

О значении капнометрического исследования при обследовании курящих лиц и больных с начальными проявлениями хронической обструктивной болезни легких

П.В.Стручков^{1,2}, О.Е.Борисова^{1,2}, А.В.Иванушкина¹, О.С.Цека², А.В.Потемкин², Е.О.Цека², И.А.Маничев³, В.Г.Щербицкий³

1 – ФГБОУ ДПО "Институт повышения квалификации ФМБА России": 123371, Москва, Волоколамское шоссе, 91;

2 – ФГБУЗ "Клиническая больница № 85" ФМБА России: 115409, Москва, ул. Москворечье, 16;

3 – Учебно-научно-производственное республиканское унитарное предприятие "Унитехпром БГУ": 220108, Республика Беларусь, Минск, ул. Курчатова, 1

Резюме

Изучалась возможность использования капнометрии для выявления ранних нарушений функции легких у курящих. Сопоставлялись данные капно- и спирометрии, выявлены наиболее информативные показатели при проведении капнографии. В статье рассматриваются данные капно- и спирометрии (кривая поток–объем) в 3 группах: 1-я ($n = 25$) – некурящие с нормальными показателями спирометрии; 2-я ($n = 25$) – курящие (индекс курения – 3–63 пачко-лет; медиана – 17 (5; 25)) с нормальными показателями спирометрии; 3-я ($n = 25$) – курящие и некурящие с обструктивными нарушениями (у большинства – легкой степени; объем форсированного выдоха за 1-ю секунду $> 70\%$). Проанализированы показатели кривых, полученных при непрерывном измерении концентрации (парциального давления) углекислого газа (PCO_2) по времени и объему. В 3-й группе отмечено значимое увеличение наклона альвеолярной фазы на капнограмме как при спокойном, так и при глубоком выдохе, тенденция к альвеолярной гипервентиляции. Во 2-й группе даже при нормальных показателях, полученных при спирометрии, выявлены аналогичные изменения, но менее выраженные. Сделан вывод о возможности использования капнометрии для выявления ранних нарушений респираторной функции у курильщиков до начала выявления обструктивных нарушений при спирометрии. Показано, что более информативным оказался анализ зависимости PCO_2 по времени.

Ключевые слова: капнометрия, капноволнометрия, равномерность соотношения вентиляции и кровотока в легких, дыхательная недостаточность, спирометрия.

DOI: 10.18093/0869-0189-2015-25-2-167-174

An importance of capnography in smokers and in patients with early stage chronic obstructive pulmonary disease

P.V.Struchkov^{1,2}, O.E.Borisova^{1,2}, A.V.Ivanushkina¹, O.S.Tseka², A.V.Potemkin², E.O.Tseka², I.A.Manichev³, V.G.Sherbitsky³

1 – Federal Institution of Additional Education "Institute of Postgraduate Training", Federal Medical and Biological Agency of Russia: 91, Volokolamskoe av., Moscow, 123371, Russia;

2 – State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia: 16, Moskvorech'e str., Moscow, 115409, Russia;

3 – Educational Academic and Industrial National Unitary Concern "Unitechprom BGU": 1, Kurchatova str., Minsk, 220108, Belarus' Republik

Summary

The aim of this study was to evaluate diagnostic value of capnography for early detection of lung function disorders in smokers. *Methods.* We compared results of capnography and spirometry and selected the most informative capnographic parameters in three groups of patients ($n = 25$ each): in non-smokers with normal spirometry, in smokers with normal spirometry and both in smokers and non-smokers with airway obstruction. Curves were obtained for continuous measurement of CO_2 partial tension (PCO_2) against time and volume. *Results.* A significant increase in the slope of capnographic alveolar phase during both tidal and deep expiration and a tendency to alveolar hyperventilation were found in obstructive patients. Similar, but less prominent results were obtained in smokers with normal spirometry. *Conclusion.* Capnography could be useful for early detection of lung function disorders in smokers before preceding occurrence of spirometric abnormalities (airway obstruction). PCO_2 measurement against time was the most valuable parameter.

Key words: capnography, volumetric capnography, ventilation / perfusion ratio, respiratory failure, spirometry.

На сегодняшний день в большинстве кабинетов функциональной диагностики при исследовании функции внешнего дыхания проводится только спирометрия, с помощью которой выявляются преимущественно обструктивные нарушения в случае обструкции бронхов среднего и крупного калибра. Сужение мелких (< 2 мм) дыхательных путей мало сказывается на бронхиальном сопротивлении и практически не ощущается пациентом.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ), как правило, начинается с дистальных дыхательных путей, длительно протекает без явных клинических проявлений (кашля, одышки) и может не сопровождаться обструктивными нарушениями при спирометрии, поэтому представляют интерес методы, при помощи которых оценивается состояние респираторной зоны легких, включающей терминальные отделы воздухопроводящих путей и аль-

веолы. Некоторые заболевания – альвеолиты, бериллиоз, некоторые интерстициальные заболевания – также преимущественно ограничиваются респираторной зоной легкого. Поражение респираторной зоны может сопровождаться тяжелой дыхательной недостаточностью при нормальных спирометрических показателях.

Одним из методов, с помощью которых косвенно оценивается состояние респираторной зоны, является капнометрия. Метод широко использовался, в т. ч. в России (1960–1980), когда имелись доступные недорогие капнографы [1–6]. В последние 20–30 лет в нашей стране метод используется недостаточно широко из-за отсутствия доступной аппаратуры. Капнометрия основана на непрерывном измерении концентрации (парциального давления) углекислого газа (PCO_2) при спокойном дыхании и выполнении ряда дыхательных проб (задержка дыхания на вдохе, углубленный выдох и т. п.). Дыхание проводится по открытому контуру при непрерывном отсасывании части воздуха на газоанализатор, работа которого чаще всего основана на принципе поглощения CO_2 в инфракрасной области [2]. При проведении капнометрии оцениваются следующие показатели:

- концентрация CO_2 в альвеолярном пространстве, что дает возможность оценить адекватность альвеолярной вентиляции уровню метаболизма, при этом выявляются альвеолярная нормо-, гипопии гипервентиляция соответственно;
- наклон альвеолярной фазы ($\Delta P / \Delta t$), при этом оценивается также равномерность распределения вентиляции и кровотока в легких [3, 4];
- соотношение величин мертвого пространства (МП) (функционального МП, т. е. суммы анатомического и альвеолярного МП) и дыхательного объема;
- мониторинг дыхания, его частота и глубина, что широко используется в отделениях интенсивной терапии и в анестезиологической практике [7].

