

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра пульмонологии и фтизиатрии
Кафедра функциональной диагностики

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕГКИХ МЕТОДАМИ
СПИРОГРАФИИ, ПНЕВМОТАХОГРАФИИ,
БОДИПЛЕТИЗМОГРАФИИ**

Учебно-методическое пособие

Минск БелМАПО
2019

УДК 616.24-073.173(075.9)

ББК 54.12я73

И 88

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
НМС государственного учреждения образования «Белорусская медицинская
академия последипломного образования»

протокол № 8 от 19.11.2019

Соавторы:

Лаптева Е.А., заведующий кафедрой пульмонологии и фтизиатрии БелМАПО,
д.м.н.

Ушакова Л.Ю., заведующий кафедрой функциональной диагностики БелМАПО,
к.м.н., доцент

Харевич О.Н., ассистент кафедры пульмонологии и фтизиатрии БелМАПО, к.м.н.

Катибникова Е.И., ассистент кафедры пульмонологии и фтизиатрии БелМАПО

Вертинский Е.А., доцент кафедры функциональной диагностики БелМАПО, к.м.н.,

Лаптева И.М.,

Рецензенты:

Апанасевич В.В., заведующий отделением функциональной диагностики
государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр
«Кардиология», кандидат медицинских наук

2-ая кафедра внутренних болезней учреждения образования «Белорусский
государственный медицинский университет»

И 88

Исследование функционального состояния легких методами
спирографии, пневмотахографии, бодиплетизмографии: учебн.-метод.
пособие /Е.А. Лаптева [и др.]. – Минск: БелМАПО, 2019 – 60 с.

ISBN 978-985-584-399-4

Данное учебно-методическое пособие является переизданием и переработкой ранее
утвержденных Минздравом Республики Беларусь (05 января 2002г., № 29-9902)
методических указаний, авторы: Турина О.И., Лаптева И.М., Калечиц О.М., Маничев И.А.,
Щербицкий В.Г. В данном издании изложены современные подходы к проведению и
интерпретации спирографических и бодиплетизмографических исследований с целью
определения функционального состояния бронхо-легочной системы. Приведены методики
спирографического, пневмотахографического, бодиплетизмографического исследований, а
также способы интерпретации полученных результатов и их клиническое значение.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих
содержание образовательных программ повышения квалификации врачей кабинетов
функциональной диагностики, врачей-пульмонологов, врачей-терапевтов, врачей-фтизиатров.

УДК 616.24-073.173(075.9)

ББК 54.12я73

ISBN 978-985-584-399-4

© Лаптева Е.А. [и др.], 2019

© Оформление БелМАПО, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Основные показатели вентиляции легких	5
Методические требования к проведению спирографических и пневмотахографических исследований	12
Критерии качественного исследования	16
Интерпретация результатов спирометрических и пневмотахометрических исследований	25
Бронходилатационный тест	33
Провокационные тесты	36
Тесты с применением ингаляции холодным сухим воздухом	36
Использование физической нагрузки в качестве бронхоконстрикторного фактора	38
Требования к спирографу	39
Клиническое применение спирографических и пневмотахометрических исследований	40
Бодиплетизмография	44
Принцип и методика проведения исследования	44
Показания и противопоказания для измерения легочных объемов	47
Клиническая значимость бодиплетизмографии	48
Бронхиальное сопротивление	48
Легочные объемы	50
Исследование диффузионной способности легких	53
Методика измерения ДСЛсо	53
Показания и противопоказания к исследованию ДСЛсо	54
Клиническая значимость исследования ДСЛсо	55
Заключение	57
Приложение 1	58
Приложение 2	59

ВВЕДЕНИЕ

Целью данного учебно-методического пособия является ознакомление со стандартами проведения и интерпретации спирометрии, пневмотахометрии, бодиплетизмографии и уменьшение variability результатов исследования функционального состояния легких и их трактовки.

Рутинное исследование функции внешнего дыхания состоит из проведения 2 видов тестов – спирометрии и пневмотахометрии. *Спирометрия* – это метод регистрации изменения легочных объемов при выполнении дыхательных маневров. *Пневмотахометрия* – метод регистрации потока (объемной скорости движения воздуха) при спокойном дыхании и при выполнении определенных (форсированных) дыхательных маневров (в клинической практике чаще применяется пневмотахограмма форсированного выдоха). Современные спирометры позволяют определить как спирометрические, так и пневмотахометрические показатели. В связи с этим все чаще результаты исследования объединяются одним названием – спирометрия. Однако, нужно понимать, что спирометрия и пневмотахометрия – две неотъемлемых составляющих т.н. «спирометрии».

Спиро-пневмотахометрия дает ряд ценных показателей состояния здоровья человека. При этом в ряде случаев при исследовании функционального состояния легких может быть недостаточно только спирометрических исследований и необходимо более углубленное обследование. Спирометрические данные нередко хорошо коррелируют с заболеваемостью и ожидаемой продолжительностью жизни, помогают определить индивидуальные показатели здоровья пациента, выявить причину заболевания, его тяжесть и эффективность терапии. Результаты тестов спирометрии помогают оценить качество жизни пациентов, а также определить схему дальнейшего лечения. Спирометрия используется также для проведения эпидемиологических исследований.

Пневмотахометрия базируется на дыхательных тестах, зависящих от усилий пациента, и требует определенного сотрудничества с пациентом, инструктажа и тщательного выполнения. Правильность проведения – важный компонент тестирования. Для правильного проведения теста исполнитель должен быть хорошо обучен и обладать высоким уровнем профессионализма. Другой составной частью является получение достаточного количества тестов хорошего качества и затем – определение степени воспроизводимости, в том числе – путем оценки, достигнуто ли максимальное усилие пациента. Данные спирометрического маневра могут

обрабатываться вручную или на компьютере. Указания, включенные в этот документ, унифицируют методику проведения процедуры и расчет параметров, что позволяет сделать сравнимыми результаты спирометрии и пневмотахометрии, полученные в разных медицинских учреждениях.

При оценке спирограммы в первую очередь необходимо тщательно проанализировать качество ее выполнения. Мы включили в разработку данные по оценке качества и воспроизводимости результатов исследования, а также критерии исключения ошибочных тестов. После того, как снята качественная спирограмма, необходимо провести интерпретацию результатов по отношению к должным величинам. Клиническая оценка должна быть обобщающей и заключительной частью спирометрического исследования.

Бодиплетизмография – современный метод исследования объемов и емкостей легких (емкость включает несколько объемов), скоростных показателей дыхания, диффузионной способности легких, вентиляционно-перфузионных соотношений. Бодиплетизмография и исследование диффузионной способности легких позволяют более полно оценить вентиляционную способность легких, выявить патологические изменения и получить больше информации о функциональных возможностях и резервах организма.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Спирометрическое и пневмотахометрическое исследования позволяют определить целый ряд показателей, характеризующих вентиляцию легких. Это измерение статических объемов и емкостей, характеризующих упругие свойства легких и грудной стенки, и динамические исследования, характеризующие количество поступающего в легкие и выводящегося из легких воздуха за единицу времени. Сюда относится ряд показателей, регистрирующихся в режиме спокойного дыхания, динамические объемы и потоки, которые регистрируются при проведении форсированных маневров (ФЖЕЛ, МВЛ) и в основном отражают состояние дыхательных путей.

Основные статические объемы и емкости:

ДО – дыхательный объем – объем воздуха, поступающий в легкие за один вдох при спокойном дыхании (норма 500-800 мл). Показатели ДО изменяются в зависимости от напряжения и уровня вентиляции. Часть ДО, участвующая в газообмене, называется альвеолярным объемом (АО) и составляет примерно 2/3 ДО. Остальная 1/3 его составляет объем функционального мертвого пространства (ФМП) и состоит из

анатомического мертвого пространства, включающего объем верхних дыхательных путей и бронхов первых 16 генераций (примерно 150-200 мл) и альвеолярного мертвого пространства, включающего объем альвеол, вентилируемых, но не перфузируемых. В норме полное мертвое пространство близко к анатомическому.

Ровд – резервный объем вдоха – максимальный объем, который можно дополнительно вдохнуть после спокойного вдоха.

Ровыд – резервный объем выдоха – максимальный объем, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха.

Евд – емкость вдоха – сумма ДО и Ровд. Характеризует способность легочной ткани к растяжению. Важна при мониторинге функционального состояния у пациентов с эмфизематозным фенотипом ХОБЛ, первичной эмфиземе, буллезной эмфиземе и т.п.

ЖЕЛ – жизненная емкость легких – сумма ДО, Ровд и Ровыд – максимальный объем, который можно вдохнуть после максимально глубокого выдоха. Поскольку ЖЕЛ прогрессивно уменьшается при рестриктивных болезнях легких, этот показатель в сочетании с диффузионной емкостью помогает следить за течением болезни и эффективностью лечения у пациентов с рестриктивной патологией легких. Является основным показателем, характеризующим степень рестриктивных нарушений.

ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких – объем воздуха, который можно форсировано выдохнуть после максимального вдоха. У пациентов с обструкцией дыхательных путей и пожилых форсированная жизненная емкость обычно ниже, чем ЖЕЛ. В случае тяжелой обструкции ЖЕЛ может значительно превышать ФЖЕЛ.

ООЛ – остаточный объем легких – объем, который остается в легких после максимально полного выдоха (в норме ООЛ у молодых людей не превышает 25-30% от ОЕЛ, а у пожилых составляет около 35% от ОЕЛ).

ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких – объем воздуха, остающийся в легких на уровне спокойного выдоха, определяется как сумма Ровыд и ООЛ (в норме ФОЕ составляет примерно 40-50% ОЕЛ).

ОЕЛ – общая емкость легких – сумма ЖЕЛ и ООЛ – это максимальный объем, который могут вместить легкие на высоте глубокого вдоха. Уменьшение ОЕЛ является основным признаком рестриктивного синдрома. Увеличение ООЛ и соответственно отношений ООЛ/ОЕЛ и ФОЕ/ОЕЛ является характерным признаком повышенной воздушности легких, в частности эмфиземы.

ЧД – частота дыхания – число дыхательных движений в минуту при спокойном дыхании. У здоровых людей ЧД составляет 10- 20 в мин.

МОД – минутный объем дыхания. Представляет величину общей вентиляции в минуту при спокойном дыхании. Обычно у взрослых людей составляет 6-8 л в минуту в условиях покоя.

МОД является крайне изменчивой величиной и зависит от ЧД и ДО, величина каждого из которых индивидуальна. При определении МОД требуется соблюдение условий покоя, приближенных к условиям основного обмена, т.к. этот показатель зависит от уровня обмена веществ в организме. Если МОД превышает должную величину, определяемую уровнем метаболизма, то говорят об общей гипервентиляции. В обратном случае можно предполагать наличие общей гиповентиляции. Таким образом, у каждого человека имеется свой индивидуальный паттерн дыхания – объемно-временное соотношение дыхательного цикла и вентиляции в целом. Кроме того, следует учитывать, что у здоровых лиц и больных с выраженным нарушением аппарата вентиляции (например, у больных хроническим бронхитом) значения ДО, ЧД и МОД покоя часто бывают идентичными, так как эти данные характеризуют интенсивность процесса вентиляции в момент исследования и почти не характеризуют состояние аппарата вентиляции.

МАВ – минутная альвеолярная вентиляция – это количество газа, которое обменивается в альвеолах за одну минуту дыхания.

$$\text{МАВ} = \text{АО} \times \text{ЧД} = (\text{ДО} - \text{ФМП}) \times \text{ЧД} = (\text{МОД} - \text{ФМП}) \times \text{ЧД}.$$

Очевидно, что величина МАВ определяется уровнем метаболизма. Выделяют альвеолярную гипо- и гипервентиляцию. При этом альвеолярная гиповентиляция возможна при общей гипервентиляции, так как МАВ зависит не только от МОД, но и от соотношения ЧД и ДО.

Динамические объемы и потоки, регистрирующиеся при форсированных маневрах:

МВЛ – максимальная вентиляция легких – максимальный объем воздуха, который пациент может провентилировать за 1 минуту. $\text{МВЛ} = \text{ДО}_{\text{макс}} \times \text{ЧД}_{\text{макс}}$

ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за первую секунду маневра ФЖЕЛ. Это один из основных показателей, характеризующих вентиляцию легких. Он снижается при любых нарушениях: при обструктивных за счет замедления форсированного выдоха, в меньшей степени при рестриктивных – за счет уменьшения всех легочных объемов. ОФВ₁ отражает главным образом скорость выдоха в начальной и средней его части и не зависит от скорости в конце форсированного выдоха.

Обычно рассчитывается соотношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ (тест Тиффно) или $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$, выраженное в процентах. Рекомендуется рассчитывать соотношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$, т. к. при проведении пробы ФЖЕЛ истинная величина жизненной емкости легких может занижаться. Это соотношение уменьшается при обструктивном типе нарушений, так как при нем скорость выдоха замедляется – уменьшается $ОФВ_1$ – при относительно незначительном снижении или нормальном значении ЖЕЛ. При рестриктивных нарушениях этот показатель не меняется или даже увеличивается за счет пропорционального уменьшения всех легочных объемов.

МОС₂₅ – максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 25% ФЖЕЛ.

МОС₅₀ – максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 50% ФЖЕЛ.

МОС₇₅ – максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 75% ФЖЕЛ.

Степень снижения МОС по мере выдоха от 25 до 75% ФЖЕЛ отражает динамику сопротивления, оказываемого аппаратом вентиляции дыханию. Эти показатели имеют наибольшую ценность при диагностике начальных нарушений бронхиальной проходимости. Обычно за нижний предел нормы показателей потока принимается 60% от должной величины.

СОС₂₅₇₅ – объемная скорость форсированного выдоха, усредненная за определенный период измерения – от 25 до 75% ФЖЕЛ. Показатель прежде всего отражает состояние мелких дыхательных путей, более информативен, чем $ОФВ_1$ при выявлении ранних обструктивных нарушений, не зависит от усилия.

ПОС_{выд} – пиковая (максимальная) объемная скорость выдоха при выполнении пробы ФЖЕЛ.

Статические объемы можно представить схематично (рис. 1).

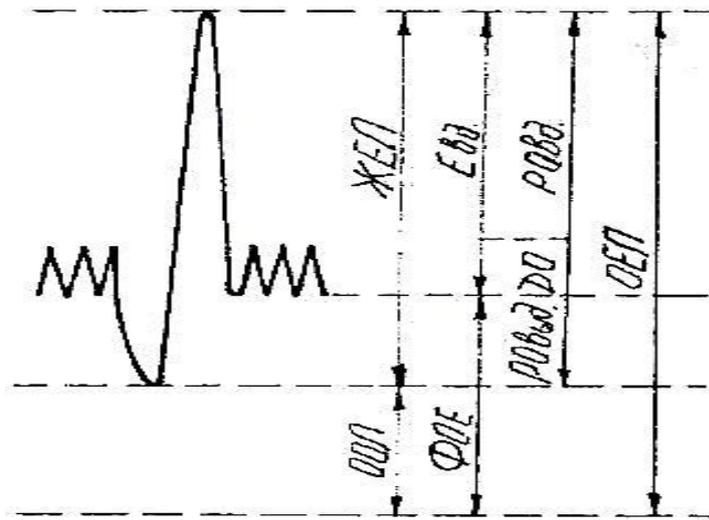


Рис. 1 – Схематичное изображение спирограммы

Показатели ДО, РОвд, РОвыд, ЖЕЛ, ФЖЕЛ определяются при спирометрическом исследовании непосредственно с помощью выполнения соответствующих маневров.

Для изучения ФОВЕ, ООЛ и ОЕЛ необходимо применение конвекционных методов: метод разведения гелия или метод вымывания азота кислородом при БПГ.

При проведении исследования в режиме спокойного дыхания с помощью спирометра можно зарегистрировать ДО, определить ЧД и рассчитать МОД покоя.

Величину МВЛ определяют с помощью спирометрии, побуждая больного дышать как можно глубже и чаще в течение 12 с. Измеренный за этот интервал времени объем выдыхаемого воздуха затем пересчитывают (экстраполируют) на 1 минуту и выражают в литрах в минуту. Как правило, МВЛ тесно коррелирует с ОФВ₁. В качестве дополнительного контроля и для оценки дисциплинированности больного МВЛ можно вычислить по данным спирограммы, умножив ОФВ₁(л) на 40. Это соотношение справедливо как для нормы, так и для большинства вариантов как рестриктивной, так и обструктивной патологии.

При непропорционально низкой МВЛ у пациентов, правильно выполняющих в ходе исследования все указания врача, следует заподозрить нервно-мышечную слабость. Исключая случаи далеко зашедшей нервно-мышечной патологии, большинство пациентов способны приложить значительное усилие при одном дыхательном цикле. Определение же МВЛ требует от больного значительно больших усилий и потому может выявить сниженные резервы ослабленной дыхательной мускулатуры. МВЛ падает по мере возрастания мышечной слабости и наряду с величинами максимального давления на вдохе и на выдохе оказывается иногда единственным

объективным показателем нарушения легочной функции у больных с умеренно выраженной нервно-мышечной патологией. Так как МВЛ отражает тяжесть обструкции дыхательных путей, дыхательный резерв, состояние дыхательных мышц и общий психологический настрой, ее определение важно при предоперационной подготовке больного, а также при исследовании здоровых людей, в частности спортсменов. Однако величина МВЛ крайне вариабельна и в большой степени зависит от качества выполнения пробы. Кроме того, развивающаяся при ее проведении альвеолярная гипервентиляция может провоцировать бронхоспазм, вызвать коллапс и другие нежелательные последствия. Поэтому в настоящее время тест МВЛ используется только при наличии показаний.

Для определения ФЖЕЛ методом пневмотахометрии наиболее часто используются следующие показатели: $ОФВ_1$, $МОС_{25}$, $МОС_{50}$, $МОС_{75}$, $СОС_{2575}$. На пневмотахограмме нагляднее, чем на спирограмме, можно оценить пиковые (максимальные) скорости вдоха и выдоха, средние скорости этих фаз. С этой целью исследуется ФЖЕЛ, результаты представляются в координатах «поток-объем» — кривая «поток-объем». В норме у здорового человека кривая «поток-объем» напоминает треугольник, основанием которого является проекция ФЖЕЛ (рис. 2).

