методов исследования внешнего дыхания у больных раком легких.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Исследование проводилось без участия спонсоров.

Список литературы

1. Epidemiology of lung cancer in China. Maomao Cao and Wanqing Chen. *Thorac. Cancer* 2019 Jan; 10 (1): 3–7. doi: 10.1111/1759-7714.12916.
2. Мосина Н.В., Гаврилов П.В., Прохоров И.Ю., Мосин И.В. Высокодифференцированная аденокарцинома легкого. Диагностика и прогнозирование течения заболевания на основании рентгеноморфологического сопоставления. *Медицинский альманх* 2019; 7 (3): 66–72. doi: 10.36422/2307-6348-2019-7-3-66-72. [Mosina N.V., Gavrilov P.V., Prokhorov I.Yu., Mosin I.V. Highly differentiated adenocarcinoma of the lung. Diagnosis and prediction of the course of the disease based on x-ray morphological comparison. *Meditsinskiy al'manx* 2019; 7 (3): 66–72 (In Russ.)].
3. Alberg A.J., Brock M.V., Ford J.G., Samet J. M., Spivack S.D. Epidemiology of Lung Cancer. *Diagnosis and Management of Lung Cancer*, 3rd ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *CHEST* 2013 May; 143 (5 Suppl): e1S–e29S. doi: 10.1378/chest.12-2345.
4. Dai J., Yang P., Cox A., Jiang G. Lung cancer and chronic obstructive pulmonary disease: From a clinical perspective. *Oncotarget* 2017; 8: 18513–18524. doi: 10.18632/oncotarget.14505.
5. Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) 2019. Доступно октябрь, 2019: <http://www.goldcopd.org>.
6. Савушкина О.И., Черняк А.В., ред. Легочные функциональные тесты: от теории к практике. Руководство для врачей. М.: Фирма Стром 2017; 192 [Savushkina O.I., Chernyak A.V., red. Pulmonary function tests: from theory to practice. A guide for doctors. M.: Firma Strom 2017; 192 (In Russ.)].
7. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V. et al. Standardisation of spirometry. *Eur. Respir. J.* 2005. 26 (2): 319–337. doi: 10.1183/09031936.05.00034805.
8. Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (3): 511–522. doi: 10.1183/09031936.05.00035005.
9. MacIntyre N., Crapo R.O., Viegi G. et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (4): 720–735. doi: 10.1183/09031936.05.00034905.
10. Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur. Respir. Mon.* 2005; 31: 72–105.
11. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. doi: 10.1183/09031936.05.00035205.
12. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю. и др. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. *Пульмонология* 2014; (6): 11–23. [Chuchalin A.G., Aisanov Z.R., Chikina S.Yu. et al. Federal clinical guidelines of the Russian Respiratory Society on the use of spirometry. *Pulmonology* 2014; (6): 11–23 (In Russ.)].
13. Шик Л.Л., Канаев Н.Н. Руководство по клинической физиологии дыхания. Ленинград 1980; 376. [Shik L.L., Kanaev N.N. Guide to the clinical physiology of respiration. Leningrad 1980; 376 (In Russ.)].
14. Winkler J., Hagert-Winkler A., Wirtz H., Hoheisel G. Die moderne Impulsoszillometrie im Spektrum lungenfunktioneller Messmethoden. *Pneumologie* 2009; 63: 461–469. doi: 10.1055/s-0029-1214938.
15. Brashier B., Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe* 2015; 11 (1): 57–65. doi: 10.1183/20734735.020514.
16. Galant S.P., Komarow H.D., Shin H.W., Siddiqui S., Lipworth B.J. The case for impulse oscillometry in the management of asthma in children and adults. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 2017; 118 (6): 664–671. doi: 10.1016/j.ana.2017.04.009.
17. Bickel S., Popler J., Lesnick B., Eid N. Impulse Oscillometry Interpretation and Practical Applications. *CHEST* 2014; 146 (3): 841–847. doi: 10.1378/chest.13-1875.

Поступила в редакцию 17.11.2019 г.

Сведения об авторах:

Савушкина Ольга Игоревна — кандидат биологических наук, заведующая отделением исследований функции внешнего дыхания Центра функционально-диагностических исследований Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко; 105094, Москва, Госпитальная пл., д. 3; e-mail: olga-savushkina@yandex.ru; SPIN-код: 2988-8700, AuthorID: 964904, ORCID 0000-0002-7486-4990;

Черняк Александр Владимирович — кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией функциональных и ультразвуковых методов исследования Научно-исследовательского института пульмонологии ФМБА России; 115682, Москва, Ореховый бульвар, д. 28; e-mail: achi2000@mail.ru; SPIN-код: 9328-6440, AuthorID: 687383, ORCID 0000-0002-2001-5504;

Крюков Евгений Владимирович — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, начальник Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко; 105094, Москва, Госпитальная пл., д. 3; e-mail: evgeniy.md@mail.ru; SPIN-код: 3900-3441; AuthorID: 879052, ORCID 0000-0002-8396-1936;

Зайцев Андрей Алексеевич — доктор медицинских наук, главный пульмонолог Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко; 105094, Москва, Госпитальная пл., д. 3; e-mail: a-zaichev@yandex.ru; SPIN-код: 6549-5154, AuthorID: 217005, ORCID 0000-0002-0934-7313.