Наиболее частыми причинами неравномерности распределения вентиляции и кровотока в легких является разной степени выраженности обструкция мелких дыхательных путей в разных участках, нарушения эластических свойств легких, микроциркуляции в легких, очаговые воспалительные и фиброзные процессы в легочной ткани [8]. На ранней стадии ХОБЛ (предболезнь), когда при спирометрии обструктивные нарушения еще не определяются, подобные расстройства выявляются с помощью капнографии [5]. Поскольку одним из основных этиологических факторов ХОБЛ является курение [9, 10], то представляет интерес влияние этого фактора на респираторную функцию легких на ранней стадии развития заболевания, когда обструктивные нарушения при спирометрии еще не регистрируются.

При расчете капнограммы по кривым зависимости PCO_2 используются 2 подхода: от времени [1–4] и от объема выдыхаемого воздуха (капноволюметрия) [11]. В 1-м случае оцениваются следующие по-

казатели: концентрация CO_2 в конце спокойного выдоха ($PetCO_2$); $\Delta P / \Delta t$ [3, 4]; угол между восходящей частью кривой и альвеолярной фазой (угол α); угол между альвеолярной фазой и нисходящей частью кривой (угол β) [12, 13]; индекс *Tulou* – разница значений $PetCO_2$ в конце максимально глубокого выдоха и в конце спокойного выдоха [14]. Рассчитывается также отношение объема МП к дыхательному объему (V_d / V_t).

При капноволюметрии (требуется одновременная запись спирограммы и капнограммы) рассчитываются $\Delta P / \Delta t$ при спокойном и глубоком выдохе, величины альвеолярного и анатомического МП и ряд других показателей [11].

Целью работы явились изучение возможности использования капнометрии для выявления ранних нарушений функции легких у курящих лиц, выявление наиболее информативных показателей капнограммы для решения поставленной задачи, а также сопоставление данных капно- и спирометрии.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие пациенты ($n = 75$) мужского пола в возрасте 23–70 лет (медиана (Me) = 39 (33; 46)), которые были разделены на 3 группы: 1-я ($n = 25$) – некурящие лица без жалоб и анамнестических указаний на заболевания органов дыхания; 2-я ($n = 25$) – курящие (индекс курения (ИК) – 3–63 пачко-лет; $Me = 17$ (5; 25) с нормальными показателями спирометрии; 3-я ($n = 25$) курящие – 22; некурящие – 3) – пациенты с обструктивными нарушениями при спирометрии (ИК – 8–80 пачко-лет; $Me = 28$ (23; 42)). При этом у 2 человек выявлена умеренная обструкция (объем форсированного выдоха за 1-ю секунду ($ОФВ_1$) = 65 и 68 %_{долж.}), у 1 – резко выраженная обструкция (кривая поток – объем типа "зуб акулы") ($ОФВ_1 = 32$ %_{долж.}), у остальных – легкая степень ($ОФВ_1 > 70$ %_{долж.}). Наличие бронхиальной обструкции и ее степень определялись по рекомендациям *American Thoracic Society / European Respiratory Society* (2005) [15].

Всем пациентам были выполнены спирометрия и капнометрия с использованием спироанализатора MAC-1 (УНП РУП "Унитехпром БГУ", Белоруссия). По показателям спирометрии ($ОФВ_1$; форсированная жизненная емкость легких – ФЖЕЛ; $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$; средняя скорость воздушного потока между 25 и 75 % ФЖЕЛ – $СОС_{25-75}$) оценивались наличие обструкции и степень ее выраженности; показатели капнометрии подвергались дальнейшей компьютерной обработке. Запись капнограммы проводилась в положении пациента сидя с перекрытым носовым дыханием в течение 1–2 мин до достижения ровного спокойного дыхания. После установления спокойного дыхания проводился маневр максимально глубокого выдоха после спокойного вдоха (рис. 1).

Данные прибора экспортировались в персональный компьютер и обрабатывались с помощью программы *Microsoft Office 2010*. В результате были получены 2 кривые зависимости концентрации CO_2 :

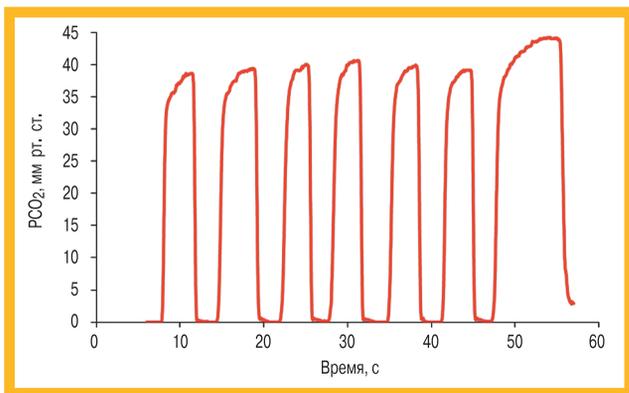


Рис. 1. Запись капнограммы (зависимость PCO_2 от времени). Первые 6 циклов – спокойное дыхание, 7-й – максимально глубокий выдох

Figure 1. Capnographic PCO_2 against time. The first 6 cycles were recorded during tidal breathing, the 7th cycle was recorded during maximal deep expiration.

от времени (капнометрия) и объема выдыхаемого воздуха (капноволуметрия).

На кривой концентрация CO_2 – время выделяются следующие точки и интервалы (рис. 2): А (начало подъема кривой) – начало выхода газа из смешанной зоны; АВ – выход газа из смешанной зоны; ВС – альвеолярная фаза – выход газа из альвеолярного пространства; С – конец выдоха, начало вдоха.