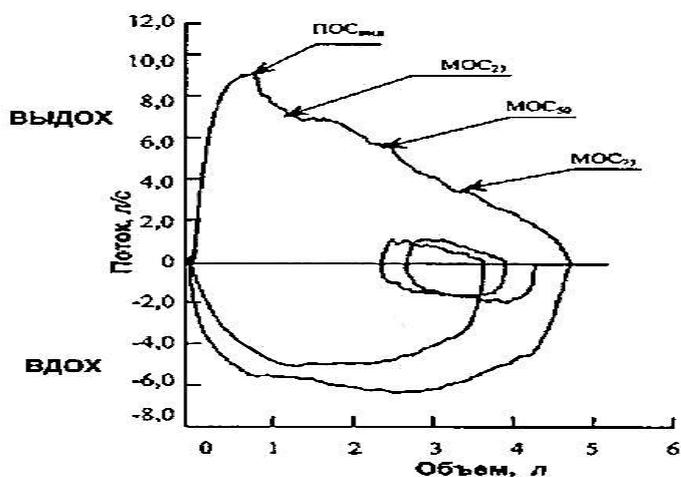


Рис. 2 – Кривая «поток – объем»

Так же, как и при спирографии, при проведении пневмотахографии необходимо следить за качеством выполнения пробы пациентом, т. к. форма кривой «поток-объем» подвержена значительным вариациям. Наиболее подвержены изменениям показатели потоков в начале форсированного выдоха, более стабильны показатели средней части кривой «поток-объем» на участке выдоха 25-75% ФЖЕЛ.

В отдельных случаях могут исследоваться динамические объемы и потоки форсированного вдоха. Эти показатели не являются основными и исследуются по показаниям. Процедура исследования зачастую воспринимается обследуемыми как неприятная и не имеет широкого применения. Основные показатели маневра форсированного вдоха, следующие:

форсированная жизненная емкость легких вдоха (FIVC) – максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть во время форсированного вдоха после полного выдоха;

форсированный объем вдоха за первую секунду (FIV_1) – это объем воздуха, вдыхаемый за первую секунду во время выполнения маневра форсированной жизненной емкости легких вдоха. К преимуществам этого параметра относится его малая зависимость от легочной эластической отдачи. Таким образом, низкий $ОФВ_1$ и нормальный форсированный объем вдоха за первую секунду могут служить свидетельством низкой легочной эластической отдачи;

максимальный инспираторный поток ($MIFx\%FIVC$) – максимальный инспираторный поток, регистрируемый в момент, когда осуществлен вдох определенного процента – форсированной жизненной емкости легких вдоха;

пиковый инспираторный поток (PIF) – максимальное значение скоростного потока, достигаемое во время маневра форсированной жизненной емкости вдоха.

Основным показанием для проведения маневра форсированного вдоха является определение обструкции внегрудных (экстраторакальных) дыхательных путей, например обструкции гортани или трахеи. При разграничении обструкции внегрудных и внутригрудных дыхательных путей имеют значение повышение показателей соотношений максимальной объемной скорости выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ к значению максимального экспираторного потока на уровне 50% форсированной жизненной емкости вдоха – более 1; $ОФВ_1$ (мл) к ПОС (л/мин) – более 10 и соотношения объема форсированного выдоха за первую секунду к объему форсированного выдоха за первые 0,5 с – более 1,5. Такие значения соотношений должны сопровождаться воспроизводимым плато кривой инспираторного потока.

Форсированный инспираторный маневр может быть использован также для дифференцировки экспираторного ограничения воздушного потока вследствие бронхиальной обструкции и низкой эластической отдачи при легочной эмфиземе, в последнем случае инспираторные потоки будут лишь незначительно снижены.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ СПИРОГРАФИЧЕСКИХ И ПНЕВМОТАХОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Спирография и пневмотахография – тесты, зависящие от усилий пациента. В связи с этим проведение тестов требует инструктажа пациента и тщательного соблюдения методики исследования. Правильность проведения – наиболее важный компонент тестирования.

Общие методические рекомендации:

1. Пациент должен быть правильно подготовлен, должны быть учтены все индивидуальные особенности.

2. Должны быть записаны возраст, рост и вес (измеренные в легкой одежде без обуви), которые понадобятся позже для расчета должных величин. Рост должен быть измерен без обуви, ноги вместе, стоя, максимально выпрямившись и глядя прямо вперед, с использованием точного измерительного прибора. Для пациентов с деформацией грудной клетки, например при кифосколиозе, длина рук от кончика пальцев одной руки до кончика пальцев другой руки может быть использована для расчета роста.

3. Лаборант должен записать тип и дозу любого препарата (ингаляционного или принимаемого внутрь) и когда лекарства применялись в последний раз.

4. В идеале пациент должен избегать:

- курения в течение 24 ч до теста;
- употребления алкоголя, по крайней мере за 4 ч до исследования;
- энергичных физических упражнений, по крайней мере за 30 мин до теста;
- ношения одежды, значительно сдавливающей грудную клетку и затрудняющей движения брюшной стенки;
- обильной еды, по крайней мере за 2 ч до проведения исследования;
- использования бронходилататоров короткого действия, не менее чем за 4 ч до теста.

Эти требования должны быть сообщены пациенту во время назначения исследования. Перед началом исследований необходимо проверить их выполнение, должно быть учтено любое нарушение.

5. Пациент должен посидеть 5-10 мин до начала исследования. Это позволит тщательно проинструктировать пациента по всем требуемым тестам и провести все необходимые приготовления. Тесты должны

проводиться в спокойной обстановке, и пациент должен чувствовать себя максимально комфортно до и во время проведения тестов.

6. Во время проведения динамических исследований, таких как ПОСвыд и ФЖЕЛ, пациент должен сидеть прямо в кресле с подлокотниками. Проведение этих исследований в положении стоя не рекомендуется из-за возможных осложнений. Кроме того, пациент должен быть расположен правильно по отношению к оборудованию (согласно инструкции производителя).

7. До начала теста надо попросить пациента расстегнуть плотно прилегающую одежду. Зубные протезы, при их наличии у пациента, должны быть удалены только в том случае, если они прилегают неплотно, так как могут помешать проведению исследования.

8. При повторном исследовании, например, когда пациент находится в клинике, в идеале желательно, чтобы исследование повторялось в одно и то же время суток, на том же аппарате и тем же исследователем.

9. Необходимо измерить окружающую температуру и атмосферное давление, чтобы можно было привести измеряемые величины в соответствие с системой ВТРС (Body Temperature, Pressure, Saturated). Поскольку объемы газов зависят от давления и температуры, то фактические значения объемов, измеренные при комнатной температуре, должны быть приведены к их значениям, соответствующим внутрилегочным условиям (37°C и полное насыщение водяными парами), что и обеспечивает система ВТРС.

10. Между тестами должны быть соответствующие промежутки времени. Необходимо отметить, что статические легочные объемы и газообмен могут изменяться при применении бронходилататоров, а исследование спокойного дыхания может быть нарушено в результате недавно проведенных тестов форсированного выдоха.

11. При проведении спирографических исследований использование носового зажима обязательно.

С учетом вышеизложенного начинать исследование следует с определения ЖЕЛ. Рекомендуется измерять ЖЕЛ_{вд} – максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть в легкие при проведении спокойного вдоха после полного выдоха. Непосредственно перед тестом пациенту нужно объяснить суть проводимого исследования. Далее пациент должен адаптироваться к носовому зажиму и затем с позиции максимального выдоха начать вдох со спокойной постоянной скоростью до полного наполнения легких воздухом. Кроме того, ЖЕЛ может быть измерена как ЖЕЛ_{выд} или в 2 этапа (рис. 3).

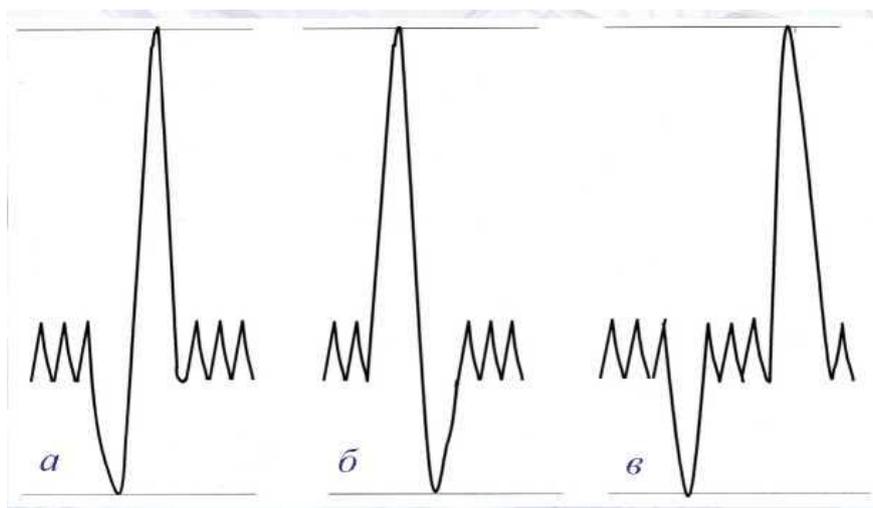


Рис. 3 Схематическое изображение спирограммы при определении ЖЕЛ вдоха (а), ЖЕЛ выдоха (б) и определение ЖЕЛ в 2 этапа (в)

ЖЕЛвыд. – максимальный объем газа, который можно выдохнуть из легких во время спокойного выдоха после максимально полного вдоха. Этот маневр похож на глубокий вздох, выдох не должен ни усиливаться, ни сдерживаться. При определении ЖЕЛ в 2 этапа проводятся исследования РОвыд и РОвд как самостоятельные исследования. Такое определение ЖЕЛ целесообразно только у пациентов с тяжелой обструкцией дыхательных путей.

При любом методе измерения ЖЕЛ необходимо достичь не менее двух качественных маневров, с учетом критериев воспроизводимости. Берется большее значение ЖЕЛ. Не желательно проводить более 4 попыток.

Далее рекомендуется измерить ФЖЕЛ. Если пациент проходит исследование впервые, можно провести один-два маневра форсированного выдоха для тренировки. При ФЖЕЛ пациент должен дышать максимально полно: полностью вдохнуть, плотно охватить губами за губник и затем выдохнуть в датчик максимально быстро (форсированно) и полно до тех пор, пока весь объем воздуха не будет выдохнут, после чего сделать максимальный вдох до полного наполнения легких воздухом. При этом пациент не должен ни языком, ни зубами закрывать за губник. После этого маневр считается законченным, и испытуемый может вынуть за губник изо рта. Максимальное усилие должно поддерживаться на протяжении всего теста. В некоторых приборах предусмотрено, чтобы пациент взял в рот за губник и некоторое время спокойно дышал до начала пробы. По окончании исследования должна быть проведена качественная оценка результатов. При необходимости пациент может быть проинструктирован, как улучшить

результат, используя графическое изображение результатов теста как руководство.

Критерием окончания максимального выдоха при выполнении пробы ФЖЕЛ является одно из условий: а) выдыхается менее 0,05 л за период в 2 с; б) длительность выдоха превышает 15 с; в) по клиническим причинам оператор вынужден прервать процедуру (в связи с ухудшением самочувствия пациента).

Следует наблюдать за пациентом в течение всего времени проведения теста, чтобы убедиться в правильном выполнении пробы, в том, что пациент правильно выдыхает и часть воздуха не проходит мимо загубника. Необходимо убедиться, что пациент делает максимально полный выдох. При этом пациентам с обструкцией дыхательных путей может потребоваться более 10 с, чтобы закончить пробу ФЖЕЛ. Надо помнить, что пациент с астмой может развить бронхоспазм в результате выполнения дыхательных маневров (на что указывает снижение значений $ОФВ_1$ при проведении следующих один за другим тестов). В таком случае следует прервать исследование.

Время форсированного выдоха (продолжительность максимального экспираторного усилия) должно быть не менее 6 с до достижения очевидного плато на кривой в координатах «объем-время». В ряде случаев, например, при исследовании детей, подростков и у пациентов с выраженными рестриктивными нарушениями вентиляции легких допускается меньшее время выдоха.

Для обеспечения достаточной воспроизводимости пациент должен выполнить не менее трех качественных тестов. При этом между повторными исследованиями должно пройти не менее 30 с, чтобы позволить пациенту, особенно с обструкцией дыхательных путей, восстановить дыхание. Пациенты не должны возобновлять исследование до полного восстановления своего состояния. Между тем, во время проведения исследования почти всегда лаборант вынужден проводить более 3 попыток для достижения адекватного результата. Общее количество тестов не ограничивается, однако не рекомендуется проводить более 8 попыток. Если технически приемлемый результат не достигнут, например, пациент кашляет или не в состоянии выполнить маневр, причина должна быть отражена в заключении. При необходимости повторное исследование можно провести после длительного отдыха (не менее 30 мин) или отложить на другой день.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Каждый тест должен быть оценен с точки зрения качества, затем всё исследование должно быть оценено с учетом воспроизводимости, то есть того диапазона, в пределах которого значения показателя закономерно колеблются при повторных, следующих непосредственно друг за другом измерениях у одного и того же обследуемого.

Прежде всего, лаборант должен оценить правильность проведенных тестов. Конечные результаты исследования должны включать максимальные достигнутые $ОФВ_1$ и ФЖЕЛ, полученные в результате не менее трех технически приемлемых попыток. При хорошей воспроизводимости исследования допускается выбор максимальных значений $ОФВ_1$ и ФЖЕЛ из разных маневров. Значения объемных скоростей ($МОС_{25}$, $МОС_{50}$, $МОС_{75}$, $СОС_{2575}$, ПОСвд) должны браться из одной кривой, которая отвечает критериям качества и обладает максимальной суммой ФЖЕЛ+ $ОФВ_1$.

При проведении пробы ФЖЕЛ максимальное усилие должно поддерживаться на всем протяжении выполнения маневра. Исследование является неприемлемым в следующих случаях:

- утечка воздуха на уровне рта;
- перекрытие загубника языком, зубами или зубными протезами;
- плохо скоординированное начало выдоха, определяемое как обратно экстраполируемый объем более 5% ФЖЕЛ или 0,15 л (берется большее значение) (рис. 4).

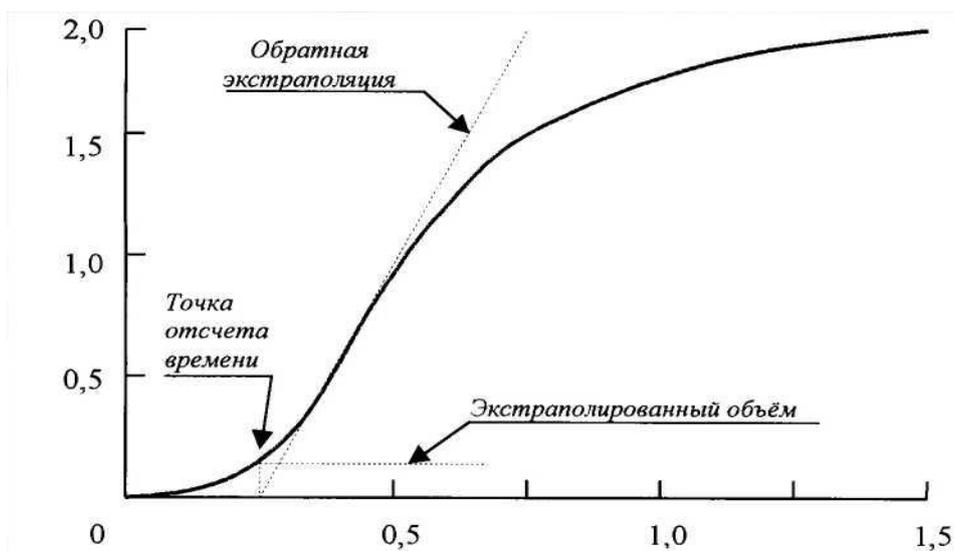


Рис. 4 Пример проведения обратной экстраполяции в начале пробы ФЖЕЛ. Наклон наиболее резко возрастающей части кривой экстраполирован обратно на ось времени

Не все приборы имеют возможность проведения обратной экстраполяции. Когда спирограмма воспроизводится на постоянно движущейся ленте, особенно важно, когда это возможно, проводить обратную экстраполяцию с целью определения начала маневра, с которого будет отсчитываться $ОФВ_1$. При исследовании ПОСв_{ид} обратная экстраполяция проводится по наклонной линии, отражающей пиковый поток, пока она не пересечет ось времени. Это пересечение и есть нулевая точка отсчета времени. Обратной экстраполируемый объем — тот объем, который выдохнут к точке этого отсчета (рис. 4).

Ориентировочно правильность выполнения маневра ФЖЕЛ можно проследить при регистрации соотношения «поток-объем» в процессе маневра (рис. 5).

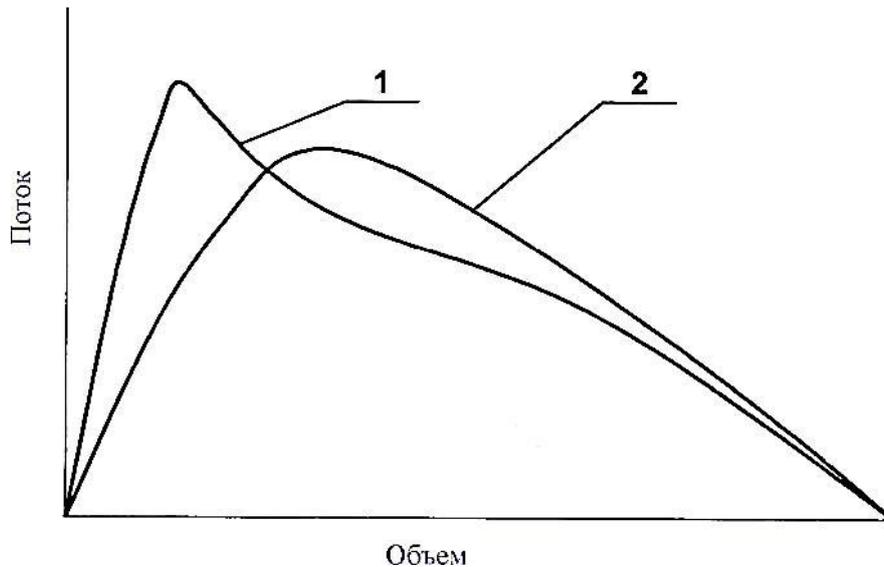


Рис. 5 Схематическое изображение кривой «поток-объем» при правильном выполнении теста (1) и при позднем развитии максимального усилия (2)

Так максимальный поток должен достигаться до выдоха 20% ФЖЕЛ, а затем по мере выполнения маневра поток прогрессивно уменьшается (кривая 1). Если усилие развивается не в начале маневра, а позже, то характерной треугольной формы записи не получается, а имеет место кривая, близкая к синусоиде (кривая 2). Несоблюдение правильного выполнения маневра приводит к тому, что происходит завышение потоков второй половины ФЖЕЛ.

