

**Министерство здравоохранения Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»**

**Кафедра внутренних болезней №3  
с курсом функциональной диагностики**

Автор:  
Е.В. Кухорева старший преподаватель

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
для проведения практического занятия  
по учебной дисциплине «Основы функциональной диагностики»  
для студентов  
4 курса медико-диагностического факультета,  
обучающихся по специальности  
1- 79 01 04 «Медико-диагностическое дело»

**Тема 14: Спирометрия, пневмотахометрия, пикфлоуметрия.  
Функциональные фармакологические тесты в пульмонологии**

Время: 6 часов

Утверждено на заседании кафедры внутренних болезней №3 с курсом  
функциональной диагностики  
(протокол № 5 от 17.05.2024)

2024г.

## УЧЕБНЫЕ И ВОСПИТАТЕЛЬНЫЕ ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, МОТИВАЦИЯ ДЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

### **Учебная цель:**

формирование у студентов базовой профессиональной компетенции для диагностики заболеваний внутренних органов с применением функциональных методов исследования.

### **Воспитательная цель:**

- развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал;
- сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной, социально-культурной и общественной жизни страны;
- осознать социальную значимость своей будущей профессиональной деятельности;
- научиться соблюдать учебную и трудовую дисциплину, нормы медицинской этики и деонтологии.

### **Задачи:**

В результате проведения учебного занятия студент должен

#### **знать:**

- основные принципы организации работы отделения функциональной диагностики;
- правила техники безопасности, устройство и принцип работы оборудования и аппаратуры, предназначенной для функциональных методов исследования;
- принципы подготовки пациента, показания и противопоказания к функциональным методам исследования, алгоритм и методику проведения основных исследований;
- основы клинической интерпретации полученных результатов;
- основные функциональные методы диагностики в клинической практике;
- нормы медицинской этики и деонтологии;
- проявление инфекционных заболеваний, связанных с оказанием медицинской помощи;
- правила оказания медицинской помощи при неотложных состояниях;

#### **уметь:**

- составлять алгоритм функционального обследования пациентов, проводить и интерпретировать результаты основных функциональных методов исследования, применяемых в кардиологии, пульмонологии, неврологии;
- оценивать показания и противопоказания к проведению функциональных исследований;
- правильно интерпретировать результаты диагностического обследования пациента с заболеваниями внутренних органов;
- формулировать заключение после проведенных диагностических функциональных исследований;

- оказывать первую медицинскую помощь при неотложных состояниях.
- предупреждать и распознавать инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи;
- коммуницировать с пациентами и медицинским персоналом, в соответствие с нормами этики и деонтологии, а так же осуществлять свою учебную и рабочую деятельность в соответствие с этими нормами;

***владеть:***

- методологией проведения функциональных исследований (ЭКГ, холтеровское мониторирование, суточное мониторирование артериального давления, нагрузочные пробы, спирометрия);
- навыками работы с диагностическим оборудованием и методами инструментального функционального исследования сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной систем;
- интерпретацией проведенных функциональных исследований с формированием заключения;
- навыками коммуникации с пациентами и медицинским персоналом, в соответствие с нормами этики и деонтологии, а так же осуществлять свою учебную и рабочую деятельность в соответствие с этими нормами;
- навыками предупреждения распространения инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи;
- навыками оказания неотложной медицинской помощи при заболеваниях внутренних органов.

**Мотивация для усвоения темы:**

Исследование внешнего дыхания многогранно, но современное комбинированное спирометрическое исследование является наиболее массовым и востребованным методом функциональной диагностики болезней органов дыхания.

Важность клинической оценки дыхания для диагностики подчеркивалась многими исследователями, но до середины XIX века медики не имели достаточно точных и удобных инструментов для измерения параметров дыхания в условиях рутинного исследования пациентов. В 1846 г. британский врач Дж. Хатчинсон (J. Hutchinson) опубликовал сообщение об изобретенном им приборе для измерения объемов выдыхаемого воздуха - спирометре.

Развитие цифровых технологий в спирометрии дало почву для появления компьютерных спирометров. Такое решение позволяет максимально задействовать вычислительные возможности компьютера, легко организовывать базы данных проведенных исследований и взаимодействие с информационными системами (электронной историей болезни). Однако масса, габариты и мобильность такого решения определяются параметрами компьютера и принтера. Для стационарной аппаратуры экспертного класса такое решение постепенно становится доминирующим [1].

## **МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ**

Набор протоколов спирометрии, учебных таблиц, ситуационных задач по

теме, тесты по теме занятия, как в электронном так и в бумажном виде, телевизор.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗ СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН**

1. Анатомия: строение сердца и его клапанного аппарата, особенности кровоснабжения и иннервации сердца; проводящая система сердца — морфофункциональная характеристика, анатомия легких.

2. Физиология: особенности работы сердца в различные фазы сердечного цикла, физиология легких.

3. Пропедевтика внутренних болезней: семиотика некоронарогенных заболеваний. ЭКГ- признаки данных состояний, болезни легких.

4. Клиническая фармакология: средства, применяемых для проведения медикаментозных проб, а также проведение неотложной помощи.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ТЕМЕ ЗАНЯТИЯ**

1. Основные понятия клинической физиологии дыхания. Основные показатели вентиляции легких.

2. Принципы устройства оборудования для исследования функции внешнего дыхания. Методы исследования функции внешнего дыхания. Методические требования к проведению спирографических и пневмотахометрических исследований, критерии качественного исследования.

3. Требования к спирографу. Показания для спирометрии. Противопоказания к спирометрии. Статические объемы и емкости. Динамические исследования вентиляции легких. Кривые «поток-объем», «поток-время», показатели. Интерпретация результатов спирометрических и пневмотахометрических исследований. Нарушения функции внешнего дыхания по обструктивному, рестриктивному, смешанному типам, градации степени выраженности изменений. Функциональные пробы в диагностике заболеваний органов дыхания.

4. Показания и методика выполнения пикфлоуметрии, интерпретация результатов.

5. Выполнение спирометрической пробы. Интерпретация полученных результатов.

6. Формирование навыков проведения пикфлоуметрии, спирометрии и оценки результатов теста

### **ХОД ЗАНЯТИЯ**

#### **Теоретическая часть**

### **ОСНОВЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ ЛЁГКИХ**

Дыхательная система приспособливает обмен газов к широкому спектру разнообразных обстоятельств — от состояния покоя до тяжелой физической нагрузки. В условиях последней, когда требуется повышение потребления  $O_2$  и выделения  $CO_2$ , необходима большая эффективность газообмена и вентиляции [2].

Структура лёгких обеспечивает максимальную эффективность вентиляции. Функционально дыхательная система может быть разделена на три компонента:

- (1) воздухоносные пути (ВП),
- (2) лёгочная паренхима

(3) грудная клетка, выполняющая функцию мехов [1].

**ВП** представлены полуригидными трахеей и долевыми бронхами и более податливыми мелкими бронхиолами, простирающимися до периферии лёгких. Тип воздушного потока варьирует от турбулентного в центральных ВП до ламинарного в мелких. Мелкие дыхательные пути могут быть сдавлены во время форсированного выдоха. В результате, экспираторный воздушный поток ограничивается как в норме, так и при патологии лёгких. Это имеет важное значение для функционального исследования легких, поскольку анализ экспираторной части вентиляции позволяет выявить большинство лёгочных расстройств [1].

**Второй функциональный компонент** — эластическая паренхима лёгких — ведет себя подобно резиновому баллону. Для его наполнения требуется энергия; при прекращении энергетических затрат, поддерживающих баллон в расправленном состоянии, он спадается. Нарушения, делающие легкие жесткими (например, легочный фиброз), препятствуют их полному спадению, в то время как нарушения эластичности легких (например, при эмфиземе) уменьшают силу, с которой они опорожняются.

**Третий функциональный компонент** — “грудные мехи” — состоит из грудной клетки, межреберных мышц и диафрагмы. Поскольку сами легкие не способны инициировать дыхание, грудная клетка и дыхательная мускулатура должны создавать силы, необходимые для вентиляции. Дыхательные мышцы активны при вдохе; мышцы выдоха обычно работают только при определенных патологических состояниях и при физической нагрузке. Деформация грудной клетки и болезни дыхательных мышц могут влиять на функцию дыхательной “помпы”, приводя к дыхательной недостаточности [1].

Изменения любого из этих трех функциональных компонентов могут стать причиной одышки и измеримых отклонений функции лёгких.

Дыхательной недостаточностью считается такое состояние, при котором нормальный газовый состав артериальной крови или не обеспечивается, или обеспечивается за счет ненормальной работы аппарата внешнего дыхания, приводящей к снижению функциональных возможностей организма [1].

