

Спирометрия в повседневной врачебной практике

С.Ю. Чикина, А.В. Черняк

Заболевания **дыхательных путей** (ДП) и легочной ткани в большинстве случаев вызывают изменения функциональных параметров дыхания. Таким образом, исследуя функциональное состояние респираторной системы, можно получить представление о характере патологического процесса в бронхах и легких. Спирометрия – один из первых методов оценки легочной функции: в 1846 г. J. Hutchinson предложил измерять легочные объемы с помощью погруженного в воду цилиндра. В данной статье мы постарались представить информацию, необходимую врачу-клиницисту для использования спирометрии в практической работе и интерпретации ее результатов. Технические аспекты спирометрии мы не рассматриваем, с ними можно ознакомиться в рекомендациях Европейского респираторного общества и других пособиях.

На сегодняшний день спирометрия является наиболее простым и распространенным методом функциональной диагностики, который можно рассматривать как начальный этап выявления вентиляционных нарушений. Спирометрия предназначена для измерения легочных объемов при различных дыхательных маневрах, как спокойных, так и форсированных. Наиболее часто с этой целью используется маневр **форсированной жизненной емкости легких** (ФЖЕЛ), когда после полного вдоха необходимо сделать максимально быстрый и полный выдох.

Спирометрия показана для:

- выявления обструктивных и рестриктивных нарушений;
- установления причины различных респираторных симптомов (хронического кашля, одышки, хрипов, стридора), нарушений газообмена (гипоксемии, гиперкапнии) и изменений других показателей (например, полицитемии);
- определения риска оперативного вмешательства;
- оценки физического состояния пациента;
- оценки эффективности лечения бронхолегочной патологии.

Абсолютных **противопоказаний** к проведению спирометрии не существует, но маневр форсированного выдоха следует выполнять с осторожностью при пневмотораксе, в первые 2 нед острого инфаркта миокарда, после офтальмологических операций и операций на брюшной полости,

при выраженном кровохарканье, тяжелой бронхиальной астме (БА); относительным противопоказанием служат активный туберкулез легких и другие заболевания, передающиеся воздушно-капельным путем.

Основные параметры, получаемые при спирометрии, – это объем, поток и время, взаимосвязь которых отражают кривые поток–объем и объем–время. Наиболее важными характеристиками этих кривых являются: ФЖЕЛ, объем форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ₁), отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ, максимальные объемные скорости на уровнях 25, 50 и 75% ФЖЕЛ (МОС_{25%}, МОС_{50%}, МОС_{75%}), средняя максимальная объемная скорость (МОС_{25–75%}), пиковая скорость выдоха (ПСВ).

ФЖЕЛ можно измерить двумя способами. В первом случае непосредственно измеряется объем выдыхаемого воздуха и время. Строится график зависимости объема от времени – **кривая объем–время** (спирограмма – рис. 1а), по которой рассчитывают ФЖЕЛ, ОФВ₁ и МОС_{25–75%}. Во втором случае измеряется поток и время. Объем рассчитывают, умножая поток на время. Строится график зависимости потока от объема легких – **кривая поток–объем** (рис. 1б), по которой можно вычислить как ФЖЕЛ, так и скоростные показатели (ПСВ, МОС_{25–75%}, МОС_{25%}, МОС_{50%}, МОС_{75%}). Согласно данным литературы и нашему собственному опыту, представление результатов спирометрии в виде кривой поток–объем является наиболее простым для интерпретации и наиболее информативным.

Исследование ФЖЕЛ служит самым важным легочным функциональным тестом, поскольку для любого человека существует ограничение максимальной скорости выдоха. Ограничение экспираторного потока достигается при умеренном усилии, и дальнейшее повышение усилия приводит к увеличению потока только в начальной четверти ФЖЕЛ, но не при средних и низких объемах воздуха в легких. После достижения ПСВ каждая точка оставшейся части кривой определяет тот максимальный поток, который может быть достигнут при данном объеме легких (см. рис. 1б). Таким образом, каждый человек имеет уникальную кривую поток–объем, которая обладает высокой воспроизводимостью у одного и того же человека.

