

Современное состояние технологии спирометрии

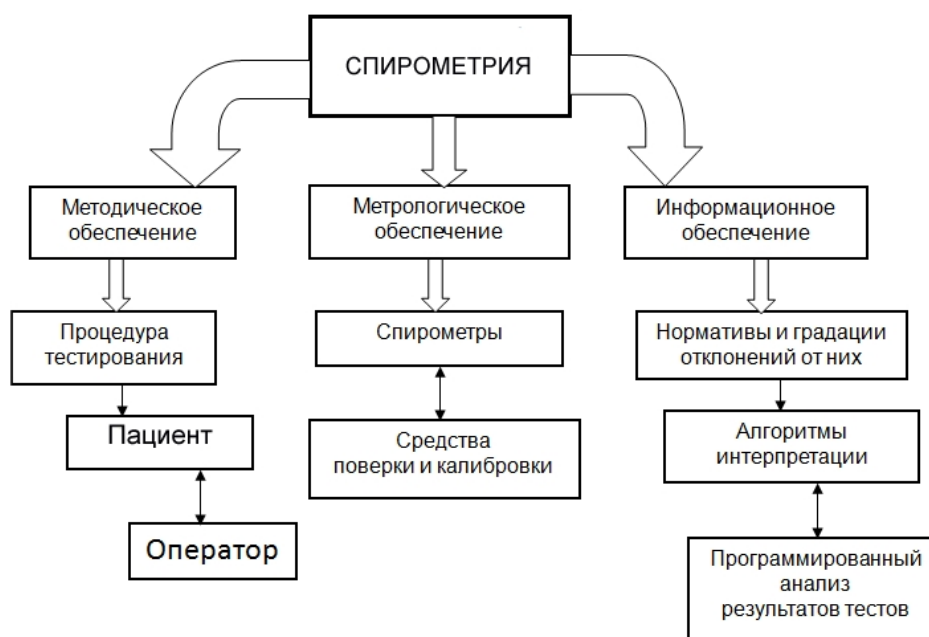
Мясный И.С., Клиническая больница «Феофания» Госуправления делами Украины;
Лопата В.А., Институт физиологии им. А.А. Богомольца НАН Украины;
Петренко Л. В., Клиническая больница «Феофания» Госуправления делами Украины;
Лыховський Ю.И., Клиническая больница «Феофания» Госуправления делами Украины

Резюме. Рассмотрены актуальные проблемы трёх компонентов спирометрии – аппаратного, методического и программного обеспечения. Описаны возможные пути решения этих проблем и совершенствования технологии спирометрии.

Ключевые слова: спирометрия, спирометр.

Термин «медицинская технология» применительно к спирометрии понимается как совокупность знаний физиологии дыхания, методики применения этих знаний в диагностике вентиляционной функции лёг-

ких (ВФЛ) и её аппаратного обеспечения. Взаимосвязь этих компонентов проявляется в том, что прогресс любого из них побуждает прогресс и развитие технологии в целом.



Соответственно, и проблемы, присущие компонентам технологии спирометрии, взаимосвязаны, а решение любой из них даёт импульс решениям смежных проблем.

Проблема совершенствования спирометрической аппаратуры. В разные периоды развития спирометрии внимание специалистов было сосредоточено на том или ином компоненте, причём в максимальной степени – на метрологическом обеспечении. Перед разработчиками спирометрической аппара-

туры всегда стояла задача снижения погрешности измерений и сопротивления дыханию спирометров.

Следует сказать, что эта задача к настоящему времени получила своё решение в конструкциях современных спирометров – высокотехнологичных приборов для измерений объёмных скоростей воздуха при дыхании, отвечающих всем медико-техническим требованиям (МТТ) действующих стандартов. Такое состояние достигнуто за долгие

годы благодаря применению пневматических, механических, электронных и акустических сенсоров давления и потока воздуха, цифровой и микропроцессорной техники, прикладному программированию [21]. Можно констатировать, что в настоящее время спирометрия не ощущает проблем, порождённых применяемой аппаратурой.