**Дыхательная недостаточность делится на:**

1 стадия - вентиляционные нарушения, когда выявляются изменения вентиляции без изменений газового состава артериальной крови;

2 стадия - нарушения газового состава артериальной крови, когда наряду с вентиляционными нарушениями наблюдаются гипоксемия и гиперкапния, нарушения кислотно-щелочного равновесия.

**По тяжести** ДН принято делить на степени. Широко принята классификация А.Г. Дембо, по которой степень ДН определяется по выраженности одышки - это субъективное ощущение неудовлетворенности дыханием, дискомфорта в дыхании.

1 степень - одышка возникает при повышенной физической нагрузке, которую ранее больной переносил хорошо;

2 степень - одышка при обычных для данного больного физических нагрузках;

3 степень - одышка возникает при малых физических нагрузках или в покое.

Основные группы клинически важных тестов лёгочной функции включают спирометрию, тесты на силу дыхательных мышц, измерение лёгочных объемов и диффузионной способности лёгких.

Исследование функции внешнего дыхания проводят с помощью специальных приборов – спирографов (рисунок 1) [2].

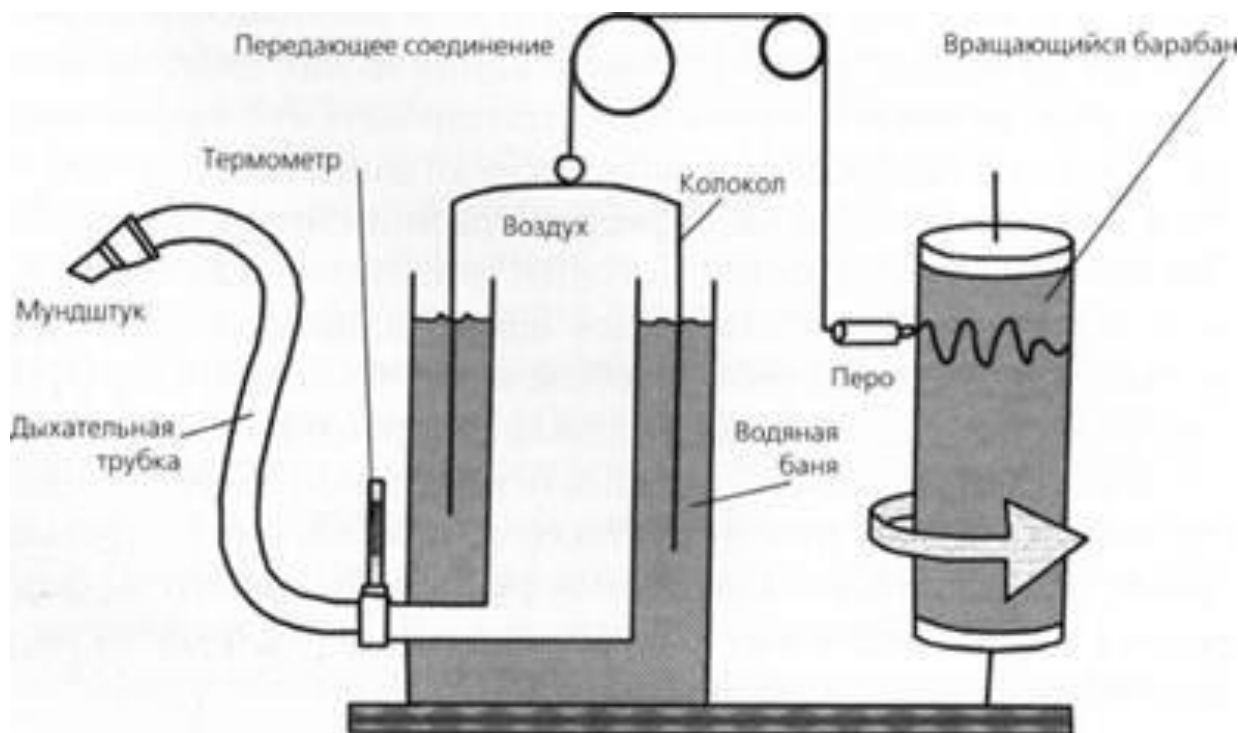


Рисунок 1 — Схематическое изображение спирографа [2].

В техническом выполнении все спирографы делятся на приборы открытого и закрытого типа. В аппаратах открытого типа больной через клапанную коробку вдыхает атмосферный воздух, а выдыхаемый воздух поступает в мешок Дугласа или в спирометр Тисо (емкостью 100—200 л), иногда — к газовому счетчику, который непрерывно определяет его объем. Собранный таким образом воздух анализируют: в нем определяют величины поглощения кислорода и выделения углекислого газа за единицу времени. В аппаратах закрытого типа используется воздух колокола аппарата, циркулирующий в закрытом контуре без сообщения с атмосферой. Выдыхаемый углекислый газ поглощается специальным поглотителем.

**Спирография** – метод регистрации легочных объемов при выполнении дыхательных маневров во времени.

**Пневмотахография** – метод регистрации потока (объемной скорости движения) воздуха при спокойном дыхании и выполнении определенных маневров. В клинической практике широко применяется только пневмотахограмма форсированного выдоха (кривая «поток-объем») [3].

## СПИРОМЕТРИЯ

**Спирометрия** — наиболее важный способ оценки лёгочной функции. При проведении спирометрии пациент вдыхает и выдыхает с максимальной силой. Измеряются объёмная скорость воздушного потока и изменения объёма дыхательной системы. Наиболее клинически значимые сведения даёт анализ экспираторного маневра (выдоха) [3].

### **Показания к проведению спирографии следующие:**

1. Определение типа и степени легочной недостаточности.
2. Мониторинг показателей легочной вентиляции в целях определения степени и быстроты прогрессирования заболевания.
3. Оценка эффективности курсового лечения заболеваний с бронхиальной обструкцией бронходилататорами  $\beta_2$ -агонистами короткого и пролонгированного действия, холинолитиками), ингаляционными ГКС и мембраностабилизирующими препаратами.
4. Проведение дифференциальной диагностики между легочной и сердечной недостаточностью в комплексе с другими методами исследования.
5. Выявление начальных признаков вентиляционной недостаточности у лиц, подверженных риску легочных заболеваний, или у лиц, работающих в условиях влияния вредных производственных факторов.
6. Экспертиза работоспособности и военная экспертиза на основе оценки функции легочной вентиляции в комплексе с клиническими показателями.
7. Проведение бронходилатационных тестов в целях выявления обратимости бронхиальной обструкции, а также провокационных ингаляционных тестов для выявления гиперреактивности бронхов [3].

Несмотря на широкое клиническое применение, спирография **противопоказана** при следующих заболеваниях и патологических состояниях:

- тяжелое общее состояние больного, не дающее возможности провести исследование;
- прогрессирующая стенокардия, инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения;
- злокачественная артериальная гипертензия, гипертонический криз;
- токсикозы беременности, вторая половина беременности;
- недостаточность кровообращения III стадии;
- тяжелая легочная недостаточность, не позволяющая провести дыхательные маневры [1].

### **Техника проведения спирографии.**

1. Исследование проводят утром натощак;
2. Перед исследованием пациенту рекомендуется находиться в спокойном состоянии на протяжении 30 мин;
3. Прекратить прием бронхолитиков не позже чем за 12 часов до начала исследования.

Статические показатели определяют во время спокойного дыхания (рисунок 2):

1. Измеряют **дыхательный объем (ДО - TV)** — средний объем воздуха, который больной вдыхает и выдыхает во время обычного дыхания в состоянии покоя. В норме он составляет 500—800 мл. Часть ДО, которая принимает участие в газообмене, называется альвеолярным объемом (АО) и в среднем равняется  $\frac{2}{3}$  величины ДО. Остаток ( $\frac{1}{3}$  величины ДО) составляет объем функционального мертвого пространства (ФМП).

2. После спокойного выдоха пациент максимально глубоко выдыхает — измеряется **резервный объем выдоха (РОВд- ERV)**, который в норме составляет 1000—1500 мл.

3. После спокойного вдоха делается максимально глубокий вдох — измеряется **резервный объем вдоха (Ровд - IRV)**.

4. При анализе статических показателей рассчитывается **емкость вдоха (Евд)** — сумма ДО и РОВд, которая характеризует способность легочной ткани к растяжению.

5. **Жизненная емкость легких (ЖЕЛ - VC)** — максимальный объем, который можно вдохнуть после максимально глубокого выдоха (сумма ДО, РОВД и РОВд в норме составляет от 3000 до 5000 мл).

6. После обычного спокойного дыхания проводится дыхательный маневр: делается максимально глубокий вдох, а затем — максимально глубокий, самый резкий и длительный (не менее 6 с) выдох. Так определяется **форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ - FVC)** — объем воздуха, который можно выдохнуть при форсированном выдохе после максимального вдоха (в норме составляет 70—80 % ЖЕЛ).