В ходе исследования анализировались следующие показатели кривой концентрация CO_2 – время:

- $PetCO_2$ – концентрация CO_2 в конце спокойного и максимально глубокого выдоха ($PetCO_{2\text{гл}}$) (см. рис. 2 – точка С). По значению $PetCO_2$ оценивалась адекватность альвеолярной вентиляции уровню метаболизма: нормо-, гипо-, гипервентиляция. В норме $PetCO_2 = 35\text{--}45$ мм рт. ст.;
- индекс *Tulou* [14];
- оценка величин углов: α – между интервалами АВ и ВС на кривой; β – между интервалом ВС и началом вдоха (см. рис. 2) при спокойном дыхании и глубоком выдохе – $\alpha_{\text{гл}}$, $\beta_{\text{гл}}$ [7, 12, 13];
- $\Delta PCO_2 / \Delta t$ спокойного и максимально глубокого выдоха [3, 4] – скорость прироста PCO_2 в альвео-

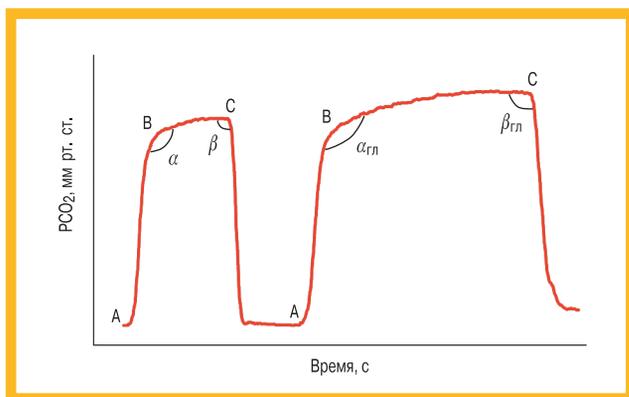


Рис. 2. Точки и интервалы на капнограмме, углы α и β : 1-й цикл – при спокойном дыхании; 2-й – при максимально глубоком выдохе

Figure 2. Point, intervals and angles α and β at a capnogram. The 1st cycle was measured during tidal breathing, the 2nd cycle was measured during maximal deep expiration

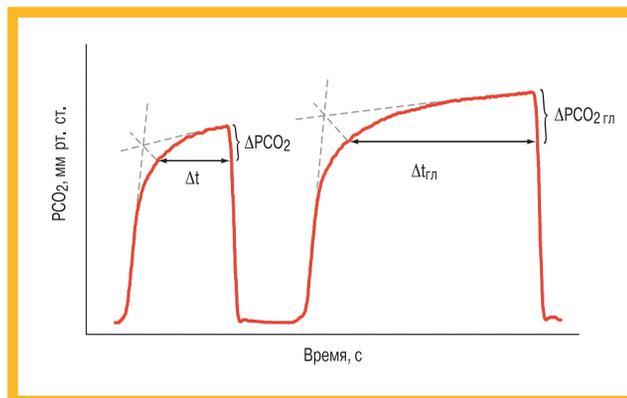


Рис. 3. Оценка величин $\Delta PCO_2 / \Delta t$ спокойного и максимально глубокого выдоха. Показан способ нахождения начала альвеолярной фазы как пересечение биссектрисы угла между касательными, проведенными к восходящей части капнограммы и к альвеолярной фазе капнограммы (по Р.С.Виницкой)

Figure 3. $\Delta PCO_2 / \Delta t$ assessment during tidal and maximal deep expiration (the alveolar phase begins at the intersection point of angle bisectors between tangents traced to the ascendant part of the capnogram and to the alveolar phase of the capnogram (according to R.S.Vinitskaya's method)

лярную фазу, отражающая степень неравномерности вентиляционно-перфузионных отношений (Δt – длительность альвеолярной фазы, ΔPCO_2 – прирост PCO_2 в альвеолярную фазу); точка начала альвеолярной фазы находилась как биссектриса угла между касательными, проведенными к восходящей части капнограммы и альвеолярной фазы) (рис. 3).

На кривой концентрация CO_2 – объем [11] анализировались следующие показатели (рис. 4):

- $\Delta PCO_2 / \Delta V$ спокойного и максимально глубокого выдоха;
- ΔPCO_2 за 1 л выдыхаемого воздуха при максимально глубоком выдохе.

Оценка достоверности различий указанных показателей между 3 группами проводилась с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллиса при уровне значимости 0,05. Попарное сравнение групп проводилось с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни с применением поправки Бонферони ($p = 0,0167$). Обработка результатов выполнена с помощью приложения *Microsoft Excel 2010* и пакета прикладных программ *Statistica 7*.

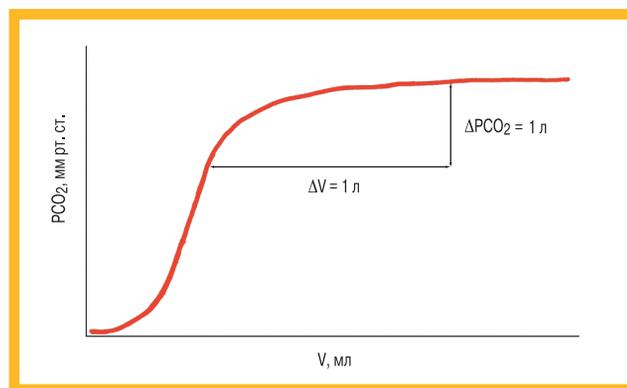


Рис. 4. Оценка показателей капноволуметрии

Figure 4. Assessment of volumetric capnography parameters

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлена описательная статистика всех изучаемых признаков в 3 группах.

В результате сравнения были выявлены статистически значимые различия между пациентами 3 групп по признакам: PetCO_2 , α -, $\alpha_{\text{тл}}$, $\beta_{\text{тл}}$, $\Delta P / \Delta t_{\text{тл}}$. Полученные данные отражают тенденцию к увеличению значений альвеолярной вентиляции: от 1-й ко 2-й группе у курильщиков и особенно – в 3-й группе при наличии обструкции, хотя во всех группах значение PetCO_2 соответствовало норме. Возрастание угла α от 1-й группы ко 2-й и 3-й и рост величины $\Delta P / \Delta t_{\text{тл}}$ отражает увеличение $\Delta P / \Delta t$ на капнограмме, что свидетельствует о нарастании неравномерности распределения вентиляции и кровотока в легких [2–4, 7, 12, 13]. При этом более значимые межгрупповые различия выявлялись для капнограммы углубленного выдоха.