Легочная ткань обладает эластичностью, которая служит основной силой, заставляющей воздух выходить из легких во время выдоха. Эластичность также играет большую роль в поддержании просвета бронхов (рис. 2). При форсированном выдохе по мере уменьшения внутрилегочного объема нарастает динамическая компрессия ДП, что

Светлана Юрьевна Чикина – канд. мед. наук, ст. научный сотрудник НИИ пульмонологии Росздрава.

Александр Владимирович Черняк – канд. мед. наук, зав. лабораторией функциональных методов исследования НИИ пульмонологии Росздрава.

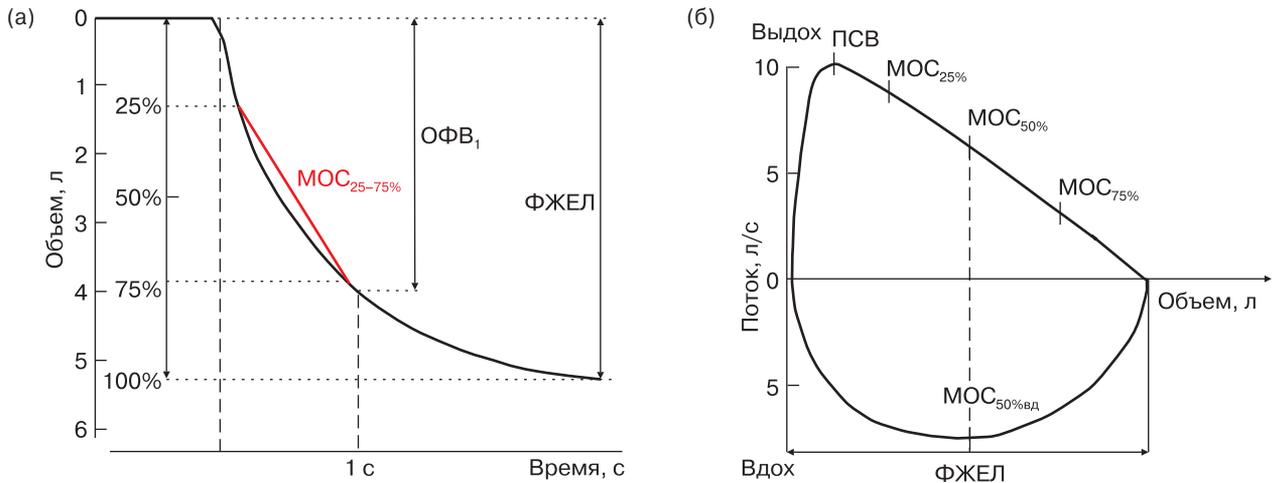


Рис. 1. Спирограмма форсированного выдоха (а); нормальная кривая поток–объем, полученная при максимальных вдохе и выдохе (б). $MOC_{50\%вд}$ – максимальная объемная скорость вдоха на уровне 50% ФЖЕЛ.

вызывает их критическое сужение и ограничивает воздушный поток. Таким образом, максимальный экспираторный поток определяется эластичностью легочной ткани (которая обеспечивает прохождение воздуха по ДП и поддерживает их просвет открытым), диаметром бронхов и сопротивлением ДП воздушному потоку.

Клиническое значение измерения ФЖЕЛ состоит в том, что этот показатель очень чувствителен к патологическим изменениям механических свойств легочной ткани:

- при эмфиземе легких за счет деструкции альвеол снижается эластичность легочной ткани, ДП сужаются, сопротивление воздушному потоку возрастает, что ведет к снижению максимальной скорости выдоха;
- при хроническом бронхите утолщается слизистая оболочка ДП и увеличивается бронхиальная секреция, что вызывает сужение просвета ДП, увеличивает их сопротивление потоку воздуха и снижает максимальную скорость выдоха;
- при БА дыхательные пути сужаются за счет спазма гладкой мускулатуры бронхов, воспаления и отека слизистой оболочки, что также ведет к увеличению сопротивления ДП и снижению максимального экспираторного потока;
- при легочном фиброзе эластичность легочной ткани повышается, что приводит к “растяжению” ДП, и максимальный экспираторный поток может увеличиваться даже при уменьшенных легочных объемах.