7. Как заключительный этап исследования проводится запись **максимальной вентиляции легких (МВЛ- MW)** — максимального объема воздуха, который может быть провентилирован легкими за 1 мин. МВЛ характеризует функциональную способность аппарата внешнего дыхания и в норме составляет 50—180 л. Снижение МВЛ наблюдается при уменьшении легочных объемов вследствие рестриктивных (ограничительных) и обструктивных нарушений легочной вентиляции [3].

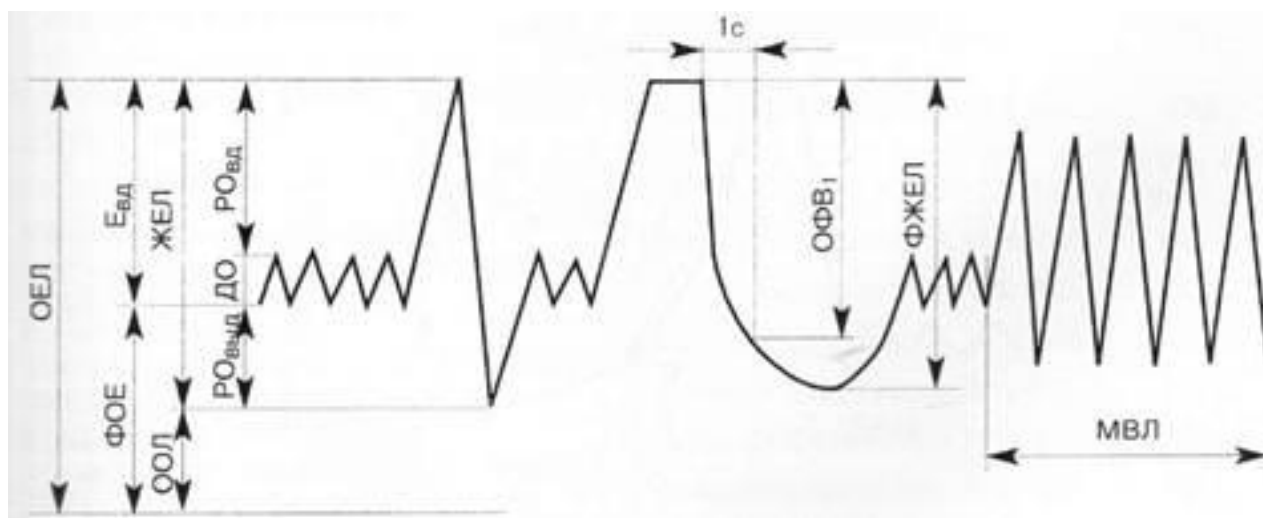




Рисунок 2 — Спирографическая кривая и показатели легочной вентиляции [2].

При анализе спирографической кривой, полученной в маневре с форсированным выдохом, измеряют определенные *скоростные (динамические) показатели* (рисунок 3):

1) **объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1 - FEV1)** — объем воздуха, который выдыхается за первую секунду при максимально быстром выдохе; он измеряется в мл и высчитывается в процентах к ФЖЕЛ; здоровые люди за первую секунду выдыхают не менее 70 % ФЖЕЛ;

2) **проба или индекс Тиффно ( $FEV1 \% = FEV1/VC \%$ )** — соотношение ОФВ1 (мл)/ЖЕЛ (мл), умноженное на 100 %; в норме составляет не менее 70—75 %;

3) **максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 75 % ФЖЕЛ (МОС75 - MEF75)**, оставшейся в легких;

4) **максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 50 % ФЖЕЛ (МОС50 - MEF50)**, оставшейся в легких;

5) **максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 25 % ФЖЕЛ (МОС25 - MEF25)**, оставшейся в легких;

6) **средняя объемная скорость форсированного выдоха, вычисленная в интервале измерения от 25 до 75 % ФЖЕЛ (СОС25-75 - MEF25-75)** [3].

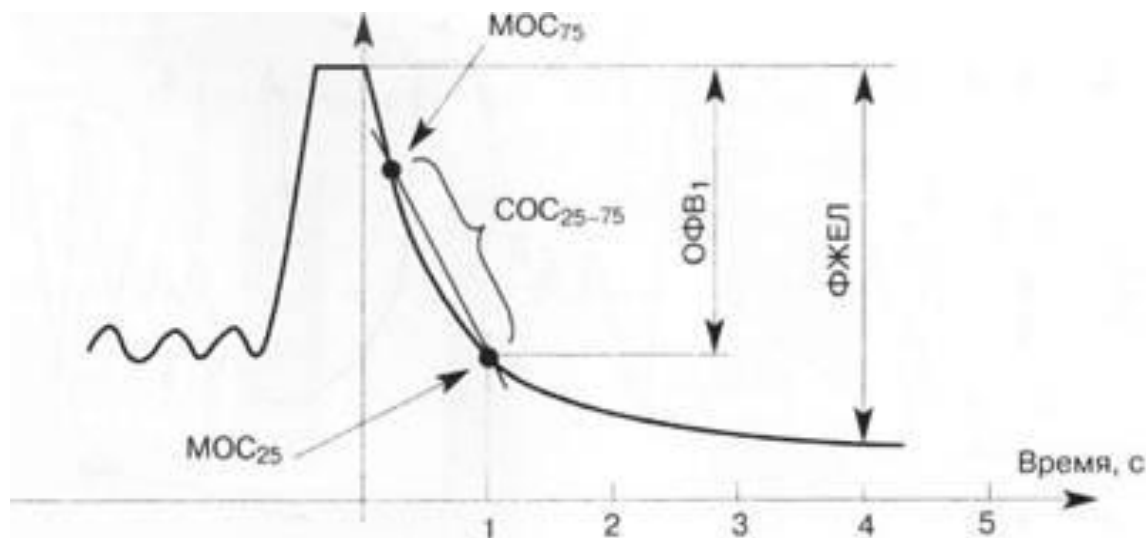


Рисунок 3 — Спирографическая кривая, полученная в маневре форсированного выдоха. Расчет показателей ОФВ1 и СОС25-75 [2].

### ПЕТЛЯ ПОТОК-ОБЪЁМ (ПНЕВМОТАХОГРАФИЯ)

Простое механическое устройство наподобие водяного спирографа было вытеснено электронными приборами, которые сделали возможным точное измерение инспираторного и экспираторного потоков. Эти приборы также позволяют проводить измерение объёмной скорости потока как функции объёма

лёгких. Чтобы понять отношение между объёмной скоростью воздушного потока и объёмом лёгких, необходимо проанализировать петлю поток-объём [1].

**Показания и противопоказания** к применению спирометрии аналогичны таковым для классической спирографии.

**Методика проведения.** Исследование проводят в первой половине дня, независимо от приема еды. Пациенту предлагают закрыть оба носовых хода специальным зажимом, взять индивидуальную простерилизованную насадку-мундштук в рот и плотно обхватить ее губами. Пациент в положении сидя дышит через трубку по открытому контуру, практически не испытывая сопротивления дыханию [1].

Процедура выполнения дыхательных маневров с регистрацией кривой "поток—объём" форсированного дыхания идентична той, которая выполняется при записи ФЖЕЛ во время проведения классической спирографии. Больному надлежит объяснить, что в пробе с форсированным дыханием выдохнуть в прибор следует так, будто нужно погасить свечи на праздничном торте. После некоторого периода спокойного дыхания пациент делает максимально глубокий вдох, в результате чего регистрируется кривая эллиптической формы (кривая АЕВ). Затем больной делает максимально быстрый и интенсивный форсированный выдох. При этом регистрируется кривая характерной формы, которая у здоровых людей напоминает треугольник (рисунок 4) [1].

