

УДК 615.471.036:616

## **ТЕХНОЛОГИЯ СПИРОМЕТРИИ В ПРОБЛЕМАХ И РЕШЕНИЯХ**

**В.А. Лопата<sup>1</sup>, Ю.С. Синекон<sup>2</sup>, М-А.А. Эль Шеббах<sup>2</sup>, И.С. Мясный<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт физиологии им. А.А.Богомольца НАН Украины, Киев

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»

<sup>3</sup>Клиническая больница «Феофания» Госуправления делами Украины

Рассмотрены актуальные проблемы трёх аспектов спирометрии – методики, аппаратного 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 и взаимосвязь знаний физиологии дыхания, методики применения этих знаний в диагностике функции лёгких и её аппаратного обеспечения. Взаимосвязь этих элементов проявляется в том, что прогресс любого из них побуждает прогресс и развитие технологии в целом. Понятно, что и проблемы, присущие компонентам технологии спирометрии, взаимосвязаны, а решение любой из них даёт импульс решениям смежных проблем.

### *1. Проблема интерпретации результатов спирометрии.*

Спирометрия в настоящее время располагает значительной номенклатурой параметров вентиляционной функции лёгких (ВФЛ) [12]. Эта номенклатура (табл. 1) вполне достаточна для достоверной оценки состояния функции и формирования обоснованного диагностического заключения. Более того, ранее применявшиеся показатели ОФВ 0,5 и ОФВ 3, 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 [19]. 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 требуемых 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.

Таблица 1

Параметры вентиляционной функции дыхания,  
определяемые методом спирометрии

Параметр дыхания	Обозначение	
	русское	международное
Дыхательный объем	ДО	TV
Частота дыхания	ЧД	RF
Минутный объем дыхания	МОД, МВЛ	MV, MVV
Длительность дыхательного цикла	Tt	
Пиковая скорость вдоха	Qi	
Пиковая скорость выдоха	Qe	
Жизненная емкость легких на вдохе	ЖЕЛ вд	IVC
Жизненная емкость легких на выдохе	ЖЕЛ выд	EVC
Резервный объем выдоха	РО выд	ERV
Резервный объем вдоха	РО вд	IRV
Емкость вдоха	Е вд	IC
Форсированная жизненная емкость легких	ФЖЕЛ	FVC
Объем форсированного выдоха за первую секунду	ОФВ 1	FVC 1
Индекс Тиффно	ИТ	IT
Средняя объемная скорость выдоха на участке от 25% до 75% объема ФЖЕЛ	СОС 25-75	FEF 25-75
Средняя объемная скорость выдоха на участке от 75% до 85% объема ФЖЕЛ	СОС 75-85	FEF 75-85
Пиковая объемная скорость форсированного выдоха	ПОС выд	PEF
Мгновенная объемная скорость форсированного выдоха 25% ФЖЕЛ	МОС 25	MEF 25
Мгновенная объемная скорость форсированного выдоха 50% ФЖЕЛ	МОС 50	MEF 50
Мгновенная объемная скорость форсированного выдоха 75% ФЖЕЛ	МОС 75	MEF 75
Время достижения пиковой объемной скорости форсированного выдоха	Т пос	T PEF

Перечисленные положения требуют оценки качества выполнения каждого теста по пяти градациям – А, В, С, D, F [11].

Для диагностических заключений по результатам спирометрии необходимо их сопоставление с нормативами, рассчитанными на основе изучения характеристик репрезентативных групп здоровых людей [15], т.е. со среднестатистическими, наиболее вероятными величинами [16]. Эти величины представляются в виде регрессионных уравнений корреляции с ростом, возрастом и полом, а также, в отдельных случаях, с массой и поверхностью тела человека [1]. Диапазон нормы трактуется как предел, в котором располагаются результаты спирометрии 90% здоровых людей, а должная величина для конкретного пациента находится 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 [10; 17]. 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 [18].

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 [2].

