

Физиология дыхания

Дыхание — сложный, непрерывный биологический процесс, в результате которого в организм поступает кислород, включающийся в обмен веществ, и удаляются углекислый газ и вода.

Процесс дыхания можно условно разделить на 3 этапа (рис. 1):

- внешнее дыхание;
- транспорт газов кровью;
- внутреннее дыхание.

Внешнее дыхание — газообмен между атмосферным воздухом и кровью легочных капилляров. Состоит из двух подэтапов:

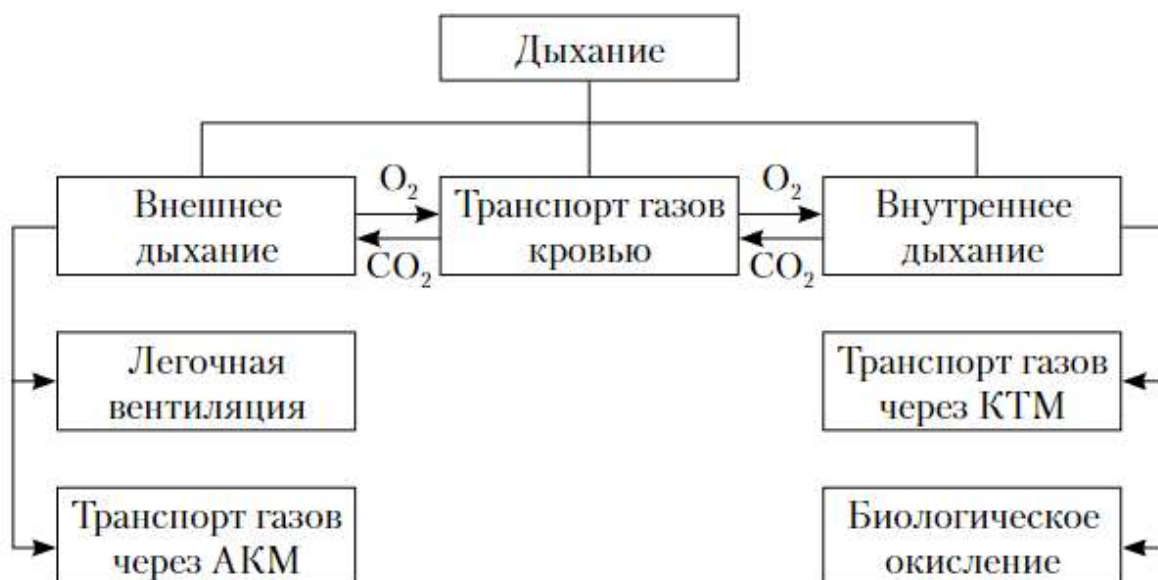


Рис. 1. Этапы дыхания: АКМ — альвеоло-капиллярная мембрана; КТМ — капиллярно-тканевая мембрана

легочной вентиляции и диффузии газов через АКМ. Легочная вентиляция — циклический процесс вдоха и выдоха, в результате которого происходит газообмен между атмосферным и альвеолярным воздухом. Транспорт (диффузия) газов через АКМ — процесс газообмена между альвеолярным воздухом и

кровью легочных капилляров.

Легочная вентиляция изучается с помощью спирометрии, пневмотахометрии и бодиплетизмографии, транспорт газов через АКМ — методом исследования диффузии газов с помощью диффузиометра.

Транспорт газов кровью — перенос кислорода O_2 осуществляется в основном в связанном виде гемоглобином. Углекислый газ CO_2 транспортируется в виде бикарбонатов плазмы крови и частично (около 20%) — в виде карбоксигемоглобина.

Содержание газов крови изучается неинвазивным (пульсоксиметрия) и инвазивным способами. Пульсоксиметрия — исследование сатурации кислорода, т.е. определение отношения содержания кислорода в крови к кислородной емкости крови. В норме оно составляет 93—98%. Это быстрый и доступный способ выявления гипоксемии с помощью портативных приборов — пульсоксиметров. Точное определение содержания газов крови возможно с помощью прямого (инвазивного) метода определения парциального напряжения кислорода и углекислого газа в артериальной и венозной крови. Этот метод обычно используется в реанимационных отделениях специализированных стационаров. В норме парциальное давление (напряжение) O_2 составляет 70—100 мм рт.ст., CO_2 — 35—45 мм рт.ст.

Внутреннее дыхание представляет собой обмен газов в периферических органах и тканях. Состоит из двух подэтапов: транспорт газов через КТМ;

биологическое окисление — включение кислорода в каскад биохимических реакций, приводящих к созданию энергосубстратов в клетках, постоянно необходимых для жизнедеятельности организма, и образование углекислого газа как продукта этих реакций.

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЯ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Анатомо-структурная основа аппарата внешнего дыхания обеспечивает его полноценное функционирование. Схематически аппарат внешнего дыхания можно разделить на 3 элемента:

- воздухопроводящие пути;
- легочная паренхима;
- нейромышечный аппарат.

Заболевания органов дыхания приводят к нарушению легочной вентиляции и развитию дыхательной недостаточности вследствие различных патогенетических механизмов. Рассмотрим работу каждого механизма отдельно, хотя в реальности их действие нередко носит смешанный характер.

Нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу. В норме вдох происходит активно за счет работы дыхательных мышц, выдох — пассивно за счет эластических свойств легочной ткани. Выдох становится активным при физической нагрузке или в случае патологии. На выдохе происходит физиологическое сужение бронхов мелкого калибра, чуть сдавливаемых легочной паренхимой.

Скорость движения потока воздуха по воздухопроводящим путям зависит от диаметра просвета бронха. Сужение бронхов, даже незначительное, вызывает повышенное сопротивление бронхиального дерева воздушному потоку, что снижает бронхиальную проводимость и нарушает легочную вентиляцию. К наиболее частым причинам сужения бронхов относятся:

- бронхоспазм;
- отек слизистой оболочки;
- гиперсекреция мокроты;
- рубцовая перестройка бронхиального дерева;
- инородное тело;
- опухоль;
- сдавление извне увеличенными лимфоузлами.

Кроме того, к сужению бронхов может привести утрата эластического каркаса паренхимы легких, в норме удерживающего

мелкие бронхи от спадения на выдохе. Таков, например, механизм развития бронхиальной обструкции при эмфиземе легких.

Таким образом, обструкция — наличие препятствия воздушному потоку, которое реализуется через сужение просвета бронха. Обструкция вызывает:

- нарушение бронхиальной проводимости;
- падение скорости выдоха и вдоха;
- неэффективную вентиляцию;
- развитие дыхательной недостаточности.

Наиболее часто встречаемые в клинике заболевания легких реализуют свое патологическое действие именно за счет нарушения бронхиальной проводимости.

Нарушение легочной вентиляции по рестриктивному типу. В норме после этапа воздухопроектирования наступает этап наполнения легких воздухом. Легкие расширяются на высоте вдоха не только для того, чтобы создать необходимый для движения воздуха внутри перепад давления между атмосферным и альвеолярным пространством, но и для того, чтобы предоставить поглощенной смеси газов необходимую площадь для газообмена. Обычно при уровне легочной вентиляции 4 л/мин перфузия легких составляет 5 л/мин.

Недостаточное расправление легких в конце вдоха (рестрикция) вызывает:

- снижение наполнения легких воздухом и падение легочных объемов;
- падение вентиляционно-перфузионного соотношения;
- неэффективную вентиляцию;
- развитие дыхательной недостаточности.

Основные причины ограничения расправления и наполнения легких воздухом можно схематично разделить на 3 группы:

1) повышение жесткости легочной паренхимы — рестриктивно-паренхиматозные заболевания;

2) патологические процессы в рядом расположенных органах и тканях — патология внутренних органов, патология грудного каркаса;

3) недостаточность нейромышечного аппарата — поражение дыхательной мускулатуры, нарушение регуляции дыхания.

Эти причины приводят к уменьшению объемов воздуха, находящихся в легких в разные моменты легочной вентиляции, и, следовательно, к развитию дыхательной недостаточности рестриктивного генеза.

Болезни легких, в зависимости от того, какой тип нарушений легочной вентиляции они вызывают, делятся на обструктивные и рестриктивные (табл. 1).

Таблица 1

Обструктивные и рестриктивные заболевания

Классификация заболеваний по типу их влияния на вентиляционную функцию	Перечень болезней
1. Обструктивные	Бронхиальная астма, хронический обструктивный бронхит, эмфизема, бронхоэктазы, муковисцидоз, бронхиолит
2. Рестриктивные:	
2.1. Рестриктивно-паренхиматозные	Интерстициальные заболевания легких (саркоидоз, идиопатический легочный фиброз, пневмокониозы, альвеолиты, пневмофиброз, гранулематоз Вегенера). Пневмонии, ателектаз, застойные явления в малом круге кровообращения, резекция легкого, врожденная гипоплазия легкого
2.2. Рестриктивно-внепаренхиматозные:	
А. Связанные с объемными процессами в рядом расположенных органах и тканях	Экссудативный плеврит, пневмоторакс, диафрагмальная грыжа, асцит, абсцесс печени, опухоль печени, метеоризм, многоплодная беременность
Б. Связанные с поражением грудного каркаса	Кифосколиоз, ожирение, болезнь Бехтерева, травмы грудной клетки
В. Связанные с поражением нейромышечного аппарата	Слабость или паралич диафрагмы, синдром Гийена–Барре, мышечные дистрофии, полиомиелит, повреждение шейного отдела спинного мозга, нарушение регуляции дыхания

Методики исследования функции внешнего дыхания

К наиболее распространенным методикам оценки функционального состояния легких относятся:

- спирометрия;
- пневмотахометрия;
- бодиплетизмография;
- исследование легочной диффузии;
- измерение растяжимости легких;
- эргоспирометрия.

Данные методики позволяют оценить следующие характеристики легочной функции:

- бронхиальную проводимость;
- воздухонаполненность;
- легочную диффузию;
- эластичность легких;
- работу дыхательных мышц.

Спирометрия и пневмотахометрия являются базовыми методиками исследования функции внешнего дыхания и представляют собой два этапа исследования легочной вентиляции. Они оценивают вентиляционную функцию легких. Определение вентиляционной способности легких складывается из измерения количества воздуха в легких и скорости, с которой воздух может изгоняться из легких. Эти методики относительно дешевы, просты в применении и доступны в большинстве лечебных учреждений. Они являются скрининговыми для раннего выявления заболеваний легких.

Показаниями к проведению спирометрии и пневмотахометрии служат:

диагностические цели:

1) диагностика заболеваний легких при наличии следующих факторов:

- определенных симптомов (одышка, кашель, чихание, выделение мокроты, боль в груди);

- признаков (легочные хрипы, цианоз, замедление выдоха, гиперинфляция легких, необъяснимые треск и шумы в легких);

- данных лабораторных тестов (гипоксемия, гиперкапния, полицитемия);

2) оценка влияния заболеваний на функцию легких;

3) обследование пациентов группы риска (курильщики и люди, чья работа связана с экспозицией вредных факторов внешней среды);

- 4) оценка периоперационного риска;
- 5) оценка прогноза заболевания;
- 6) оценка состояния здоровья у лиц, планирующих высокоинтенсивные физические нагрузки;

мониторинг:

- 1) оценка эффективности лечения:
 бронходилататорной терапии;
 кортикостероидной терапии при астме, интерстициальных заболеваниях легких;
 ведения пациентов с хронической сердечной недостаточностью;

- 2) оценка тяжести и течения болезней, влияющих на легочную функцию:
 обструктивных и интерстициальных заболеваний легких;
 хронической сердечной недостаточности;
 нейромышечных заболеваний (синдром Гийена–Барре);

- 3) наблюдение за лицами вредных профессий;
- 4) наблюдение за пациентами, получающими терапию с легочной токсичностью.

оценка степени нетрудоспособности;

эпидемиологическое обследование населения.

ТЕХНИКА ПРОВЕДЕНИЯ СПИРОМЕТРИИ И ПНЕВМОТАХОМЕТРИИ

Тестирование с помощью спирометрии и пневмотахометрии предоставляет достоверную информацию о состоянии функции внешнего дыхания пациента лишь при соблюдении ряда необходимых условий. К ним относятся: 1) тщательная подготовка

пациента; 2) подготовка аппаратуры и 3) соблюдение техники выполнения процедуры.

Подготовка пациента

Исследование проводится в утренние или дневные часы. Пациенту должны быть объяснены цель и важность процедуры. Достоверность результатов в значительной мере зависит от степени соблюдения параметров подготовки к исследованию.