Однако соответствие спирометров действующим стандартам отнюдь не означает того, что они достигли совершенства, по-

скольку нет оснований считать стандарты совершенными. Действительно, достаточно их сопоставить (табл. 1) и проанализировать, чтобы прийти к следующим заключениям:

1. Изменения в версиях стандартов [32, 33] Американского Торакального Общества (ATS) всего лишь расширяют диапазоны измерений до физиологически обоснованных величин, а также снижают порог реагирования по объемной скорости потока.

Таблица 1

Стандартизованные МТТ к спирометрам

Нормируемый показатель качества	Версии стандартов					
	ATS [32, 33]	ERS [29, 30]	РФ [3]	ATS и ERS [24]		
	1987 г.	1994 г.	1983 г.	1993 г.	2001 г.	2005 г.
Сопротивление дыханию, Па·л/с, не более	150	150	100	50	50	150
Порог реагирования по объему, л, не более	0,050	0,050	0,025	0,025	0,025	0,050
Порог реагирования по объемной скорости, л/с, не более	0,2	0,1	–	–	–	–
Верхний предел диапазона измерений объема, л	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Верхний предел диапазона измерений объемной скорости, л/с	12,0	14,0	15,0	15,0	15,0	14,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объема, %	± 3	± 3	± 2	± 3	± 3	± 3
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объемной скорости, %	± 5	± 5	± 3	± 3,5	± 5	± 3,5
Нелинейность АЧХ в диапазоне частот, %, не более	± 10 до 4 Гц	± 10 до 4 Гц	± 5 до 20 Гц	± 5 до 20 Гц	± 5 до 20 Гц	± 5 до 15 Гц

2. Изменения в версиях стандартов [29, 30] Европейского Респираторного Общества (ERS) затрагивают только одно, но весьма значимое требование, вдвое снижая сопротивление дыханию.

3. Требования, стандартизованные ERS и нормированные в [3], значительно превышают требования стандартов ATS.

4. Общие требования ERS и ATS в стандарте [24], как компромисс рабочих групп обществ [14], в основном заимствуют требования стандарта ATS к сопротивлению дыханию, порогу реагирования по объему, диапазону измерений объемной скорости воздушного потока и линейности АЧХ.

5. Стандарты [3, 30] ограничивают сопротивление дыханию спирометров величиной 50 Па·с/л, а стандарты [32, 33] – величиной 150 Па·с/л. Это явно недостаточное требование, к сожалению, сохранено и нормировано стандартом [24].

Порог реагирования по объему, нормированный стандартом [24] (0,05 л), вдвое выше, чем нормированный [3, 29, 30] (0,025 л). Таким образом, и это требование сохранено в редакции 1994 г.

1. Нормирование нелинейности АЧХ спирометра в пределах $\pm 5\%$ в диапазоне частот до 15 Гц в стандарте [24] – следствие компромисса сторон: нормы [33] ужесточены в части величины допустимой нелинейности, однако сужен диапазон частот, нормированный [30].

2. Менее жесткие требования к погрешности измерений объемных скоростей ($\pm 5\%$), чем объемов ($\pm 3\%$) в версии стандарта ATS 1987 г. [32], обусловлены тем, что для волюмоспирометров, составлявших в то время значительную часть парка аппаратуры, определение скоростных показателей было не измерительной, а вычислительной процедурой и сопровождалось аддитивной погрешностью. То же самое можно отметить и в отношении аналогичных параметров версии стандарта ERS 1983 г. [29] ($\pm 3\%$ и $\pm 2\%$ соответственно). Что же касается стандарта [24], то уже с 1990 г. в спирометрии использовалась практически только флоуспирометры [26], поэтому ограничение относительной погрешности измерений объем-

ных скоростей величиной $\pm 3,5\%$ при том, что относительная погрешность измерений объемов нормирована величиной $\pm 3\%$, неоправданно [22].