Нормальные величины

Существуют различные таблицы и формулы для определения должных величин спирометрических показателей (которые наблюдаются у здоровых некурящих лиц). Должные величины зависят от антропометрических параметров (в основном от роста), пола, возраста, расы. Чем выше человек, тем больше легочные объемы и потоки. У женщин объем легких меньше, чем у мужчин такого же роста. С возрастом эластичность легочной ткани снижается, в резуль-

тате происходит снижение объемных и скоростных показателей.

Следует принимать во внимание и индивидуальные вариации от нормы. Например, у людей, у которых исходно показатели легочных объемов и потоков превышают средний уровень, при возникновении легочных заболеваний эти показатели могут оставаться в пределах, нормальных для популяции в целом, несмотря на их снижение относительно исходных значений.

При вычислении должных значений для людей с кифосколиозом рост не должен учитываться, поскольку меньший рост у них не означает уменьшения легочных объемов и потоков. В таких случаях вместо роста следует измерять

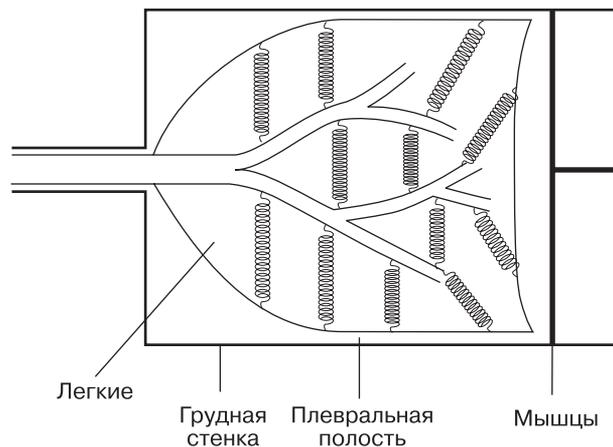


Рис. 2. Упрощенная модель механики дыхания. Легкие находятся в грудной клетке, объем которой изменяется вследствие движения дыхательных мышц (принцип поршня). При сокращении диафрагмы грудная клетка увеличивает свой объем, воздух входит в легкие. Во время выдоха объем грудной клетки уменьшается, и воздух через трахею выходит из легких. Эластичность легочной ткани определяет скорость выдоха и поддерживает бронхи раскрытыми. При форсированном выдохе динамическая компрессия дыхательных путей вызывает их сужение.

размах рук и подставлять это значение вместо роста в формулу для вычисления должных величин.

ФЖЕЛ

ФЖЕЛ – максимальный объем воздуха, который человек может форсированно выдохнуть после максимально глубокого вдоха. ФЖЕЛ снижается при многих видах патологии, а повышается только в одном случае – при акромегалии (все остальные спирометрические параметры при этом заболевании остаются нормальными).

Причины снижения ФЖЕЛ:

- патология легочной ткани: резекция легкого, ателектаз, уменьшение растяжимости легочной ткани (фиброз, стойкая сердечная недостаточность и др.); при обструктивных заболеваниях легких ФЖЕЛ снижается также за счет замедления опорожнения легких;
- патология плевры и плевральных полостей (плевральный выпот, опухоли плевры с распространением на легочную ткань);
- уменьшение размеров грудной клетки;
- нарушение функции дыхательных мышц, в первую очередь диафрагмы, межреберных мышц и мышц брюшной стенки.

Таким образом, нетрудно предположить причину снижения ФЖЕЛ в каждом конкретном случае. Следует помнить, что ФЖЕЛ измеряется при форсированном выдохе, и поэтому у больных с обструктивными заболеваниями легких ФЖЕЛ может быть существенно меньше, чем жизненная емкость легких, измеряемая при спокойном дыхании.