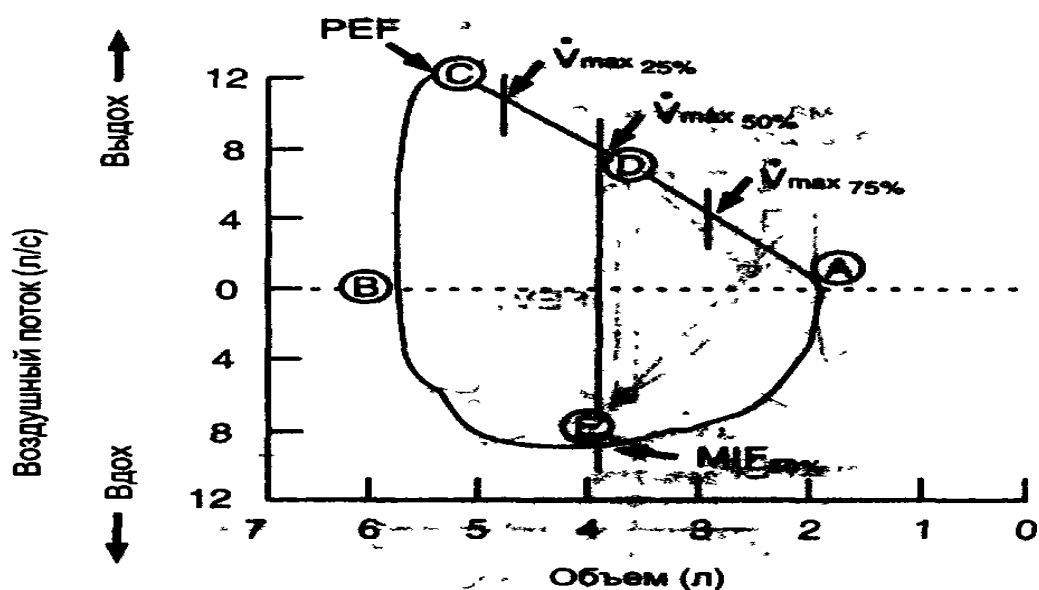


Рисунок 4 — Нормальная петля (кривая) соотношения объемной скорости потока и объема воздуха при проведении дыхательных маневров. Вдох начинается в точке А, выдох — в точке В. ПОС выд регистрируется в точке С. Максимальный экспираторный поток в середине ФЖЕЛ соответствует точке D, максимальный инспираторный поток — точке E [1].

Максимальная экспираторная объёмная скорость потока представлена начальной частью кривой (точка С). Затем объёмная скорость потока убывает (точка D), и кривая возвращается к ее исходной позиции (точка А). Исходя из этого, петля

поток-объём описывает отношение между объёмной скоростью воздушного потока и объёмом лёгких на протяжении вдоха и выдоха. Она содержит те же самые сведения, что и простая спирограмма. Однако с помощью этой петли можно легко получить дополнительные полезные сведения [1].

Максимальная экспираторная объёмная скорость потока воздуха отображается начальной частью кривой (точка С, где регистрируется пиковая объёмная скорость выдоха — ПОСВЫД)- После этого объёмная скорость потока уменьшается (точка D, где регистрируется МОС50), и кривая возвращается к изначальной позиции (точка А). При этом кривая "поток—объём" описывает соотношение между объёмной скоростью воздушного потока и легочным объёмом (ёмкостью легких) во время дыхательных движений [2].

Данные скоростей и объемов потока воздуха обрабатываются персональным компьютером благодаря адаптированному программному обеспечению. Кривая "поток—объём" при этом отображается на экране монитора и может быть распечатана на бумаге, сохранена на магнитном носителе или в памяти персонального компьютера.

Современные аппараты работают со спирографическими датчиками в открытой системе с последующей интеграцией сигнала потока воздуха для получения синхронных значений объемов легких. Рассчитанные компьютером результаты исследования печатаются вместе с кривой "поток—объём" на бумаге в абсолютных значениях и в процентах к должным величинам. При этом на оси абсцисс откладывается ФЖЕЛ (объем воздуха), а на оси ординат — поток воздуха, измеряемый в литрах в секунду (л/с) (рисунок 5) [2].

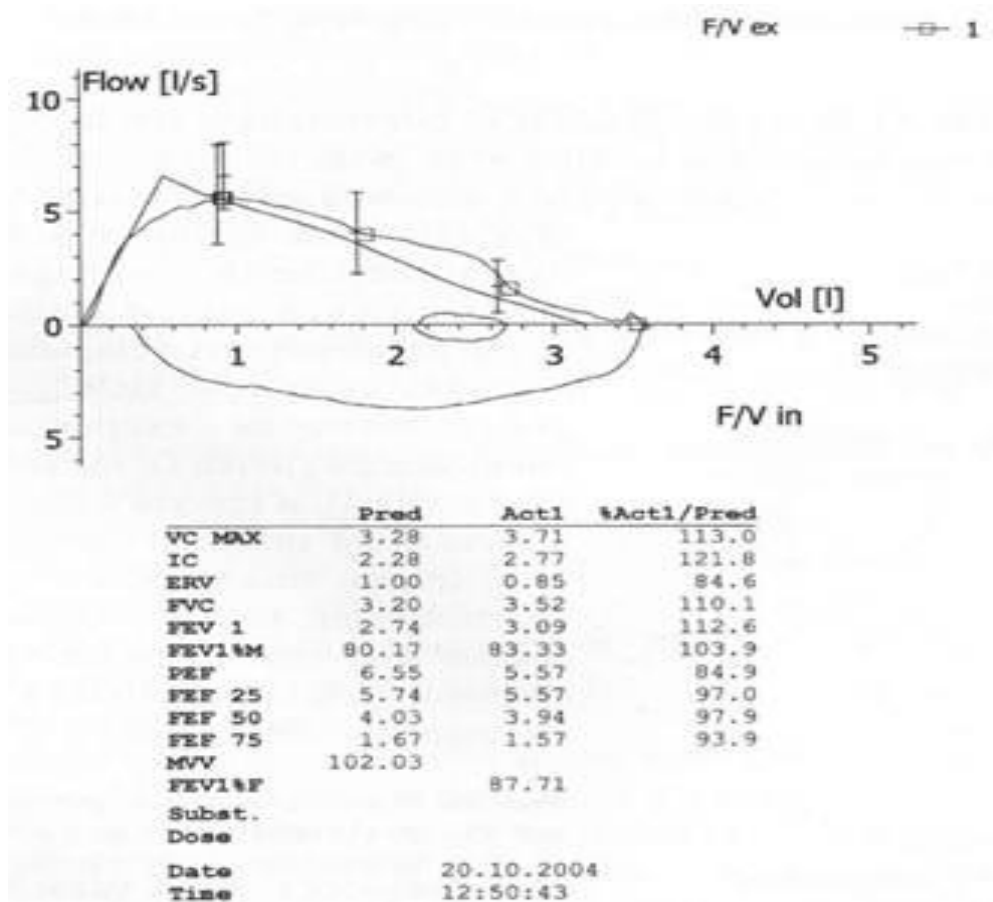


Рисунок 5 — Кривая "поток-объем" форсированного дыхания и показатели легочной вентиляции у здорового человека [2].

Очевидно, что характеристики воздушного потока во время форсированного вдоха и выдоха заметно отличаются друг от друга. Воздушный поток во время вдоха в определенной степени симметричен: наивысшая его скорость достигается приблизительно в средней точке кривой. Эта точка называется максимальной объемной скоростью вдоха при 50% жизненной ёмкости лёгких (МОС50%вд, MIF50%) [1].

### Пример кривых "поток-объем"

Нормальная кривая. Кривая вдоха симметрична и имеет выпуклую форму. Кривая выдоха имеет линейный участок. MIF 50% > MEF 50% вследствие динамической компрессии дыхательных путей (рисунок 6) [2].

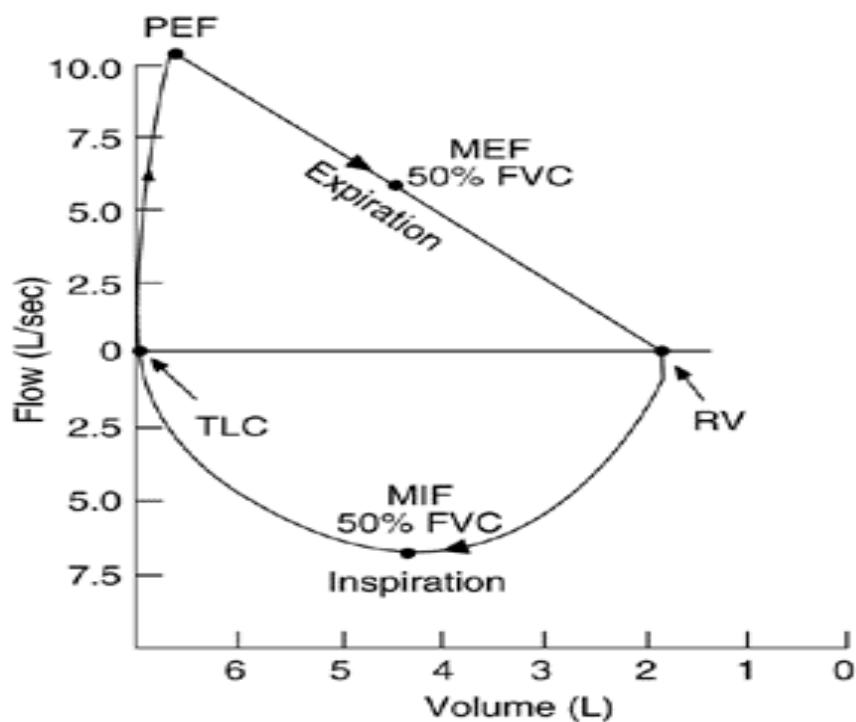


Рисунок 6 — Нормальная кривая “поток-объем” [2].

