

# Спирометрия

Грищенко Михаил

# Спирография



**Спирография** (лат. *spiro* дышать + греч. *graphō* писать, изображать) — метод исследования функции легких путем графической регистрации во времени изменений их объема при дыхании.

Спирография занимает важнейшее место для выявления заболеваний бронхолегочной системы.

Данная процедура безболезненна, безопасна, проводится как в амбулаторных условиях, так и в условиях стационара занимает несколько минут.

Регистрируемые показатели дают информацию о функциональном состоянии легких и бронхов, проходимости дыхательных путей, о наличии и степени снижения вентиляционной способности легких и о типе вентиляционных нарушений.

Также, с помощью спирографии можно выявить наличие обратимости бронхиальной обструкции, что является одним из диагностических критериев бронхиальной астмы. Для этого проводится бронходилатационный тест, когда обследуемому пациенту проводят ингаляцию бронхорасширяющего лекарственного средства.

Спирография позволяет не только оценить клинически-выраженные состояния, но и выявить ранние проявления заболеваний, сопровождающихся нарушением со стороны бронхолегочной системы, что в свою очередь позволит своевременно установить диагноз и начать терапию.

# ПОКАЗАНИЯ

## Диагностика:

- 1) установление причины респираторных жалоб больного, клинических симптомов либо отклонений в лабораторных показателях;
- 2) оценка влияния болезни на легочную функцию;
- 3) скрининг популяций людей с высоким риском легочных заболеваний;
- 4) предоперационная оценка риска;
- 5) оценка прогноза заболевания;
- 6) оценка функционального состояния перед участием пациента в программах с физическими нагрузками высокого уровня.

# ПОКАЗАНИЯ

## **Наблюдение**

- 1) оценка эффективности лечебных мероприятий;
- 2) мониторинг течения заболевания с нарушением легочной функции;
- 3) наблюдение за популяциями лиц, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов;
- 4) мониторинг побочных эффектов лекарств с известной способностью вызывать повреждения легких.

## **Экспертная оценка нетрудоспособности**

- 1) обследование больного перед началом реабилитации;
- 2) оценка рисков как части экспертной оценки нетрудоспособности;
- 3) экспертная оценка состояния здоровья по другим юридическим поводам.

# ПОКАЗАНИЯ

Общественное здоровье

- 1) эпидемиологические исследования;
- 2) расчет должных значений спирометрических показателей;
- 3) клинические исследования .

# *Показания к проведению спирометрии:*

- ✓ определения жизненной емкости легких и ее резервов у здоровых лиц, в том числе спортсменов;
- ✓ наличие кашля, хрипов, одышки, свистящего дыхания при первичном обследовании;
- ✓ оценка степени операционного риска перед хирургическим вмешательством (операцией);
- ✓ оценка выраженности вентиляционных нарушений и эффективности ранее назначенной терапии, с последующей коррекцией базисной терапии (при необходимости) при наличии подтвержденного диагноза бронхиальной астмы или хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ);
- ✓ получение информации о влиянии других заболеваний на функции легких (например, при болезнях сердца, суставов и пр.);
- ✓ определение прогноза заболевания, экспертная оценка трудоспособности или временной утраты трудоспособности, а также определение пригодности к работе в специальных условиях.

## *Спирографию необходимо проводить, если у Вас:*

- длительный и затяжной беспричинный кашель (в течение 3-4 недель и более, часто после перенесенных ОРВИ и острого бронхита);
- возникает одышка, ощущение "заложенности" в грудной клетке;
- возникает "сипящее" и "свистящее" дыхание преимущественно при выдохе;
- возникает ощущение затрудненного выдоха и вдоха.



## *Спирографию целесообразно проводить регулярно, если Вы:*

- ✓ являетесь курильщиком с многолетним стажем;
- ✓ страдаете частыми обострениями бронхита или испытываете одышку, чувство нехватки воздуха;
- ✓ имеете наследственность, отягощенную по заболеваниям дыхательной системы или аллергическим заболеваниям;
- ✓ нуждаетесь в коррекции терапии бронхиальной астмы;
- ✓ вынуждены дышать загрязненным и запыленным воздухом (при работе на вредном производстве)

# ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ

Спирометрия не имеет абсолютных противопоказаний, но маневр форсированного выдоха следует выполнять с осторожностью:

- 1) у больных с развившимся пневмотораксом и в течение 2 нед. после его разрешения [3];
- 2) в первые 2 недели после развития инфаркта миокарда, после офтальмологических и полостных операций [3];
- 3) выраженном продолжающемся кровохарканье [3];
- 4) тяжелой бронхиальной астме [3].
- 5) обострение психических заболеваний
- 6) острое инфекционное заболевание
- 7) открытая форма туберкулеза с бацилловыделением,
- 8) общее тяжелое состояние,
- 9) угроза прерывания беременности.

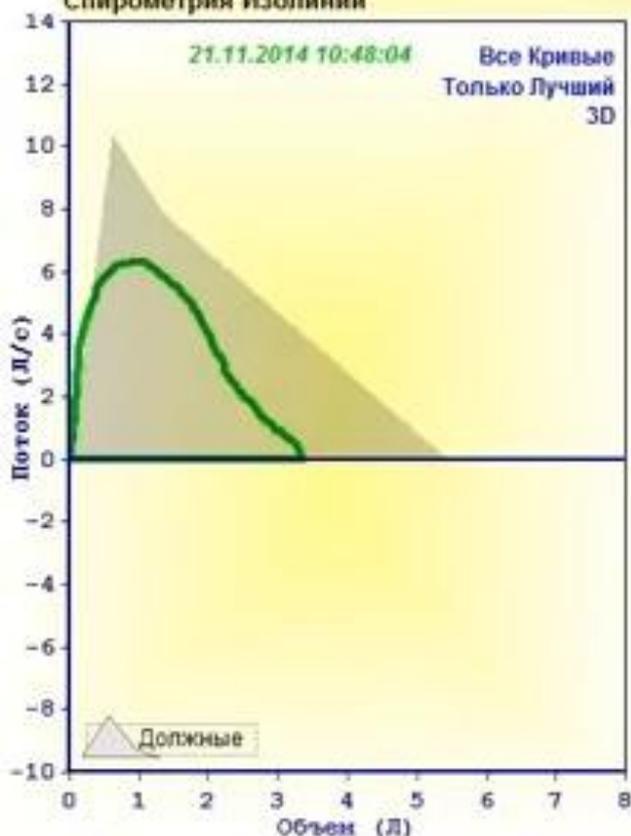




MARTINI DAVID - Мужской - Возраст 39 - 180 см - 76 кг - Кавказская

Кривая V-t / Тест Инфо

Спирометрия Изолинии



Лучшие Значения

Параметры	Значение	% Должные
FVC	3,35	61
FEV1	3,09	71
PEF	6,36	61
FEV1%	52,5	66

Список FVC П/С Сессий

21.11.2014 (\*) POST

Медицинский отчет

Интерпретация

Умеренная Обструкция  
WARNING: FEV1/EVC PRE = 53%

Воспроизводимость

Отчет Качества

Выдыхайте ВЕС воздух из легких

Параметры	FVC		FEV1			FEV1%	
	LLN - ULN	Долж.	PRE	%Долж.	Z-score	PRE	
FVC (Л)	4,51 - 6,42	5,46	3,35	61	-3,64	3,35	
FEV1 (Л)	3,54 - 5,16	4,35	3,09	71	-3,20	3,09	
FEV1/FVC (%)	70,3 - 89,7	80,0	92,2	115	2,07	92,2	
PEF (Л/с)	8,01 - 12,76	10,39	6,36	61	-2,79	6,36	
ELA (Годы)		39	77	197		77	
FEF2575 (Л/с)	2,47 - 5,74	4,10	4,45	108	0,35	4,45	
FET (с)		6,00	1,51	25		1,51	
Evol (мл)			110			110	
FVC (Л)	4,51 - 6,42	5,46	0,00				
FEV1/VC (%)	70,3 - 89,7	80,0	52,5	66	-4,68	52,5	
FEV6 (Л)	4,41 - 6,26	5,34	3,35	63	-3,36	3,35	

Установить как лучший

## ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Все спирометры должны удовлетворять минимальным техническим требованиям, которые достаточны для повседневной клинической практики. Соблюдение этих требований необходимо для точности измерений и минимизации вариабельности результатов. В отдельных ситуациях, например, в некоторых клинических исследованиях, объем технических требований может быть увеличен.