Перед проведением процедуры пациент должен соблюдать следующие условия:

- не курить — за 2 ч до исследования;

- не принимать алкоголь — за 4 ч до исследования;

- исключить физическую нагрузку — за 30 мин до исследования;

- не принимать пищу — за 2 ч до исследования.

За исключением случаев оценки эффективности терапии тестирование проводится на «чистом», безлекарственном фоне. Перед исследованием не допускается применения следующих лекарственных препаратов:

- ингаляционных β_2 -агонистов и холинолитиков короткого действия — за 8 ч, пролонгированных — за 12 ч;

- теофиллинов короткого действия — за 8 ч, пролонгированных — за 24 ч.

Врач должен также удостовериться в отсутствии противопоказаний. Ими служат:

- 1 мес после перенесенного инфаркта миокарда;

- боль в груди или в животе любого происхождения;

- боль в лицевой области, провоцируемая использованием мундштука;

- 2–4 нед после ОРВИ;

- физическая или психическая неполноценность.

Перед исследованием должны быть измерены масса и рост пациента. Одежда его не должна мешать свободной экскурсии грудной клетки. Зубные протезы следует оставить в ротовой полости. Процедура проводится в положении сидя. Пациент должен находиться в расслабленном состоянии. Ему следует

подробно объяснить последовательность маневра, при этом маневр должен быть не только объяснен, но и продемонстрирован. Это требование является ультимативным для данного тестирования, так как именно от правильности выполнения пациентом маневра, требующего определенных усилий и координации, зависят достоверность результатов и возможность их анализа.

Подготовка аппаратуры

Для проведения тестирования в настоящее время используются компьютерные спирографы, обеспечивающие возможность измерения и графической регистрации основных показателей легочной вентиляции в режиме он-лайн.

Требования к точности приборов подробно изложены в соответствующих рекомендациях. Для поддержания точности ежедневно перед исследованием проводится калибровка спирографов с использованием калибровочного шприца емкостью 3 л. В программу работы прибора вводятся показатели температуры воздуха, влажности, атмосферного давления окружающей среды. Для предотвращения перекрестной контаминации инфекционными агентами съемные части прибора должны регулярно стерилизоваться. Для потоковых спирометров, работающих в режиме «открытого контура», достаточно стерилизовать только загубники.

Техника выполнения маневра при спирометрии

На первом этапе исследования легочной вентиляции — этапе спирометрии — оценивают статические легочные объемы (показатели, получаемые при спокойном дыхании и выполнении маневра полного выдоха и вдоха). Основное внимание уделяется достижению полноты маневра, форсированное, быстрое дыхание в данном случае не требуется.

Основным легочным объемом, измеряемым при спирометрии, является жизненная емкость легких (ЖЕЛ). Это объем

воздуха, проходящий через легкие между позициями полного вдоха и полного выдоха. Статическая ЖЕЛ может быть измерена двумя путями — как ЖЕЛ выдоха и как ЖЕЛ вдоха. ЖЕЛвыд — максимальный объем воздуха, изгоняемый из легких из точки максимального вдоха. ЖЕЛвд — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть из точки максимального выдоха.

Оба маневра проводят в спокойном режиме, за исключением момента достижения точки остаточного объема или общей емкости легких, когда требуется приложение дополнительного усилия (рис. 2).

Предпочтительнее измерять ЖЕЛ перед выполнением маневра форсированного выдоха. Учитывая, что у пациентов с обструктивными заболеваниями легких выдох ограничен, у них рекомендуется проводить измерение ЖЕЛ как ЖЕЛ вдоха.

Перед маневром на нос пациента накладывается носовой зажим. Пациент плотно обхватывает губами загубник, несколько секунд выполняет спокойное дыхание, затем делает спокойный максимальный выдох в трубку, достигая точки ОО, полностью вдыхает до точки ОЕЛ и в конце снова делает выдох. Следует указывать пациенту на необходимость совершения максимально полного выдоха и вдоха на относительно постоянной скоро-

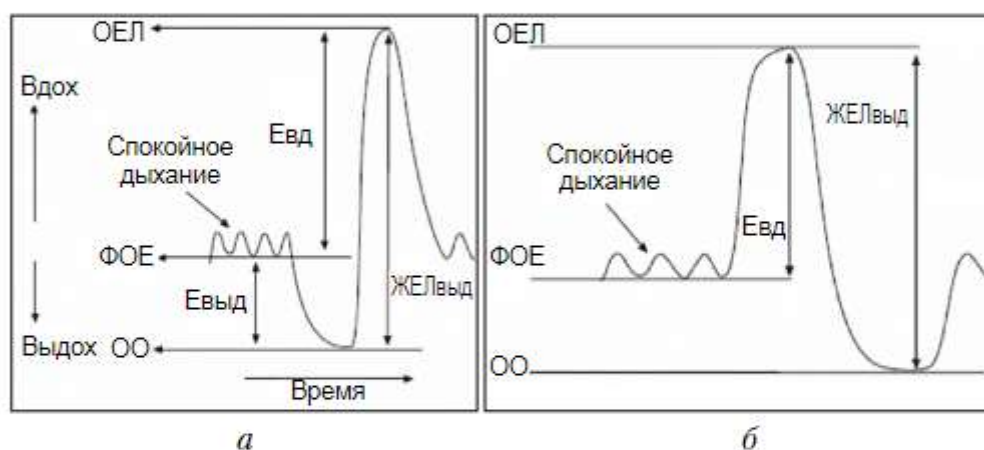


Рис. 2. Определение ЖЕЛ вдоха (а) и выдоха (б): обозначения и определения показателей легочного объема подробно рассмотрены в разделе «Показатели спирометрии»

сти дыхания, без пауз. Здоровые люди уровни максимального выдоха и вдоха достигают за 5—6 с.

При определении ЖЕЛ проводят не более 4 маневров. Для успешного исследования необходимо выполнить как минимум три приемлемых измерения. Последовательные измерения ЖЕЛ не должны отличаться более чем на 150 мл. Основные погрешности в определении ЖЕЛ обычно связаны с неполным вдохом. Для последующего анализа используется самое большое значение, полученное в результате трех приемлемых маневров.

Техника выполнения маневра при пневмотахометрии

На втором этапе исследования — этапе пневмотахометрии — проводится маневр форсированного выдоха. При этом измеряются динамические легочные объемы и форсированные инспираторные и экспираторные легочные потоки (скорости выдоха и вдоха).

К основным показателям маневра форсированного выдоха относятся:

ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких — максимальный объем воздуха, выдыхаемый из легких при форсированном выдохе после максимального вдоха;

ОФВ1 — объем форсированного выдоха за первую секунду — максимальный объем воздуха, выдыхаемый из легких за первую секунду форсированного выдоха из точки максимального вдоха.

Остальные показатели маневра форсированного выдоха будут рассмотрены в разделе «Показатели пневмотахометрии».

При этой процедуре пациент делает максимально полный вдох и далее выполняет форсированный выдох в трубку загубника. Выдох должен быть сделан практически на максимуме усилия, достигнутого в самом начале выдоха, и продолжен не менее 6 с, в идеале — до выхода кривой графика «объем—время» на плато (рис. 3).

Поскольку форсированный выдох требует достаточного напряжения сил, а для получения удовлетворительного результата

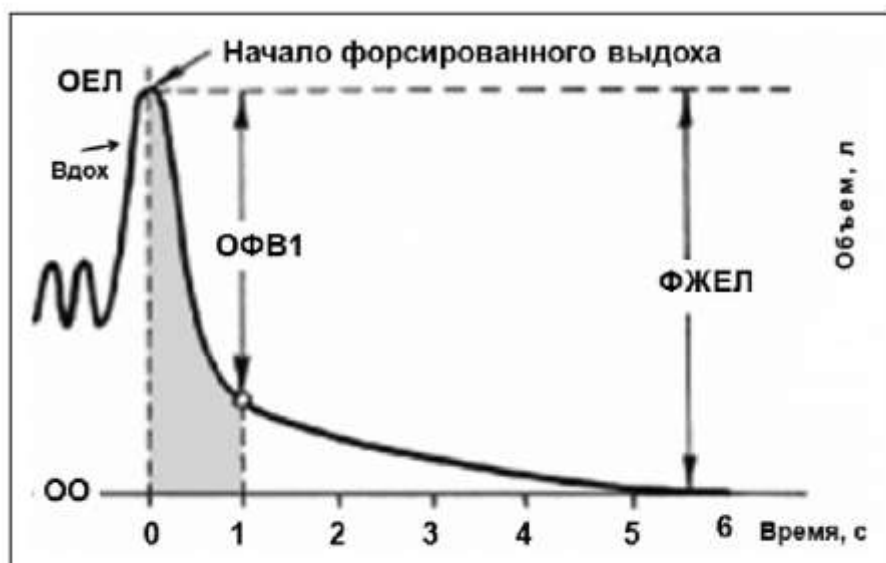


Рис. 3. Пневмотахометрия. Маневр форсированного выдоха

необходимо проведение не менее трех приемлемых маневров, особенно важно с самого начала добиться от пациента правильности исполнения теста. Как показывает практика, лишь небольшое число людей, особенно страдающих болезнями легких, способно сохранить достаточное усилие уже к 4–5-му выдоху.

Алгоритм процедуры следующий:

1. Объясните и продемонстрируйте маневр:

- а) позиция пациента — сидя со слегка поднятой головой;
- б) быстрый и полный вдох;
- в) плотно обхватить губами загубник (открытый контур);
- г) выдох на максимуме усилия.

2. Проведите маневр:

- а) пациент должен занять правильное положение;
- б) наложите зажим на нос;
- в) при закрытом контуре работы прибора:
 - пациент должен взять мундштук в рот и плотно обхватить его губами;
 - полный и быстрый вдох с паузой не более 1 с на высоте вдоха;
 - максимально сильный выдох в трубку, продолжающийся до тех пор, пока весь воздух не будет изгнан из легких;

г) при открытом контуре работы прибора:

- пациент вначале делает полный и быстрый вдох из атмосферы, а затем плотно обхватывает губами загубник, делая паузу не более 1 с на высоте вдоха;
- максимально сильный выдох в трубку, продолжающийся до тех пор, пока весь воздух не будет изгнан из легких;

д) продолжительность выдоха — не менее 6 с или до выхода кривой «объем—время» на плато;

е) направляйте пациента во время маневра.

3. Проверьте воспроизводимость и приемлемость маневра, при необходимости повторите его.

4. Проведите не менее 3, но не более 8 маневров.

Основные погрешности в выполнении маневра связаны с медленным вдохом и/или паузой на вершине вдоха более 2 с. Начальный вдох должен быть максимально полным, а выдох проведен на максимуме усилия. На протяжении форсированного выдоха врач должен руководить пациентом, заставляя его продолжать выдох, «пока весь воздух не выйдет из легких».

Правильно выполненный тест подразумевает соблюдение критериев приемлемости и воспроизводимости маневра форсированного выдоха.

Приемлемость маневра:

- а) быстрый старт:
 - начало форсированного выдоха без паузы на вдохе;
 - быстрое достижение пиковой скорости выдоха (в начале выдоха);
- б) удовлетворительный выдох — продолжительность выдоха — до выхода кривой «объем—время» на плато или более 6 с — для взрослых, более 3 с — для детей;
- в) отсутствие артефактов:
 - кашель во время выдоха;
 - напряжение глотки при маневре;
 - ранний обрыв выдоха;
 - утечка воздуха;
 - перекрытие мундштука.

Воспроизводимость маневра — получение не менее 3 спирогрaмм, удовлетворяющих критериям:

разница между ФЖЕЛ соседних измерений — менее 150 мл (5%);

разница между ОФВ1 соседних измерений — менее 150 мл (5%).

Для анализа выбираются наибольшие значения ФЖЕЛ и ОФВ1 из трех приемлемых и воспроизводимых маневров.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРОМЕТРИИ

При спирометрии происходит измерение статических легочных объемов. Сущность этих показателей наглядно представлена на спирограмме (рис. 4).

Существует 4 самостоятельных вида легочных объемов. Легочные емкости включают в себя два или более легочных объема. Приводим их русско- и англоязычное обозначение.

ДО (VT — *tidal volume*) — дыхательный объем — объем газа, вдыхаемого и выдыхаемого при спокойном дыхании (12% ЖЕЛ).