ОФВ₁

ОФВ₁ – наиболее хорошо воспроизводимый, часто используемый и самый информативный спирометрический показатель. Он представляет собой объем воздуха, выдыхаемый за 1-ю секунду в маневре ФЖЕЛ. Должные величины ОФВ₁, как и ФЖЕЛ, зависят от роста пациента, возраста, пола и расы.

При снижении скорости воздушного потока (обструктивных нарушениях), например, при БА, хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), эмфиземе легких, муковисцидозе, ОФВ₁ снижается соответственно тяжести обструкции. ФЖЕЛ при этом также уменьшается, но, как правило, в меньшей степени. Однако ОФВ₁ снижается и при рестриктивных нарушениях (ограничении расправления легких) – например, при легочном фиброзе. Как же различить, что явилось причиной снижения ОФВ₁ – рестрикция или обструкция? Для ответа на этот вопрос необходимо вычислить отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ.

Отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ

Отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ является модификацией индекса Тиффно и выражается в процентах. ОФВ₁ представляет собой достаточно постоянную долю ФЖЕЛ независимо от размера легких. У здорового человека отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ составляет 75–85%, но с возрастом скорость

выдоха снижается в большей степени, чем объем легких, и это отношение несколько уменьшается. У детей, наоборот, скорость выдоха высокая, поэтому отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ у них, как правило, больше – около 90%.

Показатель ОФВ₁/ФЖЕЛ помогает диагностировать бронхиальную обструкцию даже при снижении ФЖЕЛ. Если снижены и ОФВ₁, и ФЖЕЛ, причем также имеется снижение отношения ОФВ₁/ФЖЕЛ, то причиной являются обструктивные нарушения. При легочной рестрикции (без сопутствующей бронхиальной обструкции) ОФВ₁ и ФЖЕЛ снижаются пропорционально, следовательно, их отношение не изменяется или даже несколько увеличивается. Таким образом, при необходимости дифференцировать обструктивные и рестриктивные нарушения следует оценить отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ.

Другие показатели максимального экспираторного потока

К другим показателям максимального экспираторного потока относятся МОС_{25–75%}, ПСВ и максимальные объемные скорости на уровне 25, 50 и 75% объема ФЖЕЛ (см. рис. 1а).

МОС_{25–75%} можно измерить непосредственно по спирограмме либо рассчитать по кривой поток–объем. Некоторые исследователи считают, что параметр МОС_{25–75%} более чувствителен к бронхиальной обструкции на ранних стадиях, чем ОФВ₁, но МОС_{25–75%} имеет и более широкий диапазон нормальных значений.

Пиковая скорость выдоха – показатель, который измеряется в течение короткого отрезка времени сразу после начала выдоха и выражается либо в л/мин, либо в л/с. ПСВ в большей степени, чем другие показатели, зависит от усилия пациента. Существуют недорогие портативные приборы (пикфлоуметры) для самоконтроля пациентами ПСВ в домашних условиях, получившие распространение при ведении больных БА.

Все названные показатели, как и ОФВ₁, могут снижаться у больных как с обструктивными, так и с рестриктивными нарушениями.

Максимальные инспираторные потоки

Современные спирометры измеряют не только экспираторные, но и инспираторные потоки, в первую очередь, максимальный инспираторный поток (или пиковая объемная скорость вдоха – ПОС_{вд}). При этом испытуемый выполняет маневр ФЖЕЛ и затем делает максимально быстрый и полный вдох, который отражается спирометром в виде нижней части петли поток–объем.