Для того, чтобы значения $ОФВ_1$, ФЖЕЛ и ЖЕЛ были признаны приемлемыми, исследования должны проводиться технически правильно и выбранные объемы не должны отличаться более чем на 0,2 л.

Лучший тест рекомендуется выбирать по наибольшей сумме $ОФВ_1 + ФЖЕЛ$.

Некоторые приборы распечатывают лучшую попытку как результирующую (огигающую) нескольких маневров, которая охватывает максимальные $ОФВ_1$ и ФЖЕЛ. В результате, если не выполняется критерий

воспроизводимости, могут значительно искажаться значения максимальных потоков, и затрудняется качественный анализ кривой.

На рис. 6 представлены результаты пробы ФЖЕЛ в виде кривых в координатах «объем-время» и «поток-объем», являющиеся приемлемыми. При проведении исследования пациент продемонстрировал максимальное усилие, выдыхая не менее 6с с наличием плато в течение более 1с на кривой «объем-время». Нужно подчеркнуть, что на кривой «поток-объем» гораздо труднее определить приемлемое плато при усилении пациента, чем на кривой «объем-время».

Приемлемая спирограмма

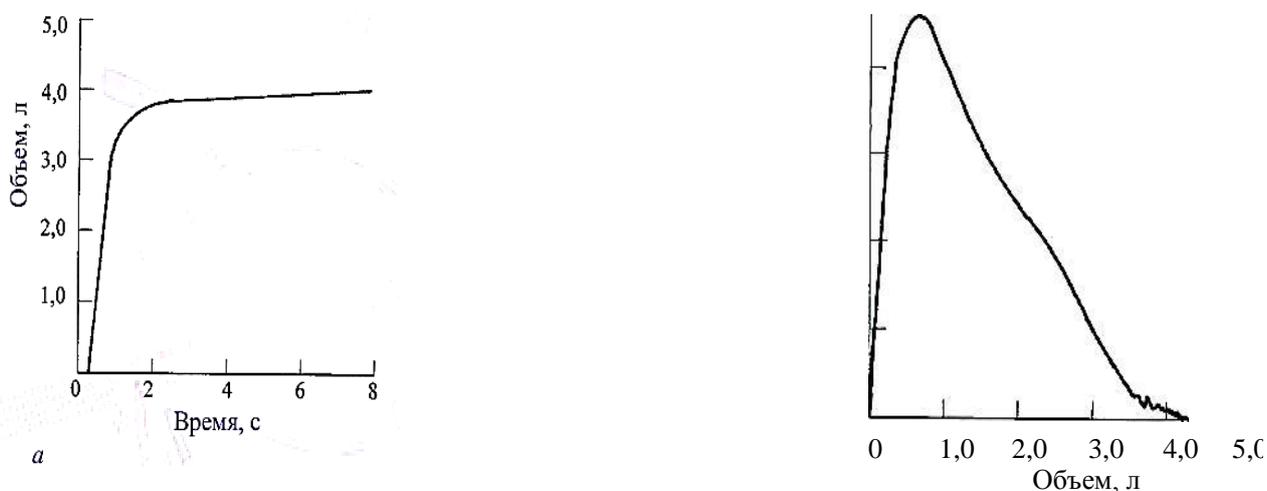


Рис. 6 Спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования при правильном выполнении теста ФЖЕЛ

Кривые на рис. 7 иллюстрируют неприемлемый тест ФЖЕЛ из-за кашля, возникшего в первую секунду выдоха. Заметим, что кашель, который происходит на уровне примерно 3-3,5 л, очень влияет на значение кривой «поток-объем», но его сложно определить при оценке кривой «объем-время». Отклонения, регистрируемые на кривой «объем-время», примерно на уровне 5-5,5 л происходят после первых секунд выдоха и могут быть обусловлены легким покашливанием или вариабельностью усилий. Несмотря на то, что разность значений потока, наблюдаемая на кривой «поток-объем» на рис. 7б относительно велика, это не должно значительно отразиться на величине $ОФВ_1$. Таким образом, $ОФВ_1$ из этой пробы может быть диагностически значимым, особенно если результаты других проб являются неприемлемыми.

Кашель

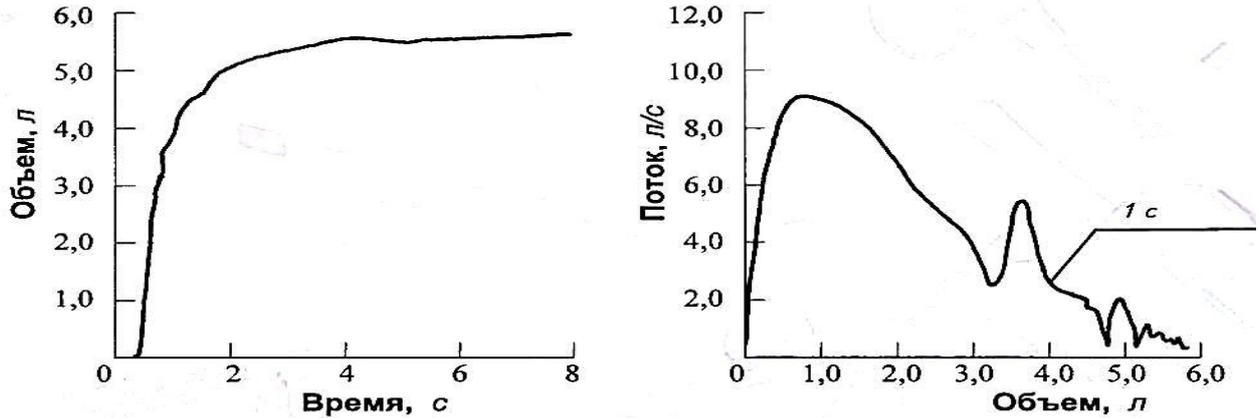


Рис. 7 Спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования при развитии у пациента кашля во время проведения теста ФЖЕЛ

На рис. 8 представлены неприемлемые результаты пробы ФЖЕЛ, из-за вариабельности усилий или кашля во время первой секунды выдоха и раннего прерывания маневра.

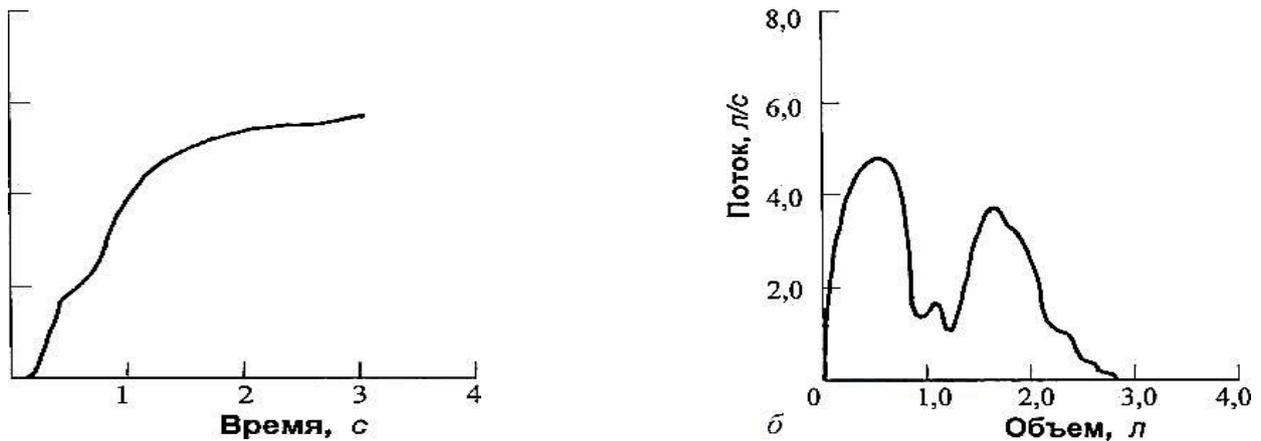


Рис.8 Неприемлемые спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования из-за вариабельности усилий или развития кашля и раннего прекращения маневра при выполнении теста ФЖЕЛ

Продолжительность нарушения и факт, что поток, немедленно следующий за этим отклонением, не продолжает петлю «поток-объем», предполагают, что это отклонение является результатом вариации усилия при выполнении пробы, а не кашля. Раннее прекращение выдоха менее заметно на кривой «поток-объем». Однако на кривой «объем - время» явно видно, что пациент не смог выдохнуть в течение 6с и нет плато в течение 1с на кривой «объем-время».

На рис. 9 представлены неприемлемые результаты исследования ФЖЕЛ из-за раннего прекращения выдоха в конце маневра, возможно, в результате закрытия голосовой щели. Заметим, что на рис. 9а кривая «объем-время» прекращает свое нарастание примерно на 2,2 с, когда объем остается постоянным до конца выполнения маневра, а на рис. 9б кривая «поток-объем» демонстрирует резкое снижение потока в конце выполнения маневра.

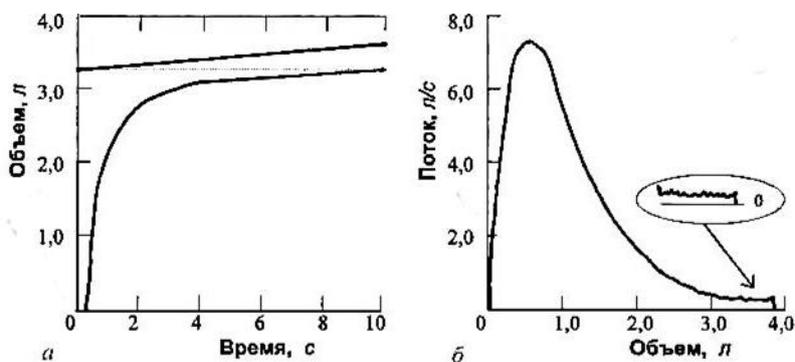


Рис.9 Неприемлемые спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования из-за раннего прекращения выдоха при выполнении теста ФЖЕЛ

Рис. 10 иллюстрирует неприемлемые результаты исследования из-за погрешности в самом спирометре. Эта погрешность составляет примерно 50 мл/с и примерно 300 мл объема теряется в течение 6 с выдоха у данного пациента. Заметим, что эта ошибка совершенно очевидна на кривой «объем-время» и, возможно, менее заметна на кривой «поток-объем». В конце маневра, когда погрешность наиболее очевидна, поток принимает отрицательное значение, и объем снижается (график опускается ниже нулевой линии).

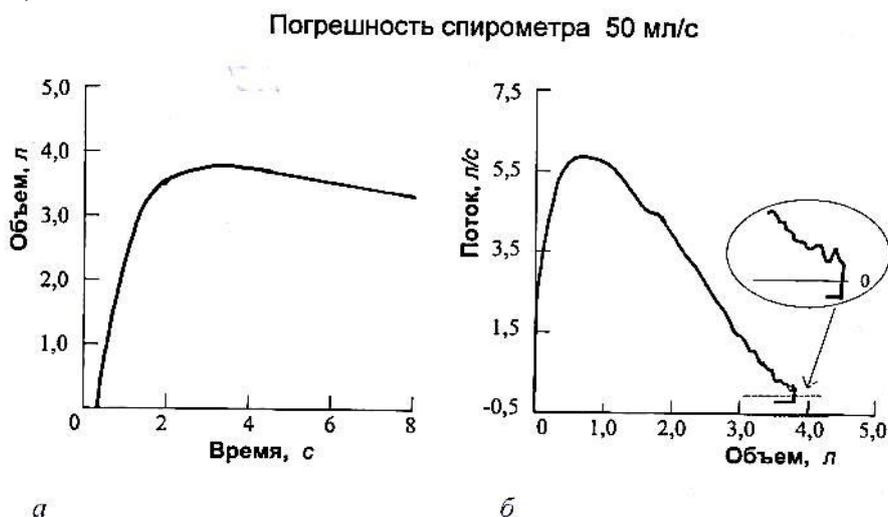


Рис. 10 Неприемлемые спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования из-за погрешности спирометра

Рисунок 11 показывает результаты приемлемого исследования у пациента с легкой обструкцией дыхательных путей ($ОФВ_1 / ФЖЕЛ\% = 67\%$). Отметим относительно малое изменение потока после 10-й секунды выдоха (рис. 11а) и относительно низкий поток в конце маневра (рис 11б).

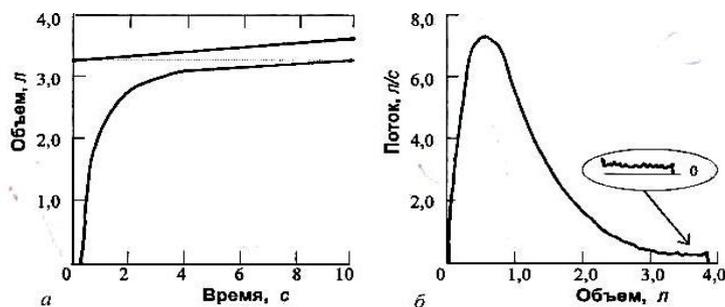


Рис. 11 Качественные спирографическое (а) и пневмотахографическое (б) исследования ФЖЕЛ у пациента с обструктивными нарушениями легкой степени

После того, как проведено три качественных измерения, необходимо оценить их с учетом критерия воспроизводимости. *Воспроизводимость* — это тот диапазон, в пределах которого значения показателя закономерно колеблются при повторных, следующих непосредственно друг за другом измерениях у одного и того же обследуемого (Приложение 2). Получение хорошей воспроизводимости для ФЖЕЛ и $ОФВ_1$ должно рассматриваться как цель исследования. На рисунке 12 приведен пример исследования ФЖЕЛ в координатах «объем-время» (рис. 12а) и «поток-объем» (рис. 12б) у здоровой женщины 22 лет.



Рис. 12 Результаты исследования ФЖЕЛ у здоровой женщины 22 лет: спирографическое (а) и пневмотахографическое (кривая «поток-объем») (б) исследования демонстрируют плохую воспроизводимость при качественных отдельных тестах

В результате 3 тестов значение минимального критерия воспроизводимости не было достигнуто ни для $ОФВ_1$, ни для ФЖЕЛ, несмотря на то, что все три маневра являются приемлемыми. Результаты ФЖЕЛ отличаются на 0,43 л (10%), а $ОФВ_1$ – на 0,37 л (12,1%). Таким образом, требуется выполнить по крайней мере одно дополнительное исследование для соблюдения критериев воспроизводимости ФЖЕЛ и $ОФВ_1$. Наиболее вероятной причиной такого соотношения (плохая воспроизводимость при хороших отдельных результатах исследований) является недостижение максимального вдоха при выполнении маневра ФЖЕЛ.

Рисунок 13 иллюстрирует хорошее по воспроизводимости исследование с тремя приемлемыми тестами ФЖЕЛ.

Приемлемые тесты с хорошей воспроизводимостью

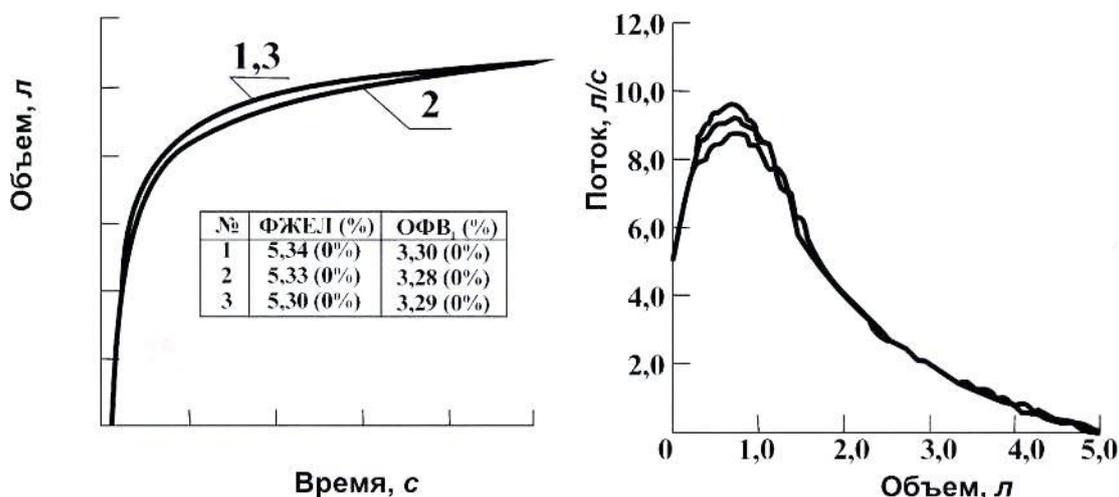


Рис. 13 Результаты спирометрического (а) и пневмотахометрического (кривая «поток-объем») (б) исследований ФЖЕЛ у пациента 80 лет

Исследование проведено у 80-летнего мужчины с соотношением $ОФВ_1/ФЖЕЛ = 61,7\%$. Соответственно представлены кривые «объем-время» и «поток-объем». Необходимо отметить высокую воспроизводимость, даже несмотря на то, что пациенту потребовалось примерно 20 с, чтобы полностью выдохнуть.

На рисунке 14 приведен пример пробы ЖЕЛ для здорового человека.