Стремительный прогресс микропроцессорной техники за последние 10 лет кардинально изменил разработку и производство спирометрической аппаратуры. Результатом эволюции микропроцессорных спирометров за это время стали существенное удешевление и универсализация аппаратуры, практически исчезли различия между приборами, предназначенными для различных уровней организации здравоохранения [19]. Теперь уровень спирометра определяет не столько информационный блок, как это показано в [6], сколько измерительный, главным образом преобразователь скорости воздушного потока. Сложившаяся ситуация предполагает, что ко всей совокупности спирометрической аппаратуры могут быть предъявлены унифицированные требования, с учетом единственного различия в назначении приборов – для взрослых и детей до 12 лет [19].

Сформулируем эти перспективные требования на основе анализа данных литературы и собственных исследований [21].

1. Если стандарт [30] ограничивает сопротивление дыханию спирометров на уровне 50 Па·с/л, то, очевидно, модели спирометров 1993 г. выполняли это требование, и нет смысла 20 лет спустя повышать эту границу втрое. Тем не менее, хотя такая величина вполне приемлема для здоровых взрослых людей, то для детей до 12 лет она должна быть существенно снижена. Основываясь на данных [1, 19], мы полагаем необходимым нормировать ее для этих применений в пределах 20 Па·с/л.

2. Нормирование порога реагирования должно быть дифференцировано в зависимости от возраста пациентов, причем соотношение этих величин для детей и взрослых должно составлять не более 1:2.

3. Поскольку верхний предел диапазона измерений объемной скорости воздушного потока является пределом возможностей дыхания человека, то для детей до 12 лет этот предел должен быть 8 л/с, как соответствующей их физиологическим данным [10].

4. Учитывая величины повторяемости и воспроизводимости измерений скоростных показателей форсированного выдоха [2] и достижимый класс точности поверочной аппаратуры [5], следует нормировать относительную погрешность измерений объемной скорости потока в пределах $\pm 2\%$ [22], а объема – в пределах $\pm 3\%$.

5. Динамическая характеристика – существенное качество спирометра, измеряющего показатели процесса форсированного выдоха. Поэтому нормирование нелинейности АЧХ должно учитывать динамические параметры процесса, значимые для диагностических оценок на его основе. Это обстоятельство подчеркивается при оценке характеристик аппаратуры [19], особенно предназначенной для исследований ВФЛ у детей [12]. В литературе о динамических характеристиках форсированного выдоха приведены сведения о частотном спектре объемной скорости процесса, который рассматривается как объективный критерий динамики процесса. В [18] определено, что в частотном спектре объемных скоростей форсированного выдоха частоты гармоник с амплитудами до 5% от максимальной составляли (5,06 \pm 0,7) Гц у здоровых людей и (6,49 \pm 1,8) Гц у

курильщиков. В исследовании [28] было обнаружено, что амплитуды гармоник экспоненциально снижаются с увеличением частот и в полосе до 10 Гц в среднем составляют 3-5% от максимальной амплитуды. Значимые по амплитуде гармоники на уровне показателей МОС50, МОС75 и СОС25-75 располагались в полосе частот до 4 Гц, тогда как на уровне ПОС и МОС25 эта полоса возрасла до 7-10 Гц. Частоты до 20 Гц обнаружены в спектре ПОС [23, 25], а наши модельные исследования [20] показали, что в диапазоне частотного спектра объемных скоростей потока при форсированном выдохе от 1 до 10 Гц амплитуды гармоник составляют от 0,5 до 5% от максимальной амплитуды. Следовательно, если относительная погрешность измерений объемной скорости потока нормируется в пределах $\pm 2\%$, то нелинейность АЧХ спирометра, определяющая ее динамическую составляющую, должна быть не более $\pm 1,5\%$ в диапазоне частот до 20 Гц.

По нашему мнению, перечисленные требования (табл. 2) практически предельны, тем не менее, с учётом значительного потенциала совершенствования, могут быть выполнены существующими спирометрами.