В современной спирометрии существуют многочисленные системы нормативов, полученные различными исследователями в разное время и с использованием разнообразной аппаратуры - стандарт [15] приводит сведения о 69 системах, опубликованных за период 1993-2004 гг. За последние годы к этому числу добавились ещё до 40 систем. Это обстоятельство порождает разногласия, иногда весьма существенные, при расчётах величин по той или иной системе [3]. Именно поэтому [15] только констатирует, что в Европе и США большинство лабораторий использует нормативы [17], и не дает рекомендаций по применению определенного набора систем нормативов. 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.

Расчёты нормативов по различным системам выявляют вариации их значений в пределах 11,2-27,8% [6]. Показательно, что минимальный разброс значений наблюдается по объемным параметрам (ЖЕЛ, ФЖЕЛ,

ОФВ 1), а максимальный - по скоростным (ПОС выд, 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 параметров 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 [9; 15] по определенному алгоритму, предполагающему ответственный выбор параметров, принимаемых к рассмотрению. В этом качестве наиболее востребованы показатели ЖЕЛ, ОФВ 1, ФЖЕЛ, и ОФВ 1 / ФЖЕЛ, оценка которых способна точно выявлять обструктивные нарушения ВФЛ [13]. Предположение о том, что их уменьшение и выход за нижнюю границу норматива свидетельствует о нарушении функции, признается полезным и простым практическим методом. По мнению [15], проблемы могут возникнуть лишь тогда, когда величины этих показателей находятся в окрестностях верхних или нижних пределов нормы. В таких случаях буквальная интерпретация становится слишком упрощенной, чтобы правильно описывать функциональный статус. Ограничивая интерпретацию спирограмм перечисленными показателями, оператор избегает проблемы одновременного изучения множества измерений, приводящей к чрезмерному количеству тестов. Тем не менее, рассмотрение скоростных параметров ПОС выд, МОС 25, МОС 50, МОС 75 может внести ясность в диагностику локализации обструкции дыхательных путей [15].

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».

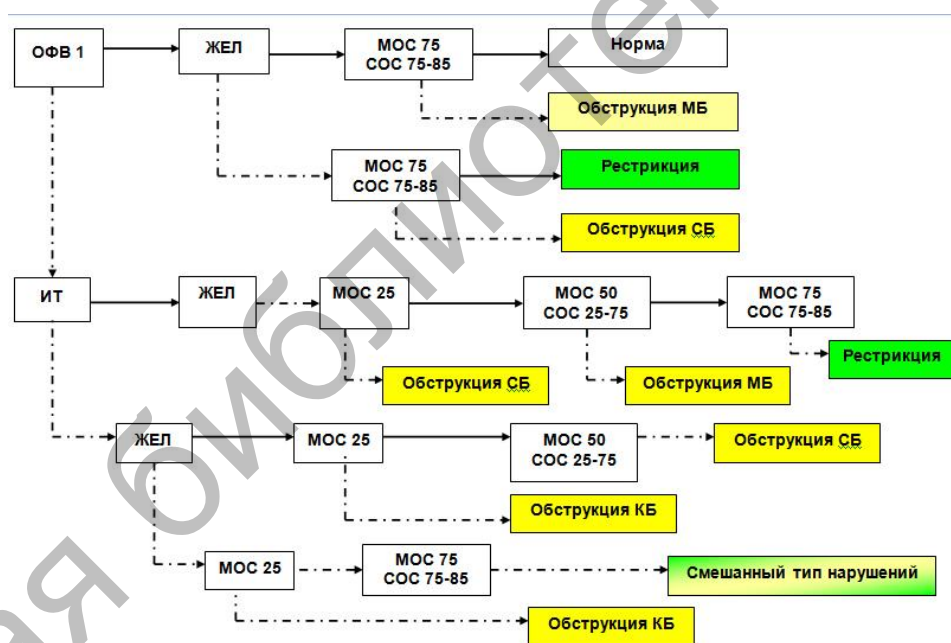
Выдвигая тезис о том, что интерпретация спирометрии должна быть простой, [15] предлагает использовать два основных критерия – ОФВ 1 и ФЖЕЛ. Тогда снижение ОФВ 1 свидетельствует об обструктивных, а снижение ФЖЕЛ – о рестриктивных нарушениях функции. Такой алгоритм широко использовался в микропроцессорных 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 [7], использующий в качестве стартового критерия ОФВ 1, а индикативных критериев - параметры МОС 25, МОС 50, МОС 75, СОС 25-75 и СОС 75-85 (рис. 1).