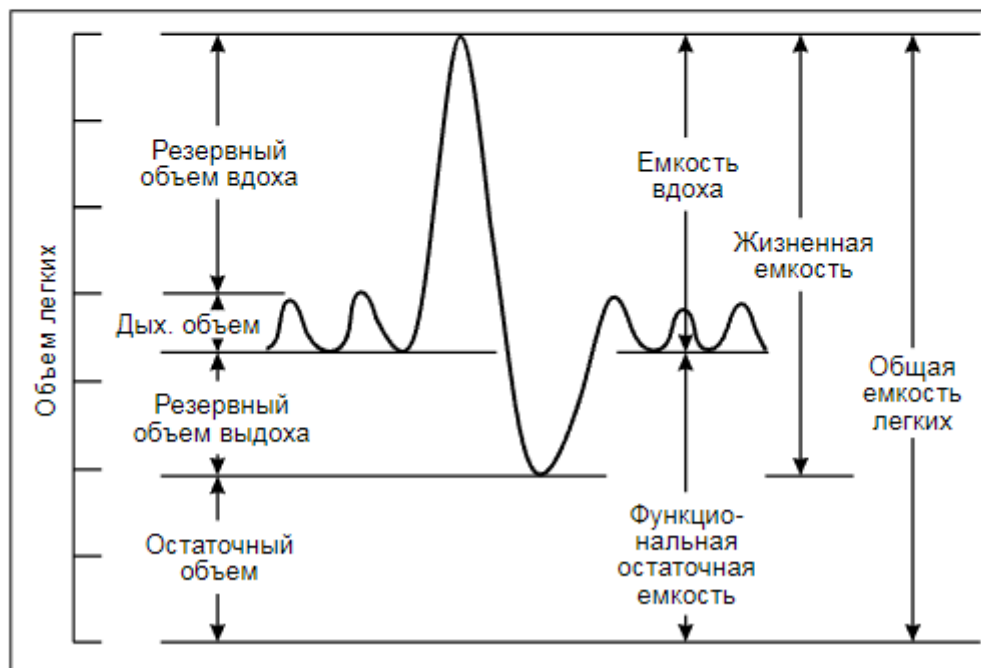


Рис. 4. Легочные объемы и емкости

РОвд (IRV — *inspiratory reserve volume*) — резервный объем вдоха — максимальный объем газа, который можно дополнительно вдохнуть после спокойного вдоха (55% ЖЕЛ).

РОвыд (ERV — *expiratory reserve volume*) — резервный объем выдоха — максимальный объем газа, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха (33% ЖЕЛ).

ОО (RV — *reserve volume*) — остаточный объем легких — объем газа, остающийся в легких после максимального выдоха.

ЖЕЛ (VC — *vital capacity*) — жизненная емкость легких — максимальный объем газа, который можно выдохнуть после максимально глубокого вдоха или вдохнуть после максимально глубокого выдоха (предпочтительнее). Составляет 2/3 ОЕЛ (70% ОЕЛ).

Евд (IC — *inspiratory capacity*) — емкость вдоха — максимальный объем газа, который можно вдохнуть после спокойного выдоха. Величина этой емкости характеризует способность легочной ткани к растяжению.

ФОВ (FRC — *functional residual capacity*) — функциональная остаточная емкость — объем газа, остающегося в легких после спокойного выдоха (40–50% ОЕЛ).

ОЕЛ (TLC — *total lung capacity*) — общая емкость легких — объем газа, содержащегося в легких после максимального вдоха.

Обычная спирометрия не позволяет измерить величины ОО, ФОВ и ОЕЛ. Между тем именно эти показатели играют важную роль в диагностике рестриктивных заболеваний легких, что и ограничивает применение спирометрии для установления данной патологии. В таком случае используется измерение внутригрудного объема газов с помощью метода бодиплетизмографии или метода разведения газов.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПНЕВМОТАХОМЕТРИИ

При пневмотахометрии во время форсированного выдоха происходит измерение динамических легочных объемов и форсированных экспираторных и инспираторных легочных потоков.

К основным динамическим легочным объемам относятся ФЖЕЛ и ОФВ1 (рис. 5).

ФЖЕЛ (FVC — *forced volume capacity*) — форсированная жизненная емкость легких — максимальный объем воздуха, выдыхаемый из легких при форсированном выдохе после максимального вдоха.

ОФВ1 — (FEV1 — *forced expiratory volume*) — объем форсированного выдоха за первую секунду — максимальный объем воздуха, выдыхаемый из легких за первую секунду форсированного выдоха из точки максимального вдоха.

Теоретически ФЖЕЛ и ЖЕЛ должны быть равны между собой, но на практике ФЖЕЛ несколько меньше ЖЕЛ, так как при быстром выдохе не весь объем воздуха успевает выйти из легких.

ОФВ1 — универсальный показатель, так как, с одной стороны, является объемным показателем и отражает изменение количества воздуха в легких, а с другой стороны, вследствие

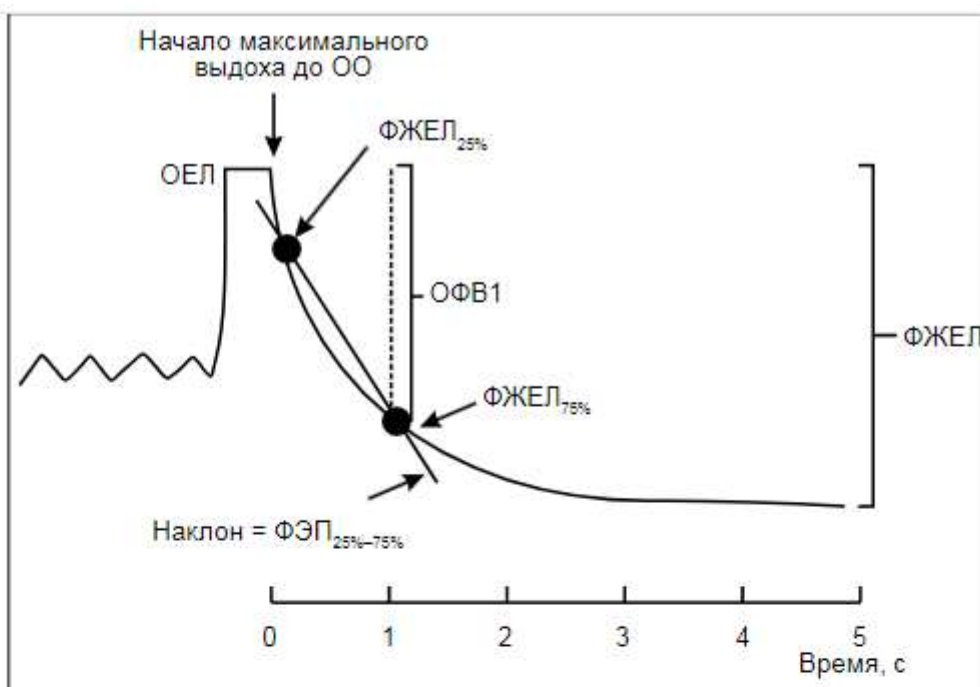


Рис. 5. Маневр форсированного выдоха из точки ОЕЛ до точки ОО. Измерение ФЖЕЛ и ОФВ1

связи со временем отражает состояние бронхиальной проводимости. Чем меньше скорость выдоха, чем более выражена обструкция, тем меньшее количество воздуха успевает выйти из легких за 1 с.

Важное диагностическое значение имеет не только уровень ОФВ1 в абсолютных цифрах, но и его процентное отношение к общему объему выдыхаемого воздуха (ЖЕЛ или ФЖЕЛ). $\text{ОФВ1/ЖЕЛ (FEV1/VC)}$ — индекс Тиффно и $\text{ОФВ1/ФЖЕЛ (FEV1/FVC)}$ — весьма чувствительные показатели бронхиальной обструкции. Они остаются неизменными или несколько повышаются при наличии рестриктивной патологии.

В норме за первую секунду форсированного выдоха может быть выдохнуто 70–80% ФЖЕЛ, а при тяжелой обструктивной патологии значение ОФВ1/ФЖЕЛ составляет от 20 до 30%.

$\text{ФЭП}_{25\%-75\%}$ ($\text{FEF}_{25\%-75\%}$) — форсированный экспираторный поток между 25 и 75% форсированной жизненной емкости легких. С помощью этой величины оценивается средняя объемная скорость воздушного потока между 25 и 75% выдыхаемого объема ($\text{СОС}_{25\%-75\%}$).

Время форсированного выдоха (FET — forced expiratory time) — при качественно выполненном маневре должен составлять у здоровых не менее 6 с у взрослых и 3 с у детей. У пациентов с обструктивными заболеваниями легких для завершения выдоха может потребоваться около 15 с.

КРИВАЯ «ПОТОК–ОБЪЕМ»

С помощью компьютерной обработки получаемых данных возможно графическое представление маневра форсированного выдоха в виде соответствия скоростей воздушного потока меняющемуся объему выдыхаемого или вдыхаемого воздуха.

Такое представление данных получило название «кривая «поток–объем» (рис. 6). Данный график демонстрирует смысл показателей, относящихся к форсированным экспираторным и инспираторным потокам (т.е. скоростям вдоха и выдоха).

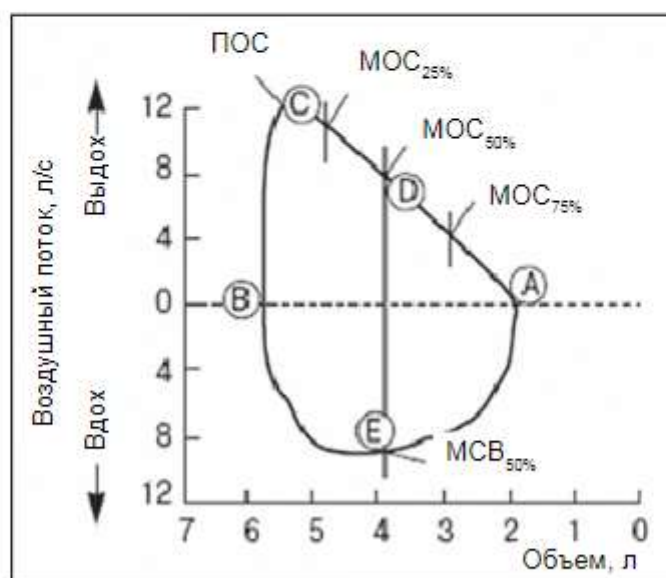


Рис. 6. Кривая «поток–объем»: А — начало максимального выдоха, В — начало форсированного выдоха, С — точка максимальной скорости выдоха, D — середина выдоха, Е — середина вдоха. Расстояние АВ отражает величину ФЖЕЛ

У здорового человека кривая «поток–объем» в части, относящейся к выдоху, напоминает прямоугольный треугольник. В начале выдоха скорость резко возрастает и быстро достигает своего пика, а затем убывает в линейной зависимости. Кривая вдоха имеет симметричную куполообразную форму с достижением максимальной скорости в середине вдоха. Поэтому в норме скорость вдоха в его середине всегда больше (в 1,5 раза) скорости выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ.

ПОС (PEF — *peak expiratory flow*) — пиковая объемная скорость выдоха — максимальная объемная скорость форсированного выдоха.

МОС_{%ФЖЕЛ} (FEF_{%FVC} — *forced expiratory flow at x% of FVC*) — максимальная скорость выдоха в момент, когда определенный процент ФЖЕЛ уже выдохнут из легких. Обычно рассматриваются 3 уровня ФЖЕЛ: МОС_{25%}, МОС_{50%}, МОС_{75%} (FEF_{25%}, FEF_{50%}, FEF_{75%} — *forced expiratory flow at 25, 50, 75% of FVC*) — максимальная скорость выдоха в момент, когда из легких уже выдохнуто 25, 50 и 75% ФЖЕЛ соответственно.

MEF_{%FVC} — *maximal expiratory flow at x% of FVC* — максимальная объемная скорость выдоха в момент, когда определенный процент ФЖЕЛ остается выдохнуть из легких. (Иногда в России эти показатели обозначают аббревиатурой МОС_{%ФЖЕЛ}). Обычно рассматривают 3 уровня ФЖЕЛ: MEF_{25%}, MEF_{50%}, MEF_{75%} — *maximal expiratory flow at 25, 50, 75% of FVC* — максимальная скорость выдоха в момент, когда из легких остается выдохнуть 25, 50 и 75% ФЖЕЛ соответственно.