Спирометр должен позволить оценивать объем воздуха в течение  $\geq 15$  сек и измерять объемы не менее 8 л с точностью как минимум  $\pm 3\%$ , или  $\pm 0,05$  л, а воздушные потоки – от нуля до 14 л/с [2]. Д

ля оптимального контроля за качеством измерений спирометр должен оснащаться дисплеем, на котором отражается кривая поток-объем или объем-время, для визуальной оценки каждого выполненного маневра перед началом следующего. Для оценки воспроизводимости повторных маневров в течение одного исследования желательно, чтобы все кривые в данном исследовании накладывались на дисплее друг на друга.

Таблица 1. Варианты и периодичность калибровки спирометра [2].

## Калибровка спирометра

Параметр	Минимальная периодичность	Действие
Объем	Ежедневно	Калибровка 3-литровым калибровочным шприцем
Утечка воздуха	Ежедневно	Постоянное давление 3 см вод.ст (0,3 кПа) в течение 1 мин
Линейность	Еженедельно	Тестирование как минимум при трех разных диапазонах потока
Время	1 раз в 3 мес	Проверка механического счетчика времени с помощью секундомера
Программное обеспечение	Обновление версии	Регистрация данных инсталляции и выполнение теста у «известного» пациента

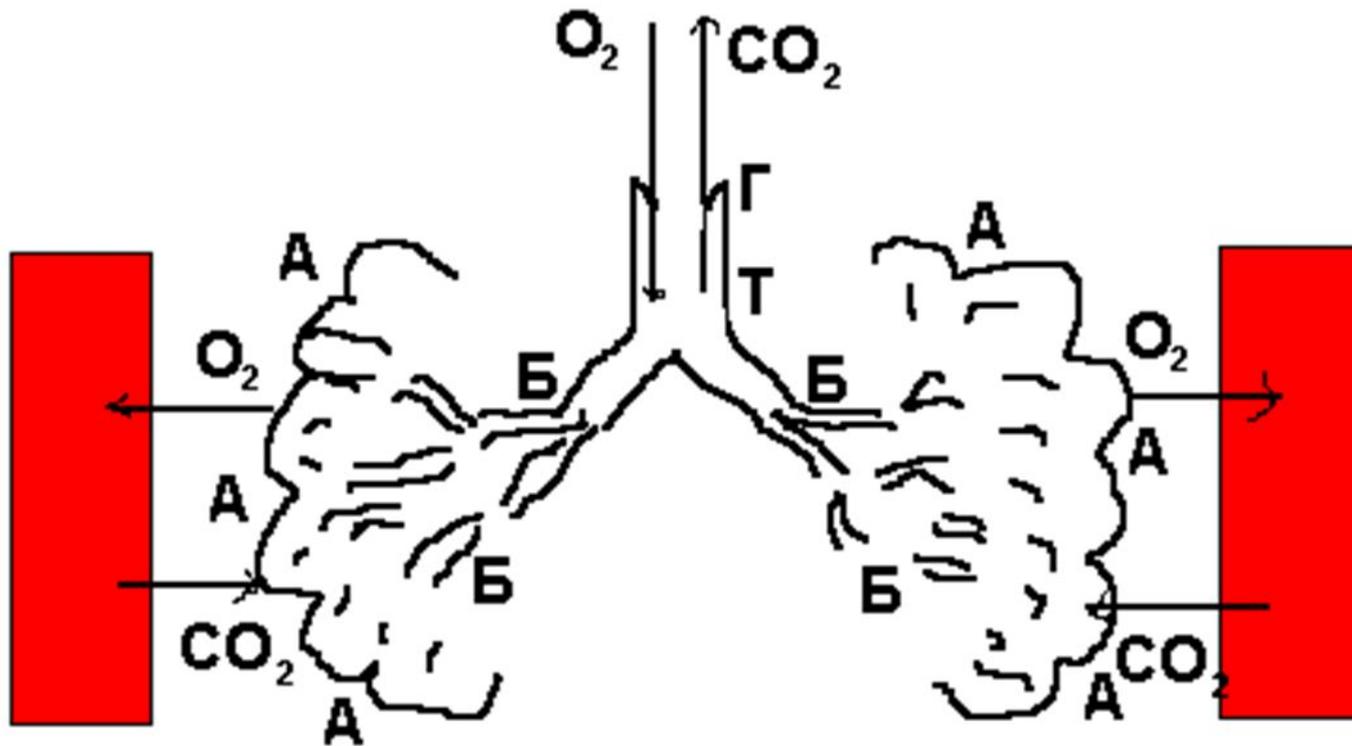
## Spirometry



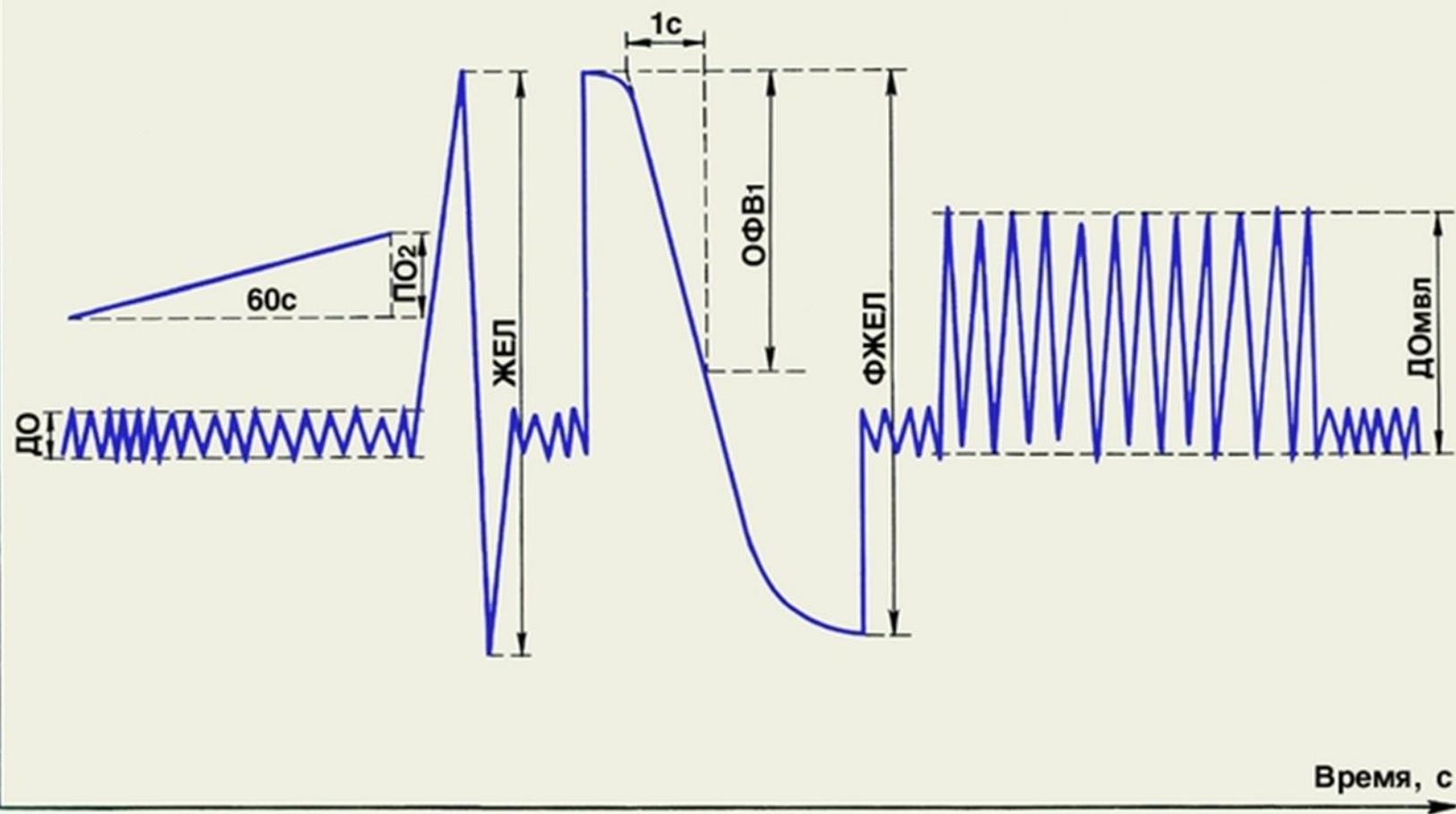
В спирографе **СП-3000** измерения автоматически начинаются, как только пациент начнет дыхательный маневр. Как только сигнал становится больше пороговой величины, тест начинается.