Таблица 2

Перспективные медико-технические требования к спирометрам

Нормируемый показатель качества	Назначение спирометра	
	Для взрослых	Для детей до 12 л
Сопротивление дыханию, Па·с/л, не более	50,0	20,0
Порог реагирования, л/с, не более	0,05	0,02
Верхний предел диапазона измерений, л/с	15,0	8,0
Пределы относительной погрешности измерений объемной скорости, %	$\pm 2,0$	$\pm 2,0$
Пределы относительной статической погрешности измерений объема, %	$\pm 3,0$	$\pm 3,0$
Нелинейность АЧХ в диапазоне частот до 20 Гц, %, не более	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$

Проблема интерпретации результатов спирометрии

Спирометрия в настоящее время располагает значительной номенклатурой показателей ВФЛ, вполне достаточной для достоверной оценки состояния функции и формирования обоснованного диагностического заключения [11, 13, 17]. Более того, ранее применявшиеся показатели объема форсированного выдоха за 0,5 с и 0,75 с (ОФВ 0,5 и ОФВ 0,75), средняя объемная скорость выдоха первого литра ЖЕЛ (СОС 200-1200) – перестали быть актуальными. Значительно большее внимание уделяется корректному исполнению тестов – особенно форсированных дыхательных маневров. Спирометрический тест должен учитывать аспекты оптимального исполнения, строгого соблюдения стандартов приемлемости и критериев повторяемости, обоснованной интерпретации результатов [27]. Общие положения, относящиеся к нормированию процедуры спирометрического теста, вне зависимости от её модификаций, определяются следующим образом [3]:

- спирометрия требует выполнения максимальных дыхательных маневров вдоха и выдоха (особенно форсированных), что приравнивается к физической нагрузке;

- результаты спирометрии зависят от сотрудничества пациента с оператором, для чего необходим подробный инструктаж по методике выполнения дыхательных маневров (предпочтительно – с их демонстрацией) и достаточная мотивация пациента;

- невозможность достижения контакта с пациентом ограничивает его способность выполнить дыхательный маневр, что должно быть принято во внимание при интерпретации результатов.

Перечисленные положения требуют оценки качества выполнения каждого теста по пяти градациям – А, В, С, D, F [24].

Для диагностических заключений по результатам спирометрии необходимо их сопоставление с нормативами, рассчитанными на основе изучения характеристик репрезентативных групп здоровых людей [27], т. е. со среднестатистическими, наиболее вероятными величинами. Эти величины представляю-

тся в виде регрессионных уравнений корреляции с ростом, возрастом и полом, а также, в отдельных случаях, с массой и площадью тела человека [2]. Диапазон нормы трактуется как предел, в котором располагаются результаты спирометрии 90 % здоровых людей, а должная величина для конкретного пациента располагается в середине диапазона. Нормативы спирометрии зависят также от этнического происхождения и региона проживания (климатические и экологические условия) человека. Поэтому современные системы нормативов разработаны и адаптированы для жителей Европы, Ближнего и Среднего Востока, Китая, Японии, Полинезии, Индостана, США и Африки [13, 31]. Кроме того, при интерпретации результатов в пограничных группах (например, лиц в возрасте 17-18 лет) оптимальное применение должных величин предполагает их адаптацию для популяции, к которой принадлежит исследуемый субъект [34].

Отмеченные особенности иногда затрудняют использование систем нормативов. Высказываются сомнения в надежности должных величин мгновенных объемных скоростей форсированного выдоха, которые у здоровых людей варьируют в пределах 25-30 % и воспроизводятся с разбросом 15-20 % в зависимости от характеристик используемой аппаратуры [3].

В современной спирометрии существуют многочисленные системы нормативов, полученные различными исследователями в разное время и с использованием разнообразной аппаратуры. Стандарт [24] приводит сведения о 69 системах, опубликованных за период 1993-2004 гг.; за последние годы к ним добавились ещё до 40 систем. Это обстоятельство порождает разногласия, иногда весьма существенные, при расчётах величин по той или иной системе. Отмечается, что различия нормативов по этническому признаку недостаточно изучены, и пока по этой проблеме не получена более подробная информация, предлагается использовать корректирующие коэффициенты от 0,94 до 0,88 [27].