Из терминологии понятно, что рассмотрение скоростей в зависимости от того, какой процент ФЖЕЛ уже выдохнут или еще остается выдохнуть из легких, приводит к различному обозначению одних и тех же показателей:

$$\text{MEF}_{75\%} = \text{FEF}_{25\%} (\text{МОС}_{25\%});$$

$$\text{MEF}_{50\%} = \text{FEF}_{50\%} (\text{МОС}_{50\%});$$

$$\text{MEF}_{25\%} = \text{FEF}_{75\%} (\text{МОС}_{75\%}).$$

Ранее в Европе предлагалось использовать показатели MEF_{%FVC}, но в рекомендациях ATS/ERS 2005 г. предпочтение снова отдается показателям FEF_{%FVC}.

СОС_{25–75%} (FEF_{25–75%} — *forced expiratory flow between 25–75% of the FVC*) — средняя объемная скорость выдоха на уровне 25–75% от ФЖЕЛ.

МСВ_{50%} (MIF_{50%} — *maximal inspiratory flow at 50% FVC*) — максимальная скорость вдоха на уровне 50% ФЖЕЛ. Обычно используется при подозрении на наличие экстраторакальной обструкции (трахеи и гортани). Для измерения требует наличия специального датчика в приборе.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация результатов должна выполняться по следующему алгоритму:

1. Оцените качество проведения теста (приемлемость и воспроизводимость).
2. Сравните результаты с должными величинами.
3. Установите наличие обструктивных или рестриктивных расстройств.

4. Установите тяжесть нарушения легочной вентиляции.
5. Оцените динамику (при повторных тестах).

Параметры легочной вентиляции зависят от ряда факторов: массы тела, пола, роста, возраста, тренированности и расово-этнической принадлежности конкретного человека. Поэтому для оценки показателей следует сравнивать их с должными величинами. Должные значения показателя получаются в результате обследования больших групп здоровых людей со сходными антропометрическими и этническими характеристиками. Нормативы содержатся в памяти спирометра, и сравнение происходит автоматически.

Следует отметить, что значения нормы со временем меняются. Например, значительно изменилось в последнее время понятие о нижней границе нормы. Так, в нашей стране использовались нормативы из разных баз данных (табл. 2). В то же время в ряде зарубежных стран порог в значении показателя 80% от должного для основных индексов и 0,7 — для индекса Тиффно при интерпретации легочных тестов рассматривались как нижние границы нормы. Однако появились данные, что такая градация нормативов применима лишь для детей, а у взрослых может приводить к существенным ошибкам при анализе данных спирометрии, в частности к гипердиагностике обструктивных нарушений у асимптомных лиц старше 45 лет.

В настоящее время рекомендации ATS/ERS предлагают в качестве нижней границы нормы для любого показателя легочной функции использовать значения ниже, чем у 5 перцентилей распределения данного показателя в популяции.

Перцентиль — это сотая часть объема измерений совокупности людей, которой соответствует определенное значение антропометрического признака. Значения перцентилей определяются арифметически с учетом среднеарифметического значения антропометрического признака M и коэффициента среднеквадратичного отклонения s , что для 5 перцентилей составляет $M-1,645s$, а для 95 перцентилей — $M+1,645s$.

Перцентиль — такое значение признака, при котором процент измерений PCNTILE имеет значение признака меньшее,

Границы нормальных значений основных спирографических показателей (в % по отношению к расчетной должной величине)
(по Л.Л. Шук и Н.Н. Канаеву, 1985)

Показатели	Норма	Условная норма	Отклонения		
			Умеренные	Значительные	Резкие
ЖЕЛ	>90	85–89	70–84	50–69	<50
ОФВ1	>85	75–84	55–74	35–54	<35
ОФВ1/ФЖЕЛ	>70	65–69	55–64	40–54	<40
ОО	90–125	126–140	141–175	176–225	>225
		85–89	70–84	50–69	<50
ОЕЛ	90–110	110–115	116–125	126–140	>140
		85–89	75–84	60–74	<60
ПОС:					
мужчины	>84,3	84,3–74,2	74,2–48,7	48,7–40,2	<40,2
женщины	>82,8	82,8–71,8	71,8–46,3	46,3–37,8	<37,8
МОС _{25%} :					
мужчины	>81,6	81,6–69,8	69,8–52,8	52,8–35,9	<35,9
женщины	>80,0	80,0–67,2	67,2–41,8	41,8–33,3	<33,3
МОС _{50%} :					
мужчины	>77,2	77,2–62,6	62,6–32,6	32,6–22,7	<22,7
женщины	>76,1	76,1–60,8	60,8–30,8	30,8–20,8	<20,8
МОС _{75%} :					
мужчины	>72,4	72,4–54,8	54,8–41,1	41,1–27,4	<27,4
женщины	>72,7	72,7–55,3	55,3–41,6	41,6–27,9	<27,9
СОС _{25%–75%} :					
мужчины	>79,0	79,0–65,5	65,5–34,0	34,0–23,4	<23,4
женщины	>74,3	74,3–57,9	57,9–26,4	26,4–15,9	<15,9

либо равное данному. Например, 5-й перцентиль длины тела у мужчин составляет 163,6 см, т.е. это означает, что 5% измеренных людей имеют длину тела 163,6 см и ниже, а 95% — выше.

Нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу

Ведущей причиной обструктивных нарушений является сужение бронхиального дерева, приводящее к снижению скорости выдоха. Таким образом, обструкция — это снижение показателей исследования, характеризующих скорости выдоха и вдоха.

Падение скорости выдоха вызывает уменьшение объема воздуха, который можно успеть выдохнуть из легких за короткий промежуток времени (за 1 с). Поэтому весьма чувствительным и надежным показателем обструкции служит снижение значений ОФВ1 и ОФВ1/ЖЕЛ. Индекс Тиффно является более специфичным показателем обструкции, так как ОФВ1 может снижаться и при наличии рестриктивных расстройств.

Наличие обструктивных нарушений приводит к качественным изменениям кривой «поток—объем». Она теряет форму прямоугольного треугольника, уменьшается по амплитуде, в ней появляется характерная вогнутость. «Вогнутость» кривой выдоха — чувствительный индикатор обструкции даже при нормальном значении ОФВ1 и индекса Тиффно. Снижаются амплитуды показателей, отражающих величины скоростей выдоха на разных уровнях ФЖЕЛ. Иногда как отражение эмфиземы происходит сдвиг кривой влево (увеличение ОЕЛ) (рис. 7).

Количественно обструктивные нарушения приводят к снижению следующих показателей:

ОФВ1 (FEV1);

ОФВ1/ФЖЕЛ (FEV1/FVC);

ПОС (PEF);

$MOC_{25\%}, MOC_{50\%}, MOC_{75\%} (FEF_{25\%}, FEF_{50\%}, FEF_{75\%})$;

$SOC_{25\%-75\%} (FEF_{25\%-75\%})$.

Изменения, связанные с ранней стадией развития обструктивных заболеваний легких и отражающие поражение дыхательных путей мелкого калибра, вызывают уплощение

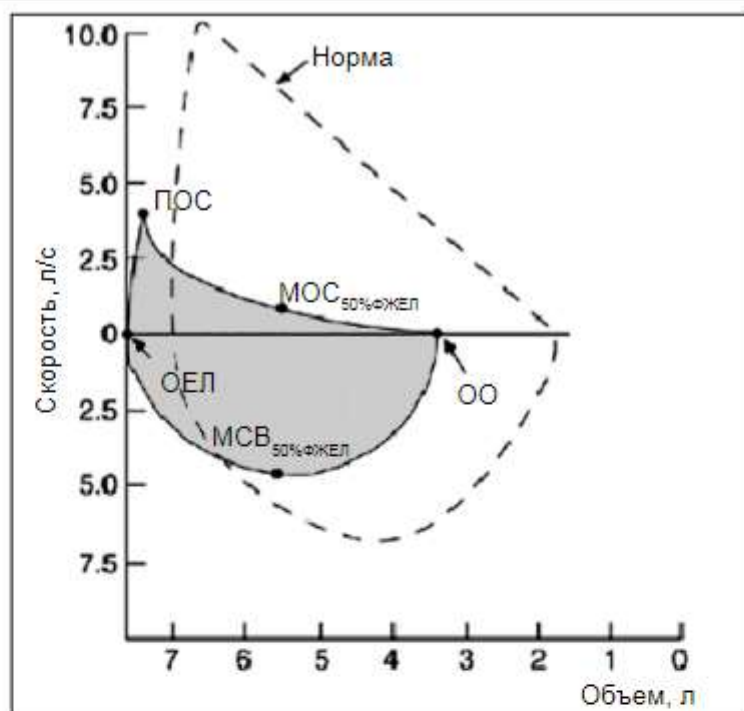


Рис. 7. Кривая «поток—объем» при обструктивных нарушениях легочной вентиляции

(«провисание») конечной части кривой «поток—объем» и практически не влияют на ее начальную часть. Количественно это не проявляется или приводит к снижению показателей конца выдоха — $МОВ_{75\%}$ и $СОС_{25\%-75\%}$ при нормальных значениях ОФВ1 и индекса Тиффно. Однако эти признаки малоспецифичны и могут наблюдаться в отсутствие патологии, поэтому их следует оценивать вкупе с клинической картиной.

По мере прогрессирования заболевания и вовлечения в процесс дыхательных путей крупного калибра происходит изменение кривой «поток—объем» на всем ее протяжении и соответственное снижение значения ОФВ1, ОФВ1/ФЖЕЛ и всех скоростных показателей выдоха (рис. 8).

Самыми надежными и воспроизводимыми индикаторами бронхиальной обструкции признаны индекс Тиффно и ОФВ1. Скоростные индексы показали низкую устойчивость при повторных исследованиях.

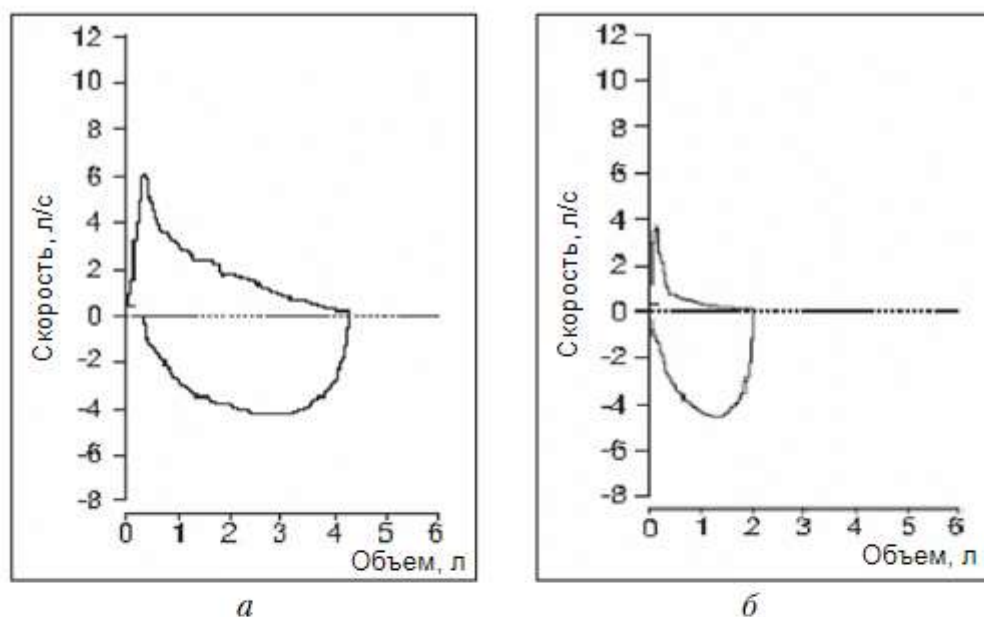


Рис. 8. Кривая «поток—объем» при умеренной обструкции при бронхиальной астме (а) и при тяжелой обструкции у пациента с ХОБЛ (б)

Ранее считалось, что по преимущественному снижению показателей скорости выдоха на разных уровнях ФЖЕЛ можно судить о локализации бронхиальной обструкции. В таком случае снижение ПОС и $\text{МОС}_{25\%}$ отражает нарушение бронхиальной проводимости на уровне крупных бронхов, снижение $\text{МОС}_{50\%}$ и $\text{СОС}_{25\%-75\%}$ — на уровне бронхов среднего калибра и снижение $\text{МОС}_{75\%}$ — уменьшение бронхиальной проводимости на уровне мелких бронхов. В настоящее время такое утверждение оспаривается большинством исследователей.