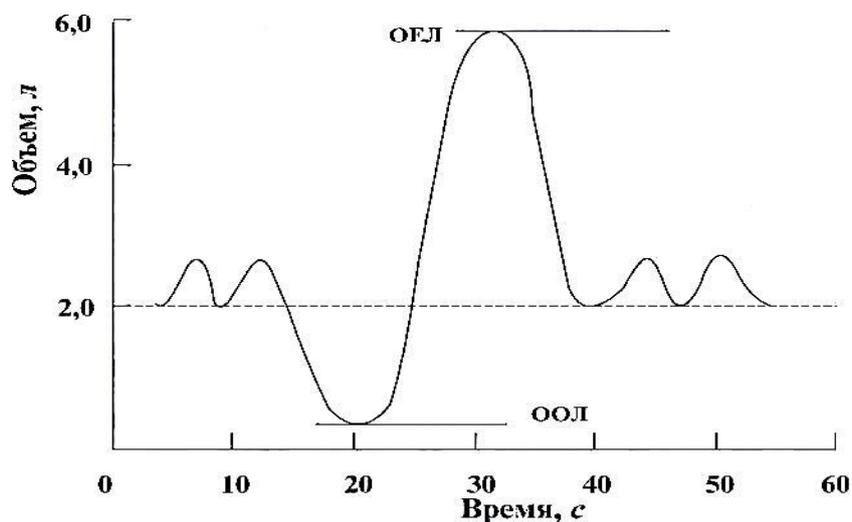


Рис. 14 Спирометрическое исследование ЖЕЛ вдоха здорового человека

В начале исследования зарегистрировано несколько спокойных дыхательных циклов. Затем исследуемый полностью выдохнул воздух до достижения ООЛ и медленно вдохнул до уровня ОЕЛ. При проведении такого исследования необходимо быть уверенным, что пациент действительно выдыхает до ООЛ и вдыхает до ОЕЛ. Заметим, что плато на уровне ООЛ и ОЕЛ показывают, что пациент полностью выдохнул и выдохнул.

На рисунке 15 показан пример исследования ЖЕЛ у пациента с тяжелой обструкцией дыхательных путей.

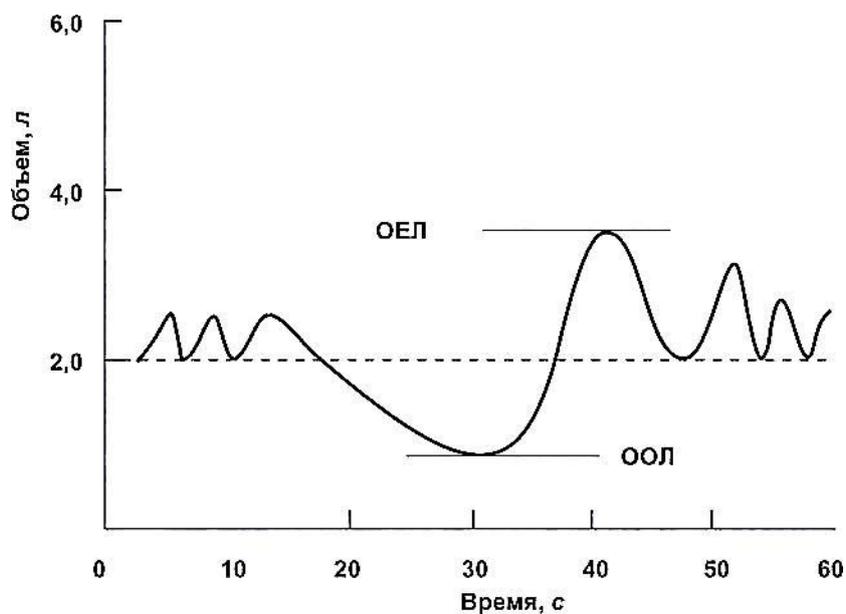


Рис. 15 Результаты спирометрического исследования ЖЕЛ у пациента с тяжелой обструкцией дыхательных путей

Процедура проведения теста у данного пациента аналогична вышеописанной. Однако ЧД при регистрации его в режиме спокойного дыхания у этого пациента с тяжелой обструкцией значительно выше и пациенту потребовалось более длительное время для выдоха до достижения ОЕЛ (25 с). Примечательно, что, как и на рис.14, регистрируется плато на кривой «объем-время» на уровне ООЛ и ОЕЛ. Это показывает, что пациент полностью выдохнул и вдохнул. Отметим также, что у пациента регистрируется трудность в стабилизации нормального дыхания после проведения маневра ЖЕЛ, возможно из-за гипервентиляции.

Таким образом, прежде всего спирограмма должна быть оценена по критерию качества и только потом по критерию воспроизводимости. Без качественной оценки исследования за лучший тест можно ошибочно принять медленный выдох, так как он чаще всего будет характеризоваться наибольшей суммой ФЖЕЛ+ОФВ₁, особенно при наличии нарушения бронхиальной проходимости.

Необходимо иметь в виду, что только качественное исследование с хорошей воспроизводимостью тестов действительно отражает состояние вентиляции легких пациента. Тем не менее, если в ходе исследования получено более 2 качественных тестов, но не достигнута приемлемая воспроизводимость результатов, такое исследование считается допустимым, однако рекомендуется отметить в заключении невыполнение критерия воспроизводимости.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СПИРОМЕТРИЧЕСКИХ И ПНЕВМОТАХОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка полученных результатов спирографических и пневмотахографических исследований должна проводиться в несколько этапов. На первом этапе проводится анализ количественных показателей и их отклонения от должных значений.

На практике используется градация нарушения функции дыхания в виде процентного соотношения найденных параметров и должных величин. Современные рекомендации по интерпретации данных представлены в таблице 1.

Таблица 1 Характерные изменения легочной функции при рестриктивных и обструктивных нарушениях различной тяжести

Показатель	Рестрикция				
	Норма	Легкие	Умеренные	Тяжелые	Крайне тяжелые
ЖЕЛ %	>80	60-80	50-60	30-50	<35
ОФВ/ЖЕЛ%	>75	>75	>75	>75	>75
МВЛ %	>80	>80	>80	60-80	<60
ООЛ %	80-120	80-120	70-80	60- 70	<60
ДЛсо*	N	-Н	-П	-	-
РаО	N	N	-Н	-	-
РаСО₂	N	N	±	±	±
Одышка (тяжесть)	0	+	++	+++	++++
	Обструкция				
ЖЕЛ %	>80	> 80	> 80	↓	↓↓
ОФВ./ЖЕЛ %	>75	60-75	40-60	< 40	<40
ОФВ₁ %	>80	70-79	50- 69	36-50	<35
МВЛ %	>80	65-80	45-65	30-45	<30
ООЛ %	80-120	120-150	150-175	>200	>200
ДЛсо*	N	N	N	-	-
РаО₂	N	-Н	↓	-	-
РаСО₂	N	N	N	+Н	+П
Одышка (тяжесть)	0	+	++	+++	++++

Примечания: N - норма, П - в покое, Н - при нагрузке, - уменьшение, +увеличение; ДЛсо - характеризует газообмен через альвеолокапиллярную мембрану и определяется как скорость переноса вещества через мембрану при градиенте парциального давления газа на мембране 1мм рт. ст.

На втором этапе необходимо провести качественную оценку нарушений, другими словами, оценить, какой тип нарушений функции дыхания преобладает. Ориентировочное спирографическое заключение можно построить с использованием следующего алгоритма (рис. 16).

Качественная оценка нарушений ФВД

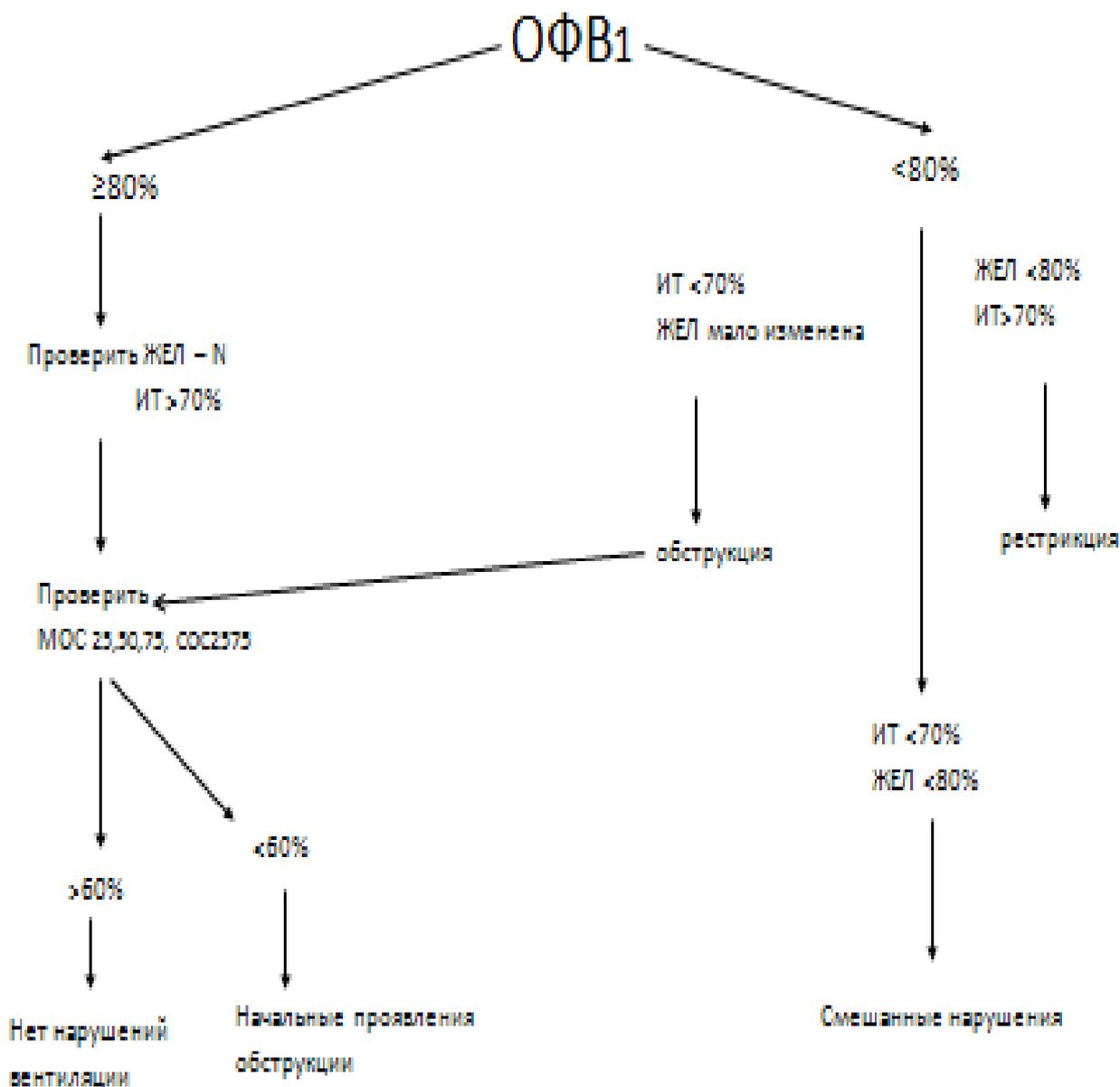


Рис. 16 Алгоритм качественной оценки спирограммы

На рис. 17 схематически представлены изменения кривой «поток-объем», показателей ООЛ и ОЕЛ при обструктивных (а) и рестриктивных (б) нарушениях по сравнению с нормой (в).

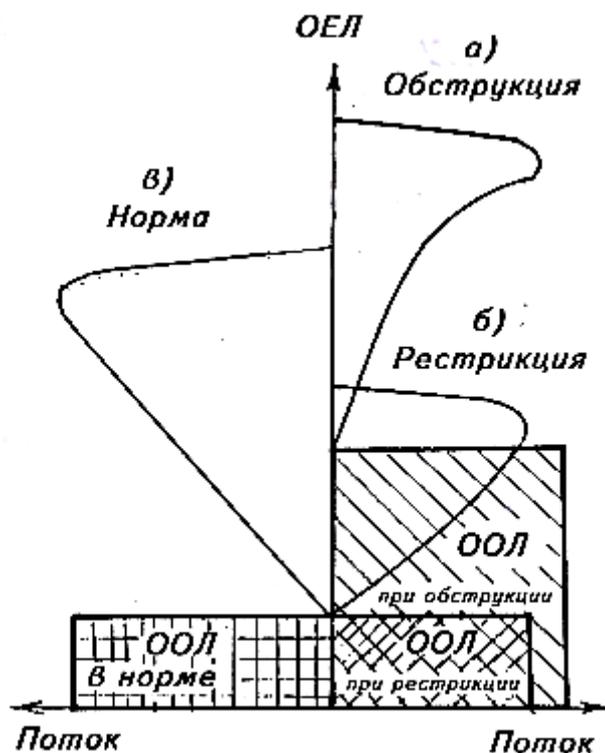


Рис. 17 Схематическое изображение кривой «поток-объем», показателей ООЛ и ОЕЛ при обструктивных (а) и рестриктивных (б) нарушениях по сравнению с нормой (в)

Обструктивный тип нарушений характеризуется затруднением выдоха, когда просвет воздухопроводящих путей на выдохе меньше, чем на вдохе. При этом значения $ОФВ_1$ и $СОС_{2575}$ уменьшаются. ЖЕЛ долгое время остается нормальной, однако при тяжелых обструктивных процессах она всегда снижена. При этом ОЕЛ может не изменяться (происходит снижение ЖЕЛ и увеличение ООЛ) или увеличивается за счет ООЛ. Индекс Тиффно (ИТ) уменьшен, особенно в период нормального значения ЖЕЛ.

Рестриктивный тип нарушений характеризуется снижением ОЕЛ и примерно пропорциональным уменьшением всех составляющих ее объемов. Поэтому обычно при спирографии, если не определен ООЛ, о рестриктивном синдроме можно судить по уменьшению ЖЕЛ и пропорциональном уменьшении ее составляющих: $РОВ_{\text{выд}}$, $РОВ_{\text{вд}}$, Евд. Визуально спирограмма воспринимается как уменьшенная копия нормальной. Если нет резкого снижения ЖЕЛ, то $ОФВ_1$ может оставаться на уровне нормальных значений. ИТ при рестрикции в норме или выше нормы. Значения ПОС и $СОС_{2575}$ также остаются нормальными или изменяются незначительно.

Довольно часто встречается смешанный тип нарушений вентиляционной функции легких. Его спирографические проявления полностью идентичны таковым при обструктивном варианте нарушений со сниженной ЖЕЛ. Диагностика этого типа нарушения проводится на основе анализа структуры ОЕЛ, когда признаки обструкции сочетаются с уменьшением ООЛ и ОЕЛ. Снижения ЖЕЛ недостаточно для заключения о наличии ограничения расправления легкого, т. к. этот показатель может уменьшаться вследствие обструкции дыхательных путей при отсутствии каких-либо ограничительных факторов.

Далее необходимо оценить значения максимальных объемных скоростей на разных уровнях выдоха ФЖЕЛ. В случаях, когда значения ФЖЕЛ, ЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ находятся в пределах нормы, изменение этих показателей позволяет диагностировать начальные проявления обструкции.

На третьем этапе нужно оценить характер изменения кривой «поток-объем». Однако необходимо заметить, что проведение дифференциальной диагностики различных нарушений на основе единственной кривой «поток-объем» не является строго достоверным, так как нет данных о величинах давлений на высоте усилия, динамике бронхиального сопротивления.

В норме кривая может иметь вариации, незначительно отличающиеся друг от друга, что обусловлено различиями упругих свойств крупных дыхательных путей (рис. 18). При этом лица с более узкими и более жесткими крупными дыхательными путями имеют более низкие значения ПОС и более высокие $МОС_{50}$ (рис. 18 а, б), по сравнению с теми, у которых бронхи более податливы (рис. 18 в, г).

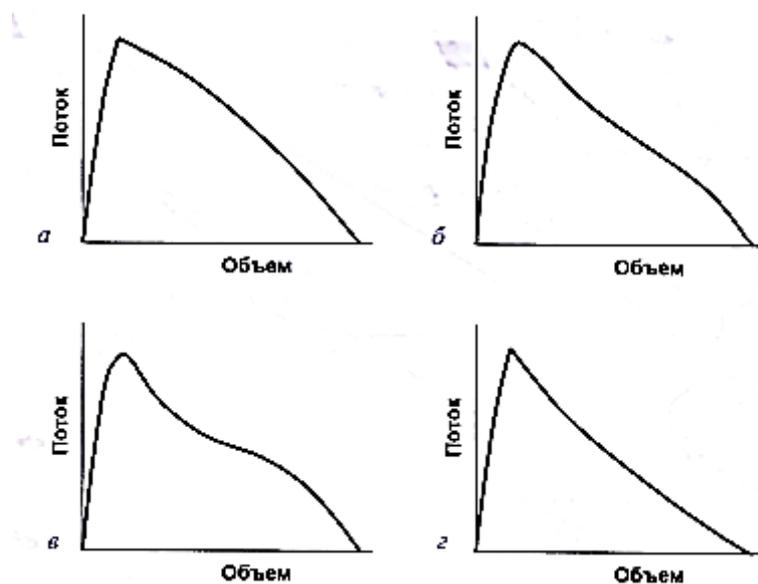


Рис. 18 Схематическое изображение вариантов нормы кривой «поток-объем»

При выявлении обструктивных нарушений прежде всего необходимо оценить ее локализацию – связана ли обструкция с поражением проксимальных, средних или дистальных дыхательных путей. Для исключения поражения верхних дыхательных путей следует провести пневмотахометрическое исследование форсированного вдоха и оценить показатели и форму графика по отношению к показателям кривой «поток-объем» форсированного выдоха. Кривая форсированного вдоха менее постоянна по форме, но у большинства здоровых лиц она напоминает овал. При этом $МОС_{50}$ вдоха превышает $МОС_{50}$ выдоха. Характер патологического процесса предопределяет зависимость обструктивных нарушений от фазы дыхания (вдох, выдох). При стабильной обструкции степень выраженности нарушений не изменяется с фазой дыхания и не зависит от локализации повреждения: экстраторакальное расположение процесса дает такую же картину, как и интраторакальное. При стабильной обструкции снижаются пиковые показатели объемной скорости, как выдоха, так и вдоха, и формируется плато на кривых – и выдоха, и вдоха (рис. 19).