Выделяют три основных типа вентиляционных нарушений: обструктивные, рестриктивные и смешанные [1].

**Обструктивные вентиляционные нарушения** возникают вследствие:

1. сужения просвета мелких бронхов, особенно бронхиол за счет спазма (бронхиальная астма; астматический бронхит);
2. сужения просвета за счет утолщения стенок бронхов (воспалительный, аллергический, бактериальный отек, отек при гиперемии, сердечной недостаточности);
3. наличия на покрове бронхов вязкой слизи при увеличении ее секреции бокаловидными клетками бронхиального эпителия, или слизисто-гнойной мокроты
4. сужения вследствие рубцовой деформации бронха;
5. развития эндобронхиальной опухоли (злокачественной, доброкачественной);
6. сдавления бронхов извне;
7. наличия бронхиолитов [2].

**Рестриктивные вентиляционные нарушения** имеют следующий причины:

1. фиброз легких (интерстициальный фиброз, склеродермия, бериллиоз, пневмокониозы и т.д.);
2. большие плевральные и плевродиафрагмальные сращения;
3. экссудативный плеврит, гидроторакс;
4. пневмоторакс;
5. обширные воспаления альвеол;

6. большие опухоли паренхимы легкого;
7. хирургическое удаление части легкого.

Для изменений спирограммы обструктивного типа характерно значимое уменьшение показателей скорости потока при сниженной или нормальной функциональной емкости легких.

Для изменений спирограммы рестриктивного типа характерно значимое уменьшение функциональной емкости легких при нормальных показателях скорости потока [3].

Для спирограммы со смешанным типом дыхательной недостаточности характерна в той или иной степени комбинация изменений, характерных как для обструктивного, так и для рестриктивного типа дыхательной недостаточности [2].

### Обструктивные изменения

Обструктивные изменения спирограммы наблюдаются при хронических обструктивных болезнях легких: хроническом обструктивном бронхите, бронхиальной астме, эмфиземе легких [1].

Они приводят к изменению петли поток-объем. На кривой выдоха, как и в норме, имеется пик максимальной скорости потока (ПОС), но затем кривая сходит более быстро, чем в норме, принимая вогнутую форму. Это приводит к быстрому падению МОС<sub>25-75</sub>. По мере нарастания обструкции пик максимальной скорости потока (ПОС) становится все более острым, а последующее падение все более крутым и вогнутым. Такие изменения связаны с все более ранним спадением мелких бронхов и бронхиол при форсированном выдохе. Характерно также более медленное, чем в норме, восхождение до максимального объема и удлинение самого выдоха (рисунок 7) [2].

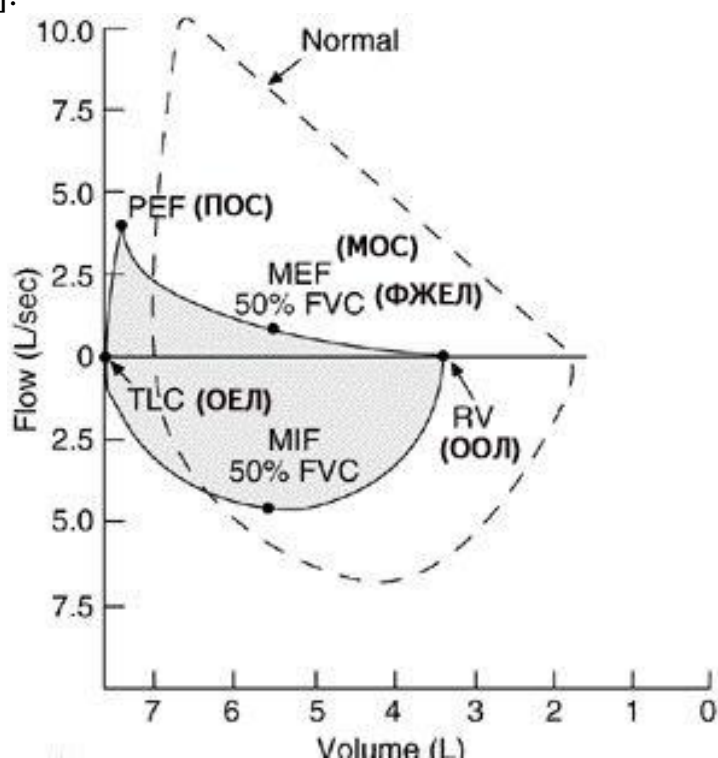


Рисунок 7 — Обструктивные изменения спирограммы [2].

Наиболее характерным спирографическим признаком обструктивной болезни легкого является **снижение ОФВ1**, причем ОФВ1 снижается быстрее, чем ФЖЕЛ. Это приводит к падению коэффициента ОФВ1/ФЖЕЛ ниже 70% должного [1].

Во многих клиниках принято по показателю ОФВ1 подразделять степени обструкции.

ОФВ1 > 80% должного норма

65 - 80% мягкая

50 - 65% умеренная

< 50% тяжелая

**Обструкция верхних дыхательных путей** (рисунок 8) [1].



Рисунок 8 — Обструкция верхних дыхательных путей [1].

Анализируя форму петли поток-объем можно выявить обструкцию верхних дыхательных путей. Различают три функциональных типа обструкции верхних ДП:

- постоянная обструкция
- переменная внутригрудная обструкция
- переменная внегрудная обструкция.

Постоянная обструкция верхних дыхательных путей (например, стеноз трахеи вследствие трахеостомии, двусторонний паралич голосовых связок, зоб) [1].

**При "постоянной обструкции"** (т.е. обструкции, геометрия которой остается постоянной в обеих фазах дыхания) происходит ограничение воздушного потока как на вдохе, так и на выдохе. Если постоянная обструкция находится в центральных дыхательных путях, то при анализе петли "поток-объем" обнаруживается снижение объемной скорости потока как на вдохе, так и на выдохе (рисунок 9) [2].

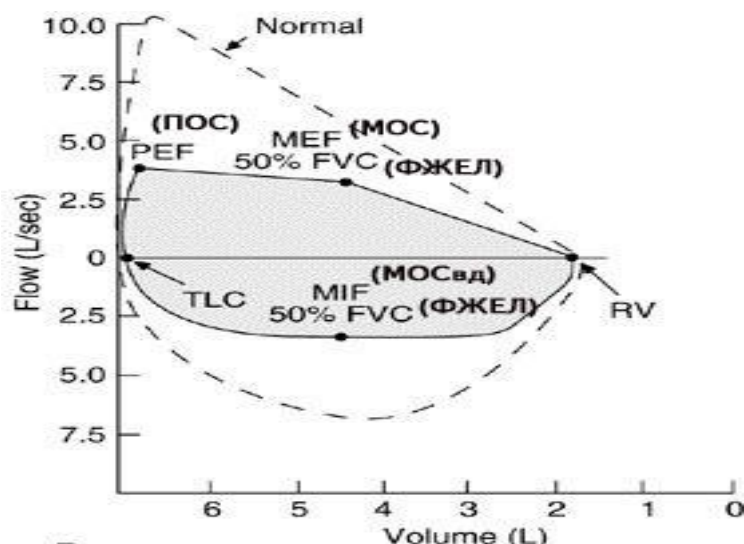


Рисунок 9 — Постоянная обструкция верхних дыхательных путей [2].

Верхняя и нижняя части кривой уплощены, ее конфигурация по форме приближается к прямоугольнику, а легко обнаруживаемый в норме пик потока отсутствует. Контур экспираторного потока похож на инспираторный, скорости середины потока как вдоха (MIF), так и выдоха (MEF) приблизительно равны. (В норме объемная скорость потока на вдохе приблизительно в 1.5 раза выше, чем на выдохе.). Постоянное сужение приводит к ограничению потока в равной степени во время выдоха и во время вдоха [1].

Динамические факторы оказывают различное воздействие на внутригрудные и внегрудные дыхательные пути (ДП). Внутригрудные ДП во время вдоха поддерживаются открытыми отрицательным плевральным давлением. Во время форсированного выдоха положительное плевральное давление, окружающее ДП, создает компрессию и уменьшает их диаметр. Следовательно, сопротивление ДП повышается только во время выдоха.

Отрицательное давление в просвете внегрудных ДП является причиной их сужения на вдохе. Во время выдоха вышеуказанное давление становится положительным, и диаметр дыхательных путей увеличивается. В норме широкие ДП ведут себя как полуригидные трубки и подвержены только умеренной компрессии. Однако если ДП становятся суженными и пластичными, их сопротивление во время дыхания может заметно колебаться [1].

**Переменная внегрудная обструкция** (например, паралич или опухоль голосовой связки) приводит к избирательному ограничению объемной скорости потока воздуха во время вдоха.