В случае легкой и умеренной обструкции показатели ФЖЕЛ и ЖЕЛ остаются нормальными. При тяжелой обструкции вследствие динамического эффекта воздушной ловушки или развития эмфиземы легких значительно увеличивается остаточный объем и общая емкость легких, что приводит к закономерному снижению ЖЕЛ (рис. 9). В таком случае дифференцировать наличие эмфиземы или гиперинфляции легких от сочетанной рестриктивной патологии как причины снижения ЖЕЛ можно только путем измерения ОО и ОЕЛ, что невозможно сделать при обычной спирографии.

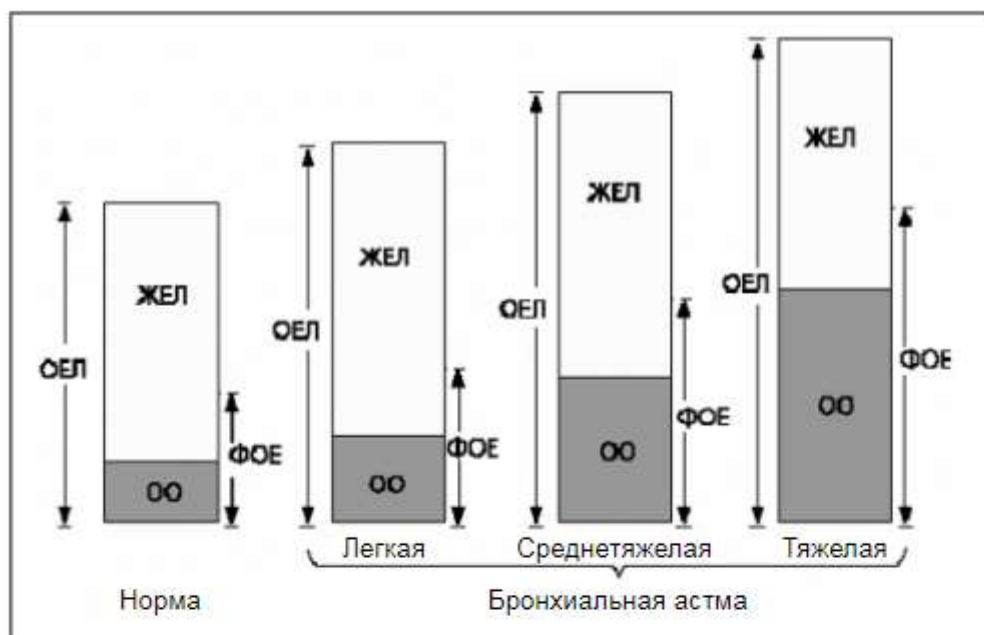


Рис. 9. Легочные объемы при бронхиальной астме разной степени тяжести

Нарушение легочной вентиляции по рестриктивному типу

В основе нарушений легочной вентиляции по рестриктивному типу лежит ограничение способности легочной ткани к расправлению на высоте вдоха. В результате легочные объемы оказываются сниженными, что приводит к нарушению вентиляционно-перфузионного соотношения и развитию дыхательной недостаточности.

Условно можно сказать, что рестриктивные нарушения легочной вентиляции проявляются пропорциональным снижением всех объемов легких (ДО, РО_{вд}, РО_{выд}, ЖЕЛ, ОО, ОЕЛ). Небольшой объем воздуха при маневре форсированного выдоха изгоняется из легких быстрее, чем в норме, поэтому характерным признаком рестриктивных расстройств является также повышение индекса Тиффно.

Таким образом, нарушение легочной вентиляции по рестриктивному типу характеризуется снижением ОЕЛ ниже 5-го

перцентиля от должных значений при нормальном или повышенном индексе Тиффно ($\text{ОФВ1/ЖЕЛ} > 85\text{--}90\%$). Уменьшение эластической тяги легкого может вызвать и незначительное снижение потоковых показателей ($\text{МОС}_{50\%}$, $\text{МОС}_{75\%}$ и $\text{СОС}_{25\% \text{--} 75\%}$) даже при отсутствии обструкции дыхательных путей.

Кривая «поток—объем» при рестриктивных изменениях выглядит как уменьшенный вариант нормальной. Форма ее не изменяется! В результате снижения ОЕЛ («маленькое легкое») она сдвигается вправо (рис. 10).

Главная трудность, связанная с диагностикой рестриктивных расстройств при спирометрическом исследовании, заключается в том, что абсолютно специфичные индексы рестрикции — низкие ОО и ОЕЛ — не могут быть измерены с помощью данной методики.

Снижение основного объемного показателя спирометрии — ЖЕЛ — не является надежным критерием наличия рестриктивных расстройств. Как разбиралось в предыдущем разделе, ЖЕЛ может быть снижена при тяжелой обструкции вследствие раз-

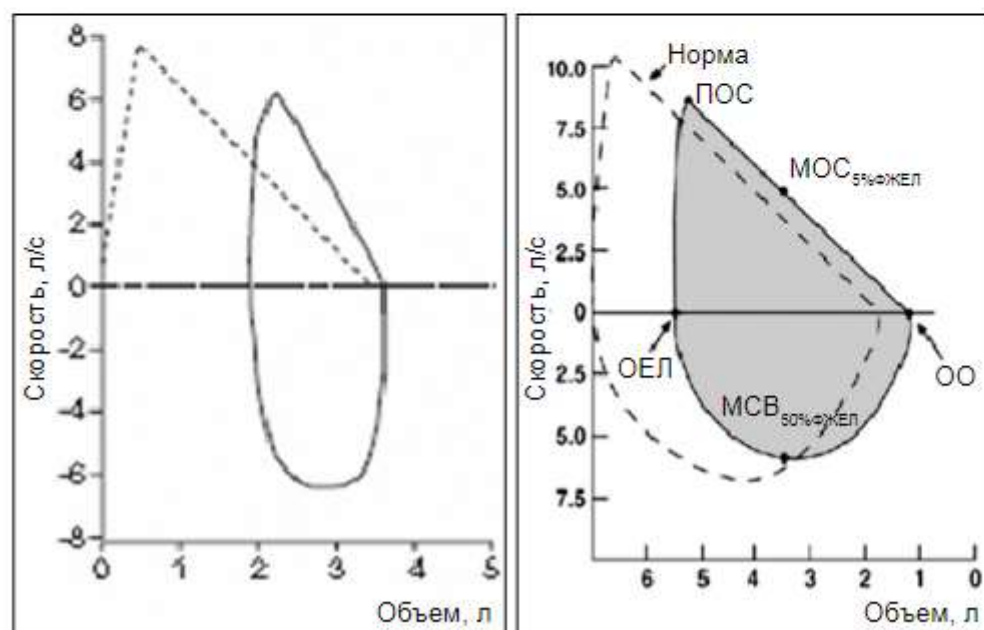


Рис. 10. Кривые «поток/объем» при рестриктивных нарушениях легочной вентиляции у разных пациентов

вития гиперинфляции или эмфиземы легких (т.е. при «большом легком»). Накоплены данные, что низкая ЖЕЛ, полученная при спирометрическом исследовании, сочетается с истинной рестрикцией (с низкой ОЕЛ) только в половине случаев.

Таким образом, при спирометрии наличие низкой ЖЕЛ может ясно указывать на рестриктивную болезнь только в отсутствие умеренной или выраженной обструкции.

При необходимости в точной верификации причины снижения ЖЕЛ у пациентов с умеренной или выраженной обструкцией требуется исследование внутригрудного объема газа (ОО и ОЕЛ) с помощью бодиплетизмографии или метода разведения газов.

Количественно рестриктивные нарушения приводят к снижению следующих показателей:

ОФВ₁ (FEV₁), ЖЕЛ (VC) и ФЖЕЛ (FVC);

ОО (RV), ОЕЛ (TLC), ФОЕ (FRC), РО_{вд} (IRV), РО_{выд} (ERV);

ОФВ₁/ЖЕЛ (FEV₁/VC) — в норме или повышен!

Среди пациентов с отсутствием рестриктивной патологии сочетание снижения ЖЕЛ и ОФВ₁ при нормальном или даже слегка повышенном индексе Тиффно встречается в случае неправильного выполнения маневра: недостаточном усилии вдоха или выдоха.

Нарушение легочной вентиляции по смешанному типу

Данное нарушение характеризуется одновременным существованием обструктивных и рестриктивных расстройств, что выражается в регистрации снижения ОЕЛ при сопутствующем снижении индекса Тиффно. Если ЖЕЛ и ОФВ₁ снижены в большей степени, чем индекс Тиффно, говорят о преобладании рестрикции, при явной вогнутости кривой или низком индексе Тиффно — об обструкции. Наличие низкой ЖЕЛ в сочетании со снижением индекса Тиффно не позволяет надежно разграничить смешанные вентиляторные дефекты от изолированного тяжелого обструктивного расстройства с помощью обычной

Типы нарушения легочной вентиляции

Показатель	Рестрикция	Обструкция		Смешанные расстройства
		умеренная	выраженная	
ЖЕЛ, ФЖЕЛ	↓↓	Норма	↓	↓
ОФВ1	↓↓	↓	↓↓	↓
ОФВ1/ЖЕЛ	Норма или ↑	↓	↓↓	↓
ПСВ, МОС _{25%,50%,75%} СОС _{25%-75%}	Норма или ↓	↓	↓↓	↓
ОО	↓↓	Норма	↑	↑ или ↓
ОЕЛ	↓↓	Норма	↑	↓
ОО/ОЕЛ	Норма или ↓	Норма	↑	↑ или ↓

спирометрии. Наоборот, наличие низкого индекса Тиффно при нормальном значении ЖЕЛ достоверно исключает сочетанную рестрикцию (табл. 3).

ОБСТРУКЦИЯ ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

Вид нарушений легочной вентиляции при обструкции верхних дыхательных путей (ВДП) зависит от нескольких факторов: локализации обструкции, ее вида (постоянная или переменная) и протяженности. Обструкция ВДП может наблюдаться во внегрудных (глотка, гортань, внегрудной отдел трахеи) и внутригрудных (внутригрудной отдел трахеи и главные бронхи) дыхательных путях.

Диагноз подобного расстройства возможен при получении по крайней мере трех воспроизводимых и выполненных при максимуме усилия кривых «поток—объем», отражающих маневры форсированного выдоха и вдоха. В норме скорость вдоха на уровне 50% ФЖЕЛ ($МСВ_{50\%}$) превышает скорость выдоха на этом же уровне ($МОС_{50\%}$) более чем в 1,5 раза.

При проведении тестирования легочной функции отмечается выраженное снижение ПОС при нормальных показателях ОФВ1 и ЖЕЛ и нарушение указанного соотношения скоростей вдоха и выдоха.

Различают 3 вида обструкции ВДП:

фиксированная обструкция;

переменная внегрудная обструкция;

переменная внутригрудная обструкция.

Наличие фиксированной обструкции ВДП (например, стеноз трахеи) характеризуется существованием постоянного препятствия воздушному потоку во время и вдоха, и выдоха. Это приводит к появлению симметричного плато на экспираторной и инспираторной частях кривой (рис. 11, *а*). Скорости вдоха и выдоха снижены и почти равны между собой.

Появление плато на кривой форсированного вдоха в сочетании с малоизмененной кривой выдоха отражает наличие переменной внегрудной обструкции (рис. 11, *б*). В основе такого нарушения чаще всего лежит сужение гортани (при опухоли, параличе голосовой связки). При вдохе в просвете ВДП создается отрицательное давление, что усугубляет сужение ВДП и резко ограничивает вдох. При форсированном выдохе

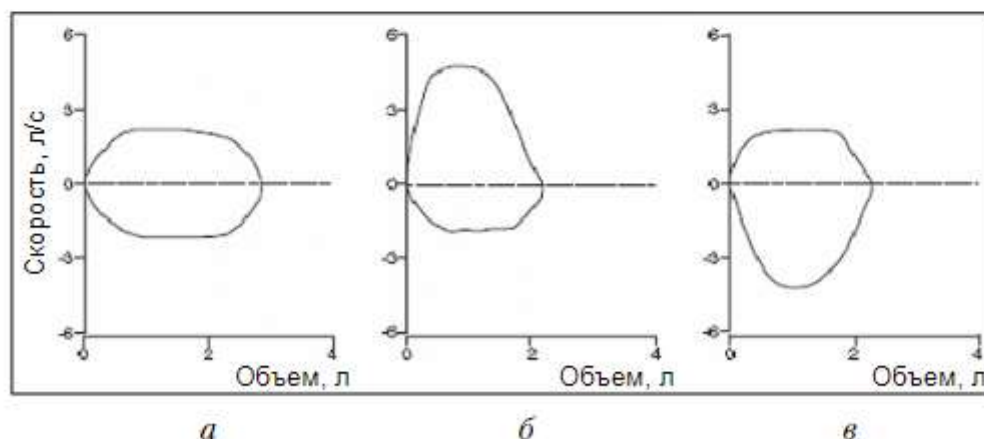


Рис. 11. Примеры обструкции ВДП: *а* — постоянная обструкция ВДП; *б* — переменная внегрудная обструкция; *в* — переменная внутригрудная обструкция

внутритрахеальное давление становится выше атмосферного и просвет ВДП расширяется, в связи с чем выдох происходит практически нормально. Скорость вдоха значительно меньше скорости выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ.