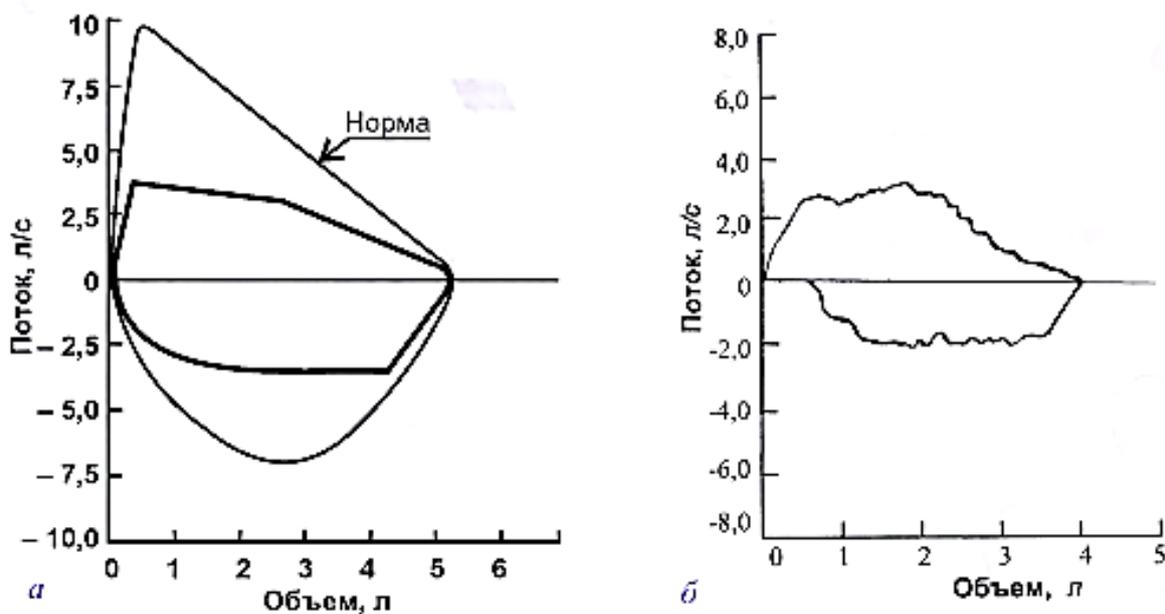


Рис. 19 Стабильная обструкция крупных дыхательных путей:
 а) схематическое изображение кривой «поток-объем»,
 б) результаты пневмотахометрического исследования
 у пациента со стриктурой трахеи

В случае лабильной обструкции при локализации патологического процесса экстраторакально степень выраженности обструктивных нарушений увеличивается на вдохе. Следовательно, изменяется кривая вдоха, а на выдохе сохраняет треугольную форму (рис. 20).

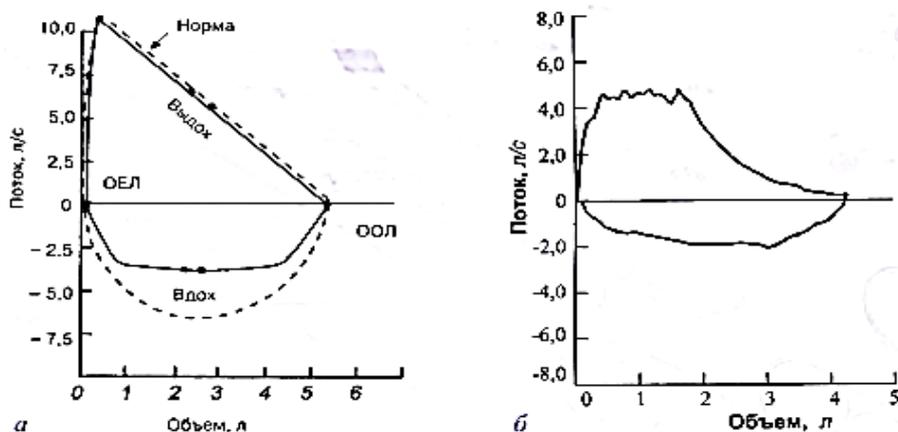


Рисунок 20 – Кривая «поток – объем» при лабильной экстраторакальной обструкции: а) схематическое изображение кривой «поток-объем», б) результаты пневмотахометрического исследования у пациента с зобом: регистрируется декапитация экспираторной части кривой с более значительным инспираторным нарушением из-за резкого уменьшения просвета трахеи на вдохе

Однако следует помнить, что соответствующая вдоху часть кривой «поток-объем» может уплощаться в случаях, когда легкие ригидно поражены при рестриктивных вентиляционных дефектах, при мышечной слабости и плевральной боли, затрудняющей вдох. Особенную ценность в таких случаях приобретает рассмотрение кривой «поток-объем» в сопоставлении с абсолютным легочным объемом, определенным с помощью плетизмографа или другими методами.

Внутриторакальная обструкция характеризуется обратным соотношением: плато прослеживается на выдохе, кривая вдоха менее изменена (рис. 21).

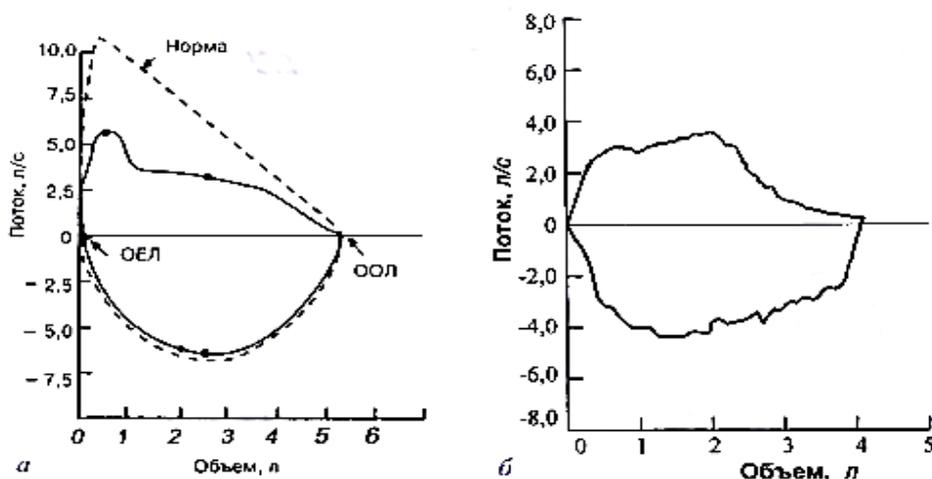


Рис. 21 Кривая «поток-объем» при лабильной интраторакальной обструкции крупных дыхательных путей: а) схематическое изображение кривой «поток-объем», б) результаты пневмотахометрического исследования у пациента с загрудинным зобом

Для обструкции преимущественно центральных дыхательных путей характерно резкое снижение объемной скорости форсированного выдоха в начальной части нисходящей ветви кривой «поток-объем». При этом ПОС и МОС₂₅ снижены больше, чем МОС₅₀ и МОС₇₅.

При генерализованной обструкции кривая «поток-объем» имеет также характерный вид (рис. 22).

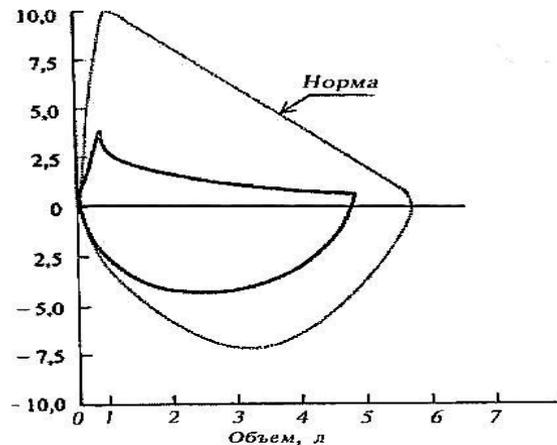


Рис. 22 Схематическое изображение кривой «поток-объем» при генерализованной обструкции

При дистальной локализации обструктивных изменений выделяют два варианта формы кривой: бронхитический и эмфизематозный (рис.23).

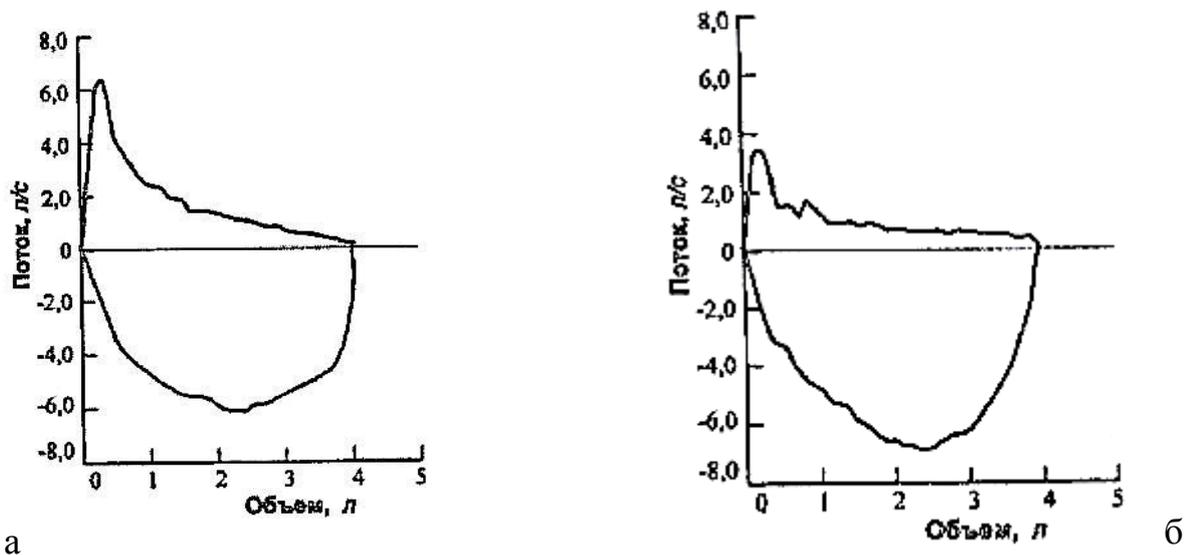


Рис. 23 Кривая «поток-объем» при: а). бронхитическом типе генерализованной обструкции, б). эмфизематозном типе генерализованной обструкции

При бронхитическом типе обструкции сохраняется быстрый линейный подъем кривой, однако ПОС не достигает нормальных величин, а нисходящая ее часть образует дугу, вогнутую к оси объема за счет значительного снижения потоковых показателей (рис. 23 а).

Особенностью кривой при эмфизематозном типе генерализованной обструкции является резкий провал сразу после достижения пика (который в большинстве случаев тоже снижен) с последующим плавным снижением. При этом возрастает различие между ПОС и МОС₂₅, а значения МОС₅₀ и МОС₇₅ снижены пропорционально степени обструктивных нарушений (рис. 23 б).

При рестриктивной патологии кривая «поток-объем» сохраняет близкую к нормальной треугольную форму, но меньшую по площади (рис. 24).

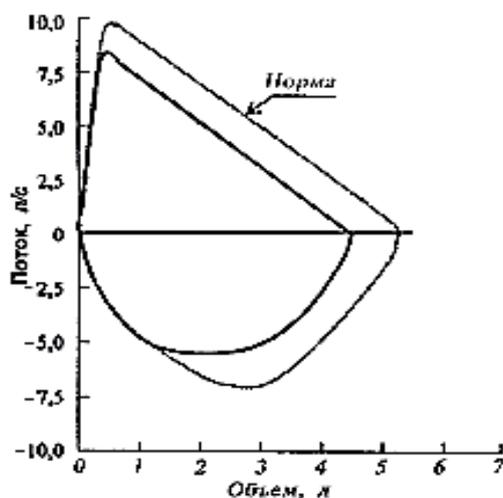


Рис. 24 Схематическое изображение кривой «поток-объем» при рестрикции

При рестриктивных нарушениях на фоне нормальных показателей ИТ, ЖЕЛ, ОФВ₁ могут быть снижены потоки второй половины выдоха. Показатели МОС₂₅ отражают преимущественно нарушения в крупных бронхах, а МОС₇₅ — преимущественно в бронхах мелкого калибра. Однако нарушения на уровне потоков конца выдоха могут быть обусловлены и снижением эластичности крупных бронхов, поэтому правильнее при изменении потоков второй половины говорить о начальных нарушениях бронхиальной проходимости.

При проведении спирометрического исследования необходимо следить за качеством выполнения исследования, однако иногда правильное выполнение не достигается. В этом случае необходимо отметить это в заключении, а запись кривой сохранить, так как она может содержать полезную информацию.

БРОНХОДИЛАТАЦИОННЫЙ ТЕСТ

При выявлении обструктивных нарушений необходимо:

1. Определить локализацию нарушений (крупные, средние или мелкие дыхательные пути)
2. Определить обратимость обструкции

В противном случае, исследование нельзя считать окончанным!

Для оценки обратимости обструкции дыхательных путей используется фармакологический бронходилатационный тест, в основе которого лежит оценка выраженности бронхоспазма. С этой целью обычно исследуется влияние короткодействующих бронхолитиков на показатели кривой «поток-объем», главным образом, на значение $ОФВ_1$.

Бронходилатационный ответ зависит от того, к какой группе принадлежит бронхолитик, от путей введения, а в случае использования дозированных ингаляторов — от техники ингаляции. Ответ также зависит от:

- дозы
- времени, прошедшего после ингаляции
- бронхиальной лабильности во время исследования
- состояния легочной функции
- воспроизводимости показателей, используемых для сравнения
- вероятности повторения незначительных погрешностей исследования.

Существует несколько методик оценки пробы. Наиболее простым способом является измерение абсолютного прироста $ОФВ_1$:

$$\Delta ОФВ_{1\text{абс.}} (\text{мл}) = ОФВ_{1\text{дилат.}} (\text{мл}) - ОФВ_{1\text{исх.}} (\text{мл})$$

Но этот способ не учитывает величины ни исходного, ни достигнутого показателя, следовательно, не позволяет судить о степени улучшения бронхиальной проходимости.

Чаще обратимость измеряется отношением абсолютного прироста показателя $ОФВ_1$, выраженного в процентах к исходному:

$$\Delta ОФВ_{1\text{исх.}} \% = \frac{ОФВ_{1\text{дилат.}} (\text{мл}) - ОФВ_{1\text{исх.}} (\text{мл})}{ОФВ_{1\text{исх.}} (\text{мл})} \times 100\%$$

Основным недостатком этой методики является сложность оценки теста при низких исходных значениях $ОФВ_1$, так как незначительный абсолютный прирост будет в итоге давать высокий процент увеличения показателя.

Существуют еще два способа оценки бронходилатационного теста: изменение показателя по отношению к должному значению, выраженному в процентах ($\Delta\text{ОФВ}_1$ должн. %),

$$\Delta\text{ОФВ}_{1,\text{должн.}}\% = \frac{\text{ОФВ}_{1,\text{дилат.}}(\text{мл}) - \text{ОФВ}_{1,\text{исх.}}(\text{мл})}{\text{ОФВ}_{1,\text{должн.}}(\text{мл})} \times 100\%$$

и по отношению к максимально возможной обратимости ($\Delta\text{ОФВ}_1$ max %):

$$\Delta\text{ОФВ}_{1,\text{возм.}}\% = \frac{\text{ОФВ}_{1,\text{дилат.}}(\text{мл}) - \text{ОФВ}_{1,\text{исх.}}(\text{мл})}{\text{ОФВ}_{1,\text{должн.}}(\text{мл}) - \text{ОФВ}_{1,\text{исх.}}(\text{мл})} \times 100\%$$

Во всех формулах ОФВ_1 исх. – исходный показатель; ОФВ_1 дилат. – показатель после провокационной пробы; ОФВ_1 должн. – должный показатель.

Выбор метода оценки зависит от клинической ситуации.

Для рутинного использования в настоящее время рекомендуется определять процент изменения ОФВ_1 по отношению к исходному значению. Однако в случае выраженной обструкции при низких исходных значениях экспираторного потока обязательно нужно учитывать абсолютные значения прироста ОФВ_1 (увеличение ОФВ_1 на 160 мл является статистически достоверным).

При оценке ответа на бронходилататор короткого действия дополнительными критериями являются абсолютное изменение ЖЕЛ на 330 мл как статистически достоверное отличие или при отсутствии значимой динамики ФЖЕЛ, изменение МОС_{25-75} на 25%. Клиническое улучшение самочувствия может иметь место и при отсутствии таких изменений. Бронходилатационный тест может быть диагностически значимым только при исходной легочной функции менее 80% должной (или лучшей).

Условия проведения теста заключаются в следующем. Необходимо, чтобы пациенты, которым будет проводиться тест, воздерживались от приема бронходилататоров короткого действия в течение как минимум 4 ч до проведения теста.

Пациенты должны получить четкие и краткие инструкции касательно воздержания от употребления бронходилататоров (короткого действия) во время приготовления к тесту. Если пациент не в состоянии исполнить эти инструкции или ему не удалось сделать это, и тест не может быть перенесен на другое время, принятая доза бронходилататоров короткого действия и время, прошедшее от их приема до теста, должны быть зафиксированы.

Ингаляционные кортикостероиды, бронходилататоры длительного действия или пероральная терапия не должны прерываться иначе как по требованию врача, вместе с тем эти препараты могут значительно влиять на результаты пробы. В протоколе исследования должна быть отмечена лекарственная терапия, которую принимает больной.

ОФВ₁, ФЖЕЛ и ЖЕЛ должны быть определены с использованием стандартных методик до и через определенное время после приема бронхолитического препарата. Так же и ПОС может быть измерена согласно стандарту.

Если технически приемлемая исходная спирограмма не достигнута, бронходилатационный тест нельзя будет достоверно оценить. Рекомендации по оценке обратимости бронхиальной обструкции варьируются в разных лабораториях и в настоящее время не существует «золотого стандарта» по этому методу.

Важно, чтобы ингаляторы и небулайзеры использовались согласно инструкции производителя. Препарат, доза и метод применения должны быть записаны. Если требуется сравнение ответа на два разных бронходилататора, например, при различных типах доставки лекарства, то в таких случаях пациенту лучше предложить провести тесты в разные дни (в одно время суток).

Исследователь должен следить за тем, как пациенты используют ингалятор. Любые ошибки в технике должны быть отмечены и своевременно исправлены.

Рекомендуемое время экспозиции: при использовании сальбутамола 200 мкг – 15 мин, при использовании ипратропиума - 40 мкг – 30 мин.

В зависимости от задачи исследования доза бронходилатирующего агента может быть увеличена.

Все время проведения пробы пациенты должны оставаться поблизости от места обследования и не должны курить.

Заключение по бронходилатационному тесту должно включать:

- должные объемы и должные нормативы;
- исходные данные;
- значения показателей после применения бронходилататора;
- препарат, дозу, метод применения и временной интервал от момента применения до записи ответа.