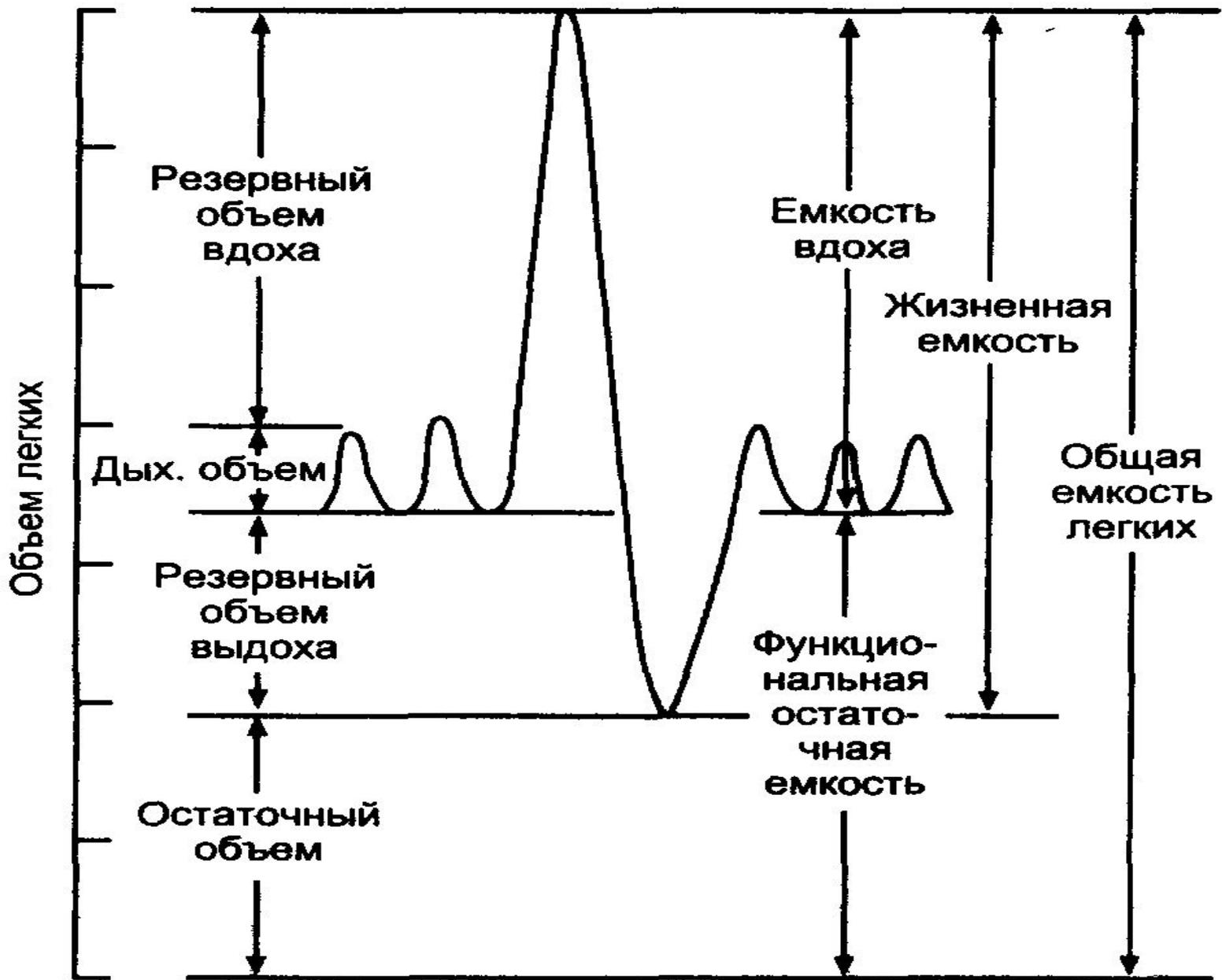


# ***СПИРОГРАФИЯ (ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ)***



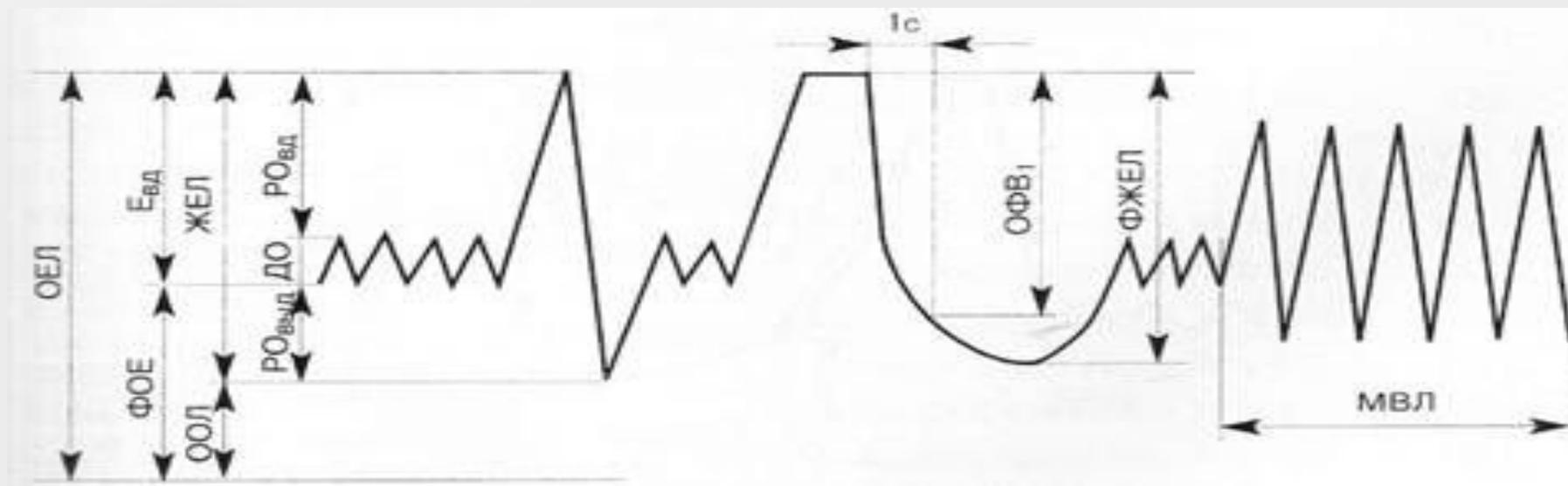
Объем, л





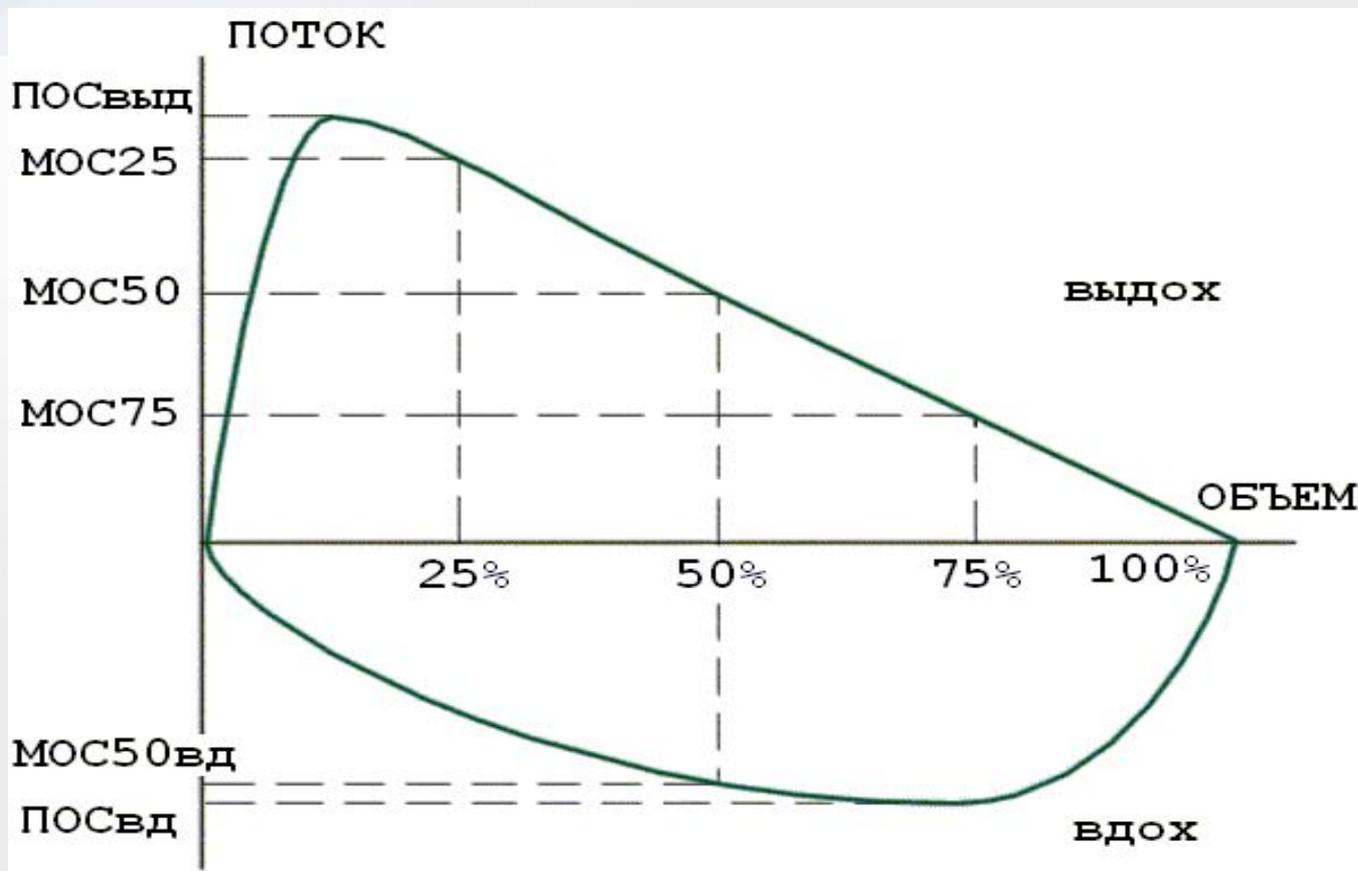
Статические показатели определяют во время спокойного дыхания. Измеряют **дыхательный объем (ДО)** — средний объем воздуха, который больной вдыхает и выдыхает во время обычного дыхания в состоянии покоя. В норме он составляет 500—800 мл. Часть ДО, которая принимает участие в газообмене, называется **альвеолярным объемом (АО)** и в среднем равняется  $\frac{2}{3}$  величины ДО. Остаток ( $\frac{1}{3}$  величины ДО) составляет объем **функционального мертвого пространства (ФМП)**. После спокойного выдоха пациент максимально глубоко выдыхает — измеряется **резервный объем выдоха (РОВвд)**, который в норме составляет 1000—1500 мл. После спокойного вдоха делается максимально глубокий вдох — измеряется **резервный объем вдоха (РОВд)**. При анализе статических показателей рассчитывается **емкость вдоха (Евд)** — сумма ДО и РОВд, которая характеризует способность легочной ткани к растяжению, а также **жизненная емкость легких (ЖЕЛ)** — максимальный объем, который можно вдохнуть после максимально глубокого выдоха (сумма ДО, РОВд и РОВвд в норме составляет от 3000 до 5000 мл).

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)** — объем воздуха, который можно выдохнуть при форсированном выдохе после максимального вдоха (в норме составляет 70—80 % ЖЕЛ). Как заключительный этап исследования проводится запись **максимальной вентиляции легких (МВЛ)** — максимального объема воздуха, который может быть провентирирован 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.