При переменной внутригрудной обструкции ВДП, наоборот, преимущественно ограничивается выдох, что приводит к появлению плато на кривой выдоха при малоизмененной инспираторной части кривой (рис. 11, в). Такие изменения чаще наблюдаются при дискинезии мембранозной части трахеи. Связано это с повышением на выдохе внутриплеврального давления, которое вызывает сужение внутригрудных дыхательных путей. На вдохе давление в трахее повышается и ее диаметр увеличивается.

Иногда кривая «поток—объем» принимает форму «зубьев пилы» в инспираторной или экспираторной части, что может быть связано с механической нестабильностью стенки дыхательных путей.

Отсутствие описанных изменений кривой «поток—объем» не позволяет с уверенностью исключить обструкцию ВДП. Поэтому требуется известная настороженность в отношении данной патологии при появлении клинической симптоматики и обязательное дополнение спирометрии визуализирующими методиками (табл. 4).

Таблица 4

**Изменение параметров легочной функции
при развитии обструкции ВДП**

Показатель	Экстраторакальная обструкция		Интра- торакальная обструкция
	постоянная	переменная	
ПОС	Снижена	Норма или снижена	Снижена
МСВ _{50%}	Снижена	Снижена	Норма или снижена
МСВ _{50%} / МОС _{50%}	~1	<1	>1

КЛЮЧЕВЫЕ МОМЕНТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛЕГОЧНОЙ ФУНКЦИИ

Интерпретация результатов исследования легочной функции должна проводиться по следующему алгоритму:

1. Перед анализом результатов необходимо убедиться, что дыхательные маневры были выполнены правильно.

2. ЖЕЛ, ОФВ1, ОФВ1/ЖЕЛ — базовые параметры оценки нарушений легочной вентиляции. В ряде рекомендаций ФЖЕЛ используется вместо ЖЕЛ, но предпочтительнее выбирать для анализа тот показатель ЖЕЛ (ЖЕЛвд, ЖЕЛвыд, ФЖЕЛ), значение которого имеет наибольшую величину.

3. Увеличение количества анализируемых показателей доказанно приводит к увеличению числа «ненормальных» тестов даже в группе здоровых лиц в популяции. Однако ряд величин, таких как ПОС и МСВ_{50%}, могут быть полезны при диагностике обструкции ВДП.

4. Показатели, значительно выходящие за границы нормы, имеют очевидное диагностическое значение. Пограничные значения показателей должны интерпретироваться с учетом клинических данных.

5. Спирометрия и пневмотахометрия позволяют с высокой степенью достоверности выявлять нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу. Специфическая диагностика рестриктивных нарушений возможна лишь с применением дополнительных методов исследования (бодиплетизмография, метод разведения газов).

6. Основной признак обструкции — снижение индекса Тиффно (ОФВ1/ЖЕЛ). Скоростные показатели форсированного выдоха могут быть использованы для анализа только после того, как тяжесть и наличие бронхиальной обструкции были установлены с помощью ОФВ1 и ОФВ1/ЖЕЛ. Изменения потоковых показателей при нормальных значениях ОФВ1 и индекса Тиффно малоспецифичны. Однако если ОФВ1 и индекс Тиффно имеют пограничные значения, снижение скоростных показателей середины и конца выдоха (МОС_{50%}, МОС_{75%}, СОС_{25-75%}) или «вогнутость» кривой выдоха могут указывать на наличие бронхиальной обструкции.

После выявления обструкции необходимо установить ее тяжесть (по ОФВ1 в процентах от должного) и обратимость (с помощью бронходилатационных тестов).

7. Основным критерий рестриктивных нарушений при спирометрии — снижение ЖЕЛ при нормальном или повышенном (>85—90%) индексе Тиффно. Однако прямым доказательством рестрикции является снижение ОЕЛ. Тяжесть рестрикции определяется также по этому показателю, если он доступен. В противном случае используется ЖЕЛ.

Спирометрия не может достоверно установить наличие рестриктивного типа легочной дисфункции в присутствии умеренной или тяжелой обструкции.

При пограничном значении показателей у здоровых лиц рекомендовано проведение дополнительных тестов: тестов с бронходилататором, нагрузочных тестов, определение диффузионной способности и эластичности легких, нейромышечного усилия.

ТЯЖЕСТЬ НАРУШЕНИЙ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Согласно существующим согласительным документам (GOLD, ATS 1991, АМА), в качестве критерия тяжести вентилаторных нарушений принято использовать значение ОФВ1 в процентах от должного (табл. 5). Число и четкие границы степеней тяжести остаются предметом дискуссии.

Степень нарушения легочной вентиляции коррелирует с клинической симптоматикой, ограничением повседневной активности, а также с прогнозом заболевания, включая смертность от сердечной или легочной болезни.

Однако показатель ОФВ1 не может быть использован для оценки выраженности легочной дисфункции при обструкции ВДП, так как даже в случае ее жизнеугрожающего течения он остается в пределах мягкой степени тяжести.

Кроме того, есть немногочисленные данные, что в ряде случаев для оценки тяжести рестриктивных нарушений предпочтительнее пользоваться показателем ОЕЛ (при спиромет-

**Тяжесть нарушений легочной вентиляции, основанная
на значении ОФВ1**

Степень тяжести	ОФВ1, % от должного
Мягкая	≥ 70
Умеренная	60–69
Умеренно-тяжелая	50–59
Тяжелая	35–49
Очень тяжелая	< 35

рии — ЖЕЛ). В таком случае можно ориентироваться на данные, представленные в табл. 2.

Индекс Тиффно имеет преимущество над ОФВ1 при установлении тяжести обструкции у пациентов с генетически большими легкими. В таких случаях индекс Тиффно может быть очень низким при незначительном снижении ОФВ1.

Для определения риска или факта возникновения хронического обструктивного бронхита у предрасположенных лиц важным мероприятием является ежегодное мониторирование ОФВ1. После 40–45 лет у здоровых людей возможно снижение этого показателя на 30 мл в год. Темпы падения ОФВ1, превышающие 50 мл в год, характерны для больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ).

БРОНХОДИЛАТАЦИОННЫЕ ПРОБЫ

С помощью бронходилатационных проб выявляют степень обратимости бронхиальной обструкции.

Согласно современным представлениям о патогенезе, обструкция при бронхиальной астме трактуется как обратимая частично или полностью, спонтанно или под действием лекарств, а обструкция при хроническом обструктивном бронхите — как необратимая и неуклонно прогрессирующая. На основании этого заключения подтверждение обратимости бронхиальной

обструкции могло бы стать весомым доводом в пользу бронхиальной астмы при проведении дифференциального диагноза между этими заболеваниями. В действительности все обстоит несколько сложнее. Существует немало ситуаций, когда обструкция у больного с бронхиальной астмой может временно терять свой обратимый характер и, наоборот, ряд пациентов с хроническим обструктивным бронхитом могут иметь положительный бронходилатационный ответ. Это, конечно, скорее исключения из правил, но все-таки большинство экспертов рекомендуют оценивать результаты тестирования вкупе с клинической ситуацией. По их мнению, в строгом смысле слова выявление обратимости бронхиальной обструкции подтверждает чувствительность пациента к назначению бронхолитической терапии.

Способность бронхов к дилатации в ответ на введение бронхолитика — величина непостоянная. Она может изменяться у одного и того же пациента в разные периоды времени, кроме того, она зависит от вида, дозы и способа введения лекарства, времени определения бронходилатационного ответа, от состояния легочной функции в момент теста, от воспроизводимости сравниваемых показателей. Поэтому необходимым условием надежности бронходилатационной пробы является стандартизация ее проведения:

- отмывочный период;
- время ответа;
- вид и доза агента;
- способ определения ответа.

Показаниями к проведению бронходилатационной пробы служат:

- 1) диагностика бронхиальной астмы;
- 2) определение лучших значений ОФВ₁ при ХОБЛ;
- 3) оценка эффективности терапии;
- 4) определение прогноза заболевания.

Первичное обследование проводится по вышеописанным правилам. Бронходилатация осуществляется с использованием следующих препаратов:

- 1) β_2 -агонисты короткого действия (сальбутамол, фенотерол) 400 мкг — с определением ответа через 15 мин;

2) антихолинергические препараты (ипратропиум бромид) 80 мкг — через 30–40 мин;

3) через небулайзер: сальбутамол 2,5–5,0 мг, атровент 500 мкг, беродуал 2 мл.

Чаще всего применяется сальбутамол, ингалируются 4 дозы по 100 мкг с 30-секундной паузой между ингаляциями. Желательно применение спейсера.

Повторное тестирование проводится через 15 мин, необходимо добиться трех воспроизводимых и приемлемых маневров форсированного выдоха.

При определении бронхорасширяющего эффекта после введения бронхолитиков оценивают динамику показателя ОФВ1 как наиболее воспроизводимого и стабильного индекса. Возможны 3 варианта расчета его изменения в бронходилатационном тесте:

1) абсолютный прирост;

2) относительный прирост по отношению к исходной величине ОФВ1;

3) относительный прирост по отношению к должной величине ОФВ1.

Коэффициент бронходилатации в каждом случае рассчитывается по следующим формулам:

1) $\Delta \text{ОФВ1}_{\text{абс}} = \text{ОФВ1}_{\text{дилат}} - \text{ОФВ1}_{\text{исх}}$;

2) $\Delta \text{ОФВ1}_{\text{исх}}(\%) = [(\text{ОФВ1}_{\text{дилат}} - \text{ОФВ1}_{\text{исх}}) / \text{ОФВ1}_{\text{исх}}] \times 100\%$;

3) $\Delta \text{ОФВ1}_{\text{должн}}(\%) = [(\text{ОФВ1}_{\text{дилат}} - \text{ОФВ1}_{\text{исх}}) / \text{ОФВ1}_{\text{должн}}] \times 100\%$.

В практике наиболее распространен способ расчета прироста ОФВ1 в процентах по отношению к исходным значениям, хотя последние рекомендации предлагают шире использовать способ определения коэффициента бронходилатации по изменению ОФВ1 относительно должных значений.

Полученный бронходилатационный ответ будет иметь диагностическое значение только в том случае, когда его величина превышает спонтанную вариабельность тонуса бронхов. Процентное изменение ОФВ1 после назначения бронходилататора изучалось в ряде исследований с включением и здоровых

лиц, и пациентов с обструктивными болезнями легких. При использовании второго способа расчета коэффициента бронходилатации (по приросту ОФВ1 в процентах по отношению к исходному уровню) в большинстве исследований прирост на уровне 12–15% был определен как диагностически значимый. При этом коэффициент бронходилатации менее 8% (<150 мл) был расценен как физиологическая вариабельность просвета бронхов.

Последние зарубежные рекомендации (ATS/ERS, 2005) предлагают считать величину прироста ОФВ1 $>12\%$ (>200 мл) как показатель обратимости бронхиальной обструкции. В Российских рекомендациях по исследованию респираторной функции 2007 г. бронходилатационный тест признается положительным при коэффициенте бронходилатации $\geq 15\%$.

Скоростные показатели и индекс Тиффно не могут быть использованы для определения бронходилатационного ответа ввиду их крайней чувствительности к изменению длительности форсированного выдоха при повторных измерениях.

Существуют ситуации, при которых недостаточный прирост ОФВ1, зарегистрированный в бронходилатационном тесте, может привести к ошибочному заключению об отсутствии у данного пациента обратимой бронхиальной обструкции. В большинстве случаев это связано с особенностями влияния самой процедуры спирометрии на тонус бронхов.

Основными причинами отрицательного бронходилатационного теста у пациента с бронхиальной астмой являются:

- отсутствие или незначительная обструкция дыхательных путей в межприступный период у пациента с легкой бронхиальной астмой;

- действие бронходилататоров, примененных незадолго до проведения исследования;

- неправильное применение ингаляционных бронходилататоров;

- бронхоспазм, вызванный раздражающими веществами, входящими в состав ингаляционных бронходилататоров;

- бронхоспазм, вызванный диагностическими процедурами, в частности спирометрией;

выраженный секреторный компонент при обострении бронхиальной астмы.