Расчёты нормативов по различным системам выявляют вариации их значений в

пределах 11,2-27,8 % [7]. Показательно, что минимальный разброс значений наблюдается по объемным показателям (ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ 1), а максимальный – по скоростным (ПОС, МОС 25, МОС 50, МОС 75). Поэтому мы продолжаем придерживаться мнения о целесообразности построения системы нормативов, базирующейся на статистической обработке результатов исследований ЖЕЛ и определяющей нормативы скоростных показателей расчётами с использованием модельных коэффициентов [4].

Интерпретация результатов спирометрии тестов строится на расчётах отклонений измеренных величин от должных, выраженных в процентах и сопоставленных с градациями возможных значений [2] по определенному алгоритму, предполагающему ответственный выбор показателей, принимаемых к рассмотрению. В этом качестве наиболее востребованы показатели ЖЕЛ, ОФВ 1, ФЖЕЛ, и ОФВ 1 / ФЖЕЛ, оценка которых способна выявлять обструктивные нарушения ВФЛ [16]. Предположение о том, что их уменьшение и выход за нижнюю границу норматива свидетельствует о нарушении функции, признается полезным и простым практическим методом. Ограничивая интерпретацию спирограмм перечисленными показателями, оператор избегает проблемы одновременного изучения множества измерений, приводящей к чрезмерному количеству тестов. Тем не менее, рассмотрение скоростных показателей форсированного выдоха – ПОС, МОС 25, МОС 50, МОС 75, – может внести ясность в диагностику локализации обструкции дыхательных путей [27].

Главный момент построения алгоритма интерпретации – выбор основного критерия. Мы предлагаем именовать его «стартовым», определяющим направление алгоритма и перебора возможных вариантов, по ходу которого используются критерии, уточняющие локальные выводы – их предлагается именовать «индикативными».

Выдвигая тезис о том, что интерпретация спирометрии должна быть простой [27], предлагается использовать два основных критерия – ОФВ 1 и ФЖЕЛ. Тогда снижение

ОФВ 1 свидетельствует об обструктивных, а снижение ФЖЕЛ – о реструктивных нарушениях функции. Такой алгоритм широко использовался в микропроцессорных спирометрах первых поколений для формирования предварительных скрининговых заключений о состоянии функции лёгких у исследуемых групп.

Анализ десяти алгоритмов интерпретации результатов спирометрии и принципов их построения дали нам возможность сформировать модифицированный алгоритм [8], использующий в качестве стартового критерия ОФВ 1, а индикативных критериев – показатели МОС 25, МОС 50, МОС 75. Предложенный алгоритм предоставляет возможность более детальной диагностики состояния функции лёгких, в частности – определения локализации обструктивных нарушений.

Проблемы прикладного программного обеспечения спирометрии. Прикладное программное обеспечение (ППО) может рассматриваться как связующее звено между методикой и аппаратурой спирометрии, сопровождающее диагностический тест на всём его протяжении.

К настоящему времени детально разработаны:

- состав блоков (подпрограмм) ППО, выстроенных в следующем порядке: блок идентификации теста – блок калибровки – блок меню тестирования – блок алгоритмической реализации тестирования – блок архивирования результатов тестов [7];
- система критериев оценки качества ППО [9].

Перечисленные разработки дают основания структурирования и объективной оценки используемых в практике версий ППО спирометрии. Тем самым будут обеспечиваться:

- детализация оценок качества и совершенствование ППО;
- формулировка унифицированных (МТТ) к программам компьютерных спирометров;
- решение серьёзной проблемы современной спирометрии – стандартизации её ППО.

Выводы. Подводя итоги обсуждению проблем и перспектив технологии спирометрии, можно сделать следующие заключения:

1. Современная спирометрия, как научно обоснованная диагностическая методика доказательной медицины, обладает необходимым и достаточным набором показателей, позволяющим объективно судить о функциональном состоянии лёгочно-бронхиальной системы.

2. Очевидно, что совершенствование спирометров должно быть направлено на

снижение сопротивления приборов дыханию и повышение точности измерений, наиболее вероятное при использовании современных термоанемометрических и ультразвуковых сенсоров объёмной скорости потока воздуха [15, 21].