При повышенном сопротивлении ДП снижаются как максимальные экспираторные, так и инспираторные потоки. Однако в отличие от выдоха, при котором максимальные потоки ограничены, не существует механизмов, столь строго ограничивающих максимальные инспираторные потоки. Поэтому ПОС_{вд} в большой степени зависит от приложенного усилия, а ее измерение не получило широкого

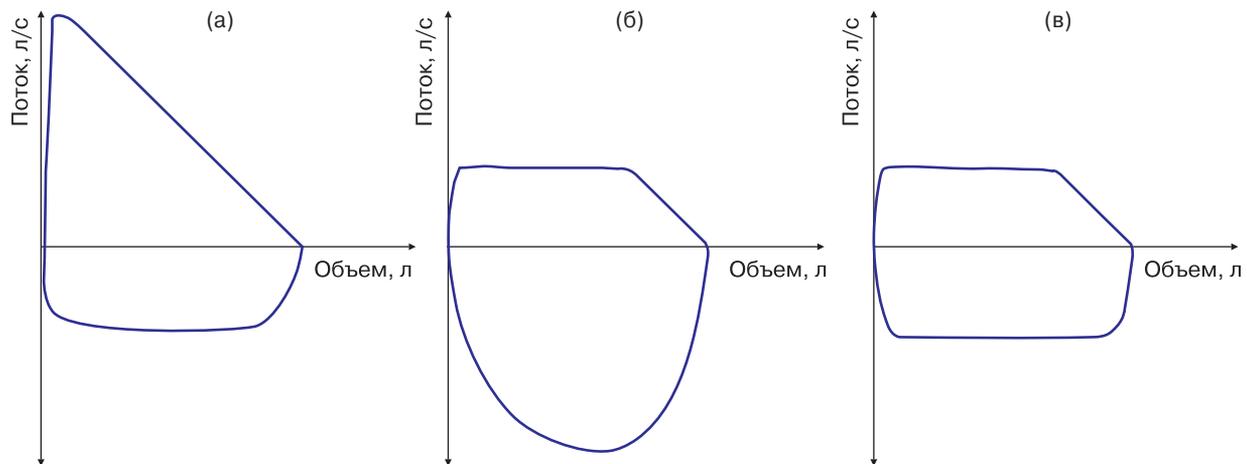


Рис. 3. Кривые поток–объем (схематическое изображение) у больных с обструкцией ВДП: а – переменной экстраторакальной, б – переменной интраторакальной, в – фиксированной.

распространения, за исключением выявления патологии **верхних ДП (ВДП)**.

Типы нарушений вентиляции Обструктивные нарушения

Обструктивный тип вентиляционных нарушений характеризуется сниженным соотношением ОФВ₁/ФЖЕЛ при нормальной (или сниженной) ФЖЕЛ. Наиболее частой причиной служит сужение просвета нижних ДП – при БА, ХОБЛ, эмфиземе легких, муковисцидозе, сдавлении крупных бронхов опухолью извне, стенозировании эндобронхиальной растущей опухолью, рубцовой тканью, инородным телом.

Обструкция ВДП

Обструктивные поражения ВДП (от ротоглотки до бифуркации трахеи) встречаются довольно редко. Их почти всегда можно выявить по характерным изменениям кривой поток–объем, которые зависят от поведения ДП при форсированном выдохе и вдохе (спирограммы далеко не так информативны для диагностики, как кривая поток–объем). Если обструкция возникает только во время вдоха или выдоха, она называется переменной, а при снижении потоков во время обеих фаз дыхания – фиксированной.

По локализации обструкция ВДП может быть экстраторакальной либо интраторакальной. Своеобразная форма кривой поток–объем при поражениях ВДП обусловлена различным воздействием динамических факторов на экстра- и интраторакальные ДП. На экстраторакальные ДП влияет атмосферное давление, а на интраторакальные ДП – внутриплевральное давление. Разность между внешним давлением (атмосферным или внутриплевральным) и давлением внутри ДП называется трансмуральным давлением. Положительное трансмуральное давление создает компрессию и уменьшает просвет ДП. Наоборот, отрицательное трансмуральное давление поддерживает ДП раскрытыми, увеличивая их просвет.