Предложенный алгоритм предоставляет возможность более детальной диагностики состояния функции лёгких, в частности – определения локализации обструктивных нарушений.

*2. Проблема аппаратного обеспечения спирометрии.*

Современные спирометры – высокотехнологичные приборы для измерений объёмных скоростей воздуха при дыхании с минимальными сопротивлением и погрешностями. Они составляют иерархию [5] по уровням организации диагностики (I – семейный врач / поликлиника, II – региональная больница / диспансер, III - диагностический центр / профильный научно- исследовательский институт); отвечают медико-техническим требованиям действующих стандартов. Такое состояние достигнуто за долгие годы благодаря применению механических, электронных и акустических сенсоров потока воздуха, цифровой и микропроцессорной техники, прикладному программированию. Можно констатировать, что в настоящее время спирометрия не ощущает проблем, порождённых применяемой аппаратурой.



Р и с у н о к . Алгоритм интерпретации результатов спирометрии.

Соответствие параметра норме - сплошные стрелки; снижение относительно нормы – штрих-пунктирные стрелки; обозначение локализации обструктивных нарушений:

МБ – мелкие бронхи, СБ – средние бронхи, КБ – крупные бронхи

Тем не менее, спирометры обладают значительным потенциалом совершенствования, и в ближайшей перспективе к ним могут быть предъявлены практически предельные требования (табл. 2).

### 3. 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 [6];

- система критериев оценки качества ППО [8].

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

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

Таблица 2

Перспективные медико-технические требования к спирометрам [по 14]

Показатели качества	Назначение спирометра					
	для взрослых			для детей 6-12 лет		
	уровень иерархии					
	I	II	III	I	II	III
Соппротивление дыханию, Па·с/л, не более	50,0			20,0		
Порог реагирования, л/с, не более	0,1	0,07	0,05	0,05	0,03	0,02
Верхний предел диапазона измерений, л/с	15,0		20,0	8,0		
Пределы относительной погрешности, %%	± 7,5	± 3,0	± 1,5	± 7,5	± 3,0	± 1,5
Нелинейность АЧХ в полосе частот до 15 Гц, %%, не более	± 5,0	± 2,0	± 1,0	± 5,0	± 2,0	± 1,0

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

- современная спирометрия, как научно обоснованная диагностическая методика доказательной медицины, обладает необходимым и достаточным набором параметров, позволяющим

объективно судить о функциональном состоянии лёгочно-бронхиальной системы;

– очевидно, что совершенствование спирометров направлено на снижение сопротивления приборов дыханию и повышение точности измерений, наиболее вероятное при использовании термоанемометрических и ультразвуковых сенсоров объёмной скорости потока воздуха;

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

### **Список литературы**

1. *Анохин М.И.* Спирография у детей. М., 2003. 120 с.
2. *Кузнецова В.К.* Механика дыхания // Руководство по клинической физиологии дыхания / ред. Л.Л. Шик, Н.Н. Канаев. Л, 1980. С. 87–108.
3. *Кузнецова В.К., Аганезова Е.С., Яковлева Н.Г., Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Котегов Ю.М.* Методика проведения и унифицированная оценка результатов функционального исследования механических свойств аппарата вентиляции на основе спирометрии. СПб., 2001. 33 с.
4. *Кучук А.А., Лопата В.А.* Унификация диагностических показателей процесса форсированного выдоха // Физиол. журн. 1994. Т. 79, № 3. С. 109–112.
5. *Лопата В.А., Сахно Ю.Ф.* Многоуровневая система спирометрической аппаратуры // Функциональная диагностика. 2003. № 2. С. 52–55.
6. *Лопата В.А., Синекон Ю.С., Эль Шебах М.-А.А.* Проблематика программного обеспечения спирометрии // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания: сб. науч. тр. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2007. С. 124–132.
7. *Синекон Ю.С., Лопата В.А., Гаганидзе М.Г., Эль Шебах М.А.-А.* Анализ и построение алгоритма интерпретации результатов спирометрического тестирования // Электроника и связь. 2010. № 5. С. 189–191.
8. *Синекон Ю.С., Лопата В.А., Попов А.А., Эль Шебах М.-А.А., Писаренко Т.В.* Критерии и оценка качества программного обеспечения спирометрии // Электроника и связь. 2009. № 4-5. Ч. 2. С. 206–208.
9. *Barreiro T.J., Perillo I.* An approach to interpreting spirometry // Amer. Fam. Phys. 2004. Vol. 69, № 5. P. 1107–1114.