При попарном сравнении установлены статистически значимые различия у больных 1-й и 3-й групп по всем ранее выявленным признакам (PetCO_2 , α , $\alpha_{\text{тл}}$, $\beta_{\text{тл}}$, $\Delta P / \Delta t_{\text{тл}}$); 2-й и 3-й – только по признакам PetCO_2 , α -, $\alpha_{\text{тл}}$; 1-й и 2-й – статистически значимых различий не выявлено (табл. 2).

Курение является основным этиологическим фактором развития ХОБЛ [9, 10]. В данном исследо-

вании принимали участие некурящие и курящие лица. И хотя диагноз ХОБЛ не у всех курящих отражался в медицинских документах, сам факт курения рассматривался как потенциальная предстация ХОБЛ. Установлено, что у пациентов с бронхиальной обструкцией даже легкой степени имеется увеличение $\Delta P / \Delta t$ на капнограмме по сравнению с нормой как при спокойном, так и (в большей степени) – при глубоком выдохе (рис. 5–9).

Проба с глубоким выдохом, впервые использованная *P.P.Tulou* [14], оказалась более информативной по сравнению с таковой при спокойном выдохе. Полученные результаты отражают наличие неравномерности распределения вентиляции и кровотока в легких [3–4, 16] у пациентов с бронхиальной обструкцией. Отмечена также тенденция к повышению уровня альвеолярной вентиляции у лиц с обструкцией, хотя значения PetCO_2 не выходили за пределы нормальных значений. Примеры сопоставления результатов капнографии и спирометрических данных у пациентов с разной степенью бронхиальной обструкции представлены на рис. 5–9. Во 2-й группе (курильщики без спирометрических признаков обструкции) показатели, полученные при проведении капнографии, занимали промежуточные значения между 1-й и 3-й группами, отражая тенденцию к развитию вентиляционно-перфузионных рассо-

Таблица 1
Результаты капнографии у пациентов 3 групп
Table 1
Capnography parameters in patients' groups

Показатель	1-я группа, n = 25			2-я группа, n = 25			3-я группа, n = 25			p
	Me	25 %	75 %	Me	25 %	75 %	Me	25 %	75 %	
PetCO_2 , мм рт. ст.	37,6	35,3	40,5	36,9	35	39,7	35	32	36,4	0,0178
$\text{PetCO}_{2\text{тл}}$, мм рт. ст.	41,5	38,9	45,5	42,2	39,5	44,2	39,4	36,1	43,7	0,1476
Индекс <i>Tulou</i> , мм рт. ст.	5,0	3,6	5,5	4,8	4,1	6	4,5	2,9	7,3	0,9817
α	106	103	111	106	103	110	112	107	120	0,0046
$\alpha_{\text{тл}}$	99	98	101	100	98	102	103	102	106	0,0001
β	83	78	85	80	77	85	80	71	82	0,0989
$\beta_{\text{тл}}$	89	87	90	86	85	89	86	80	87	0,0032
$\Delta P / \Delta t$, мм рт. ст. / с	1,8	1,3	2,2	1,7	1,4	2,4	2,1	1,7	2,8	0,1011
$\Delta P / \Delta t_{\text{тл}}$, мм рт. ст. / с	0,67	0,58	0,94	0,86	0,69	1,03	1,04	0,80	1,36	0,0024
ΔP за 1 л, мм рт. ст.	5,7	4,5	7,6	5,8	4,8	6,3	6,8	4,4	8,0	0,3764
$\Delta P / \Delta V$, мм рт. ст. / л	6,6	5,1	9,3	6,1	4,5	7,4	8,3	4,7	9,7	0,2732
$\Delta P / \Delta V_{\text{тл}}$, мм рт. ст. / л	4,9	4,4	6,8	5,2	3,9	6	5,5	3,8	7,6	0,6310

Примечание: Me 25 % и 75 % – значения 25-го и 75-го перцентилей.
Note: Me, mediana; 25% and 75%, 25th and 75th percentiles.

Таблица 2
Значения Me, интерквартильных размахов и уровней значимости попарного сравнения признаков в 3 группах
Table 2
Mediana, interquartile range and significance level in paired comparison between patients' groups

Признак	1-я группа	2-я группа	3-я группа	p_{1-2}	p_{2-3}	p_{1-3}
PetCO_2 , мм рт. ст.	37,6 (35,3; 40,5)	36,9 (35; 39,7)	35 (32; 36,4)	0,834	0,0148*	0,0143*
α	106 (103; 111)	106 (103; 110)	112 (107; 120)	0,841	0,0048*	0,0046*
$\alpha_{\text{тл}}$	99 (98; 101)	100 (98; 102)	103 (102; 106)	0,306	0,0005*	0,00007*
β	89 (87; 90)	86 (85; 89)	86 (80; 87)	0,078	0,1294	0,00059*
$\Delta P / \Delta t_{\text{тл}}$, мм рт. ст. / с	0,67 (0,58; 0,94)	0,86 (0,69; 1,03)	1,04 (0,80; 1,36)	0,069	0,0336	0,00128*

Примечание: * – статистически значимые различия по критерию Манна-Уитни при $p = 0,0167$.
Note: * – statistically significant difference in Mann-Whitney test for $p = 0,0167$.

гласований. Это согласуется с выводами *З.В.Воробьевой* [5], где были выявлены изменения на капнограмме в виде увеличения объема МП у больных ХОБЛ в начальной стадии при отсутствии спирометрических признаков бронхиальной обструкции. Можно предположить, что при ХОБЛ, основным этиологическим фактором которой является курение, поражение органов дыхания начинается с респираторной зоны легких. Поэтому с помощью капнометрии возможна ранняя диагностика респираторных нарушений у курильщиков задолго до появления признаков бронхиальной обструкции и клинических проявлений ХОБЛ. На рис. 10 представлен пример изменений на капнограмме у курильщика при нормальных спирометрических показателях (отсутствие спирометрических признаков обструкции).

Заключение

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

- развитие бронхиальной обструкции даже легкой степени у больных ХОБЛ сопровождается увеличением уровня альвеолярной вентиляции и развитием неравномерного распределения вентиляции и кровотока в легких;
- курение приводит к нарушениям распределения вентиляции и кровотока в легких по аналогии с таковыми при бронхиальной обструкции. Эти нарушения могут выявляться у курящих лиц даже при отсутствии спирометрических признаков бронхиальной обструкции;
- при помощи капнометрии выявляются ранние нарушения респираторной функции легких у курящих даже в случае отсутствия изменений при спирометрии;
- наиболее информативными показателями, полученными при проведении капнографии для выявления ранних нарушений респираторной функции легких у курящих, являются $\Delta P / \Delta t$, особенно при глубоком выдохе.