Переменная экстраторакальная обструкция может возникать при параличе голосовых связок (в результате

операции на щитовидной железе, прорастания опухоли в возвратный гортанный нерв, при боковом амиотрофическом склерозе, последствиях полиомиелита), стенозе подскладочного пространства, опухолях гортани или трахеи (первичных или метастатических), увеличении щитовидной железы. При этом возникает избирательное ограничение воздушного потока воздуха на выдохе. Во время выдоха давление внутри ДП увеличивается и превышает атмосферное, воздействующее на зону поражения снаружи, поэтому экспираторный поток меняется мало. Во время вдоха наблюдается обратная картина: атмосферное давление значительно превышает давление в ДП, приводя к снижению инспираторных потоков (что хорошо видно на кривой поток–объем – рис. 3а).

При **переменной интраторакальной обструкции** (возникающей при опухоли внутригрудного отдела трахеи, трахеомалации, стриктурах, гранулематозе Вегенера, рецидивирующем полихондрите) высокое внутриплевральное давление во время форсированного выдоха превышает давление в ДП, что приводит к выраженному сужению их просвета с критическим снижением экспираторных потоков. Инспираторные потоки могут мало меняться, если по абсолютной величине отрицательное плевральное давление больше, чем давление в ДП. Это легко определяется на кривой поток–объем (рис. 3б).

При **фиксированной обструкции** (например, при распространенных опухолях на любом уровне ВДП, параличе голосовых связок с фиксированным стенозом, рубцовых стриктурах) инспираторные и экспираторные потоки нарушаются почти в одинаковой степени (рис. 3в), поскольку просвет ДП в области сужения при этом не зависит от давления внутри и снаружи.

Иногда обструкция ВДП может быть частично фиксированной, поэтому возможно получение промежуточных результатов, но форма кривой поток–объем почти всегда позволяет заподозрить патологию.

Для характеристики обструктивных поражений ВДП используются различные показатели, например, отношение

Типичные изменения спирометрических показателей при обструктивных и рестриктивных нарушениях вентиляции

Показатели	Нарушения	
	обструктивные	рестриктивные
ФЖЕЛ	В норме или снижена	Снижена
ОФВ ₁	Снижен	Снижен
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ	Снижено или в норме	В норме или повышено
МОС _{25–75%}	Снижена или в норме	В норме или повышена
ПСВ	Снижена	В норме или снижена

максимальных объемных скоростей вдоха и выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ. Это отношение наиболее значительно меняется при переменной экстраторакальной обструкции. При подозрении на изолированную обструкцию ВДП следует подтвердить диагноз эндоскопически или рентгенологически.

Изолированная обструкция мелких ДП

Сегодня не существует достаточно специфичных и чувствительных функциональных тестов для диагностики изолированной обструкции дистальных отделов ДП. Лучше всего функцию периферических ДП отражают скоростные показатели, измеренные при низких легочных объемах во время теста ФЖЕЛ (МОС_{25–75%}, МОС_{50%}, МОС_{75%}), но они имеют очень широкий разброс нормальных значений и вследствие этого низкую воспроизводимость.

Рестриктивные нарушения

Рестриктивные нарушения вентиляции обусловлены процессами, снижающими эластичность легких и, следовательно, ограничивающими наполнение легких воздухом. Рестриктивные нарушения возникают при интерстициальных заболеваниях легких, обширной воспалительной инфильтрации легочной ткани, гипоплазии и ателектазах легкого, после резекции легочной ткани. К рестрикции также может приводить и внелегочная патология: поражения грудного отдела позвоночника, ребер, дыхательной мускулатуры, диафрагмы, нарушения регуляции дыхания при угнетении дыхательного центра наркотическими препаратами или его повреждении опухолью, кровоизлиянием.

Рестрицию можно заподозрить при нормальном или повышенном отношении ОФВ₁/ФЖЕЛ на фоне снижения ФЖЕЛ и ОФВ₁. Однако для диагностики рестриктивных нарушений недостаточно спирометрического исследования, а следует выполнить бодиплетизмографию и измерить легочные объемы.

Смешанные нарушения

Смешанные нарушения легочной вентиляции (сочетание обструкции и рестрикции) появляются при сужении просвета ДП на фоне уменьшения легочных объемов. При спирометрии в этом случае регистрируется одновременное снижение ФЖЕЛ, ОФВ₁ и ОФВ₁/ФЖЕЛ. Для уточнения характера функциональных нарушений следует выполнить бодиплетизмографию с измерением легочных объемов.