10. *Boros P., Franczuk M., Wesolowski S.* Zasady interpretacji wyników badania spirometrycznego // *Pneumonologia i alergologia Polska*. 2006. Vol. 74. Supl.1. S. 21–38.
11. *Enright P.L., Studnicka M., Zielinski J.* Spirometry to detect and manage chronic obstructive pulmonary disease and asthma in the primary care setting // *Eur. Respir. Mon.* 2005. № 31. P. 1–14.
12. *Gibson G.J.* Spirometry: then and now // *Breathe*. 2005. Vol. 1, № 3. P. 206–216.
13. GINA. Pocket guide to COPD diagnosis, management and prevention. A Guide for Health Care Professionals: [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.ginasthma.org/pdf/GINA\\_Pocket\\_2010a.pdf](http://www.ginasthma.org/pdf/GINA_Pocket_2010a.pdf)
14. *Lopata V., Sinekop Yu., El-Shabbakh M., Myasnyi I.* Prospective of Standards for Spirometers // *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*. Beijing, China, May 26-31, 2012. Report A 11231
15. *Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V.* Interpretative strategies for lung function tests // *Eur. Respir. J.* 2005. Vol. 26. P. 948–968.
16. *Quanjer Ph.H., Tammeling G.J., Cotes J.E.* 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 // *Eur. Respir. J.* 1993. Vol. 6. Suppl.16. P. 5–40.
17. *Roca J., Burgos F., Sunyer J.* Reference values for forced spirometry // *Eur. Respir. J.* 1998. Vol. 11. P. 1354–1362.
18. *Stevens W.H., van Hartevelt J.H., The P.E.K.* Validity of ECSC prediction equations for spirometric indices in Dutch conscripts // *Eur. Respir. J.* 1994. Vol. 7. P. 29–34.
19. *Zanconato S., Meneghelli G., Braga R.* Office spirometry in primary care pediatrics: a pilot study // *Pediatrics*. 2005. Vol. 116. P. 792–797.

#### **THE SPIROMETRY TECHNOLOGY IN PROBLEMS AND DECISIONS**

**V.A. Lopata<sup>1</sup>, Yu.S. Sinekop<sup>2</sup>, M. El-Shabbakh<sup>2</sup>, I.S. Myasnyi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of physiology National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnical Institute»

<sup>3</sup>Clinical Hospital «Feophania», Kiev

The actual problems of the three aspects of spirometry – methodic, devices and software are considered. The possible ways of solutions for these problems and upgrade of spirometry technology are described.

**Keywords:** *spirometry, spirometer.*



*Об авторах:*

ЛОПАТА Виктор Александрович—кандидат технических наук, технический эксперт отдела по изучению гипоксических состояний, Институт физиологии НАН Украины, 01601, Киев-24, ул. Богомольца, д. 4, e-mail: v.lorata@meta.ua

СИНЕКОП Юрий Степанович—кандидат технических наук, профессор кафедры физической и биомедицинской электроники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», 03056, Киев, пр. Победы, д. 37.

Эль Шеббах Мухаммед—аспирант кафедры физической и биомедицинской электроники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», 03056, Киев, пр. Победы, д. 37.

МЯСНЫЙ Иван Семенович—кандидат медицинских наук, руководитель центра пульмонологии, аллергологии и клинической иммунологии, Клиническая больница «Феофания», 03680, Киев, ул. акад. Заболотного, д. 21.