ПРОВОКАЦИОННЫЕ ТЕСТЫ

Тесты с применением ингаляции холодным сухим воздухом в качестве бронхоконстрикторного фактора

Восприимчивость дыхательных путей может быть измерена при ингаляции раздражителя, который приводит к бронхоконстрикции за счет высвобождения медиаторов из клеток дыхательных путей так же хорошо, как и при ингаляции самих бронхоконстрикторных медиаторов. Одним из таких методов является изокапническая гипервентиляция холодным и/или сухим воздухом. Степень гипервосприимчивости дыхательных путей к изокапнической гипервентиляции холодным сухим воздухом умеренно коррелирует со степенью гипервосприимчивости дыхательных путей к ингалированным метахолину и гистамину у пациентов с астмой.

Общепринятым является использование сухого сжатого воздуха, который охлаждается при прохождении над холодной спиралью, по которой проходит охлажденный до -35°C метанол. В результате этого температура вдыхаемого воздуха снижается до -12 . -15°C . Во многих лабораториях, однако, используется просто сухой воздух комнатной температуры, потому что именно такой воздух провоцирует бронхоконстрикцию у большинства больных с астмой, позволяет избежать использования оборудования по охлаждению воздуха и приводит к результатам, схожим с результатами тестирования холодным сухим воздухом.

Пациенты вдыхают холодный и/или сухой воздух через клапан. Для этой цели можно использовать клапан «Hans Rudolph», который имеет порты вдоха и выдоха, что особенно важно, если измеряется температура вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. При использовании этого метода необходимо постоянно измерять в выдыхаемом воздухе содержание CO_2 в конце выдоха, используя капнограф, и добавлять CO_2 во вдыхаемый воздух, чтобы поддерживать у пациента нормальное напряжение углекислоты в крови (эйкапнию).

После измерения исходных спирометрических показателей пациент дышит с увеличением минутной вентиляции, начиная с 7,5 л/мин и увеличивая до 15, 30, 60 л/мин и максимальной вентиляции легких, каждый период вентиляции продолжается 3 мин. Необходимые объемы вдоха могут быть получены с помощью прибора, который дает визуальное изображение объема вдоха. Скорость дыхания устанавливается либо врачом, либо с помощью метронома. Дыхательные объемы и скорости, которые могут использоваться, чтобы достичь желаемой минутной вентиляции, таковы: 0,75 л при 10 дыханиях в минуту, 1,5 л при 10 дыханиях в минуту, 2,0 л при 15

дыханиях в минуту. После каждого шага пациент дышит комнатным воздухом, $ОФВ_1$ измеряется через 30 и 90 с, потом через 3, 5 и каждые 2 мин до тех пор, пока не достигнуты наименьшие технически удовлетворительные значения. Провоцирование прекращается, как только падение $ОФВ_1$ составит 20%. Главным ограничением этого метода является то, что максимальная провоцирующая доза, которая может быть дана, ограничена максимальной вентиляцией легких, которая может быть достигнута обследуемым пациентом. С другой стороны, достигаемая максимальная вентиляция может быть преимуществом этой технологии над нагрузкой. Несмотря на то, что этот метод дает кумулятивный бронхоконстрикторный эффект, полученная максимальная бронхоконстрикция незначительно выше, чем в случае использования в качестве раздражителя максимальной вентиляции легких самой по себе.

Реакция рассчитывается как изменение $ОВФ_1$ от исходного значения. Кривая «доза-эффект» строится как постепенное увеличение минутной вентиляции в зависимости от изменения $ОФВ_1$ (обычно 10 или 20% снижение), а реакция выражается в виде $ПВ10$ или $ПВ20$ (минутная вентиляция, провоцирующая снижение $ОФВ_1$ на 10% или 20% соответственно). Если в качестве раздражителя используется холодный сухой воздух, то можно вычислять респираторный тепловой обмен (RHE). Для этого требуется измерение температуры выдыхаемого и вдыхаемого воздуха с использованием быстро реагирующей термопары и содержания воды. Если используется сухой воздух, то содержание воды 0 мг/л. Предполагают, что выдыхаемый воздух полностью насыщен. Следовательно, содержание воды можно вычислить по стандартной кривой температуры воздуха и влажности. Кривая «доза-эффект» строится как постепенное увеличение RHE (ккал/мин) в зависимости от изменения $ОФВ_1$, а результат выражается как RHE , приводящий к определенному снижению $ОФВ_1$. Однако в большинстве случаев, когда в качестве раздражителя используется просто сухой воздух, достаточным является указание минутной вентиляции и нет необходимости вычислять респираторный тепловой обмен.

Результат провокационного теста считается положительным при снижении $ОФВ_1$ на 10% и более. Величина этой реакции превышает 2 стандартных отклонения от реакции, наблюдаемой у здоровых лиц.

Гипервентиляция при вдыхании холодного сухого воздуха вызывает 10% уменьшение $ОФВ_1$ примерно у 70% астматиков. В то же время снижение температуры воздуха до очень низких уровней может вызвать бронхоконстрикцию даже у лиц, не страдающих астмой. В отличие от реакции дыхательных путей на физическую нагрузку, при данной пробе не отмечается бронходилатации и до начала сужения дыхательных путей нет временной паузы.

Тест с применением физической нагрузки в качестве бронхоконстрикторного фактора

Как показывает практика, нагрузочные тесты не очень чувствительны, но высокоспецифичны при астме. Нагрузку проводят либо на велоэргометре, либо на моторизированном тредмиле. Определенным преимуществом использования велосипеда является то, что интенсивность работы при вращении педалей, в отличие от бега, не зависит от массы тела пациента, и это делает более легким расчет требуемой мощности работы для достижения желаемой вентиляции. При работе на велоэргометре для достижения адекватной ЧСС назначается нагрузка из расчета 2,0 Вт/кг.

Вентиляцию в литрах за минуту измеряют в течение последних 4 мин нагрузки. Нагрузку следует давать в течение 6-8 мин. Постоянно следует мониторировать число сердечных сокращений, а при исследовании пациентов старше 40 лет снимают электрокардиограмму на протяжении теста и в течение 5 мин после его завершения.

Нагрузка прекращается при достижении субмаксимальной ЧСС, а также при появлении клинических или электрокардиографических критериев прекращения пробы. Субмаксимальную ЧСС пациента можно рассчитать, как «200 – возраст», но у лиц в возрасте 60 лет и старше она не должна превышать 130 сокращений.

Измерение сопротивления дыхательных путей лучше проводить по параметру $ОФВ_1$, так как он отражает большую часть кривой «поток-объем».

Медикаменты и исходные данные функции легких влияют на реакцию на нагрузку, что необходимо учитывать при планировании исследования. До начала тестирования проводится измерение $ОФВ_1$ и определяются лучшие значения. Предпочтительно, чтобы расхождение для лучших значений составляло не более 10%; абсолютные значения должны быть в пределах 80% от обычных значений пациента и составлять более 75% от его должных значений.

Наибольшее измерение $ОФВ_1$, сделанное перед самой нагрузкой, записывается и используется при вычислениях. Интенсивность работы пациента выбирается так, чтобы достигнуть 40-60% от его должной максимальной вентиляции легких в течение последних 4 мин нагрузки. Для того, чтобы выбрать мощность работы на тредмиле, необходимо знать массу тела пациента. Обычно стремятся устанавливать такую скорость и наклон тредмила, которые индуцируют 30-45 мл потребления кислорода на килограмм массы тела. Бег со скоростью 5-9 км/ч при 10% наклоне обычно

является достаточной работой для большинства пациентов. Достигнув желаемой вентиляции, работу поддерживают в течение еще 4 мин.

Пациенту следует надеть носовой зажим, чтобы обеспечить ротовое дыхание. Измерение ОФВ₁ проводится дважды на 1, 3, 5, 7, 10 и 15-й минутах после нагрузки, и каждый раз наибольшие значения записываются. По завершению протокола исследования пациенту дается бронхолитический аэрозоль.

Оценка результатов теста

При интерпретации результатов тестирования проводится сравнение спирометрических показателей до и после нагрузки. Процент снижения показателей рассчитывается как отношение разницы между исходной величиной и наименьшей после теста к исходному значению, выраженное в процентах.

Снижение ОФВ₁ на 20% расценивается как легкой степени, 20-40% — средней тяжести и более 40% — как тяжелое.

Аллергеновые и химические тесты проводятся по соответствующим показаниям в специализированных лабораториях.

ТРЕБОВАНИЯ К СПИРОГРАФУ

Важным условием для правильного проведения спирометрических исследований является использование точной аппаратуры. Все изменения объема, потока и времени должны быть доступны контролю лаборанта в процессе проведения исследований в реальном масштабе времени, лучше в виде графика на дисплее. При этом лаборант должен иметь возможность отбора качественных тестов и сброса дефектных. Спирометры должны быть в состоянии измерить объем по крайней мере 8 л и поток воздуха от 0 до 14 л в секунду. Погрешность измерения объема должна быть не более $\pm 3\%$ или $\pm 0,050$ л, разрешающая способность 25 мл. Измерение ЖЕЛ спирометром должно проводиться в течение не менее 30 с.

При проведении пробы ФЖЕЛ спирометр должен измерять объем по крайней мере в течение 15 с, желательно же в течение более длительного времени. Тест проводится как единообразный одиночный маневр. Экран должен быть достаточно большим, чтобы петля максимального «потока-объема» хорошо отображалась и была читабельна. Соотношение цены деления вертикальной шкалы потока к цене деления горизонтальной шкалы объема должно быть 2:1 (Оптимально 2 л/с и 1 л соответственно). Другое соотношение цены деления шкалы кривой не рекомендуется, т. к. это изменяет масштаб и размер и приводит к искажению информации, содержащейся в чертеже кривой.

При проведении пневмотахометрического исследования желательно использовать датчики, преимущественно измеряющие поток для записи кривой максимального «потока-объема». Дифференцирование измерения «объем-время» для получения потока усиливает любой шум, полученный при измерении сигнала, и частотный ответ датчиков, измеряющих объем.

Оборудование должно калиброваться до каждой серии тестов.

Должны проводиться все необходимые мероприятия по дезинфекции приборов согласно инструкции производителя.

КЛИНИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПИРОГРАФИЧЕСКИХ И ПНЕВМОТАХОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Спирографические исследования находят широкое применение в клинике. Этому способствует простота и доступность метода, высокая информативность и хорошая воспроизводимость тестов.

Показания для спирометрии:

1. Оценка симптомов, данных объективного исследования и отклонений результатов лабораторных тестов. Симптомы: одышка, стридор, ортопноэ, кашель, отделение мокроты, боль в грудной клетке. Данные объективного исследования: ослабление дыхания, эмфизема, затруднение выдоха, цианоз, деформация грудной клетки, необъяснимые шумы (потрескивание). Отклонения в лабораторных тестах: гипоксемия, гиперкапния, полицитемия, изменения на рентгеновских снимках.

2. Определение влияния болезни на легочную функцию.

3. Выявление людей с риском развития легочных заболеваний: курильщики; лица, работа которых связана с воздействием вредных веществ.

4. Оценка предоперационного риска.

5. Оценка прогноза (легочный трансплантат и др.).

6. Оценка состояния здоровья перед участием в программах, требующих чрезмерных физических усилий.

7. Проведение мониторинга.

8. Оценка терапевтических вмешательств:

- выявление обратимости обструкции и определение эффективности курса терапии бронходилататорами;

- оценка эффективности лечения стероидами при астме, интерстициальных болезнях легких и т. д.;

- ведение застойной сердечной недостаточности;

- оценка других методов лечения (антибиотики при кистозном фиброзе и др.).

9. Мониторирование показателей для оценки прогрессирования болезни:

- при легочных заболеваниях (хронические обструктивные болезни легких и бронхиальная астма, интерстициальные болезни, др.);
- при кардиологических заболеваниях (застойная сердечная недостаточность);
- при нейромышечных болезнях (синдром Гийена—Барре и др.).

10. Наблюдение за лицами, профессиональная деятельность которых связана с повреждающими агентами.

11. Наблюдение за побочными эффектами лекарств с известным токсическим влиянием на легкие.

12. Экспертиза трудоспособности.

13. Оценка функции внешнего дыхания пациента как часть реабилитационной программы:

- медицинской;
- индустриальной (промышленной);
- профессиональной.

14. Эпидемиологические исследования:

- сравнение статуса здоровья населения, живущего в разных условиях окружающей среды;
- подтверждение субъективных жалоб при оценке профессионального влияния или влияния окружающей среды.

15. Другие показания, следующие из вышеперечисленных.

Прежде всего спирометрическое исследование должно проводиться у пациентов, предъявляющих жалобы со стороны системы органов дыхания или при выявлении изменений в легких на рентгеновских снимках, нарушениях газового состава крови, полицитемии.

Хронический (необструктивный) бронхит характеризуется отсутствием стойких нарушений ОФВ₁, ПОС и ЖЕЛ. У части больных регистрируется снижение потоков второй половины форсированного выдоха (снижается МОС₅₀, МОС₇₅ и СОС₂₅₇₅).

Хроническая обструктивная патология проявляется синдромом необратимого, как правило, нарушения бронхиальной проходимости со стойким снижением ИТ, ОФВ₁ и скоростных показателей форсированного выдоха. Обратимый компонент обструкции значительно менее выражен, чем необратимый, и обусловлен преимущественно холинергическим механизмом (что может быть выявлено при проведении пробы с ипратропиумом бромида), а также отеком, воспалительной инфильтрацией стенок бронхов,

скоплением слизи в дыхательных путях. Бронхолитическая проба с β_2 -агонистом, как правило, отрицательна и служит важным дифференциально-диагностическим отличием от бронхиальной астмы.

Поскольку под хронической бронхиальной обструкцией понимают стойкую генерализованную обструкцию, необратимую даже в результате лечения (включая глюкокортикостероиды), для ее диагностики необходимы повторные функциональные исследования. Бронхиальная обструкция считается хронической, если она регистрируется как минимум 3 раза в течение года, несмотря на проводимую терапию. Необратимый характер обструкции обуславливает прогрессирующее течение патологического процесса. Если у здорового человека в зрелом возрасте отмечается ежегодное падение ОФВ₁ в пределах 30 мл в год, то для больных хронической обструктивной болезнью легких эта цифра составляет 50 мл в год.

В зависимости от того, какой механизм обструкции преобладает, может регистрироваться бронхитический или эмфизематозный тип нарушений бронхиальной проходимости на кривой «поток-объем».

Бронхиальная астма характеризуется обратимой обструкцией дыхательных путей. Нормализация спирометрических показателей после применения β_2 -агонистов является кардинальным признаком бронхиальной астмы. Однако в различные фазы этого заболевания могут регистрироваться и нормальные спирометрические показатели. Отсутствие нарушений бронхиальной проходимости при спирометрическом и пневмотахометрическом исследованиях не исключают диагноз бронхиальной астмы. В этих случаях диагноз может быть подтвержден проведением бронхопровокационных проб и мониторинга ПОС (с помощью пикфлоуметрии).

В то же время при прогрессировании и длительном течении болезни при спирографическом обследовании может быть выявлена малая обратимость обструкции и потребуются много недель лечения, пока проявится обратимость.

При выявлении обструктивных нарушений при спирометрическом исследовании всегда нужно проводить дифференциальную диагностику уровня поражения. При этом необходимо помнить о ряде патологических процессов, которые, проявляясь обструктивными нарушениями легкой степени, могут угрожать жизни больного. Так объемный процесс, уменьшающий просвет верхних дыхательных путей до 8 мм, будет проявляться только во время физической нагрузки, сужение до 5 мм и более проявляется стридором.

Нарушения по рестриктивному типу встречаются как при заболеваниях легких, так и при внелегочных поражениях. Поэтому при выявлении таких нарушений необходимо тщательно проанализировать анамнез больного и клинические данные. Кроме того, распространенные интерстициальные процессы в легких, гранулематозные процессы часто сопровождаются снижением ЖЕЛ легкой или умеренной степени при выраженной одышке, кашле, тяжелых нарушениях диффузионной способности легких и газового состава крови.

Таким образом, в ряде случаев спирометрического и пневмотахометрического исследований может быть недостаточно. Полное исследование функции внешнего дыхания должно быть проведено, если имеется расхождение клиники и спирометрических данных или необходимо провести углубленное обследование больного, например, перед обширной операцией на грудной клетке или на органах брюшной полости.

Ценную информацию может получить врач при повторных обследованиях больного. Повторные исследования помогают подтвердить диагноз, объективно оценить эффект от лечения и в ряде случаев прогноз болезни.

Спирографическое и пневмотахографическое исследования широко используются при обследовании и динамическом наблюдении за лицами, работающими во вредных условиях, курильщиками, при обследовании и выявлении дыхательного резерва у спортсменов, а также при проведении эпидемиологических исследований.

В этих случаях при выявлении пограничных значений показателей (в пределах условной нормы) врач должен ознакомиться с анамнезом и клиническими данными. Например, такое исследование может расцениваться как вариант нормы при отсутствии жалоб, анамнеза курения или контакта с повреждающими агентами. При этом необходимо иметь в виду, что при одинаковой степени снижения вентиляции легких лица более молодого возраста будут иметь относительно более высокие значения показателей в процентах, чем лица пожилого возраста.

Важную роль играет спирографическое исследование в диагностике дыхательной недостаточности и экспертизе трудоспособности. Однако роль спирографии не должна переоцениваться, степень дыхательной недостаточности необходимо устанавливать по совокупности клинических, спирографических и гематологических показателей, в том числе газового состава крови.

БОДИПЛЕТИЗМОГРАФИЯ

Принцип и методика проведения исследования

Измерение легочных объемов, как и спирометрия, является безопасным, однако требует более высокой квалификации специалистов, выполняющих исследование, и особого технического оснащения. Бодиплетизмография проводится в специальной измерительной кабине (боди-камере), во внутрь которой помещается пациент. Наиболее часто используются кабины постоянного объема, которые позволяют измерять давление. По изменению давления в боди-камере рассчитывают изменения объема вследствие сжатия и расширения внутригрудного газа.

Исследование проводится в закрытой кабине четко заданного объема, которая перед проведением исследования калибруется по технологии производителя. В начале исследования проводят определение **бронхиального сопротивления (БС)** при спокойном равномерном дыхании пациента. Пациент надевает носовой зажим и спокойно дышит через пневмотахограф.

На экране регистрируются петли БС, анализируется их форма и угол наклона (β). Сопротивление дыхательных путей рассчитывается по углу наклона графика отдельного цикла дыхания (вдох и выдох) в координатах «поток» - «изменение объема в кабине» (рис. 25).