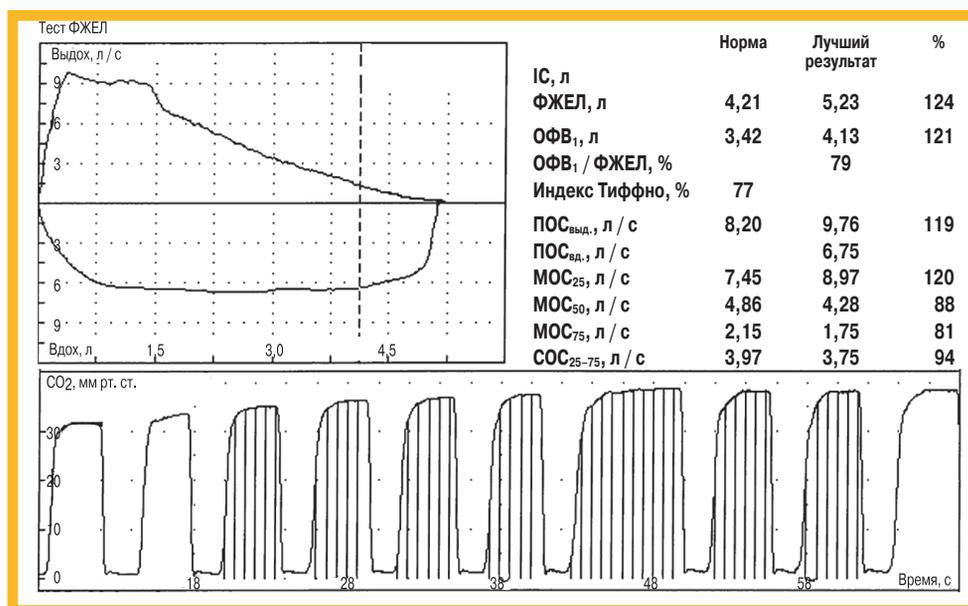


Рис. 5. Показатели кривой поток – объем и данные капнографии соответствуют норме: $ОФВ_1 / ФЖЕЛ = 79\%$; $ОФВ_1 = 121\%$ долж.; горизонтальное расположение альвеолярной фазы; 7-й цикл – глубокий выдох
 Figure 5. Normal parameters of flow-volume curve and capnogram: $FEV_1 / FVC, 79\%$ pred.; $FEV_1, 121\%$ pred., alveolar phase is horizontal; the 7th cycle is recorded during deep expiration

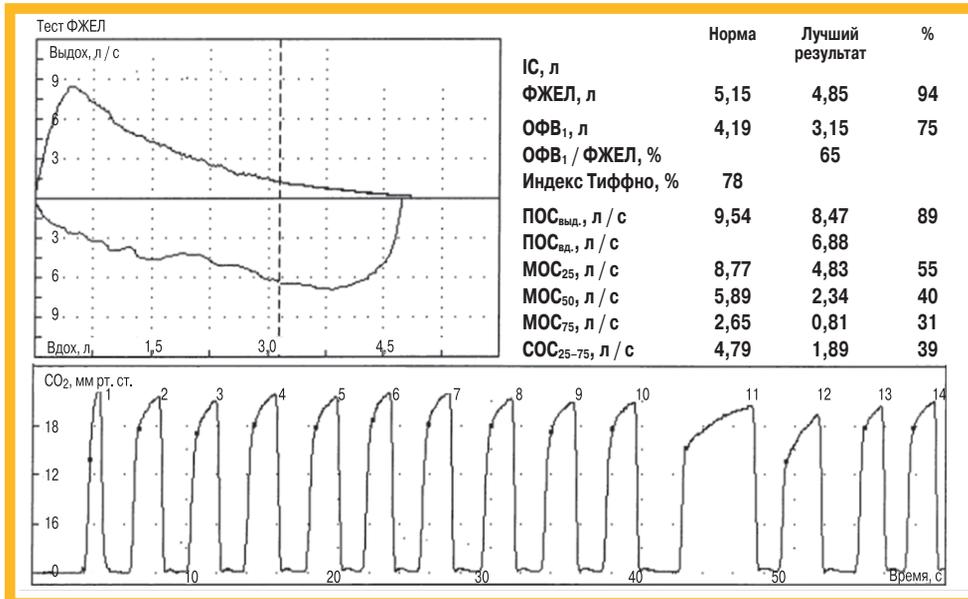


Рис. 6. Легкая степень обструкции, выявленная при спирометрии ($ОФВ_1 / ФЖЕЛ = 65\%$; $ОФВ_1 = 75\%$ долж.) и изменения на капнограмме с увеличенным $\Delta P / \Delta t$ и признаками альвеолярной гипервентиляции ($PetCO_2 \approx 20$ мм рт. ст.); 11-й цикл – глубокий выдох
 Figure 6. Mild airway obstruction in spirometry ($FEV_1 / FVC, 65\%$ pred.; $FEV_1, 75\%$ pred.) and an abnormal capnogram with increased slope of the alveolar phase and alveolar hyperventilation ($PetCO_2, 20$ mmHg). The 11th cycle is recorded during deep expiration