Когда парализована одна голосовая связка, она пассивно перемещается в соответствии с градиентом давления вдоль надгортанника. Во время форсированного вдоха она смещается внутрь, что приводит к снижению инспираторного потока и появлению плато. Во время форсированного выдоха парализованная голосовая связка смещается в сторону, поэтому экспираторная кривая не изменена.



Наличие такой обструкции можно легко предположить, когда меняются отношения между объемными скоростями середины потока: скорость вдоха заметно снижается по сравнению со скоростью выдоха ( $MIF\ 50\% < MEF\ 50\%$ ) (рисунок 10) [2].

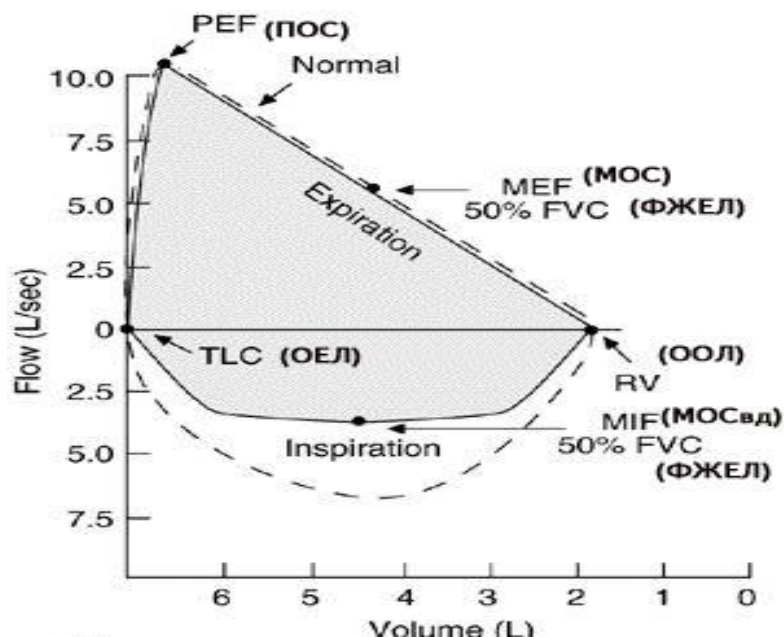


Рисунок 10 — Переменная внегрудная обструкция [2].

**Переменная внутригрудная обструкция** (например, полип, аденома бронха, трахеомалияция). Компрессия ДП избирательно увеличивается во время выдоха.

Во время форсированного вдоха отрицательное плевральное давление поддерживает трахею в открытом состоянии, поэтому объемная скорость потока и форма петли не изменяются по сравнению с нормой [1].

Во время форсированного выдоха вследствие потери структурной прочности происходит сужение трахеи, что выражается в появлении плато и уменьшении потока. Кривая свидетельствует о том, что в начале выдоха поток относительно сохранен. Это наблюдается до того, как происходит компрессия просвета дыхательных путей (рисунок 11) [2].

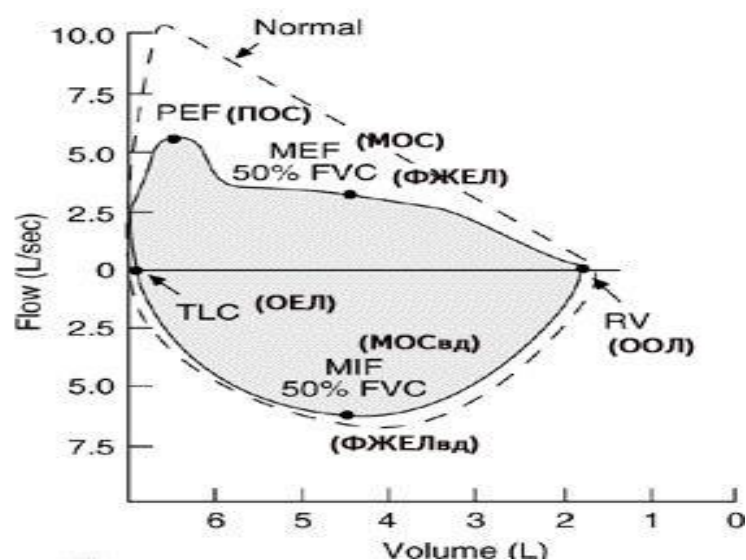


Рисунок 11 — Переменная внутригрудная обструкция [2].

### Рестриктивные (ограничительные) изменения

Рестриктивное заболевание (например, саркоидоз, кифосколиоз). Кривая имеет более узкую форму вследствие уменьшения легочных объемов, но ее форма в основном соответствует нормальной кривой, как на рисунке (А). Поточковые параметры нормальные (на самом деле они даже выше нормальных для соответствующих легочных объемов, что объясняется возрастанием эластической тяги легких и/или тем, что грудная стенка способствует сохранению открытыми дыхательных путей [2].

ОФВ1 и ФЖЕЛ уменьшаются пропорционально, что приводит к тому, что коэффициент ОФВ1/ФЖЕЛ нормален или даже выше нормы (рисунок 12) [2].

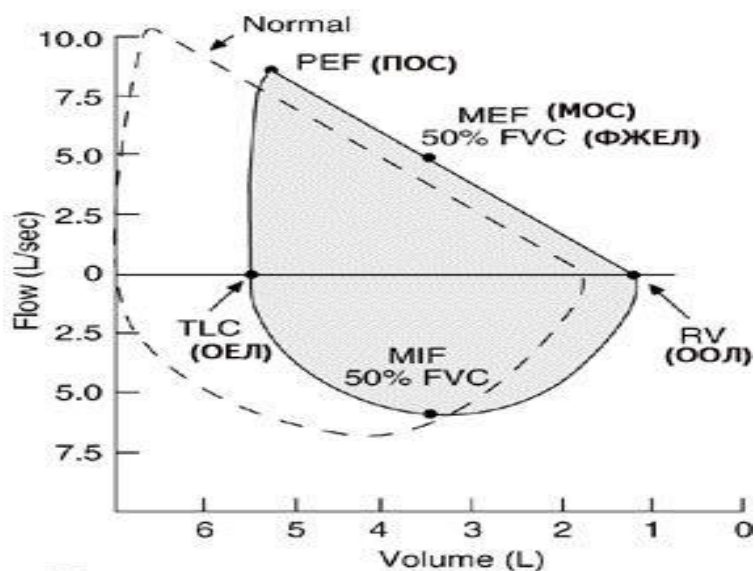


Рисунок 12 — Рестриктивные изменения [2].

Еще раз всмотритесь и запомните типовые изменения петли поток-объем при различных типах спирограммы и различной патологии (рисунок 13).

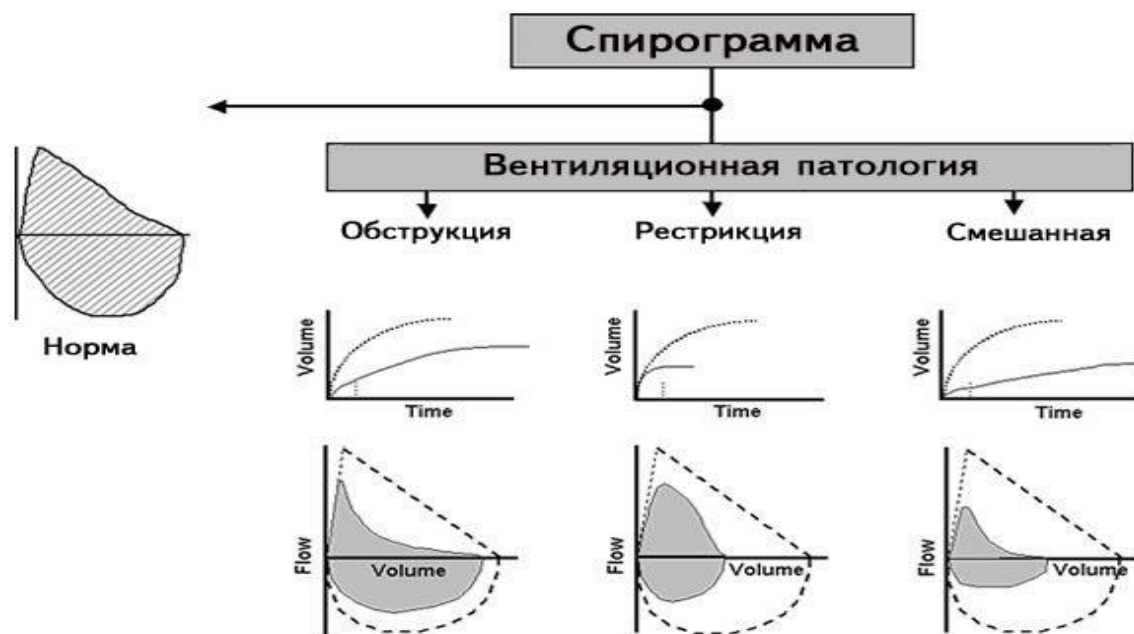


Рисунок 13 — Типовые изменения петли поток-объем при различных типах спирограммы и различной патологии [2].