Совместные усилия клиницистов, инженеров и программистов необходимо сконцентрировать на решении наиболее актуальной для спирометрии проблемы стандартизации её ППО.

Список использованных источников

1. Анохин М.И. Спирография у детей / Анохин М.И. – М., 2003. – 120 с.

2. Клемент Р.Ф. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии : метод. рек. / Клемент Р.Ф., Зильбер Н.А. – СПб., 1993. – 47 с.

3. Кузнецова В.К. Методика проведения и унифицированная оценка результатов функционального исследования механических свойств аппарата вентиляции на основе спирометрии / [Кузнецова В.К., Аганезова Е.С., Яковлева Н.Г., Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Котегов Ю.М.] // Пособие для врачей. – СПб., 1996-2001. – 33 с.

4. Кучук А.А. Унификация диагностических показателей процесса форсированного выдоха / Кучук А.А., Лопата В.А. // Физиол. журн. – 1994. – Т. 79. – Вып 3. – С. 109–112.

5. Лопата В.А. Оценка современных методов и средств контроля метрологических характеристик спирометров / В.А. Лопата // Электроника и связь. – 2000. – Вып. 8. – Т. 2. – С. 188–190.

6. Лопата В.А. Многоуровневая система спирометрической аппаратуры / В.А. Лопата, Ю.Ф. Сахно // Функциональная диагностика. – 2003. – Вып. 2. – С. 52–55.

7. Лопата В.А. Проблематика программного обеспечения спирометрии / В.А. Лопата, Ю.С. Синекон, М.-А.А. Эль Шебах // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания : сб. науч. тр. – Тверь, 2007. – С. 124–132.

8. Синекон Ю.С. Анализ и построение алгоритма интерпретации результатов спирометрического тестирования / [Ю.С. Синекон, В.А. Лопата, М.Г. Гаганидзе, М.А.-А. Эль Шебах] // Электроника и связь. – 2010. – Вып. 5. – С. 189–191.

9. Синекон Ю.С. Критерии и оценка качества программного обеспечения спирометрии /

[Ю.С. Синекон, В.А. Лопата, А.А. Попов, М.-А.А. Эль Шебах, Т.В. Писаренко] // Электроника и связь. – 2009. – Вып. 4-5. – Ч. 2. – С. 206–208.

10. Уэст Дж. Физиология дыхания / Уэст Дж. – М. : Мир, 1988. – 200 с.

11. Barreiro T.J. An Approach to Interpreting Spirometry / T.J. Barreiro, I. Perillo // Amer. Fam. Phys. – 2004. – V. 69. – № 5. – P. 1107–1114.

12. Bates J.H.T. Tidal breath analysis for infant pulmonary function testing / J.H.T. Bates, G. Schmalisch, D. Filbrun, J. Stocks // Eur. Resp. J. – 2000. – V.16. – № 6. – P. 1180–1192.

13. Boros P. Zasady interpretacji wyników badania spirometrycznego / P. Boros, M. Franczuk, S. Wesółowski // Pneumonologia i alergologia Polska. – 2006. – V. 74. – Supl.1. – S. 21–38.

14. Brusasco V. Coming together: the ATS/ERS consensus on clinical pulmonary function testing / V. Brusasco, R. Crapo, G. Viegi // Eur. Respir. J. – 2005. – V. 26. – № 1. – P. 1–2.

15. Buess C. A pulsed diagonal-beam ultrasonic airflow meter / C. Buess // J. Appl. Physiol. – 1986. – V. 61. – № 3. – P. 1195–1199.

16. Enright P.L. Spirometry to detect and manage chronic obstructive pulmonary disease and asthma in the primary care setting / P.L. Enright, M. Studnicka, J. Zielinski // Eur. Respir. Mon. – 2005. – № 31. – P. 1–14.

17. Gibson G.J. Spirometry: then and now // Breathe. – 2005. – V. 1. – № 3. – P. 206–216.

18. Lemen R.J. Frequency spectra of flow and volume events of forced vital capacity / R.J. Lemen, C.B. Gerdess, M.J. Wegmann, K.J. Perrin // J. Appl. Physiol. – 1982. – V. 53. – № 4. – P. 977–984.