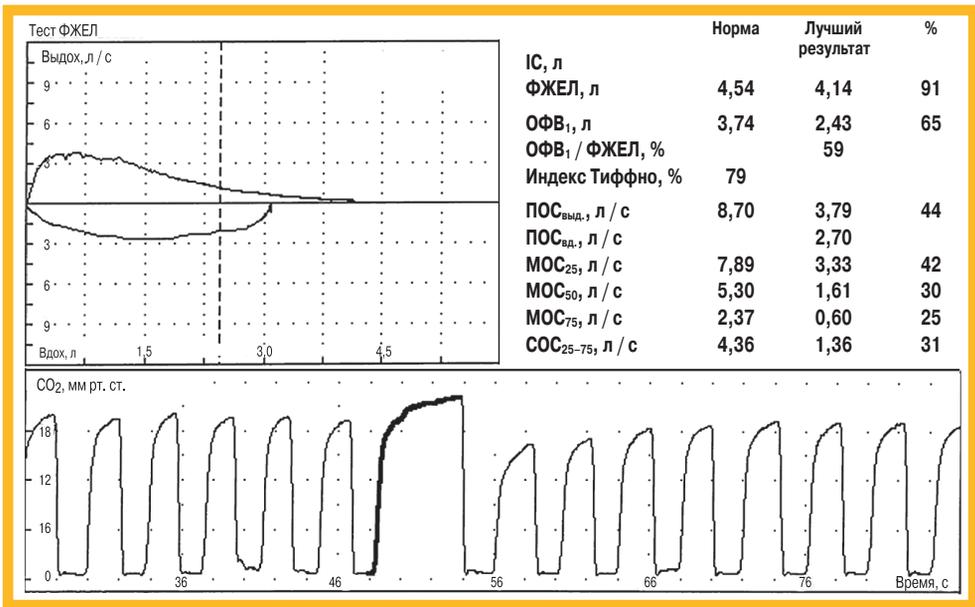


Рис. 7. Умеренная степень обструкции, выявленная при спирометрии (ОФВ₁ / ФЖЕЛ = 59 %, ОФВ₁ = 65 %_{долж.}) и изменения на капнограмме; альвеолярная гипервентиляция (PetCO₂ ≈ 28 мм рт. ст.)
Figure 7. Moderate airway obstruction in spirometry (FEV₁ / FVC, 59%_{pred.}; FEV₁, 65%_{pred.}) and an abnormal capnogram with alveolar hyperventilation (PetCO₂, 28 mmHg)

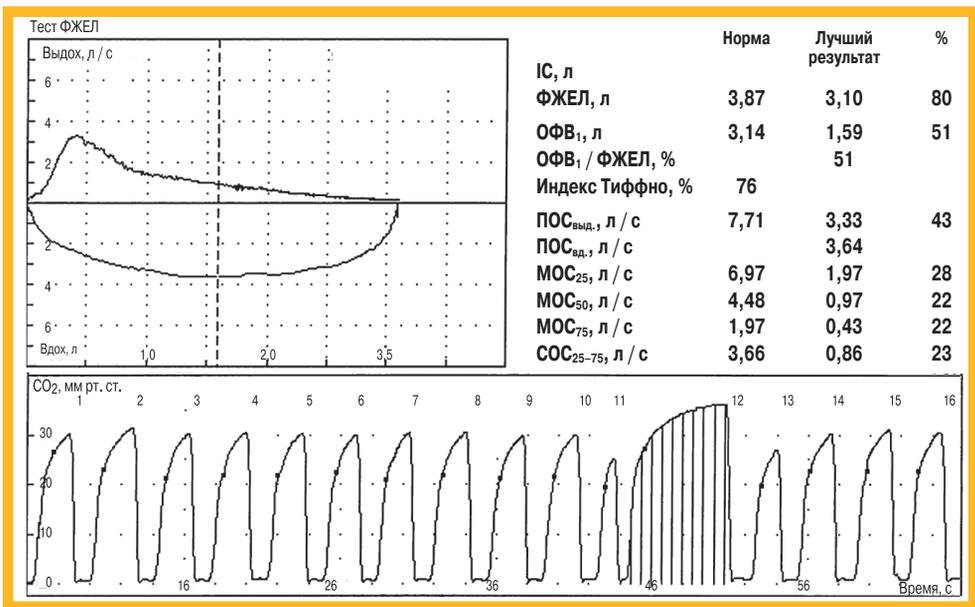


Рис. 8. Средняя степень обструкции, выявленная при спирометрии (ОФВ₁ / ФЖЕЛ = 51 %, ОФВ₁ = 51 %_{долж.}) и изменения на капнограмме: увеличение ΔP / Δt и индекса Tulou; альвеолярная гипервентиляция (PetCO₂ = 30 мм рт. ст.); 12-й цикл – глубокий выдох
Figure 8. Moderate airway obstruction in spirometry (FEV₁ / FVC, 51%_{pred.}; FEV₁, 51%_{pred.}) and an abnormal capnogram with increased slope of the alveolar phase, increased difference for PetCO₂ between deep and tidal expiration (Tulou index) and alveolar hyperventilation (PetCO₂, 30 mmHg). The 12th cycle is recorded during deep expiration

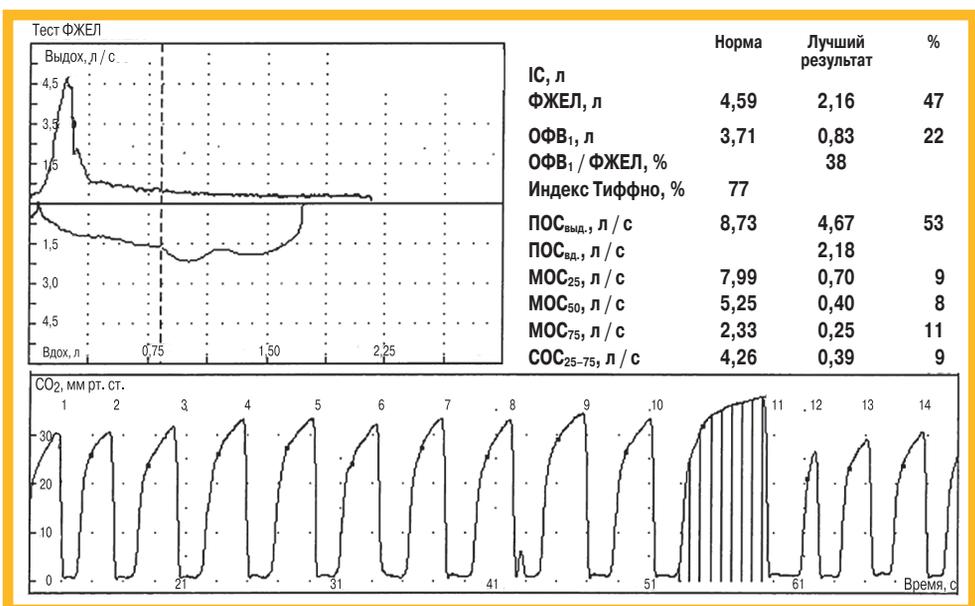


Рис. 9. Резко выраженная бронхиальная обструкция, выявленная при спирометрии (ОФВ₁ / ФЖЕЛ = 38 %, ОФВ₁ = 22 %_{долж.}), изменения на капнограмме (см. рис. 8); 11-й цикл – глубокий выдох
Figure 9. Severe airway obstruction in spirometry (FEV₁ / FVC, 38%_{pred.}; FEV₁, 22%_{pred.}) and an abnormal capnogram similar to that describes in the Fig. 8. The 11th cycle is recorded during deep expiration