# Спирографическая кривая, полученная в маневре форсированного выдоха.

## Расчет показателей ОФВ1 и СОС25-75



По форме петли и изменениям ее показателей можно выделить норму и основные типы дыхательной недостаточности: обструктивную, рестриктивную и смешанную.

# **ФЖЕЛ (форсированная жизненная ёмкость легких)**

**ФЖЕЛ = ФЖЕЛвыд** (проба Тиффно). Форсированная жизненная ёмкость легких - объём воздуха, выдыхаемый при максимально быстром и сильном выдохе.

**ОФВ05** - объём форсированного выдоха за 0,5 секунды

**ОФВ1** - объём форсированного выдоха за 1 секунду - объём воздуха, выдохнутого в течение первой секунды форсированного выдоха.

**ОФВ3** - объём форсированного выдоха за 3 секунды

**ОФВпос = Опос** - объём форсированного выдоха, при котором достигается ПОС (пиковая объёмная скорость)

**МОС25** - мгновенная объёмная скорость после выдоха 25% ФЖЕЛ, 25% отсчитываются от начала выдоха.

**МОС50** - мгновенная объёмная скорость после выдоха 50% ФЖЕЛ, 50% отсчитываются от начала выдоха.

**МОС75** - мгновенная объёмная скорость после выдоха 75% ФЖЕЛ, 75% отсчитываются от начала выдоха.

**СОС25-75** - средняя объёмная скорость в интервале между 25% и 75% ФЖЕЛ

**СОС75-85** - средняя объёмная скорость в интервале между 75% и 85% ФЖЕЛ

**СОС0.2-1.2** - средняя объёмная скорость между 200мл и 1200мл ФЖЕЛ выдоха

**ПОС = ПОСвыд** (пиковая скорость выдоха) - пиковая объёмная скорость выдоха.

**МПП** - максимальный полувыдыхаемый поток.

**ТФЖЕЛ = Ввыд = Твыд** - общее время выдоха ФЖЕЛ

**ТФЖЕЛвд = Ввд = Твд** - общее время вдоха ФЖЕЛ

**ТФЖЕЛ/ТФЖЕЛвд** - отношение времени выдоха ко времени вдоха

**Тпос = ТПОС** - время, необходимое для достижения пиковой объёмной скорости выдоха.

**СТВ (среднее транзитное время) = СПВ (среднее переходное время)**

- значение этого времени находится в точке, перпендикуляр из которой образует со спирографической кривой две равные по площади фигуры.