Показатели степеней дыхательной (легочной) недостаточности представлены в таблице 1 [2].

Т а б л и ц а 1 — Показатели степеней дыхательной (легочной) недостаточности [2].

Показатели	Норма	Степени дыхательной недостаточности		
		I степень (незначительная)	II степень (умеренная)	III степень (выраженная)
Клинические				
а) одышка	нет	при доступных ранее усилиях	при обычных нагрузках	постоянная в покое
б) цианоз	нет	нет или незначительный, усиливающийся после нагрузки	отчетливый, иногда значительный	резко выраженный диффузный
в) пульс в покое (в минуту)	до 80	не учащен	наклонность к учащению	значительно учащен
Инструментальные:				
а) парциальное давление кислорода	более 80	80	79-65	менее 65

(мм.рт. ст.)				
б) объем форсированного вдоха за 1 секунду (ОФВ1) - в процентах	более 80	80-70	69-50	менее 50
в) отношение объема форсированного выдоха за 1 секунду к жизненной емкости легких (ОФВ1/ЖЕЛ - индекс Тиффно) - в процентах	более 70	менее 70	менее 70	менее 70

## **БРОНХОДИЛАТАЦИОННЫЕ ПРОБЫ В СПИРОМЕТРИИ**

### **Обратимость обструкции.**

Для исследования обратимости обструкции используются пробы с ингаляционными бронходилататорами и оценивается их влияние на показатели кривой поток-объём, главным образом, на ОФВ1. Параметры МОС 75-25, обозначающие уровень форсированных экспираторных потоков при различных уровнях ФЖЕЛ, не могут сравниваться, т.к. сама ФЖЕЛ, по отношению к которой рассчитываются эти потоки, изменяется при повторных тестах. Другие показатели кривой поток-объём (за исключением ОФВ1) также являются, в основном, производными и расчетными от ФЖЕЛ. Для расчета бронходилатационного ответа рекомендуется использовать параметр ОФВ1 [1].

Бронходилатационный ответ зависит от фармакологической группы бронхолитика, путей его введения и техники ингаляции. Факторами, влияющими на бронходилатационный ответ, также являются назначаемая доза; время, прошедшее после ингаляции; бронхиальная лабильность во время исследования; исходное состояние лёгочной функции; воспроизводимость сравниваемых показателей; погрешности исследования.

При обследовании конкретного пациента с ХОБЛ (хронической обструктивной болезнью лёгких) необходимо помнить, что обратимость обструкции - величина переменная и у одного и того же больного может быть разной в периоды обострения и ремиссии [2].

### **Бронходилатационные тесты: выбор назначаемого препарата и дозы**

В качестве бронходилатационных препаратов при проведении тестов у взрослых рекомендуется назначать:

-  $\beta_2$ -агонисты короткого действия (начиная с минимальной дозы до максимально допустимой: фенотерол - от 100 до 800 мкг; сальбутамол - от 200 до 800 мкг, тербуталин - от 250 до 1000 мкг) с измерением бронходилатационного ответа через 15 мин;

- антихолинергические препараты: в качестве стандартного препарата рекомендуется использовать ипратропиум бромид (начиная с минимальных доз - 40 мкг, до максимально возможных - 80 мкг) с измерением бронходилатационного ответа через 30-45 мин [2].

Возможно проведение бронходилатационных тестов с назначением более высоких доз препаратов, которые ингалируют через небулайзеры. Повторные исследования ОФВ<sub>1</sub> в этом случае следует проводить после ингаляции максимально допустимых доз: через 15 мин после ингаляции 0,5-1,5 мг фенотерола (или 2,5-5 мг сальбутамола или 5-10 мг тербуталина) или через 30 мин после ингаляции 500 мкг ипратропиума бромида [2].

Во избежание искажения результатов и для правильного выполнения бронходилатационного теста необходимо отменить проводимую терапию в соответствии с фармакокинетическими свойствами принимаемого препарата ( $\beta_2$ -агонисты короткого действия - за 6 ч до начала теста, длительно действующие  $\beta_2$ -агонисты - за 12 ч, пролонгированные теофиллины - за 24 ч) [2].

Прирост ОФВ<sub>1</sub> более чем на 15% от исходных показателей условно принято характеризовать, как обратимую обструкцию. Следует подчеркнуть, что нормализации ОФВ<sub>1</sub> в тесте с бронходилататорами у больных ХОБЛ практически никогда не происходит. В то же время отрицательные результаты в тесте с бронхолитиками (прирост < 15%) не исключают увеличения ОФВ<sub>1</sub> на большую величину в процессе длительного адекватного лечения. После однократного теста с  $\beta_2$ -агонистами примерно у 1/3 пациентов ХОБЛ происходит существенное увеличение ОФВ<sub>1</sub>, у остальных обычно это наблюдается после серии тестов [2].

### **Способ расчета бронходилатационного ответа**

Определение обратимости бронхиальной обструкции технически несложно, однако интерпретация результатов этого исследования остается предметом дискуссии. Наиболее простым способом является измерение бронходилатационного ответа по абсолютному приросту ОФВ<sub>1</sub> в мл [1]:

$$\text{ОФВ1 абс \{мл\}} = \text{ОФВ1 дилат \{мл\}} - \text{ОФВ1 исх \{мл\}}$$

Однако этот способ не позволяет судить о степени относительного улучшения бронхиальной проводимости, так как не учитываются величины ни исходного, ни достигнутого показателя по отношению к должному. Очень распространен метод измерения обратимости отношением абсолютного прироста показателя ОФВ<sub>1</sub>, выраженного в процентах к должному [(ДОФВ<sub>1</sub> должн. (%))]:

$$\text{ДОФВ1 должн.} = ((\text{ОФВ1 дилат. \{мл\}} - \text{ОФВ1 исх. \{мл\}}) / \text{ОФВ1 должн. \{мл\}}) \times 100\%,$$

и в процентах от максимально возможной обратимости [ДОФВ1 возм. (%)]:

$$\text{ДОФВ1 возм.} = ((\text{ОФВ1 дилат. \{мл\}} - \text{ОФВ1 исх. \{мл\}}) / (\text{ОФВ1 должн. \{мл\}} - \text{ОФВ1 исх. \{мл\}})) \times 100\%,$$

где ОФВ1 исх. - исходный параметр,

ОФВ1дилат. - показатель после бронходилатационной пробы,

ОФВ1должн. - должный параметр.

Выбор используемого индекса обратимости должен зависеть от клинической ситуации и конкретной причины, в связи с которой исследуется обратимость, но использование показателя обратимости, в меньшей степени зависящего от исходных параметров, позволяет осуществлять более корректный сравнительный анализ данных разных исследователей [1].

Несмотря на многообразие способов расчета бронходилатационного ответа, количественно отражающего обратимость обструкции, большинство официальных документов по этому вопросу рекомендуют способ расчета прироста по отношению к должным величинам ОФВ1.

Достоверный бронходилатационный ответ по своему значению должен превышать спонтанную вариабельность, а также реакцию на бронхолитики, отмечаемую у здоровых лиц. Поэтому величина прироста ОФВ1, равная и превышающая 12% от должного, признана в качестве маркера положительного бронходилатационного ответа. При получении такого прироста бронхиальная обструкция документируется, как обратимая [1].

### **Бронхоконстрикторные (провокационные) пробы**

Проводятся только у пациентов с нормальной вентиляционной функцией лёгких (ОФВ1>80%).

В качестве раздражителей используют: фармакологические препараты (ацетилхолин, метахолин), холодный воздух, физическую нагрузку.

Выявляют неспецифическую гиперреактивность дыхательных путей. Положительной пробу считают при снижении ОФВ1 на 20 % от исходного, она свидетельствует о повышении бронхиального тонуса в ответ на раздражители, которые у здоровых людей подобную реакцию не вызывают.

Индукцированная физической нагрузкой бронхоконстрикция определяется как астма физического усилия. Используется дозированная физическая нагрузка на ВЭМ или тредмиле [1].

### **МОНИТОРИРОВАНИЕ ОФВ1 (ПИКФЛОУМЕТРИЯ)**

**Пикфлоуметр** – это портативный прибор, который измеряет только один показатель пиковой скорости выдоха (ПСВ). Пиковая скорость выдоха (ПСВ или PEF) определяется при выполнении пациентом маневра форсированного выдоха на кривой поток-объем. Измерять параметр ПСВ можно с помощью либо спирометра или пикфлоуметра. Спирографическое исследование проводят в медицинских

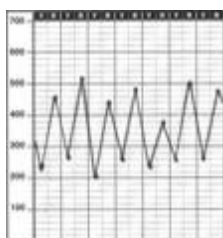
учреждениях, в то время как пикфлоуметр в первую очередь предназначен для домашнего использования [2].