19. Lopata V. Prospective of Standards for Spirometers / V. Lopata, Yu. Sinekon, M. El-Shabbakh, I. Myasnyi // In: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. Beijing, China, May 26-31, 2012. Report A 11231.

20. Lopata V.A. Calculation of Measurements Errors for Spirometric Parameters / V.A. Lopata, Yu.S. Sinekop, M-A.A. El Shebbah // *Electronics and Nanotechnology. Proceedings of the XXXII International Scientific Conference ELNANO 2012.* April 10-12, 2012. Kyiv, Ukraine.
21. Lopata V.A. State of art and development prospects of diagnostic technologies in medicine / Lopata V.A., Tkachenko V.L. // *National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Electronics and nanotechnology. Proceedings of the XXXI International Scientific Conference ELNANO 2011.* April 12-14, 2011. Kyiv, Ukraine. P. 7.
22. McCormack M.C. Spirometer Calibration Checks. Is 3.5 % Good Enough? / M.C. McCormack, D. Shade, R.A. Wise // *CHEST.* – 2007. – V. 131. – № 5. – P. 1486–1493.
23. McCall C.B. Harmonic content of certain respiratory flow phenomena of normal individuals / C.B. McCall, R.E. Hyatt, F.W. Noble, D.L. Fry // *J. Appl. Physiol.* – 1957. – V. 10. – № 2. – P. 215–218.
24. Miller M. R. Standardisation of spirometry / M.R. Miller, J. Hankinson, V. Brusasco e.a. // *Eur Respir J.* – 2005. – V. 26. – № 2. – P. 319–338.
25. Miller M.R. Recording flow in the first second of a maximal forced expiratory manoeuvre: influence of frequency content / M.R. Miller, J. Lloyd, P. Bright // *Eur. Respir. J.* – 2002. – V. 19. – № 3. – P. 530–533.
26. Nelson S.B. Performance evaluation of contemporary spirometers / S.B. Nelson, R.M. Gardner, R.O. Crapo, R.L. Jensen // *Chest.* – 1990. – V. 97. – № 2. – P. 288–297.
27. Pellegrino R. Interpretative strategies for lung function tests / R. Pellegrino, G.Viegi, Brusasco V. at al. // *Eur. Respir. J.* – 2005. – V. 26. – № 5. – P. 948–968.
28. Peslin R. Contenu harmonique de signal de debit pendant l'expiration forcee chez l'homme normal / R. Peslin, P. J ardin, A. Bohadana, B. Hannhart // *Bull. Eur. Physiopath. Resp.* – 1982. – V.18. – № 3. – P. 491–500.
29. Quanjer Ph.H. (Editor). Standardized lung function testing. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Coal and Steel // *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* – 1983. – V.19. – Suppl. 5. – P. 1–95.
30. Quanjer Ph.H. Lung volumes and forced ventilatory flows: report of working party, standardization of lung function tests. European Community for Steel and Coal-official statement of the European Respiratory Society / Ph.H. Quanjer, G.J. Tammeling, J.E. Cotes at al. // *Eur. Respir. J.* – 1993. – V. 6. – Suppl. 16. – P. 5–40.
31. Roca J. Reference values for forced spirometry / Roca J., Burgos F., Sunyer J. at al. // *Eur. Respir. J.* – 1998. – V. 11. – P. 1354–1362.
32. Standardization of spirometry – 1987 update // *Amer. J. Resp. Dis.* – 1987. – V.136. – Suppl. – P. 1285–1298.
33. Standardization of spirometry – 1994 update // *Amer. J. Respir. Crit. Care. Med.* – 1995. – V. 152. – P. 1107–1136.
34. Stevens W.H., van Hartevelt J.H., The P.E.K. at al. Validity of ECSC prediction equations for spirometric indices in Dutch conscripts / W.H. Stevens, van J.H. Hartevelt, The P.E.K. at al. // *Eur. Respir. J.* – 1994. – V. 7. – № 1. – P. 29–34.