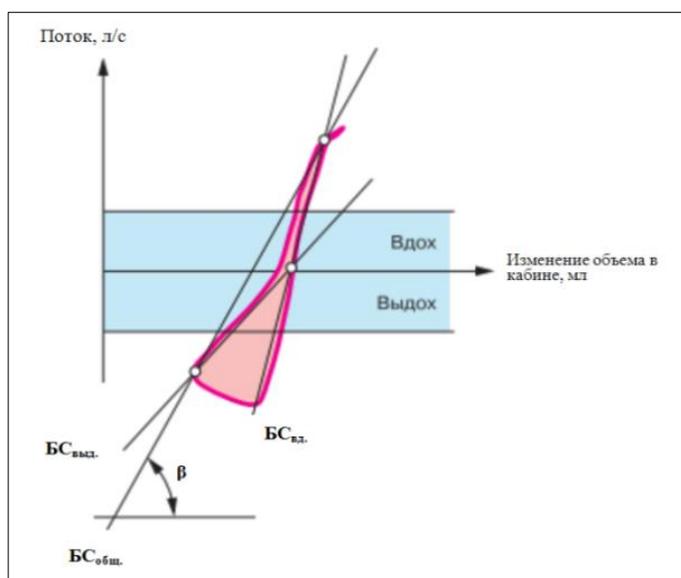
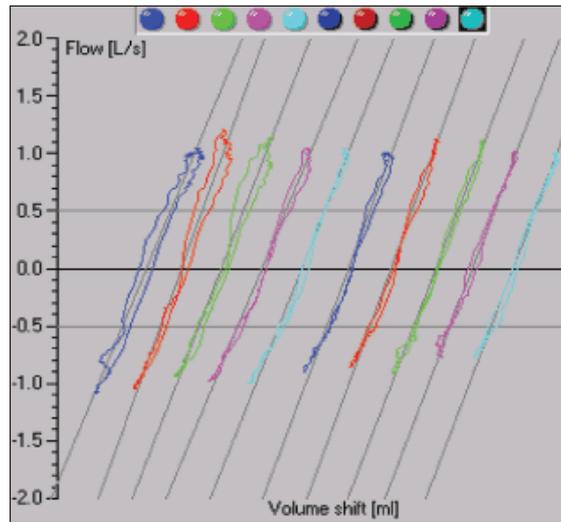


Рис. 25 Схематическое изображение петли БС

Для более точного расчёта петля должна быть сжата в горизонтальном направлении и не иметь артефактов, а наклон всех кривых должен приблизительно совпадать (рис. 26). Различают показатели БС на вдохе, выдохе, а также показатель общего БС.



**Рис. 26 Петля БС при проведении бодиплетизмографии в норме
(наклон петель одинаков, петли не деформированы)**

После определения БС приступают к определению внутригрудного объема (ВГО). Измерение ВГО проводят в конце спокойного выдоха (на уровне ФОЕ). На фоне спокойного равномерного дыхания в конце выдоха автоматически закрывается заслонка, которая перекрывает подачу воздуха. Пациент продолжает делать вдох и выдох, воздействуя на заслонку воздухом, который в данный момент находится у него в дыхательных путях (ДП). При этом в лёгких будет создаваться разность давления по отношению к давлению в кабине. Как только разность давления превысит заданную величину, заслонка откроется автоматически. После открытия заслонки для расчёта ООЛ и ОЕЛ необходимо выполнить манёвр спокойной спирометрии. Через 2-3 дыхательных цикла пациент должен спокойно максимально глубоко выдохнуть (Ровыд) и спокойно максимально глубоко вдохнуть (ЖЕЛвд). При необходимости можно дополнительно провести маневр форсированного выдоха для расчёта параметров форсированной спирометрии.

Таким образом, путем измерения при бодиплетизмографии получают такие параметры, как ВГО, ЖЕЛ, Ровыд, Евд. Путем вычисления определяют: $ОЕЛ = ВГО_{ср} + Евд_{макс}$; $ООЛ = ОЕЛ - ЖЕЛ_{макс}$; $ООЛ/ОЕЛ$.

Методика измерения ВГО основана на законе Бойля-Мариотта: объём определённого количества газа при постоянной температуре изменяется обратно пропорционально давлению ($P \times V = constant$). С помощью датчика давления фиксируется изменение давления воздуха в камере при дыхании пациента, так как движение грудной клетки во время дыхания вызывает в камере колебания давления. Для измерения ВГО регистрируются изменения давления в ротовой полости. В конце выдоха альвеолярное давление равно атмосферному давлению, измеренному в ротовой полости, потому что в этот момент отсутствует поток воздуха. Когда дыхательные пути перекрываются на уровне ротовой полости, пациент делает попытки вдохов и выдохов, и газ, содержащийся в легких, попеременно сжимается и разрежается. При попытке

вдоха объем грудной клетки увеличивается, а давление внутригрудного газа снижается. Поскольку колебания давления происходят с небольшой частотой, то изменения альвеолярного и ротового давления одинаковы. При использовании камеры постоянного объема изменение объема легких при перекрытии дыхательных путей равно по абсолютной величине, но противоположно по знаку изменению объема газа в камере, которое вычисляется по изменению давления в камере, умноженному на специальный коэффициент, полученный при калибровке прибора. При перекрытии ДП программа строит график изменения давления в полости рта по отношению к изменению объема газа в камере (рис. 27). ВГО определяется по углу наклона кривой.

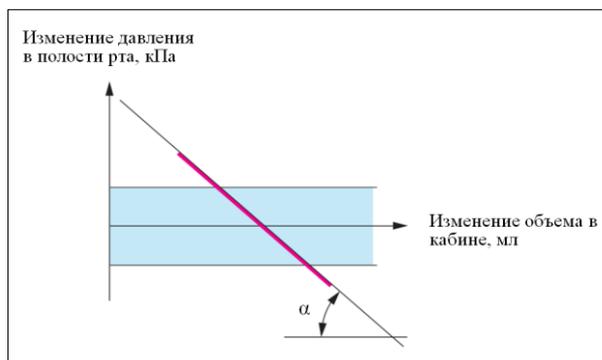


Рис. 27 Схематическое изображение петли ФОЕ (ВГО)

Для правильной интерпретации петля должна быть замкнутой, не широкой, угол наклона в попытках одинаковым, оба конца петли ФОЕЛ видны на графике (рис. 28).

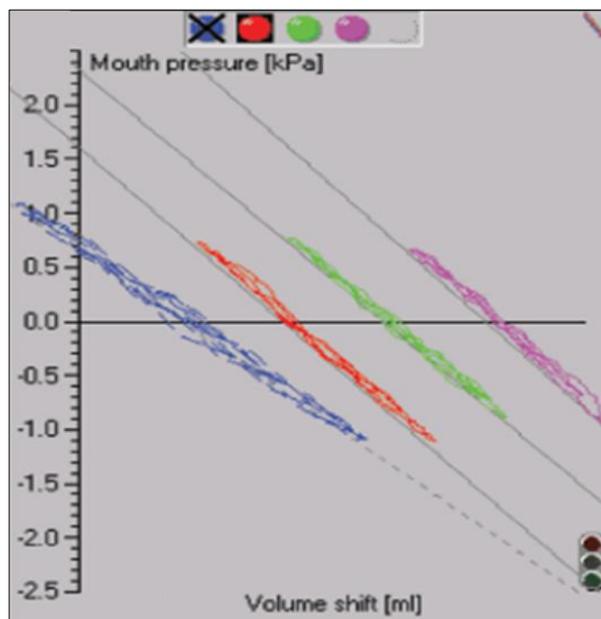


Рис. 28 Петля ФОЕ (ВГО) при проведении бодиплетизмографии в норме (наклон петель одинаков, петли узкие, замкнутые)

На форму петель оказывает влияние дряблость щек, губ, дна полости рта. В связи с этим пациенты всегда должны плотно придерживать руками

щеки и подбородок. Вялость губ может быть вызвана удалением зубных протезов, поэтому не рекомендуется снимать их перед исследованием.

Во время проведения бодиплетизмографии выполняется от 3 до 5 маневров перекрытия потока и вычисляется среднее значение ВГО (ВГО_{ср}). Показатели считаются воспроизводимыми, если отношение разности между максимальным и минимальным значениями ВГО к ВГО_{ср} не превышает 5%.

Критерии приемлемости (ATS/ERS):

✓ стабильный уровень ФОЕЛ (петля должна быть замкнутой, не широкой, угол наклона в попытках одинаковым, оба конца петли ФОЕЛ видны на графике);

✓ заглушка закрывается на уровне конца выдоха (ошибка менее 200 мл, включается и выключается автоматически);

✓ проведено не менее 3 приемлемых попыток ФОЕЛ;

✓ вариабельность ФОЕЛ менее 5%;

✓ воспроизводимость 2 лучших ЖЕЛ в пределах 150 мл;

✓ у пациента без признаков бронхообструкции наибольшая ЖЕЛ и наибольшая ФЖЕЛ (из спирограммы) отличаются не более чем на 5% (примерно 150 мл).

Показания и противопоказания для измерения легочных объемов

Показания для проведения бодиплетизмографии:

1. Подтверждение функционального диагноза, выставленного при спирометрическом исследовании;

2. Диагностика рестриктивных или сочетанных обструктивно-рестриктивных нарушений вентиляционной способности легких и определение степени тяжести заболевания;

3. Определение степени гиперинфляции у пациентов с обструктивными заболеваниями органов дыхания (например, с ХОБЛ, астмой, буллезной эмфиземой и т.д.)

4. Мониторирование течения заболевания и эффективности терапии;

5. Определение прогноза на основании тяжести респираторных нарушений или скорости ухудшения показателей за определенный период времени;

6. Проведение предоперационных исследований для оценки риска развития респираторных осложнений (например, при хирургической

редукции объема легких у больных с эмфиземой) и предоперационной коррекции состояния пациента.

Ограничениями для измерения легочных объемов являются:

1. отсутствие кооперации пациент-врач;
2. клаустрофобия;
3. наличие приборов или устройств, которые не могут быть помещены в кабину для исследования (например, при непрерывном внутривенном введении лекарств);
4. постоянная кислородотерапия (во время исследования необходимо отключать генератор кислорода и пациент не должен дышать через канюли или маску);
5. тяжелое физическое состояние пациента.

Отсутствие кооперации делает невозможным практически все функциональные исследования, а остальные ограничения относятся только к бодиплетизмографии в связи с необходимостью помещения пациента в кабину аппарата.

КЛИНИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ БОДИПЛЕТИЗМОГРАФИИ

Бронхиальное сопротивление

Измерение БС позволяет подтвердить наличие бронхообструкции, однако показатели бронхиального сопротивления в большей мере отражают нарушение проходимости веторакальных и крупных ДП, поскольку вклад периферических бронхов в общее сопротивление составляет не более 10%. В то же время, измерение БС может быть информативным у пациентов, которые не могут выполнить полноценный маневр форсированного выдоха.

При бронхообструкции отмечается повышение БС, что проявляется изменением формы и угла наклона петель БС (рис. 29).

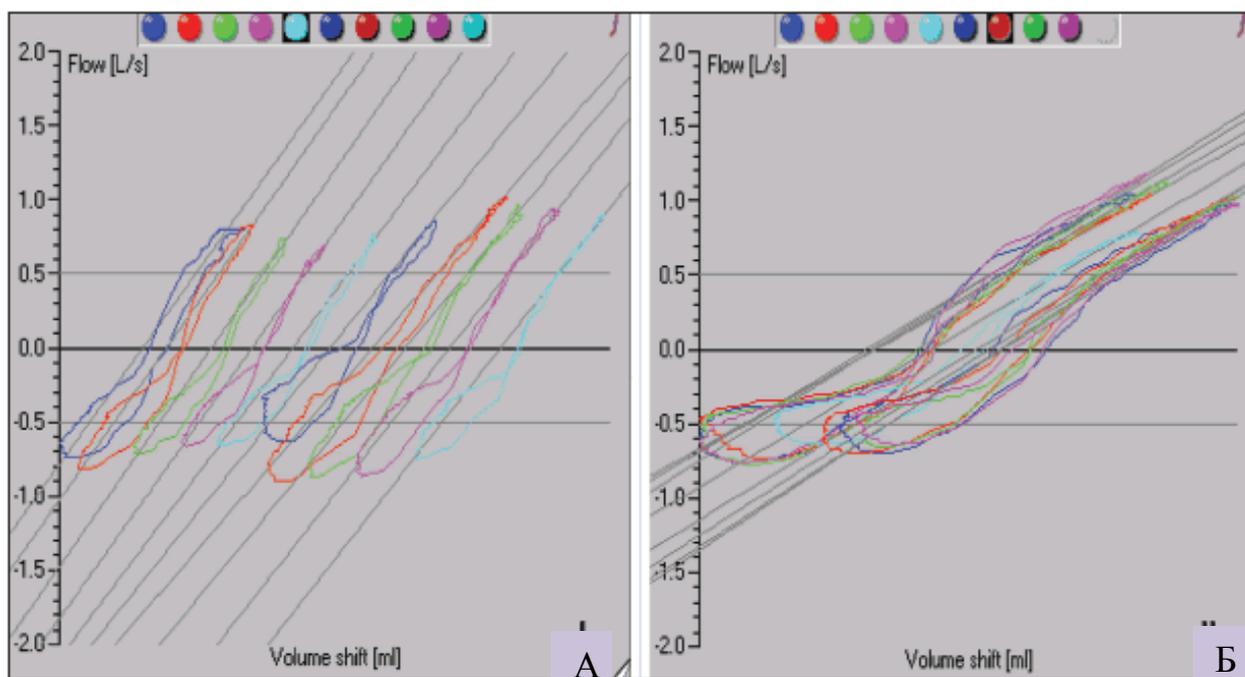


Рис. 29 Кривые при повышенном БС: А – изменение формы кривых (при эмфиземе);
 Б – изменение формы и угла наклона кривых (при выраженной гиперинфляции и высоком сопротивлении, например, при ХОБЛ)

Нормальным значением БС (как общего, так и на вдохе и выдохе) считается показатель менее 0,3 кПа*с/л.

В некоторых случаях полезным может быть оценка обратимости показателей при проведении пробы с бронхолитиком (рис. 30). После ингаляции бронхолитика показатели БС могут улучшиться, даже при отсутствии увеличения $ОФВ_1$ по данным спирометрии.

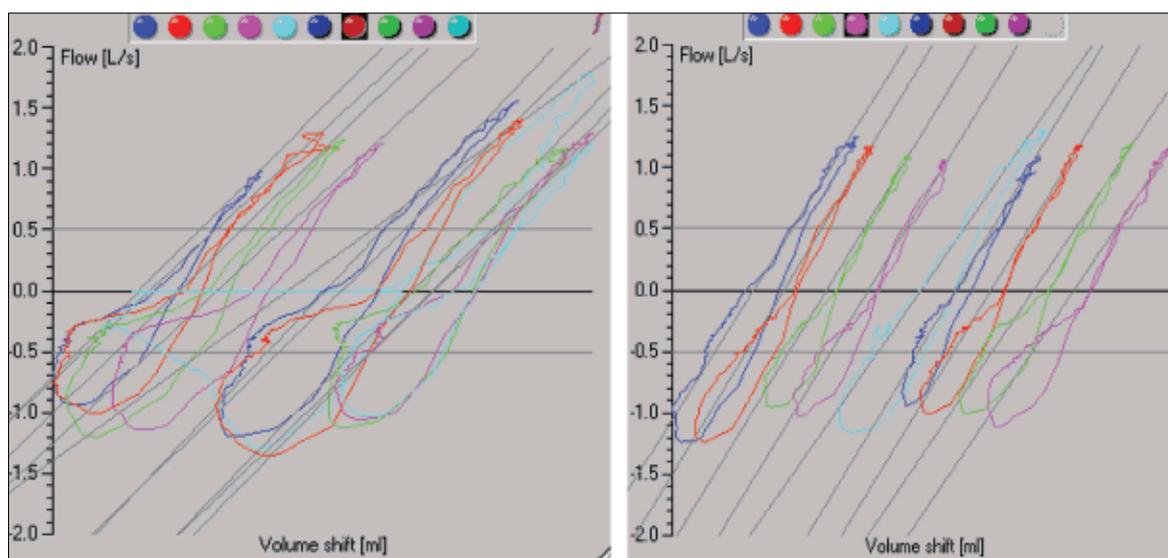


Рис. 30 Кривые БС до (А) и после (Б) пробы с бронхолитиком.
 После пробы кривые стали более узкими, угол наклона кривых увеличился.

Легочные объемы

Как и при спирометрии, интерпретация результатов измерения объемов легких основывается на их сравнении с должными значениями. В клинической практике большинство врачей функциональной диагностики при анализе легочных объемов используют должные значения, рекомендованные Рабочей группой Европейского сообщества Угля и Стали в 1993 г. (Приложение 1). Как правило, на практике результаты выражают в процентах от должного значения (полученное значение/должное значение $\times 100\%$), нижней границей нормы (НГН) считают 80% от должных величин (таблица 2).

Таблица 2 Границы нормы и градации отклонений от нормы основных показателей бодиплетизмографии

Показатели	Единицы измерения	Границы нормы	Изменения		
			Умеренные	Значительные	Резкие
ОЕЛ	%должной %должной	81-125	126-135 80-75	136-145 74-60	>145 <60
ЖЕЛ	%должной	>80	80-71	70-51	<51
ООЛ	%должной %должной	85-150	151-200 84-70	201-250 69-50	>250 <50
ООЛ/ОЕЛ	%должной	<140	141-170	171-210	>210
БСобщ.	кПА*с/л	<0.30	0.31-0.60	0.61-0.80	>0.80
ВГО	%должной	85-140	141-190 84-70	191-230 69-51	>230 <51
ДСЛсо	%должной	>80	80-61	60-51	<51
ДСЛсо/АО	%должной	>80	80-61	60-51	<51

Наличие **рестриктивных вентиляционных нарушений** можно заподозрить при проведении спирометрического исследования: снижение ЖЕЛ, повышение $ОФВ_1/ЖЕЛ$, характерная форма кривой «поток-объем». В то же время при изолированном снижении ЖЕЛ нельзя судить о наличии рестриктивных нарушений. При проведении бодиплетизмографии становится возможным определить также ОЕЛ, снижение которой подтверждает наличие рестрикции. Анализ других статических объемов (ООЛ, ФОЕ, РОвыд.) также может быть полезен при интерпретации результатов.