Типичные изменения спирометрических показателей при обструктивных и рестриктивных нарушениях вентиляции приведены в таблице (поражения ВДП не вошли в таблицу, так как изменения этих показателей для них неспецифичны, а для диагностики необходимо оценивать полный контур петли поток–объем). Следует учесть ряд замечаний:

- при подозрении на интерстициальное заболевание легких как причину рестрикции необходимо исследовать диффузионную способность легких и объемы легких;
- при подозрении на мышечную слабость как причину рестрикции показано измерение силы дыхательных мышц;
- для оценки выраженности эмфиземы измеряют общую емкость легких и диффузионную способность легких;
- при подозрении на БА следует провести бронходилатационный тест (а по показаниям – бронхоконстрикторный тест).

Качественный анализ кривой поток–объем

Существует достаточно ценный с практической точки зрения диагностический подход, который заключается в визуальном сопоставлении кривой поток–объем пациента и нормальной (должной) кривой.

У здорового человека при правильно выполненном маневре ФЖЕЛ сразу после достижения ПСВ начинается плавное снижение скорости потока, поэтому кривая поток–объем обычно имеет форму почти прямоугольного треугольника, основанием которого является ФЖЕЛ, а высота соответствует ПСВ. Как восходящая, так и нисходящая часть кривой форсированного выдоха приближаются по форме к прямой линии. Вариантом нормы считаются и кривые, у которых на нисходящей части появляется своеобразное плато (это характерно для пациентов молодого возраста).

При обструкции (например, БА) экспираторные потоки снижаются, и кривая больного располагается под должной кривой (рис. 4а). Визуальная оценка кривой представляет массу информации: пациент потерял значительную долю нормальной площади под кривой, т.е. имеет ограничение вентиляции. Вогнутая форма кривой и пологое нисходящее колено означают обструктивные процессы.

На начальных стадиях **ХОБЛ** кривая поток–объем ничем не отличается от должной и только позже появляется ограничение вентиляции (кривая приобретает такой же вид, как на рис. 4а). При формировании выраженной обструкции и эмфиземы легких кривая приобретает характерный излом: резкое снижение экспираторного потока сразу после пика сменяется пологим участком кривой, отражающим коллапс дистальных отделов ДП на выдохе с образованием “воздушной ловушки” (рис. 4б).

Результаты спирометрии больного с **идиопатическим легочным фиброзом** представлены на рис. 4в. Одного взгляда на график достаточно, чтобы определить, что у пациента имеется существенное уменьшение площади под