При получении положительного бронходилатационного ответа у пациентов с нормальными исходными значениями ОФВ₁ (в пределах 80—100% от должного, что возможно у пациентов с генетически большими легкими) делается вывод о наличии скрытой бронхиальной обструкции.

Алгоритм проведения пробы с бронхолитиком:

1. Оцените базовую легочную функцию.
2. Назначьте 4 ингаляции сальбутамола по 100 мг через спейсер.
3. Проведите повторный тест через 15 мин.
4. Прирост ОФВ₁ ≥ 12 —15% (≥ 200 мл) от исходного — показатель положительного бронходилатационного ответа и обратимости бронхиальной обструкции.
5. Оцените возможные причины недостаточного бронходилатационного ответа у конкретного пациента. Анализируйте результаты пробы вкупе с клинической ситуацией.

БРОНХОПРОВОКАЦИОННЫЕ ТЕСТЫ

Бронхопровокационные тесты основаны на выявлении бронхиальной гиперреактивности, являющейся ключевым звеном патогенеза атопической бронхиальной астмы.

Бронхиальная реактивность — это способность бронхиального дерева изменять свой просвет в ответ на действие различных раздражителей. Гиперреактивность — повышенная реакция бронхов в ответ на действие различных физических, химических или фармакологических раздражителей в виде бронхоспазма. Основная ее причина — воспаление дыхательных путей. Кроме того, гиперреактивность бронхов проявляется и в виде быстрого восстановления бронхиальной проводимости после введения бронхолитика или спонтанно.

Существуют 3 способа выявления гиперреактивности бронхов:

бронхопровокационные тесты;

бронходилатационные тесты (у лиц с обструктивными нарушениями легочной вентиляции);

пик-флоуметрия (выявление избыточной вариабельности тонуса бронхов в течение суток и более).

Основная область применения бронхопровокационных тестов — диагностика бронхиальной астмы у лиц, предъявляющих жалобы, позволяющие заподозрить это заболевание, но не имеющих объективных признаков болезни (легочная функция в пределах нормы) либо они носят неспецифический характер. Считается, что при бронхиальной астме даже в периоды стойкой ремиссии сохраняется гиперреактивность бронхов, которую можно выявить, введя в бронхи бронхоконстрикторный агент.

Самыми распространенными бронхоконстрикторными агентами являются метахолин (гистамин) и физическая нагрузка. Реже используется введение аллергенов.

При проведении бронхоконстрикторных тестов возможно развитие бронхоспазма и появление приступа удушья, который обычно успешно купируется ингаляцией бронхолитиков. Тем не менее это диктует необходимость получения информированного согласия пациента на проведение диагностической процедуры. Кроме того, необходимо, чтобы тест проводил врач, умеющий снять бронхоконстрикцию, а кабинет должен быть оснащен необходимыми средствами (кислород, β_2 -агонисты и холинолитики короткого действия, при проведении теста с аллергеном — средства для купирования анафилактического шока). При появлении признаков диспноэ (кашель, одышка, хрипы) тест должен быть немедленно прекращен. После проведения теста с физической нагрузкой и аллергеном пациент должен находиться под врачебным наблюдением в течение суток.

Показания и противопоказания. Главное предназначение теста — диагностика бронхиальной астмы у лиц с симптомами без объективных признаков обструкции. Нередко к этому тесту прибегают, когда требуется составить акт о состоянии здоровья молодых людей при определении их годности к строевой службе. Реже бронхопровокация проводится по другим показаниям:

- 1) симптомы бронхиальной астмы при нормальной спирографии;
- 2) атипичные симптомы обструкции (хронический кашель, ночное апноэ);
- 3) подтверждение диагноза бронхиальной астмы;
- 4) определение степени тяжести бронхиальной гиперчувствительности;
- 5) оценка эффективности лечения;
- 6) обследование специальных категорий лиц (водолазы, летчики, спортсмены и т.д.).

Противопоказаниями к бронхопровокационному тесту являются:

абсолютные противопоказания:

ОФВ₁ <50% от должного или <1 л;

инфаркт миокарда или тяжелая стенокардия за 3 мес до проведения;

аневризма аорты или церебральных сосудов;

АД $\geq 200/100$ мм рт.ст.;

относительные противопоказания:

ОФВ₁ <60% от должного или <1,5 л;

↓ОФВ₁ >10% при ингаляции дистиллированной воды;

ОРВИ за 2–6 нед до теста;

беременность и лактация;

применение ингибиторов холинэстеразы;

невозможность правильно выполнять маневры.

При проведении теста с физической нагрузкой противопоказания будут те же, что и при велоэргометрии. У пожилых пациентов необходимо исследование ЭКГ в 12 отведениях.

Подготовка к исследованию. Перед проведением бронхопровокации необходимо тщательно подготовить пациента. Должны быть отменены кофеинсодержащие продукты и препараты за 8 ч до исследования (шоколад, кофе, чай, кола). Более строго проводится отмена лекарственных препаратов:

β_2 -агонисты короткого действия — за 6–8 ч;

пролонгированные β_2 -агонисты — за 48 ч;

антихолинэргические препараты короткого действия — за 24 ч;

антихолинергические препараты пролонгированного действия — за 1 нед;

кромогликат натрия — за 8 ч;

недокромил — за 48 ч;

антигистаминные (цетиризин) — за 3 сут;

пероральные β_2 -агонисты — за 24 ч;

теофиллины — за 12–48 ч;

глюкокортикостероиды — за 4 сут;

антилейкотриеновые препараты — за 24 ч;

физическая нагрузка — за 4 ч до теста с физической нагрузкой.

Методика бронхопровокационного теста с метахолином. Смысл исследования заключается в последовательной ингаляции в дыхательные пути раствора метахолина в возрастающей дозировке до получения значимого падения ОФВ1 или до концентрации метахолина 16 мг/мл. Принято начинать ингаляцию с раствора дистиллированной воды для исключения выраженного бронхоспазма, особенно у детей.

Существуют две техники ингаляции метахолина: 1) спокойное двухминутное дыхание через небулайзер, куда в объеме 3 мл заливается раствор метахолина в возрастающих дозах (0; 0,03; 0,06; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 мг/мл); 2) техника 5 вдохов по 5 с через специальный дозиметр с задержкой дыхания на высоте каждого вдоха 5 с, при этом используются следующие концентрации метахолина: 0,06; 0,25; 1; 4; 16 мг/мл в объеме 2 мл.

При обоих способах после ингаляции каждой дозы метахолина в течение 30–90 с проводится маневр форсированного выдоха с определением ОФВ1. Используется до трех маневров, не более чем за 3 мин. Тест проводится до момента падения ОФВ1 относительно исходных значений более чем на 20% или до достижения наивысшей концентрации раствора метахолина (16 мг/мл) (рис. 12).

При возникновении падения ОФВ1 необходимо дать пациенту 2 ингаляции сальбутамола и повторить исследование через 10 мин. Пациент может быть отпущен, если ОФВ1 превысит значение 85% от должного.

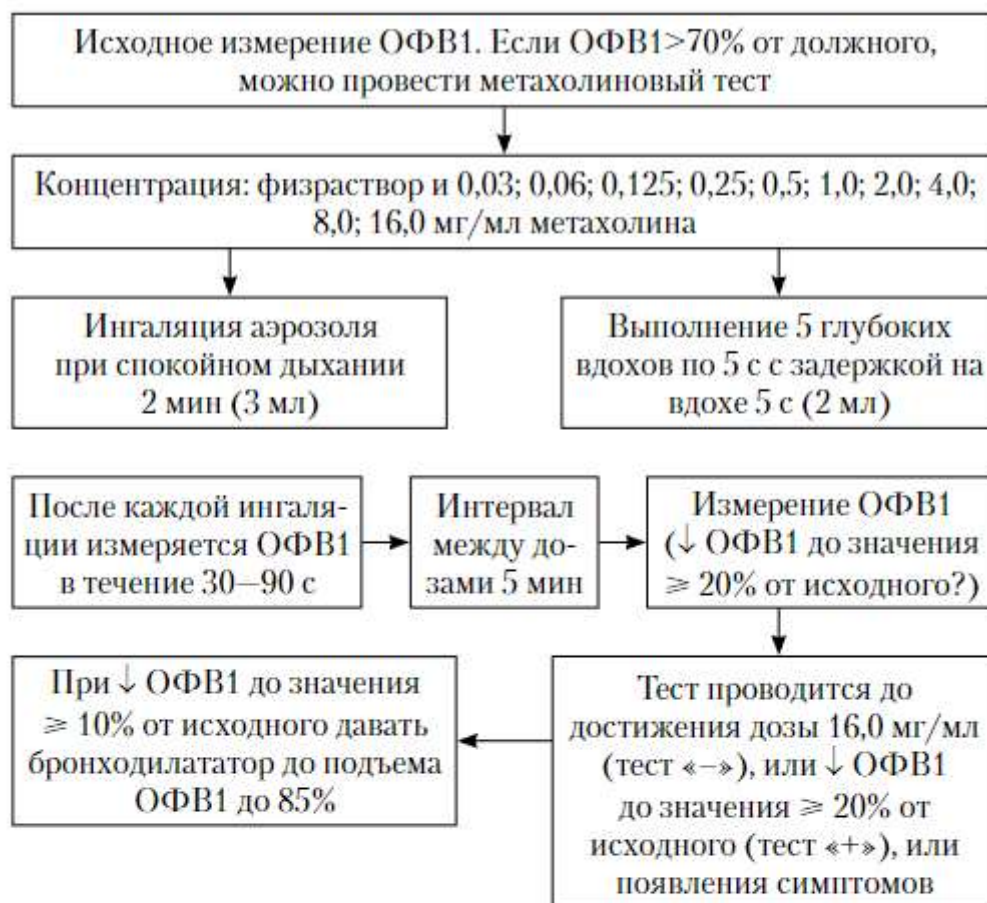


Рис. 12. Алгоритм проведения теста с метахолином

Для выявления диагностически значимого падения ОФВ1 ($\geq 20\%$ от исходного) подсчитывается коэффициент бронхоконстрикции:

$$\Delta \text{ОФВ1} = (\text{ОФВ1}_{\text{исх}} - \text{ОФВ1}_{\text{после инг.}}) / \text{ОФВ1}_{\text{исх}} \cdot 100\%.$$

При оценке теста используется понятие «провокационная концентрация». Провокационная концентрация (РС) — это та доза агента, которая вызвала диагностически значимое падение ОФВ1 (коэффициент бронхоконстрикции $\geq 20\%$). При РС метахолина, равной 16 мг/мл и более, тест станет положительным и у пациентов с хроническим обструктивным бронхитом, а при превышении дозы метахолина в десятки раз — у здоровых людей.

Таблица 6

Категории бронхиальной гиперреактивности

Гиперреактивность	РС, мг/мл
Нормальная	$>16,0$
Пограничная	$4,0-16,0$
Мягкая (положительный тест)	$1,0-4,0$
Выраженная (положительный тест)	$<1,0$

Бронхиальная гиперреактивность будет клинически значимой при следующих значениях РС (табл. 6).

Таким образом, диагноз бронхиальной астмы высоковероятен при $РС \leq 4,0$ мг/мл. При пограничных значениях бронхиальной гиперреактивности необходимо тщательно соотносить данные теста с претестовой вероятностью заболевания (анамнез, симптомы, данные дополнительных исследований).

Положительный бронхоконстрикторный тест подтверждает наличие гиперреактивности бронхиального дерева — признака, патогномоничного для бронхиальной астмы. Однако чувствительность и специфичность теста ограничены. Необходимо оценивать результаты теста вкупе с клинической ситуацией.

Графическое отображение пробы (рис. 13) и кривые определения гиперчувствительности бронхиального дерева по результатам теста (рис. 14) показывают, что чем меньшая доза раздражителя вызывает бронхоспазм, тем выше гиперчувствительность бронхов и тяжелее заболевание.