При проведении исследования больной вдыхает максимально возможный объем и затем производит максимальный выдох в прибор. Измерение следует провести три раза подряд и выбрать максимальное значение из трёх. Измерение возможно только у детей старше 5 лет, так как технически обучить детей младшего возраста не представляется возможным.

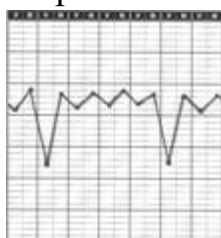
Больной самостоятельно в домашних условиях ведет график динамики изменения показателей ПСВ в течение 2-3 недель, отмечая утренние и вечерние замеры.

График изменения ПСВ оценивается по нескольким параметрам: визуально оценивается форма графика, вычисляется максимальное значение ПСВ и суточное колебание ПСВ. Важным диагностическим признаком является разница между утренним и вечерним значениями ПСВ. В одних случаях (при норме или хорошо контролируемой астме) утренние и вечерние значения почти одинаковые, в других случаях сильно различаются. Это свидетельствует об изменении ПСВ в течение дня, называемом суточными колебаниями. Нормальный график ПСВ должен быть почти прямым (рисунок 14) [2].

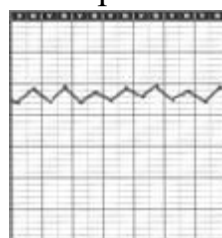
Неконтролируемая  
астма



"Утренние  
провалы"



Астма под  
контролем



Эпизод  
бронхита

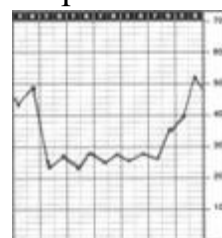


Рисунок 14 — Примеры графиков пикфлоуметрии [2].

Очень важно оценить нормальное значение ПСВ для данного пациента. Во многих пособиях рекомендуется брать должное значение ПСВ, которое определяется по росту, возрасту и полу. Однако рассчитанное значение для популяции в целом может не соответствовать конкретному пациенту. Поэтому лучше в качестве нормального значения брать усредненное наилучшее, которое измеряется в период ремиссии, в период наилучшего стабильного самочувствия пациента. Хотя при первом посещении пациента в качестве нормального значения можно взять должное, а затем его скорректировать [1].

#### **Определение обратимости бронхиальной обструкции по пикфлоуметрии**

Тест проводится с помощью пикфлоуметра и бета2-агониста короткого действия, например, вентолина. Методика выполнения теста следующая:

1. Измерить исходное значение ПСВ (ПСВ 1).

2. Провести ингаляцию бета2-агониста короткого действия, например, пациент должен вдохнуть 200 мкг вентолина.

3. Через 15 минут повторить измерение ПСВ с помощью пикфлоуметра (ПСВ2).

Рассчитать процентное соотношение параметров БО, которое будет отображать выраженность бронхиальной обструкции:

$$\text{БО} = (\text{ПСВ2} - \text{ПСВ1}) / \text{ПСВ1} * 100 \%$$

Значительная БО – 25% и более

Умеренная БО – 15-24%

Незначительная БО – 10 – 14%

Отрицательная реакция – менее 10% [1].

### **Оценка гиперреактивности бронхов**

Наличие гиперреактивности можно оценить с помощью пикфлоуметрии. Признаком ее наличия является снижение утреннего значения ПСВ относительно вечернего более, чем на 20%. Такое снижение называется "утренним провалом". Необходимо отметить, что "утренние провалы" могут наблюдаться на графике не каждый день. Поэтому следует осуществлять мониторинг ПСВ в течение недели. Наличие даже одного "утреннего провала" в неделю будет свидетельствовать о гиперреактивности бронхов [1].

### **Оценка тяжести заболевания.**

Оценка тяжести заболевания определяется на основании нескольких параметров, самым важным из которых являются колебания ПСВ.

Должные значения ПСВ, для каждого пациента определяются по таблице на основании пола, возраста и роста.

Для определения значения колебания ПСВ необходимо взять недельные измерения ПСВ, определить их наименьшее и наибольшее значения и колебания вычислить по формуле:

$$K = ((\text{наибольшее ПСВ} - \text{наименьшее ПСВ}) / \text{наибольшее ПСВ}) \times 100\% [1].$$

### **Прогнозирование обострения астмы**

До 15% пациентов БА не могут по субъективному состоянию определить обострение заболевания. Начало развития бронхоспазма объективно регистрируется на графике ПСВ либо как падение значений относительно наилучшего, либо как появление "утренних провалов". Часто падение показателя наблюдается за несколько дней до возникновения симптомов. В таких случаях появляется возможность заранее принять решение об усилении терапии, чтобы предотвратить приступ. При самоконтроле пациент должен расценить это как предупреждение, что его астма выходит из-под контроля и лучше сразу же обратиться к врачу [1].

### **Идентификация факторов, провоцирующих бронхоспазм**

С этой целью используют суточные графики ПСВ, на которых отмечаются измеряемые значения через каждые 2 часа. На временной оси графика отмечаются моменты наступления предполагаемых врачом и пациентом провоцирующих факторов (уборка квартиры, физическая или эмоциональная нагрузка, прием определенной пищи и т.д.). По изменению графика можно определить, приводит ли



предполагаемый фактор к развитию приступа астмы или необходимо исследовать другой фактор [1].

### **Определение профессиональной астмы**

Для этого строятся 2-недельные или месячные графики ПСВ. У пациентов с профессиональной астмой на графике будет четко видно увеличение значения ПСВ в субботу и воскресенье (или в дни отдыха) и снижение в рабочие дни [1].

### **Оценка эффективности лечения**

Если лечение подобрано правильно, то значение ПСВ должно подняться до наилучшего и исчезает "утренний провал" [1].

### **Практическая часть**

1. Законспектировать теоретический материал, демонстрируемый преподавателем;
2. Заполнить схемы и таблицы раздаточного материала;
3. Освоить методику решения задач по теме занятия;
4. Курировать пациента, совместно с преподавателем;
5. Расшифровать электрокардиограмму по теме занятия;

### **Контроль усвоения темы**

1. Решение ситуационных задач по индивидуальному заданию;
2. Решение индивидуальных тестовых заданий;
3. Расшифровка контрольной ЭКГ.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ СРС**

**Время, отведенное на самостоятельную работу, может использоваться студентами на:**

- подготовку к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к дифференцированному зачету по учебной дисциплине;
- проработку тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение;
- изучение тем и проблем, не выносимых на лекции и практические занятия;
- выполнение исследовательских и творческих заданий;
- подготовку тематических докладов, рефератов, презентаций;
- выполнение практических заданий;
- оформление информационных и демонстрационных материалов (стенды, плакаты, графики, таблицы, газеты и пр.).

### **Основные формы организации СРС**

- написание и презентация реферата;
- выступление с докладом;
- изучение тем и проблем, не освещенных на лекциях и семинарских занятиях;
- компьютеризированное тестирование;
- изготовление дидактических материалов;
- подготовка и участие в активных формах обучения.

### **Перечень заданий СРС:**

– выполнение тестовых заданий (ЭУМК «Основы функциональной диагностики» режим доступа: <https://dl.gsmu.by/course/view.php?id=682>).

**Контроль СРС осуществляется в виде:**

- итогового занятия в форме устного собеседования, письменной работы, тестирования;
- контрольной работы;
- обсуждения рефератов;
- оценки устного ответа на вопрос, сообщения, доклада или решения ситуационной задачи на практических занятиях;
- проверки рефератов;
- индивидуальной беседы.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И  
ВЫПОЛНЕНИЮ УСРС**

**Рекомендуемыми формами организации УСРС являются:**

1. написание реферата на заданную тему;
2. подготовка мультимедийной презентации по заданной теме;

**Перечень заданий УСРС:**

Темы рефератов / мультимедийных презентаций:

1. Пикфлоуметрия, показания, противопоказания, примеры графиков.
2. Бронходилатационные пробы в спирометрии.

**Формы контроля выполнения УСРС:**

1. проверка и оценивание реферата по заданной теме;
  2. проверка и оценивание мультимедийной презентации по заданной теме;
- проверка и оценивание правильности решения ситуационных задач.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Стручков, П. В. Спирометрия [Электронный ресурс] / Стручков П. В., Дроздов Д. В., Лукина О. Ф. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 112 с. – Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970464243.html> – Дата доступа: 17.05.2024.

2. Функциональная диагностика [Электронный ресурс] : нац. руководство / под ред. Н. Ф. Берестень, В. А. Сандрикова, С. И. Федоровой. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 784 с. – Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970466971.html> – Дата доступа: 17.05.2024.

3. Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Малявин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. Пульмонология. 2023; 33 (3): 307–340.