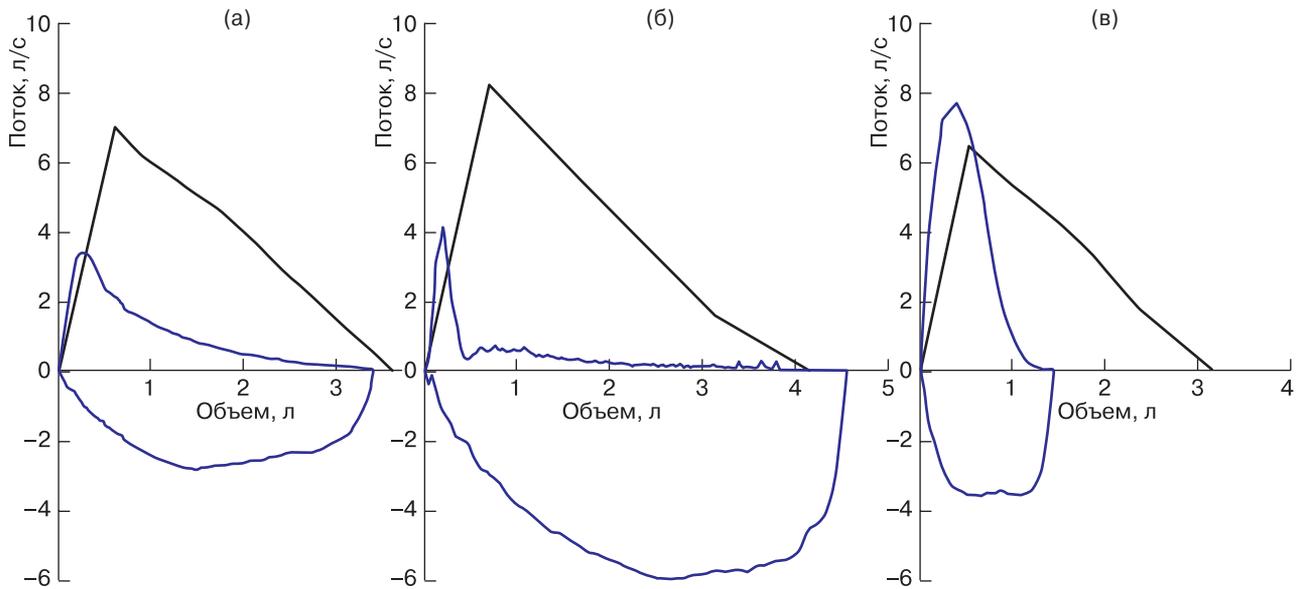


Рис. 4. Кривые поток–объем у больных с различными заболеваниями органов дыхания: а – БА, б – эмфиземой легких, в – идиопатическим легочным фиброзом.

кривой, отражающее ограничение вентиляции. Крутой спуск нисходящего колена кривой поток–объем и уменьшение ФЖЕЛ характерны для рестриктивных нарушений.

Знание основных спирометрических показателей и умение интерпретировать результаты этого исследования необходимы каждому врачу.

Заключение

Спирометрия представляет собой достаточно простой и информативный метод функциональной диагностики, который может и должен использоваться повсеместно для выявления хронической бронхолегочной патологии, мониторинга состояния больных и оценки эффективности лечения. В последние годы разработано множество моделей портативных спирометров, что делает этот метод еще более доступным, поскольку позволяет проводить исследование в любом медицинском учреждении.

Спирометрия особенно актуальна для выявления ранних стадий ХОБЛ у курильщиков, когда пациент еще не считает себя больным (поскольку отсутствует одышка – основной симптом, нарушающий повседневную активность и заставляющий курящего человека обратиться к врачу).

Рекомендуемая литература

Гриппи М.А. Патофизиология легких / Пер. с англ. М., 1999.
 Сильвестров В.П. и др. // Тер. архив. 1989. Т. 61. № 4. С. 97.
 Стандартизация тестов исследования легочной функции // Пульмонология. 1993. Прил. С. 6.
 Черняк А.В. и др. Этапы исследования респираторной функции. Пособие для врачей. М., 2005.
 Annesi-Maesano I. et al. // Eur. Respir. Monograph. V. 5. Mon. 15. Huddersfield, 2000. P. 167.
 Gosselink R., Stam H. // Eur. Respir. Monograph. V. 10. Mon. 31. Huddersfield, 2005. P. 1.
 Hyatt R.E. et al. Interpretation of Pulmonary Function Test. Philadelphia, 2003.
 Miller M.R. et al. // Eur. Respir. J. 2005. V. 26. P. 319.
 Pellegrino R. et al. // Eur. Respir. J. 2005. V. 26. P. 948.

Книги Издательского дома “АТМОСФЕРА”



Амелина Е.Л. и др. Мукоцилиарная терапия / Под ред. А.Г. Чучалина, А.С. Белевского

В монографии суммированы современные представления о строении и функционировании мукоцилиарного клиренса, его нарушениях при различных заболеваниях органов дыхания, методах исследования; рассматриваются основные лекарственные и нелекарственные способы коррекции мукоцилиарного клиренса при бронхолегочной патологии. 128 с., ил.

Для врачей широкого профиля, терапевтов, пульмонологов, студентов медицинских вузов.