Ограничения метахолинового теста:

- 1) чувствительность теста — 85%;
- 2) тест может быть положительным (чаще пограничная гиперреактивность бронхов) у больных с аллергическим ринитом, идиопатическим фиброзирующим альвеолитом, хроническим обструктивным бронхитом, застойной сердечной недостаточностью. Ряд экспертов считают, что при возникновении значимого падения ОФВ₁ при дозе метахолина $\leq 1,0$ мг/мл специфичность теста приближается к 100%;

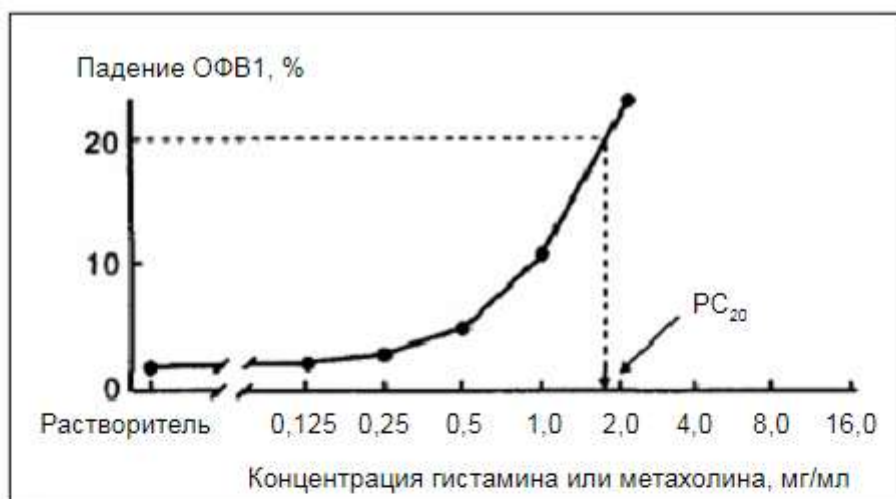


Рис. 13. Метахолиновая проба. Падение ОФВ1 на 20% произошло при РС, равном 2 мг/мл

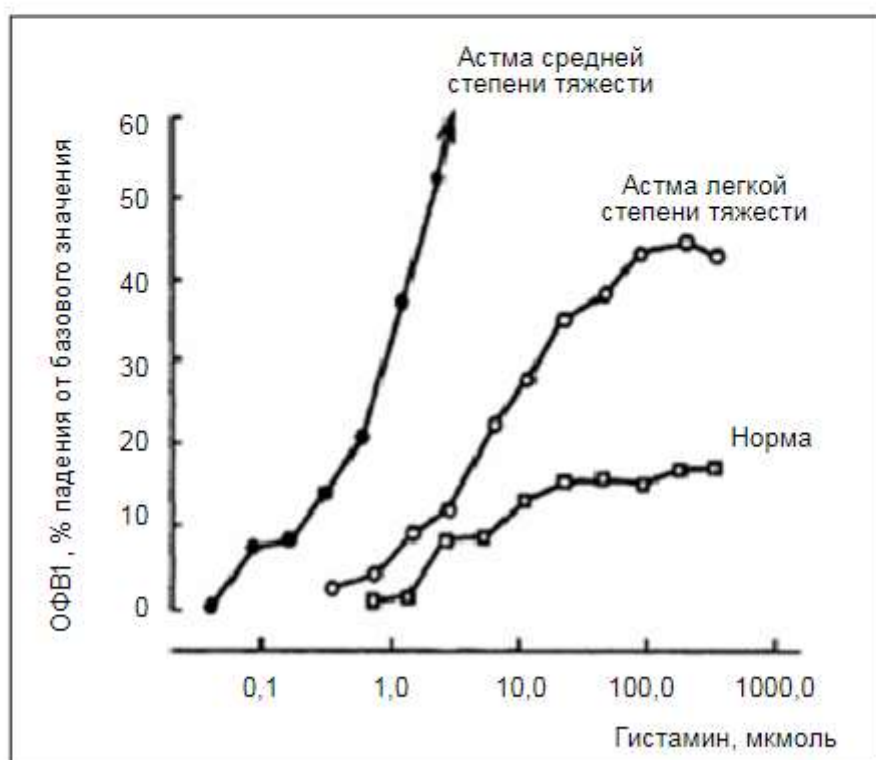


Рис. 14. Проявление гиперчувствительности и гиперреактивности бронхиального дерева — смещение влево и увеличение крутизны наклона прямой «доза—ответ»

3) асимптомные пациенты с положительным тестом — 1—7% в популяции, у 15—45% из них через 2—3 года развивается бронхиальная астма;

4) пациенты с предполагаемым диагнозом астмы и отрицательным тестом:

обструкция дыхательных путей опухолью, полипом или инородным телом (это не астма);

действие неотмененной противовоспалительной терапии; бронхоспазм возникает только на конкретный агент.

Методика бронхопровокационного теста с физической нагрузкой. В основе провоцирующего действия физической нагрузки при бронхиальной астме лежит охлаждение и высушивание дыхательных путей при учащении дыхания, которое провоцирует бронхоспазм. Чаще всего тест назначается лицам, предъявляющим жалобы на дыхательный дискомфорт (одышку, кашель, хрипы) при физической нагрузке.

Проводится с использованием тредмила или велоэргометра. Накладывается носовой зажим. Снимается ЭКГ. Во время проведения пробы необходимо мониторирование ЭКГ. При использовании велоэргометра нагрузка дается с таким расчетом, чтобы пациент за 4—6 мин достиг максимума нагрузки и еще около 4 мин проработал на высоте нагрузки. Максимум нагрузки рассчитывается двумя способами: по достижению субмаксимальной ЧСС или по уровню целевой работы. Применяется формула: целевая работа (ватт) = $(53,76 \cdot \text{ОФВ1}) - 11,07$. При этом уровень работы должен составить 60% от целевой в 1-ю минуту, 75% — во 2-ю минуту, 90% — в 3-ю минуту, 100% — в 4-ю минуту.

Критерии прекращения пробы такие же, как и при велоэргометрии (в том числе и по желанию пациента).

ОФВ1 определяется исходно, сразу после нагрузки и через 5, 10, 15, 20 и 30 мин после нагрузки. Как и при обычной спирометрии, необходимо добиваться по крайней мере трех воспроизводимых и приемлемых маневров. На каждом этапе подсчитывается коэффициент бронхоконстрикции.

Диагностически значимым является коэффициент бронхоконстрикции $\geq 15\%$. При этом делается вывод о наличии у пациента нагрузочного бронхоспазма.

До 80% пациентов с бронхиальной астмой имеют бронхоспастическую реакцию на физическую нагрузку. При этом бронхоспазм обычно наступает на 5–10-й минуте после прекращения нагрузки. Необходимо помнить, что у физически подготовленных людей (спортсмены) может потребоваться корректировка протокола пробы в плане увеличения мощности нагрузки.

Если по окончании пробы ОФВ₁ пациента будет менее 85%, ему необходимо провести ингаляцию бронхолитика.

ПИК-ФЛОУМЕТРИЯ

Пик-флоуметрия — это длительное динамическое мониторирование показателей легочной функции путем ежедневного измерения пиковой скорости выдоха (ПСВ) с помощью индивидуального пик-флоуметра Wright.

Проведение пик-флоуметрии имеет значение и для диагностики бронхиальной астмы, и для эффективного контроля течения заболевания.

Исследование проводят 2 раза в день, утром и вечером в одно и то же время. Пациент занимает положение стоя и после максимально полного вдоха плотно обхватывает губами трубку пик-флоуметра и делает в нее максимально полный, сильный и продолжительный выдох. Маневр проводят 3 раза, выбирают наибольшее значение ПСВ, которое фиксируют в дневнике пациента.

Значения ПСВ сравнивают с должными величинами (таблицы должных значений обычно прилагаются к прибору) и оценивают как процент от должного. Существует практика при мониторировании динамики заболевания у пациентов с длительным анамнезом бронхиальной астмы и умеренной либо тяжелой обструкцией рассчитывать ПСВ по отношению к наилучшим значениям ПСВ, достигнутым в период ремиссии.

Диагностическое значение имеет разброс значений ПСВ за сутки (лучше за неделю). Считается, что вариабельность ПСВ более 20% отражает гиперреактивность бронхов и служит дока-

зательством наличия у пациента бронхиальной астмы. Степень разброса значений ПСВ отражена в классификации астмы как один из критериев ее тяжести. У здоровых людей и пациентов с хроническим обструктивным бронхитом вариабельность суточного разброса ПСВ не превышает 10%.

Основные области применения пик-флоуметрии:

1) определение избыточной вариабельности бронхиальной обструкции вследствие гиперреактивности бронхов:

$(\text{ПСВ}_{\text{наиб}} - \text{ПСВ}_{\text{наим}}) / \text{ПСВ}_{\text{средн}} \cdot 100\% \geq 20\%$;

2) определение степени тяжести бронхиальной астмы при первичном обследовании;

3) определение эффективности контроля бронхиальной астмы при динамическом наблюдении на фоне лечения;

4) прогнозирование обострения астмы;

5) идентификация факторов, провоцирующих бронхоспазм;

6) определение профессиональной бронхиальной астмы;

7) планирование лечения:

уровень нормальных значений — 80—100% от должного;

уровень, требующий усиления терапии, — 60—80% от должного;

уровень, требующий госпитализации, — <60% должного;

8) определение наличия и обратимости бронхиальной обструкции (по степени снижения ПСВ в процентах от должного и прироста после ингаляции бронхолитика). Может рассматриваться только как вынужденная мера при временной недоступности спирометрии!

Падение значений ПСВ в будние дни при измерении на рабочем месте и нормализация в выходные дни могут служить свидетельством наличия у пациента профессиональной бронхиальной астмы. Постоянное (каждые 2 ч) мониторирование ПСВ с ведением подробного дневника деятельности может помочь выявить индивидуальные для пациента факторы, провоцирующие бронхоспазм.

После постановки диагноза бронхиальной астмы и назначения лечения ведение дневника самочувствия и мониторирование значений ПСВ помогают эффективно контролировать



Рис. 15. Примеры графиков пик-флоуметрии

заболевание. Критерием эффективного контроля служит снижение вариабельности ПСВ менее 20% с отсутствием «утренних провалов», характерных для больных с нелеченым заболеванием (рис. 15).

Кроме того, у ряда пациентов падение легочной функции происходит на 1–2 дня раньше появления симптомов обострения. В таком случае мониторинг ПСВ позволяет вовремя принять меры по усилению терапии.

С целью раннего купирования обострения разработана система трех зон тактики и объема терапии по уровням снижения ПСВ. Если показатель равен 80–100% от должного, пациент получает базисную терапию. При снижении ПСВ до уровня 60–80% от должного он должен усилить терапию (бронхолитики через спейсер или небулайзер, удвоение дозы ингаляционных кортикостероидов) и вызвать врача. При попадании ПСВ в опасную зону (<60%) пациент должен обратиться за скорой медицинской помощью, параллельно начав ингаляции бронхолитиков и приняв перорально нагрузочную дозу преднизолона. Такой алгоритм действий повышает комплайнс и результаты лечения пациентов с бронхиальной астмой.

Спирометрия позволяет с высокой степенью достоверности устанавливать наличие нарушений легочной вентиляции по обструктивному типу. Дополнение исходной спирометрии серией бронходилатационных и бронхопровокационных тестов дает возможность проводить дифференциальную диагностику внутри группы обструктивных болезней легких и устанавливать диагноз в клинически неоднозначных ситуациях. В отсутствие обструкции возможна диагностика и рестриктивных заболеваний легких.

Результаты тестов напрямую зависят от техники выполнения маневра, т.е. от усилий пациента. К сожалению, это непременное условие достоверного исследования нередко игнорируется, что может привести к неправильной трактовке результатов. Кроме того, правильная трактовка ряда показателей требует понимания патогенетических механизмов развития расстройств легочной вентиляции. Поэтому наибольшую диагностическую значимость метод имеет при условии анализа результатов теста с учетом клинической ситуации, когда врач, назначающий исследование, представляет, какие результаты он может получить у конкретного пациента и каковы возможные причины расхождения результатов теста и предварительного диагноза (причины, которые могут быть связаны не только с состоянием пациента, но и с особенностями самой спирометрии).

Таким образом, применение спирометрии в клинической практике требует знания врачами общеклинического профиля возможностей и ограничений методики. Именно лечащий врач в конечном итоге должен понимать и критически оценивать содержание теста. В противном случае спирометрия будет ис-

пользоваться «механически», нередко только как очередной шаг при подготовке пациента к экспертной комиссии.

Авторы надеются, что их труд принесет пользу как специалистам по функциональной диагностике, так и врачам общего профиля, желающим самостоятельно освоить базовый метод функциональной диагностики в пульмонологии.