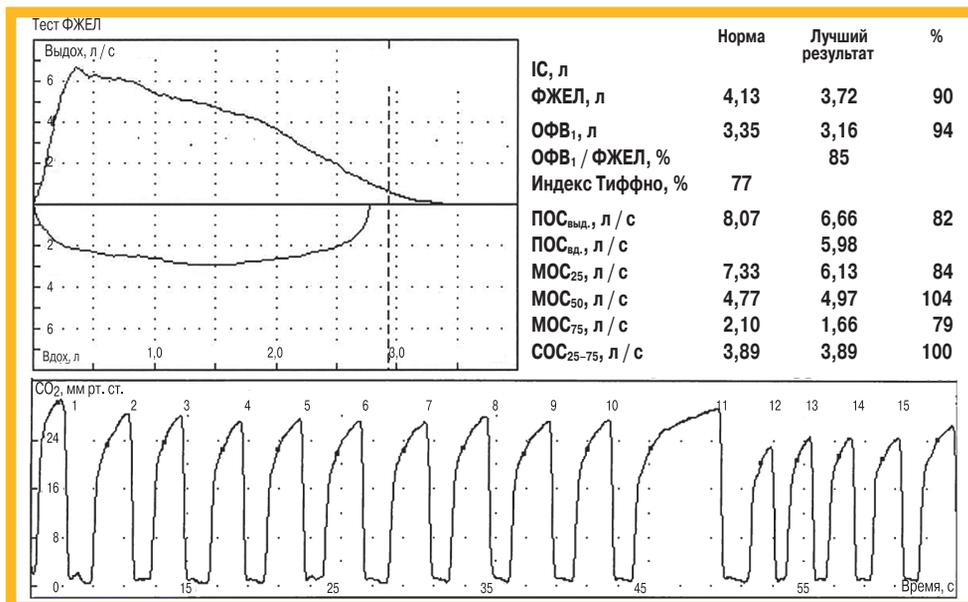


Рис. 10. Изменения на капнограмме (увеличение $\Delta P / \Delta t$; альвеолярная гипервентиляция, $P_{et}CO_2 = 30$ мм рт. ст.) при нормальной спирометрии (ОФВ₁ = 94 %_{доп.}, ОФВ₁ / ФЖЕЛ = 85 %) у курильщика (ИК – 60 пачколет); 11-й цикл – глубокий выдох
 Figure 10. An abnormal capnogram with increased slope of the alveolar phase, alveolar hyperventilation ($P_{et}CO_2$, 30 mmHg) in a smoker (smoking index 60) with normal spirometry (FEV₁ / FVC, 85%_{pred.}; FEV₁, 94%_{pred.}). The 11th cycle is recorded during deep expiration

Литература

1. Бокша В.Г., Карпов А.П. Изучение дыхательной функции легких методом капнографии. *Терапевтический архив*. 1972; 44 (8): 36–39.
2. Виноцкая Р.С., Цузмер Т.С., Коганова Н.А. Применение инфракрасного газоанализатора CO₂ для анализа альвеолярного воздуха. В кн.: Новые приборы газового анализа в современной медицине. Казань; 1967: 158–165.
3. Виноцкая Р.С., Коганова Н.А. Определение чувствительности дыхательного центра к CO₂ у человека. *Физиология*. СССР. 1967; 63 (4): 450–454.
4. Виноцкая Р.С., Коганова Н.А. Особенности определения минутного кровотока методом возвратного дыхания. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 1977; 2: 245–247.
5. Воробьева З.В. Функция внешнего дыхания при хронической обструктивной болезни легких в стадии 0 (ноль). *Функциональная диагностика*. 2005; 2: 29–32.
6. Редхаммер Р. Значение капнографии в оценке распределения "вентиляция–кровоток" в легких. В кн.: Функциональные исследования в пульмонологии. Ленинград; 1976: 57–61.
7. Юхно А.Н., Щелкунов В.С., Гуков Б.К. Применение длительной капнометрии в интенсивной терапии пульмонологических больных. В кн.: Сборник трудов III Национального Конгресса по болезням органов дыхания. СПб; 1992.
8. Уэст Дж. Физиология дыхания. Пер. с англ. М.: Мир; 1988.
9. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р. и др. Российское респираторное общество. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология*. 2014; 3: 15–54.
10. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. GOLD; 2014.
11. Kars A.H., Bogaard J.M., Stijnen T. et al. Dead space and slope indices from the expiratory carbon dioxide tension-volume curve. *Eur. Respir. J.* 1997; 10: 1829–1836.
12. van Meerten R.J. Expiratory gas concentration curves for examination of uneven distribution of ventilation and perfusion in the lung. First communication: theory. *Respiration*. 1970; 27: 552–564.

13. You B., Peslin R., Duvivier C. et al. Expiratory capnography in asthma. *Eur. Respir. J.* 1994; 7: 318–323.
14. Tulou P.P. Distribution of ventilation; clinical evaluation by rapid CO₂ analysis. *Dis. Chest*. 1966; 49: 139–146.
15. Brusasco V., Crapo R., Viegi G., eds. ATS / ERS Task force: Standardisation of lung function testing. *Eur. Respir. J.* 2005; 26: 720–735.
16. Сильвестров В.П., Семин С.Н., Марциновский В.Ю. Возможности капнографии в ранней диагностике обструктивных нарушений вентиляции. *Терапевтический архив*. 1989; 61 (3): 91–94.