Для идентификации **обструктивных нарушений** в большинстве случаев достаточно проведения спирометрии, в то же время для дифференцирования обструктивных и смешанных обструктивно-рестриктивных изменений полезной может быть информация, полученная с

помощью БПГ. Так, снижение $ОФВ_1/ЖЕЛ$ при нормальной ОЕЛ характерно для изолированных обструктивных вентиляционных нарушений.

Измерение легочных объемов с помощью БПГ позволяет оценить выраженность гиперинфляции, или повышенной воздушности легких. Повышение ООЛ при наличии бронхиальной обструкции считается маркером экспираторного закрытия малых дыхательных путей, приводящего к неполному опорожнению альвеол во время выдоха и развитию так называемых «воздушных ловушек». Различают статическую и динамическую гиперинфляцию: статическая возникает вследствие снижения эластической тяги легких (например, при эмфиземе), динамическая – вследствие выраженного ограничения воздушного потока на выдохе, уменьшения времени выдоха и преждевременного экспираторного закрытия МДП (например, при астме). Динамическая гиперинфляция, как правило, сопровождается повышением ООЛ на фоне нормальной ОЕЛ, в то время как при статической гиперинфляции происходит повышение и ООЛ, и ОЕЛ.

Развитие гиперинфляции легких при бронхиальной обструкции является следствием не только патологических нарушений, но и компенсаторно-приспособительных реакций. При увеличении ВГО происходит смещение уровня дыхания в инспираторную сторону, что приводит к повышению эластической отдачи легких и способствует уменьшению энергозатрат на осуществление выдоха. Растяжение эластических структур легочной ткани передается на стенки внутрилегочных дыхательных путей, увеличивая тем самым силы, растягивающие бронхи и препятствующие их коллабированию на выдохе. Кроме того, увеличение ВГО создает условия для раскрытия пор Кона и коллатеральной вентиляции (отдельные группы альвеол связаны между собой порами Кона, диаметр которых близок к диаметру альвеол; по этим путям осуществляется коллатеральная вентиляция). Необходимо отметить, что повышение ВГО приводит к увеличению поверхности диффузии и улучшению условий газообмена.

Однако при возникновении статической гиперинфляции легких пациент вынужден дышать при более высоком объеме легких, возрастает работа дыхания для преодоления эластических сил, увеличивается потребность инспираторных мышц в кислороде, возникает одышка и снижается физическая трудоспособность.

Установлено, что степень гиперинфляции соответствует степени тяжести обструктивных нарушений. Кроме того, по величине ООЛ прогнозируют улучшение вентиляционной функции легких после

хирургической редукции объема легких при тяжелой эмфиземе, а показатель Евд./ОЕЛ является самостоятельным фактором риска летального исхода у пациентов с ХОБЛ.

При **смешанных вентиляционных нарушениях** отмечается снижение и $ОФВ_1/ЖЕЛ$, и ОЕЛ.

Сопоставление особенностей отклонений показателей БС и легочных объемов от нормы позволяет дифференцировать ряд синдромов изменений механических свойств легких:

1. Изолированное повышение БС:

А) и на вдохе, и на выдохе - стойкая изолированная обструкция внегрудных дыхательных путей при рубцовом сужении трахеи или отеке гортани; ОЕЛ и ее структура не изменены;

Б) преобладание БС вдоха над БС выдоха - изолированное увеличение податливости стенок внегрудных дыхательных путей (трахеомалация, парез голосовых связок).

2. Повышение БС, преимущественно на выдохе, и повышение ООЛ в структуре ОЕЛ – бронхиальная обструкция, которая сопровождается развитием гиперинфляции. ОЕЛ быть нормальной или увеличенной, ЖЕЛ может быть нормальной или сниженной.

3. Изолированное увеличение ООЛ – изолированная обструкция мелких бронхов. При этом показатели БС остаются в норме, а ОЕЛ может оставаться неизменной или слегка увеличивается.

4. Уменьшение ОЕЛ и ЖЕЛ при мало измененной абсолютной величине ООЛ (доля ООЛ в структуре ОЕЛ возрастает) – фиброз легких различной этиологии. Нарушения бронхиальной проходимости, как правило, отсутствуют.

5. Увеличение ВГО, ООЛ, ООЛ/ОЕЛ – эмфизема легких. Повышение БС на вдохе и выдохе свидетельствует о сужении бронхов воспалительного характера у пациентов с ХОБЛ бронхитического типа, а преобладание БС на выдохе наблюдается при эмфизематозном типе и указывает на клапанный механизм бронхиальной обструкции вследствие утраты легкими эластических свойств.

Таким образом, при проведении БПГ становится возможным оценить структуру легочных объемов и оценить бронхиальное сопротивление, что позволяет получить больше информации о механике дыхания и уточнить характер вентиляционных нарушений.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕГКИХ

Данный метод функционального исследования позволяет оценить газообменную функцию легких и значительно дополнить информацию, полученную с помощью спирометрии и бодиплетизмографии.

При исследовании диффузионной способности легких оценивают захватывание (потребление) оксида углерода (СО) кровью из альвеолярного воздуха и называют эту характеристику «диффузионной способностью легких по оксиду углерода» (ДСЛсо). Оксид углерода лучше всего подходит для оценки диффузии благодаря таким характеристикам, как минимальная концентрация в крови, которую можно принять равной нулю, растворимость в крови, высокое сродство к НЬ.

Измерение диффузионной способности выполняется после выполнения форсированной спирометрии (определение ФЖЕЛ, ЖЕЛ) или бодиплетизмографии (ЖЕЛ) и определения структуры статических объемов. Исследование диффузии применяется у больных рестриктивными и обструктивными заболеваниями, главным образом для диагностики эмфиземы или легочного фиброза. При исследовании ДСЛсо определяется как сама диффузионная способность легких (ДСЛсо), так и альвеолярный объем (АО).

Методика измерения ДСЛсо

Существует несколько методик измерения ДСЛ по СО – метод возвратного дыхания, метод однократного вдоха без задержки дыхания и метод однократного вдоха с задержкой дыхания. Метод однократного вдоха с задержкой дыхания (single-breath, метод одиночного вдоха) наиболее часто используется в клинической практике, поскольку является надежным, доступным и хорошо стандартизированным.

При проведении исследования с использованием метода одиночного вдоха с задержкой дыхания испытуемый вдыхает газовую смесь, содержащую 0,2-0,3 % СО и 10 % гелия, задерживает дыхание на 10 секунд, после чего делает глубокий выдох. Использование гелия позволяет рассчитать общую емкость легких и АО. По исходной концентрации СО определяется его парциальное давление в альвеолах, конечную концентрацию СО определяют в пробе выдохнутой газовой смеси. Измерив исходное напряжение СО и сравнив его с аналогичным показателем в конце выдоха, рассчитывают ДСЛсо (рис. 31).

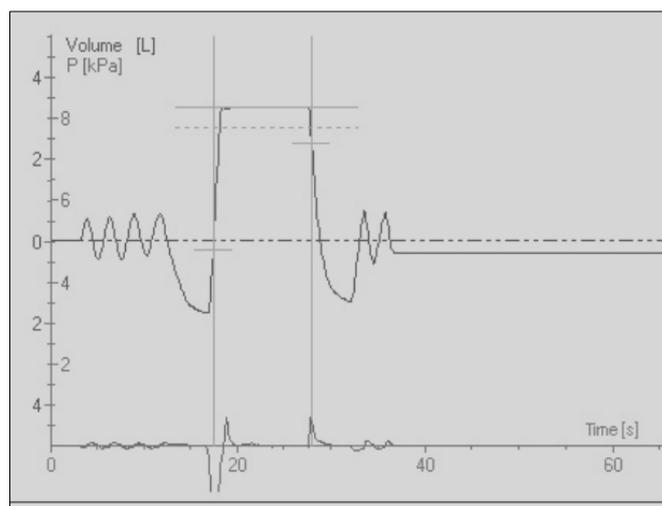


Рис. 31 Графическое изображение исследования ДСLso

Критерии контроля качества выполнения маневра:

- емкость вдоха не менее 85% ЖЕЛ или ФЖЕЛ (из спирометрии или бодиплетизмографии);
- задержка дыхания 8-12 с;
- интервал между попытками не менее 4 мин;
- выполнено не менее 2 приемлемых измерений (можно повторять не более 5 раз);
- воспроизводимость ДСLso в пределах 3 мл/мин/мм рт. ст. (1 ммоль/мин/кПа) или в пределах 10% от максимального измеренного значения.

Показания и противопоказания к исследованию ДСLso

Показания:

- диагностика и динамическое наблюдение при паренхиматозных заболеваниях легких;
- диагностика и динамическое наблюдение при эмфиземе легких, дифференциальная диагностика эмфиземы с хроническим бронхитом и астмой у пациентов с обструктивными нарушениями;
- диагностика и оценка степени тяжести сосудистых заболеваний малого круга кровообращения (первичная легочная гипертензия, острые и повторные тромбоэмболии, отек легких);
- диагностика поражения легких при системных заболеваниях (ревматоидный артрит, системная красная волчанка);
- выявление нежелательных эффектов лекарственных средств (амиодарон, блеомицин) и химиотерапии;
- диагностика легочных геморрагий.

Абсолютных противопоказаний к проведению диффузионного теста нет. **Относительными противопоказаниями** являются отравление угарным газом, низкий уровень насыщения гемоглобина кислородом, обильная еда, физические упражнения, курение перед исследованием.

Клиническая значимость исследования ДСЛсо

Как и другие функциональные параметры, измеренную ДСЛсо сравнивают с должными значениями. Нормальное значение ДСЛсо зависит от возраста, пола и роста. Градация степени нарушений диффузионной способности легких исходя из процентного соотношения полученной ДСЛсо к должным величинам представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Степень снижения ДСЛсо

Степень тяжести	ДСЛсо, % от должного
Легкая	60-80%
Умеренная	40-60%
Тяжелая	<40%

На результат измерения ДСЛсо влияют многие физиологические факторы, такие как возраст (ДСЛсо уменьшается с возрастом), пол (ДСЛсо ниже у женщин), рост, концентрация гемоглобина и карбоксигемоглобина, объем легких, парциальное напряжение альвеолярного кислорода ($P_{A}O_2$), нагрузка, положение тела. Для правильной интерпретации результатов всегда производят коррекцию по концентрации гемоглобина/карбоксигемоглобина и $P_{A}O_2$. На потребление СО оказывает влияние также распределение вентиляции, поскольку потребление СО может быть измерено только в вентилируемых отделах легких. Таким образом, расчетная ДСЛсо недооценивает истинный объем легких и отражает газообмен только в вентилируемых отделах. Помимо этого, на величину ДСЛсо могут оказывать влияние и некоторые другие физиологические и патологические состояния (таблица 4).

Таблица 4 – Состояния, влияющие на ДСЛсо

Снижают ДСЛсо	Повышают ДСЛсо
– Внелегочные состояния с уменьшением наполнения легких (слабость дыхательных мышц, деформация грудной стенки)	Полицитемия
– Анемия	Легочное кровотечение
– ТЭЛА	Шунт слева направо (увеличение объема крови в легочных капиллярах)
	Бронхиальная астма (вследствие более равномерного распределения легочного

– Нарушения связывания Нв (карбоксигемоглобин)	кровотока)
– Легочная патология: резекция легких, эмфизема, интерстициальные заболевания легких, отек легких, легочный васкулит, легочная гипертензия	Нарушения связывания Нв (уменьшение FiO_2) Нагрузка, горизонтальное положение тела Ожирение (увеличение объема легочного кровотока)

Кроме того, у злостных курильщиков, составляющих основную массу пациентов с ХОБЛ, и у пациентов, подвергающихся профессиональному воздействию окиси углерода на рабочем месте, отмечается остаточное напряжение СО в смешанной венозной крови, что может привести к ложно заниженным значениям ДСЛсо.

Для правильной интерпретации результатов исследования ДСЛсо необходимо учитывать результаты спирометрии и бодиплетизмографии. Например, при нормальных значениях скоростных показателей и легочных объемов снижение ДСЛсо может наблюдаться при анемии, легочных сосудистых нарушениях, начальных проявлениях интерстициальных заболеваний легких и эмфиземы. При наличии рестриктивных нарушений нормальное значение ДСЛсо может наблюдаться при нейромышечной патологии или заболеваний грудной клетки, а снижение ДСЛсо – при интерстициальных заболеваниях. Сочетание обструктивных нарушений и снижения ДСЛсо наблюдается при эмфиземе, а также некоторых других заболеваниях (лимфангиолейомиоматоз и облитерирующий бронхолит). Низкая ДСЛсо при сохраненных или уменьшенных легочных объемах может наблюдаться при саркоидозе, интерстициальных заболеваниях легких, пневмофиброзе, хронической эмболии, первичной легочной гипертензии, других заболеваниях сосудов легких. В развитии нарушений ДСЛсо основное значение имеют три механизма:

1. Утолщение альвеоло-капиллярной мембраны, которое удлиняет путь прохождения кислорода от альвеолы до просвета легочного капилляра и за счет этого уменьшают скорость диффузии кислорода (диффузия углекислого газа, как правило, не нарушается вследствие высокой растворимости CO_2 в тканях альвеоло-капиллярной мембраны);

2. Уменьшение эффективного (участвующего в газообмене) альвеолярного объема (АО) – при увеличении остаточного объема легких (обструктивный синдром), кистозно-буллезных изменениях паренхимы.

3. Нарушения легочного кровотока – ограничивают ДСЛ при сосудистых формах легочной гипертензии, у пациентов с ХОБЛ с резким

нарушением микроциркуляции, обусловленным компенсаторным эритроцитозом и повышением гемоконцентрации.

Выявление преимущественного механизма снижения ДСЛсо важно для эффективной коррекции газообменных нарушений. Более чувствительным индикатором нарушений газообмена является показатель соотношения ДСЛсо и АО (ДСЛсо/АО), который может быть использован для ориентировочной оценки значения того или иного механизма нарушений ДСЛсо. У пациентов с альвеолитами, у которых ведущее значение в расстройствах газообмена имеет утолщение альвеоло-капиллярной мембраны и, в меньшей мере, уменьшение АО (за счет рестриктивных расстройств), величина ДСЛсо/АО, как правило, существенно превышает ДСЛсо. При эмфиземе легких (деструкция альвеоло-капиллярной мембраны, снижение АО) ДСЛсо и ДСЛсо/АО уменьшаются примерно в равной степени. У больных с нарушениями легочного кровотока ДСЛсо/АО превышает ДСЛсо, однако степень изменений этих показателей значительно меньше, чем у пациентов с альвеолитами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушения легочной вентиляции крайне редко являются патогномоничными для определенного заболевания, поэтому почти всегда требуют дифференциальной диагностики. Вследствие этого следует воздержаться от категоричных суждений о клиническом диагнозе. Функциональные исследования, независимо от их объема, как правило, позволяют лишь предположить определенное заболевание. В большинстве случаев большую помощь в установлении правильного диагноза приносит совместное обсуждение полученных результатов врачом-функционалистом, клиницистом и специалистом по имидж-диагностике.

**Русские и международные обозначения основных
показателей функции внешнего дыхания**

Русскоязычные обозначения		Международные обозначения	
ОЕЛ	Общая емкость легких	TC	Total capacity
ЖЕЛ	Жизненная емкость легких	VC	Vital capacity
ДО	Дыхательный объем	Vt, TV	Tidal volume
РОВд	Резервный объем вдоха	IRV	Inspiratory reserve volume
РОВыд	Резервный объем выдоха	ERV	Expiratory reserve volume
Евд	Емкость вдоха	IC	Inspiratory capacity
ФОЕ	Функциональная остаточная емкость	FRC	Functional residual capacity
ООЛ	Остаточный объем легких	RV	Residual volume
МП	Объем мертвого пространства	Vd	Dead space
МОД	Минутный объем дыхания	V	Minute ventilation
МВЛ	Максимальная вентиляция легких	MVV, MBC	Maximal voluntary ventilation, Maximal breathing capacity
ФЖЕЛ	Форсированная жизненная емкость легких	FVC	Forced vital capacity
ОФВ ₁	Объем форсированного выдоха за первую секунду	FEV ₁	Forced expiratory volume
ИТ	Индекс Тиффно (ОФВ/ЖЕЛ%)	$FEV_1\% = FEV_1 / VC\%$	
СОС ₂₅₇₅	Средняя объемная скорость выдоха на уровне 25-75% ФЖЕЛ	FEF ₂₅₇₅ MMEF	СОС ₂₅₇₅ Maximal mid-expiratory flow.
MMEF	Forced expiratory flow... Maximal mid-expiratory flow.		Forced expiratory flow...
МОС ₂₅ МОС ₅₀ МОС ₇₅	Максимальные скорости выдоха на уровне выдоха 25, 50, 75% ФЖЕЛ	MEF25 MEF50 MEF75	Maximal expiratory flow
ПОС	Пиковая (максимальная) объемная скорость форсированного выдоха	PEF	Peak expiratory flow.

Воспроизводимость и повторяемость показателей спирографии, пневмотахографии и метода смешения гелия (в процентах абсолютного значения показателя) (по Шикю Л. Л., Канаеву Н. Н., 1980)

Показатели	n*	Воспроизводимость	Повторяемость
ЖЕЛ	3	4 (5)**	7
ОФВ,	3	5 (10)**	10
ОФВ/ЖЕЛ%	1	—	10
МВЛ1	1	—	15
ОЕЛ	1	6	10
ФОЕ	1	12	20
ООЛ	1	25	35
ООЛ/ОЕЛ	1	20	30

Примечание:

**n - число повторных измерений в процессе одного исследования;*

***в скобках указаны значения воспроизводимости при значительных и резких обструктивных нарушениях*

Учебное издание

Лаптева Елена Анатольевна
Ушакова Людмила Юрьевна
Харевич Ольга Николаевна
Катибникова Елена Ивановна
Вертинский Евгений Анатольевич
Лаптева Ирина Михайловна

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕГКИХ
МЕТОДАМИ СПИРОГРАФИИ, ПНЕВМОТАХОГРАФИИ,
БОДИПЛЕТИЗМОГРАФИИ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 19.11.2019. Формат 60x84/16. Бумага «Discovery».

Печать ризография. Гарнитура «Time New Roman».

Печ. л. 3,81. Уч.- изд. л. 5,87. Тираж 100 экз. Заказ 189.

Издатель и полиграфическое исполнение –
государственное учреждение образования «Белорусская медицинская
академия последипломного образования».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1275 от 23.05.2016.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3, кор.3.