# Показатели функции внешнего дыхания по данным спирографии

Показатель	Границы	Нарушения		
		Умеренное	Значительное	Резкое
	<b>нормы</b>			
<b>ЖЕЛ, %</b>	<b>90 - 85</b>	<b>84 - 70</b>	<b>69 - 50</b>	<b>&lt; 50</b>
<b>МВЛ, %</b>	<b>85 - 75</b>	<b>74 - 55</b>	<b>54 - 35</b>	<b>&lt; 35</b>
<b>ТТ</b>	<b>69 - 65</b>	<b>64 - 55</b>	<b>54 - 40</b>	<b>&lt; 40</b>
<b>ПСДВ</b>	<b>25 ± 5</b>	Увеличение - при рестриктивных нарушениях Уменьшение - при обструктивных нарушениях		
<b>ОФВ, л/сек</b>	<b>2,9 - 2,6 (муж.)</b>	<b>2,5 - 2,1</b>	<b>2,0 - 1,3</b>	<b>&lt; 1,3</b>
	<b>2,0 - 1,8 (жен.)</b>	<b>1,8 - 1,4</b>	<b>1,3 - 0,8</b>	<b>&lt; 0,8</b>
<b>ОФВ, %</b>	<b>85 - 75</b>	<b>74 - 55</b>	<b>54 - 35</b>	<b>&lt; 35</b>

## **Условные обозначения:**

**ЖЕЛ** - Жизненная емкость легких.

**МВЛ** - минутная вентиляция легких.

**ТТ** - тест Тиффно (ОФВ/ЖЕЛ).

**ПСДВ** - пропускная способность движения воздуха  
(МВЛ/ЖЕЛ).

**ОФВ** - объем форсированного выдоха.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объем легких можно измерить двумя способами. В первом случае непосредственно измеряется объем вдыхаемого или выдыхаемого воздуха и время. Строится график зависимости объема легких от времени - кривая объем-время (спирограмма) (рис.1, А).

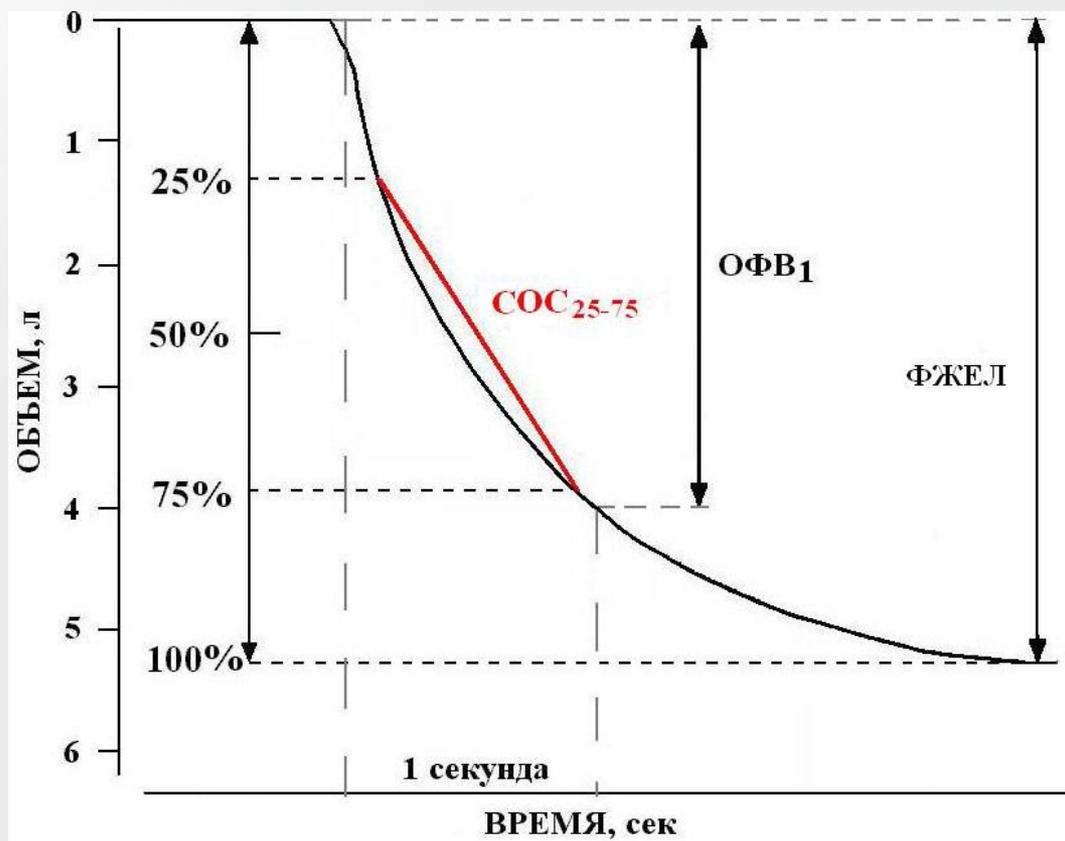
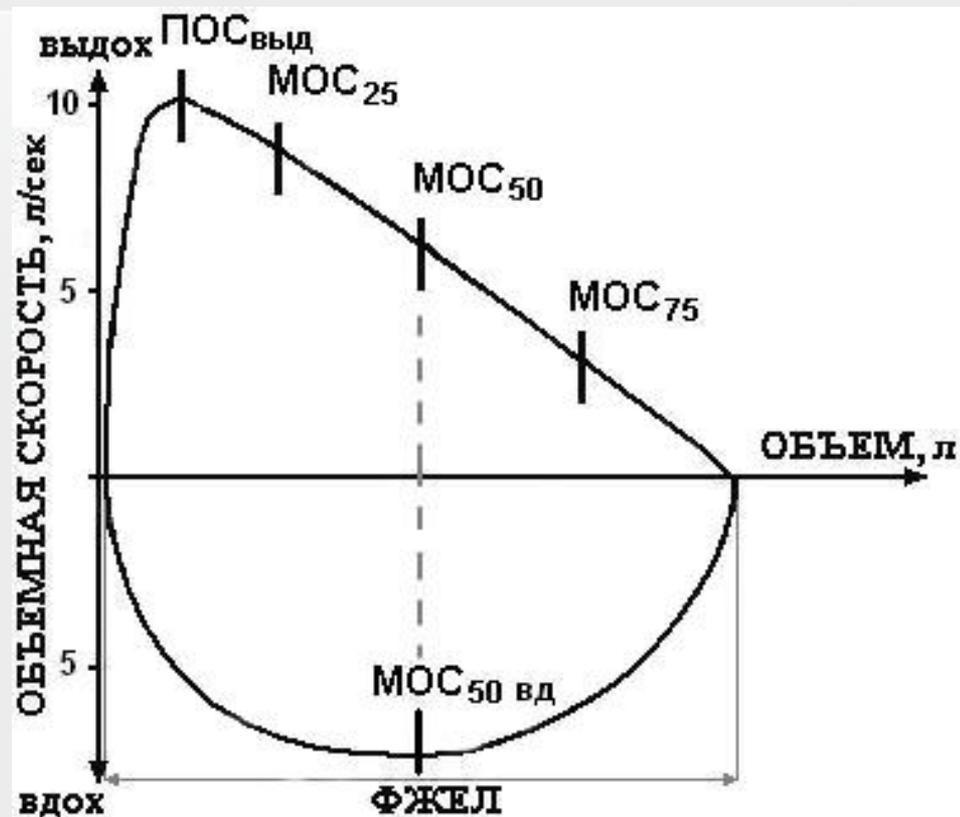


Рисунок 1. а) Спирограмма форсированного выдоха. ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких,  $ОФВ_1$  – объем форсированного выдоха за 1 секунду,  $СОС_{25-75}$  – средняя скорость форсированного экспираторного потока на уровне 25-75% ФЖЕЛ

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В другом случае измеряется поток и время, а объем рассчитывают, умножая поток на время. Строится график зависимости объемной скорости потока от объема легких - кривая поток-объем (рис.1, Б).