Поступила 17.12.14
 УДК 616.24-036.12-07:616.24-008.7-07

References

1. Boksha V.G., Karpov A.P. Investigation of respiratory function of the lungs using capnography. *Terapevticheskiy arkhiv*. 1972; 44 (8): 36–39 (in Russian).
2. Vinitckaya R.S., Tszumer T.S., Koganova N.A. Use of CO₂ gas infrared analyzer for analysis of alveolar air. In: *Novye pribory gazovogo analiza v sovremennoy meditsine*. Kazan'; 1967: 158–165 (in Russian).
3. Vinitckaya R.S., Koganova N.A. Detection of CO₂ sensitivity of the respiratory center in human. *Fiziologiya*. SSSR. 1967; 63 (4): 450–454 (in Russian).
4. Vinitckaya R.S., Koganova N.A. Detection of blood minute circulation using re-breathing method. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 1977; 2: 245–247 (in Russian).
5. Vorob'eva Z.V. Lung function in stage 0 chronic obstructive pulmonary disease. *Funktsional'naya diagnostika*. 2005; 2: 29–32 (in Russian).
6. Redkhammer R.A. A significance of capnography for evaluation of ventilation–perfusion ratio in the lungs. In: *Functional investigation in pneumology*. Leningrad; 1976: 57–61 (in Russian).
7. Yukhno A.N., Shchelkunov V.S., Gukov B.K. Use of long-term capnography in intensive care of patients with respiratory diseases. In: *Collected scientific papers of the 3rd Russian National Congress on respiratory diseases*. Saint-Petersburg, 1992 (in Russian).
8. West J. *Respiratory Physiology*. Translated from English. Moscow: *Mir*; 1988 (in Russian).

9. Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aysanov Z.R. et al. Federal guidelines on diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease. *Pul'monologiya*. 2014; 3: 15–54 (in Russian).
10. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. GOLD; 2014.
11. Kars A.H., Bogaard J.M., Stijnen T. et al. Dead space and slope indices from the expiratory carbon dioxide tension-volume curve. *Eur. Respir. J.* 1997; 10: 1829–1836.
12. van Meerten R.J. Expiratory gas concentration curves for examination of uneven distribution of ventilation and perfusion in the lung. First communication: theory. *Respiration*. 1970; 27: 552–564.
13. You B., Peslin R., Duvivier C. et al. Expiratory capnography in asthma. *Eur. Respir. J.* 1994; 7: 318–323.
14. Tulou P.P. Distribution of ventilation; clinical evaluation by rapid CO₂ analysis. *Dis. Chest*. 1966; 49: 139–146.
15. Brusasco V., Crapo R., Viegi G., eds. ATS / ERS Task force: Standardisation of lung function testing. *Eur. Respir. J.* 2005; 26: 720–735.
16. Sil'vestrov V.P., Semin S.N., Martsinovskiy V.Yu. Possibilities of capnography for early diagnosis of ventilatory disorders. *Terapevticheskiy arkhiv*. 1989; 61 (3): 91–94 (in Russian).

Received December 17, 2014

UDC 616.24-036.12-07:616.24-008.7-07

Информация об авторах

Стручков Петр Владимирович – д. м. н., профессор, зав. кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики ФГБОУ ДПО "Институт повышения квалификации" ФМБА России, зав. отделением функциональной диагностики ФГБУЗ КБ № 85 ФМБА России; тел.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Борисова Ольга Евгеньевна – ассистент кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики ФГБОУ ДПО "Институт повышения квалификации" ФМБА России, врач отделения функциональной диагностики ФГБУЗ КБ № 85 ФМБА России; тел.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Иванушкина Алина Владимировна – клинический ординатор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики ФГБОУ ДПО "Институт повышения квалификации" ФМБА России; тел.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Цека Олег Сергеевич – д. м. н., профессор, главный врач ФГБУЗ "Клиническая больница № 85" ФМБА России; тел.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Потемкин Анатолий Викторович – к. м. н., зам. главного врача ФГБУЗ "Клиническая больница № 85" ФМБА России; тел.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Цека Евгения Олеговна – к. м. н., зав. центральной поликлиникой ФГБУЗ "Клиническая больница № 85" ФМБА России; тел.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Маничев Игорь Александрович – к. ф.-м. н., зав. лабораторией разработки оборудования для спирометрии УНП РУП "Унитехпром БГУ"; тел.: (37517) 398-12-12; e-mail: spirolab@unitechprom.by

Щербитский Виктор Георгиевич – к. ф.-м. н., научный сотрудник лаборатории разработки оборудования для спирометрии УНП РУП "Унитехпром БГУ"; тел.: (37517) 398-12-12; e-mail: spirolab@unitechprom.by

Author information

Struchkov Petr Vladimirovich, MD, Professor, Head of Department of Clinical Physiology and Functional Diagnosis, Federal Institution of Additional Education "Institute of Postgraduate Training", Federal Medical and Biological Agency of Russia; Chief of the Division of Functional Diagnosis, State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Borisova Olga Evgen'evna, Assistant Lecturer, Department of Clinical Physiology and Functional Diagnosis, Federal Institution of Additional Education "Institute of Postgraduate Training", Federal Medical and Biological Agency of Russia; a physician at the Division of Functional Diagnosis, State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Ivanushkina Alina Vladimirovna, resident physician, Department of Clinical Physiology and Functional Diagnosis, Federal Institution of Additional Education "Institute of Postgraduate Training", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (910) 465-59-26; e-mail: struchkov57@mail.ru

Tseka Oleg Sergeevich, MD, Professor, Hospital Chief Executive Officer, State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Potemkin Anatoliy Viktorovich, PhD, Deputy Chief, State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Tseka Evgeniya Olegovna, PhD, Head of Central Outpatient Hospital, State Institution "Clinical hospital N85", Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (499) 324-85-52; e-mail: info@kb85.ru

Manichev Igor Aleksandrovich, PhD in Physics and Mathematics, Head of Laboratory of Spirometry Equipment Development, Educational Academic and Industrial National Unitary Concern "Unitekhprom BGU"; tel.: (37517) 398-12-12; e-mail: spirolab@unitechprom.by

Shcherbitskiy Viktor Georgievich, PhD in Physics and Mathematics, Researcher, Laboratory of Spirometry Equipment Development, Educational Academic and Industrial National Unitary Concern "Unitekhprom BGU"; tel.: (37517) 398-12-12; e-mail: spirolab@unitechprom.by