Нормальная петля поток-объем, полученная при максимальных входе и выдохе. ПОС<sub>вд</sub> – пиковая объемная скорость выдоха, равная 10,3 л/сек; МОС<sub>25</sub>, МОС<sub>50</sub> и МОС<sub>75</sub> – максимальные объемные скорости, когда пациент выдохнул соответственно 25, 50 и 75% объема ФЖЕЛ, равные 8,8 л/сек, 6,3 л/сек и 3,1 л/сек. МОС<sub>50 вд</sub> – максимальная объемная скорость, когда пациент вдохнул 50% ФЖЕЛ, равная 7,5 л/сек. Обычно МОС<sub>50 вд</sub> в 1,5 раза больше МОС<sub>50 вд</sub>.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Таким образом, обе кривые отражают одинаковые параметры: интегральное выражение скорости воздушного потока дает объем, который, в свою очередь, можно представить как функцию времени. И наоборот, объем выдыхаемого воздуха можно дифференцировать относительно времени, чтобы определить скорость потока. Представление результатов спирометрии в виде кривой поток–объем является наиболее простым для интерпретации и наиболее информативным.

Спирометрическое исследование можно проводить при спокойном и при форсированном дыхании.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При *спокойном дыхании* необходимо оценить паттерн дыхания, определить жизненную емкость легких (ЖЕЛ) и ее составляющие: резервный объем выдоха (РОВд) и емкость вдоха (Евд). ЖЕЛ – максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть или выдохнуть - является основным показателем, получаемым при спирометрии на фоне спокойного дыхания. Измерение ЖЕЛ может быть проведено одним из нижеследующих способов [4]:

- ЖЕЛ вдоха (ЖЕЛвд): измерение производится пациенту в расслабленном состоянии без излишней спешки, но в то же время проводящему исследование не следует умышленно сдерживать пациента. После полного выдоха делается максимально глубокий вдох.
- ЖЕЛ выдоха (ЖЕЛвыд): измерение производится в аналогичной манере из состояния максимально глубокого вдоха до полного выдоха.
- Двустадийная ЖЕЛ: ЖЕЛ определяется в два этапа как сумма емкости вдоха и резервного объема выдоха.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения жизненной емкости легких рекомендуется измерять ЖЕЛвд; если же это невозможно, то в качестве альтернативы может быть использован показатель ЖЕЛвыд. Двустадийная ЖЕЛ не рекомендуется для рутинного использования; однако ее определение иногда может быть полезным при обследовании больных с тяжелой одышкой.

С помощью маневра *форсированного выдоха* измеряют форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ) и показатели объемной скорости воздушного потока. после спокойного выдоха делать максимально глубокий вдох и сразу же после этого без паузы выдохнуть весь воздух с максимальным усилием. Пауза на высоте вдоха может вызвать «стрессовое расслабление» со снижением эластической тяги и увеличением растяжимости дыхательных путей, что ведет к уменьшению скорости выдоха [4].

Маневр ФЖЕЛ можно разделить на 3 этапа: максимальный вдох, форсированный выдох и продолжение выдоха до конца исследования [2]. Рекомендуется, чтобы исследователь сначала продемонстрировал пациенту правильное выполнение маневра.

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Все исследования легочной функции выполняются с носовым зажимом либо зажатием ноздрей пальцами, загубник спирометра следует плотно обхватить губами и зубами. После максимально глубокого вдоха (от уровня функциональной остаточной емкости) пациент должен сделать мощный выдох с максимальным усилием, продолжая его до полного опорожнения легких. Во время маневра рекомендуется словами и жестами поощрять пациента делать максимально мощный выдох и продолжать его максимально долго. В то же время следует внимательно наблюдать за пациентом во избежание нежелательных явлений, связанных с резким и глубоким выдохом (например, синкопальных состояний). Одновременно необходимо следить за графическим отражением результатов теста на дисплее спирометра, что позволяет визуально оценить качество маневра. Если пациент жалуется на головокружение или другое ухудшение самочувствия, следует сделать паузу до исчезновения нежелательных явлений или прекратить исследование. Уменьшение усилия при форсированном выдохе приводит к завышению спирометрических показателей и неправильной интерпретации результатов исследования [2].

# Подготовка к спирометрии

Перед началом исследования рекомендуется:

1) проверить калибровку спирометра;

2) задать пациенту вопросы о недавнем курении перед исследованием, имеющихся заболеваниях, использовании лекарственных препаратов, которые могут повлиять на результаты;

3) измерить рост и вес пациента;

4) внести данные о пациенте в спирометр;

5) правильно усадить пациента перед спирометром: пациент должен сидеть с прямой спиной и слегка приподнятой головой. Спирометрию рекомендуется выполнять в положении пациента сидя в кресле с подлокотниками, но без колесиков. Если особые обстоятельства требуют проведения исследования в положении пациента стоя или каком-либо другом, это должно отражаться в протоколе исследования.

6) объяснить и показать пациенту, как правильно выполнить дыхательный маневр;

7) при наличии у пациента съемных зубных протезов не рекомендуется снимать их перед исследованием, чтобы не нарушать геометрию ротовой полости. Однако иногда плохо установленные протезы не позволяют пациенту герметично обхватывать загубник и становятся причиной утечки воздуха; в этой ситуации рекомендуется повторить дыхательный маневр после снятия протезов [2].

Курение пациента должно быть исключено как минимум за 1 час, употребление алкоголя – за 4 ч до исследования, значительные физические нагрузки – за 30 мин до исследования. Одежда пациента не должна стягивать грудную клетку и живот. В течение 2 ч перед исследованием не рекомендуется обильный прием пищи [3].

## *Подготовка к исследованию:*

- исследование проводится натощак или не ранее, чем за 2 часа после легкого завтрака;
- перед исследованием необходим отдых в положении сидя в течение 15 мин;
- рекомендуют воздержаться перед исследованием от курения и употребления крепкого чая и кофе;
- если перед спирографией пациент принимал назначенные врачом лекарственные препараты, действующие на дыхательную систему, их отменяют за 6—24 ч до момента проведения спирографии;
- одежда должна быть свободной, не стесняющей движения грудной клетки при форсированном дыхании.

***Длительность процедуры:*** 15-20 минут.

# Критерии качества спирометрии

*Начало исследования.* Начало теста (нулевая точка, от которой начинается измерение всех временных параметров спирометрии) определяется методом обратной экстраполяции. Согласно этому методу, нулевая точка – это точка пересечения касательной линии к кривой объем-время до горизонтальной оси (рис. 2). Объем экстраполяции не должен превышать 5% от ФЖЕЛ, или 0,150 л [2]. Увеличение объема экстраполяции происходит при медленном начале маневра форсированного выдоха.

*Завершение исследования.* Для оценки достаточного экспираторного усилия пациента и определения момента завершения теста рекомендуется использовать 2 критерия:

- 1) пациент не может продолжать выдох. Несмотря на активную словесную стимуляцию продолжать выдох как можно дольше пациент может прекратить дыхательный маневр в любой момент, особенно при появлении дискомфортных ощущений.
- 2) объем на кривой объем-время перестает меняться ( $<0,025$  л за  $\geq 1$  сек) (кривая достигает плато), при этом длительность выдоха у детей от 5 до 10 лет не менее 3 сек, а у детей старше 10 лет и у взрослых не менее 6 сек. У пожилых пациентов с выраженной бронхиальной обструкцией для достижения плато нередко требуется больше 6 сек, однако даже в этой ситуации не рекомендуется продолжать выдох больше 15 сек. С другой стороны, плато может быть достигнуто слишком рано даже при продолжительности форсированного выдоха более 6 сек, если пациент перекрывает дыхательные пути надгортанником [2].

# Критерии качества спирометрии

При несоблюдении критериев завершения теста полученные результаты не могут расцениваться как приемлемые. В то же время раннее завершение теста не является поводом для полного исключения результатов данного маневра из анализа; показатель  $ОФВ_1$ , полученный в маневре с ранним завершением выдоха, вполне приемлем.

*Кашель* не должен прерывать дыхательный маневр. Кашель в первую секунду форсированного выдоха влияет на величину объема форсированного выдоха за первую секунду ( $ОФВ_1$ ).

*Утечка воздуха из ротовой полости.* При неплотном прилегании губ к загубнику возникает утечка воздуха из ротовой полости, что приводит к занижению спирометрических показателей. Некоторым пациентам со слабостью мышц, перенесшим мозговую инсульт или просто пожилого возраста трудно поддерживать герметичный обхват загубника губами в течение всего исследования; в таких ситуациях рекомендуется, чтобы пациент дополнительно фиксировал губы вокруг загубника пальцами рук. Иногда причиной утечки могут быть съемные зубные протезы; в этом случае рекомендуется проводить исследование со снятыми протезами.

*Обструкция загубника языком* возникает, если язык попадает перед загубником.

Для получения воспроизводимых результатов необходимо получить не менее трех технически удовлетворительных маневра, соответствующих перечисленным критериям приемлемости (рис. 3).

# Критерии качества спирометрии

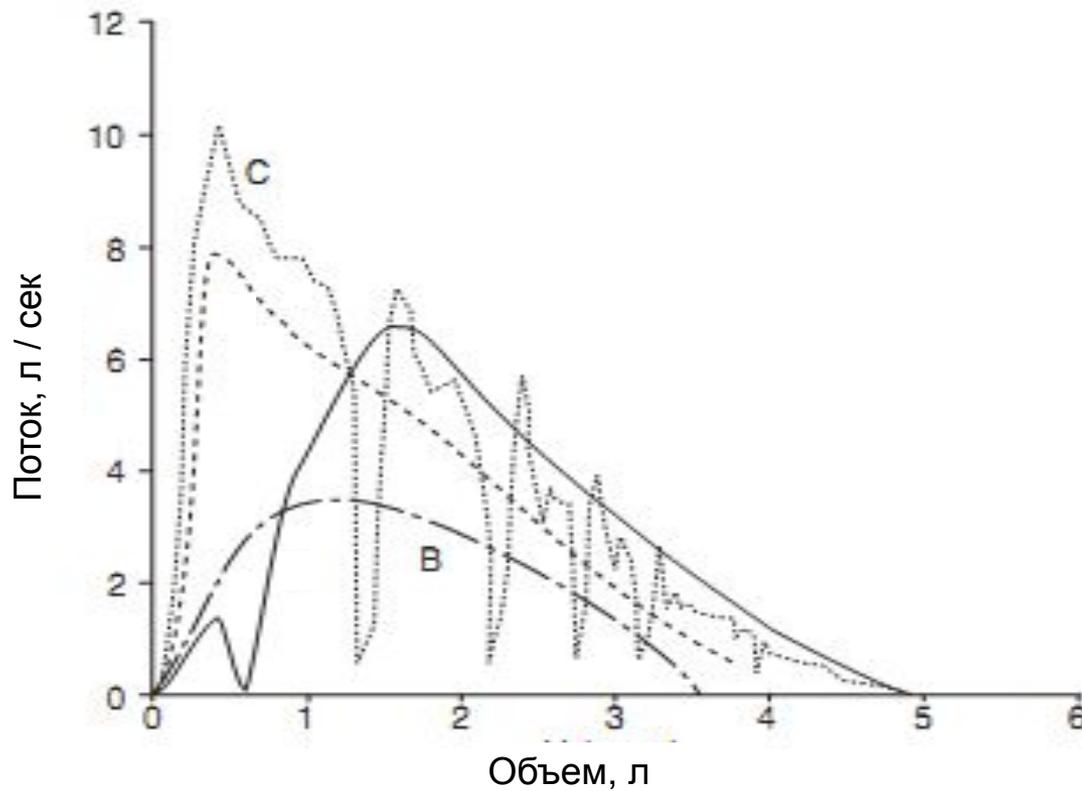


Рис. 3. Наиболее частые ошибки при выполнении маневра форсированного выдоха  
А – медленное начало, Б – недостаточное усилие, В – кашель, Г – ранее завершение выдоха [6].

# Критерии качества спирометрии

*Воспроизводимость дыхательных маневров.*

- разница между двумя наибольшими ФЖЕЛ  $\leq 150$  мл;
- разница между двумя наибольшими ОФВ<sub>1</sub>  $\leq 150$  мл;

Если абсолютные значения ФЖЕЛ не превышают 1 л, допустимая разница между маневрами должна составлять не более 100 мл.

Если разница между выполненными технически приемлемыми маневрами не соответствует этим критериям, рекомендуется провести дополнительные маневры, однако нежелательно выполнять за одно исследование более 8 маневров. Иногда между маневрами пациенту следует дать отдохнуть в течение нескольких минут.

## Показатели спирометрии

- **Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ)**  
ФЖЕЛ – максимальный объем воздуха, который человек может выдохнуть после максимально глубокого вдоха. ФЖЕЛ снижается при многих видах патологии, а повышается только в одном случае – при акромегалии. При этом заболевании все остальные легочные параметры остаются нормальными.

# Причины снижения ФЖЕЛ

1. Патология легочной ткани (резекция легких, ателектаз); состояния, при которых уменьшается растяжимость легочной ткани (фиброз, застойная сердечная недостаточность). При обструктивных легочных заболеваниях ФЖЕЛ также снижается за счет замедления опорожнения легких.
2. Патология плевры и плевральных полостей (утолщение плевры, плевральный выпот, опухоли плевры с распространением на легочную ткань).
3. Уменьшение размеров грудной клетки. Легкие не могут расправиться и спадаться в полной мере, если движения грудной стенки (в том числе брюшного компонента) ограничены.
4. Нарушение нормальной работы дыхательных мышц, в первую очередь диафрагмы, межреберных мышц и мышц брюшной стенки, которые обеспечивают расправление и опустошение легких.

Таким образом, нетрудно установить причину снижения ФЖЕЛ в каждом конкретном случае.

Следует помнить, что ФЖЕЛ - это максимальная форсированная экспираторная жизненная емкость легких, у больных с обструктивными заболеваниями легких ФЖЕЛ может быть существенно меньше, чем ЖЕЛ, измеренная при спокойном дыхании.

При тяжелых обструктивных заболеваниях легких время выдоха может превышать 15-20 секунд, а экспираторный поток в конце маневра может быть настолько мал, что спирометр с трудом воспринимает его. Выполнение длительного форсированного выдоха может быть затруднительным и вызывать неприятные ощущения у пациента. Во избежание этих явлений вместо ФЖЕЛ в последнее время используют показатель  $ОФВ_6$  – объем воздуха, выдыхаемого за 6 секунд. У здоровых лиц  $ОФВ_6$  ненамного меньше ФЖЕЛ. Кроме того,  $ОФВ_6$  лучше воспроизводим, чем ФЖЕЛ. Отношение  $ОФВ_1/ОФВ_6$  отражает степень ограничения воздушного экспираторного потока и позволяет прогнозировать снижение  $ОФВ_1$  у курильщиков. В отличие от маневра ФЖЕЛ, более короткий маневр  $ОФВ_6$ , не требующий достижения плато на кривой объем-время, снижает риск развития синкопальных состояний у тяжелых больных во время исследования и уменьшает утомляемость как пациента, так и медицинского персонала. Вместе с тем должные величины  $ОФВ_6$  не вполне разработаны, поэтому пока рекомендуется по-прежнему оперировать традиционным ФЖЕЛ.

# Объем форсированного выдоха за 1 секунду ( $ОФВ_1$ )

- Из всех показателей наиболее важным является максимальный объем воздуха, который человек может выдохнуть за первую секунду маневра ФЖЕЛ –  $ОФВ_1$ . Он относительно независим от усилия, приложенного во время маневра выдоха, и отражает свойства легких и дыхательных путей.  $ОФВ_1$  – наиболее воспроизводимый, часто используемый и самый информативный показатель спирометрии.
- При снижении скорости воздушного потока, например, при эмфиземе, ХОБЛ, бронхиальной астме, муковисцидозе,  $ОФВ_1$  снижается соответственно тяжести обструкции. ФЖЕЛ при этом также уменьшается, но, как правило, в меньшей степени. При рестриктивных нарушениях (ограничении расправления легких), например при легочном фиброзе,  $ОФВ_1$  также снижается. Возникает вопрос: как различить, что явилось причиной снижения  $ОФВ_1$  - рестрикция или обструкция? Для ответа на этот вопрос необходимо вычислить соотношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ .

# Соотношение $ОФВ_1/ФЖЕЛ$

- Важным спирометрическим показателем является отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ , которое обычно выражается в процентах и является модификацией индекса Тиффно ( $ОФВ_1/ЖЕЛ_{ВД}$ , где  $ЖЕЛ_{ВД}$  – максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после полного спокойного выдоха). Объем воздуха, выдыхаемый за первую секунду, представляет собой достаточно постоянную долю  $ФЖЕЛ$  независимо от размера легких. У здорового человека это соотношение составляет 75–85%, но с возрастом скорость выдоха снижается в большей степени, чем объем легких, и отношение несколько уменьшается. У детей, наоборот, скорости воздушных потоков высокие, поэтому соотношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  у них, как правило, выше – около 90%. При обструктивных нарушениях отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  снижается, поскольку  $ОФВ_1$  снижается соответственно тяжести обструкции.  $ФЖЕЛ$  при этом также уменьшается, но, как правило, в меньшей степени. При легочной рестрикции без обструктивных изменений  $ОФВ_1$  и  $ФЖЕЛ$  снижаются пропорционально, следовательно, их соотношение будет в пределах нормальных величин или даже немного выше. Таким образом, при необходимости дифференцировать обструктивные и рестриктивные нарушения оценивают соотношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ .

# Другие показатели максимального эксираторного потока

$SOC_{25-75}$  – средняя объемная скорость в средней части форсированного эксираторного маневра между 25% и 75% ФЖЕЛ. Этот показатель можно измерить непосредственно по спирограмме либо рассчитать по кривой поток–объем. Некоторые исследователи считают, что  $SOC_{25-75}$  более чувствителен, чем  $ОФВ_1$ , при диагностике ранних стадий бронхиальной обструкции [20], однако он имеет более широкий диапазон нормальных значений.

Максимальные объемные скорости эксираторного потока ( $МОС_{25}$ ,  $МОС_{50}$  и  $МОС_{75}$ ) на разных уровнях ФЖЕЛ (25%, 50% и 75%, соответственно) (см. рис. 1, В) не обладают высокой воспроизводимостью, подвержены инструментальной ошибке и зависят от приложенного эксираторного усилия, поэтому не играют существенной роли при определении типа и тяжести нарушений легочной вентиляции.

Пиковая объемная скорость выдоха (ПОСвд), которая также называется максимальной эксираторной скоростью – показатель, который измеряется в течение короткого отрезка времени сразу после начала выдоха и выражается либо в л/мин, либо в л/сек. ПОСвд в большей степени, чем другие показатели, зависит от усилия пациента: для получения воспроизводимых данных пациент должен в начале выдоха приложить максимум усилия. Существуют недорогие портативные приборы (пикфлоуметры) для измерения ПОСвд в домашних условиях и самоконтроля пациентами своего состояния, что получило широкое распространение у больных с бронхиальной астмой. Все эти показатели, как и  $ОФВ_1$ , могут снижаться и у больных с рестриктивными нарушениями.

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

- **Выбор результата для анализа**
- ФЖЕЛ и  $ОФВ_1$  выбирают не менее чем из трех воспроизводимых технически приемлемых маневров. Результаты исследования анализируют по маневру с максимальными ФЖЕЛ и  $ОФВ_1$  [2].
- **7.2. Должные величины**
- Существуют различные таблицы и формулы для расчета должных величин показателей спирометрии. В большинстве случаев исследования по разработке должных величин ограничиваются уравнениями расчета средних значений, которые получают при обследовании здоровых некурящих людей. Практика использования 80% от должных значений в качестве фиксированного значения для нижней границы нормальных значений (НГН) ФЖЕЛ и  $ОФВ_1$  приемлема у детей, но может приводить к существенным ошибкам при интерпретации функции легких у взрослых. Использование 70% в качестве нижней границы нормы для отношения  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  приводит к значительному числу ложноположительных результатов (гиподиагностике ХОБЛ) у мужчин в возрасте старше 40 лет и у женщин старше 50 лет и к гипердиагностике ХОБЛ у пожилых лиц, никогда не куривших и не имеющих характерных клинических симптомов. Как известно, с возрастом соотношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  снижается, поэтому некоторые авторы для диагностики ХОБЛ у людей старше 70 лет рекомендуют использовать для  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  65% порог нормы.

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

- Для скоростных показателей НГН составляет 60% от должных значений.
- При выборе должных значений необходимо сравнить данные, получаемые с помощью выбранных уравнений должных значений, с собственными измерениями, проведенными на репрезентативной выборке здоровых лиц. Следует выбрать те уравнения должных значений, при которых у взрослых разница между измеренными и рассчитанными значениями является минимальной. У детей ориентируются на минимальную разницу логарифмов измеренных и рассчитанных значений. Чтобы быть уверенным, что выбранные должные значения приемлемы, необходимо обследовать достаточно большое число добровольцев (около 100). К сожалению, это трудновыполнимо для большинства лабораторий.
- При использовании должных величин следует избегать экстраполяции за указанный диапазон роста и возраста. Если все же возраст или рост пациента выходят за границы популяции, для которой были разработаны должные значения, то в интерпретации необходимо указать, что была проведена экстраполяция.

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

- Должные величины зависят от антропометрических параметров (в основном от роста), пола, возраста, расы. Чем выше человек, тем больше его легкие и протяженность дыхательных путей и, следовательно, максимальная экспираторная скорость. При вычислении нормальных значений для людей с кифосколиозом вместо роста в формулу следует поставить размах рук. У женщин объем легких меньше, чем у мужчин такого же роста. С возрастом эластичность легочной ткани снижается, в результате происходит снижение объема и скорости выдоха. Вместе с тем следует принимать во внимание и индивидуальные вариации нормы. Например, легочные заболевания могут возникать у людей с исходными показателями легочных объемов и потоков выше среднего уровня и, несмотря на снижение их на фоне заболевания относительно исходных значений, они по-прежнему могут оставаться в пределах, нормальных для популяции в целом.

# Анализ результатов спирометрии

- Интерпретация результатов спирометрии строится на анализе основных спирометрических параметров ( $ОФВ_1$ , ЖЕЛ,  $ОФВ_1/ЖЕЛ$ ).
- Интерпретация будет более точной при учете клинического диагноза, данных рентгенограммы грудной клетки, концентрации гемоглобина и любых подозрений на нейро-мышечные заболевания или обструкцию верхних дыхательных путей.

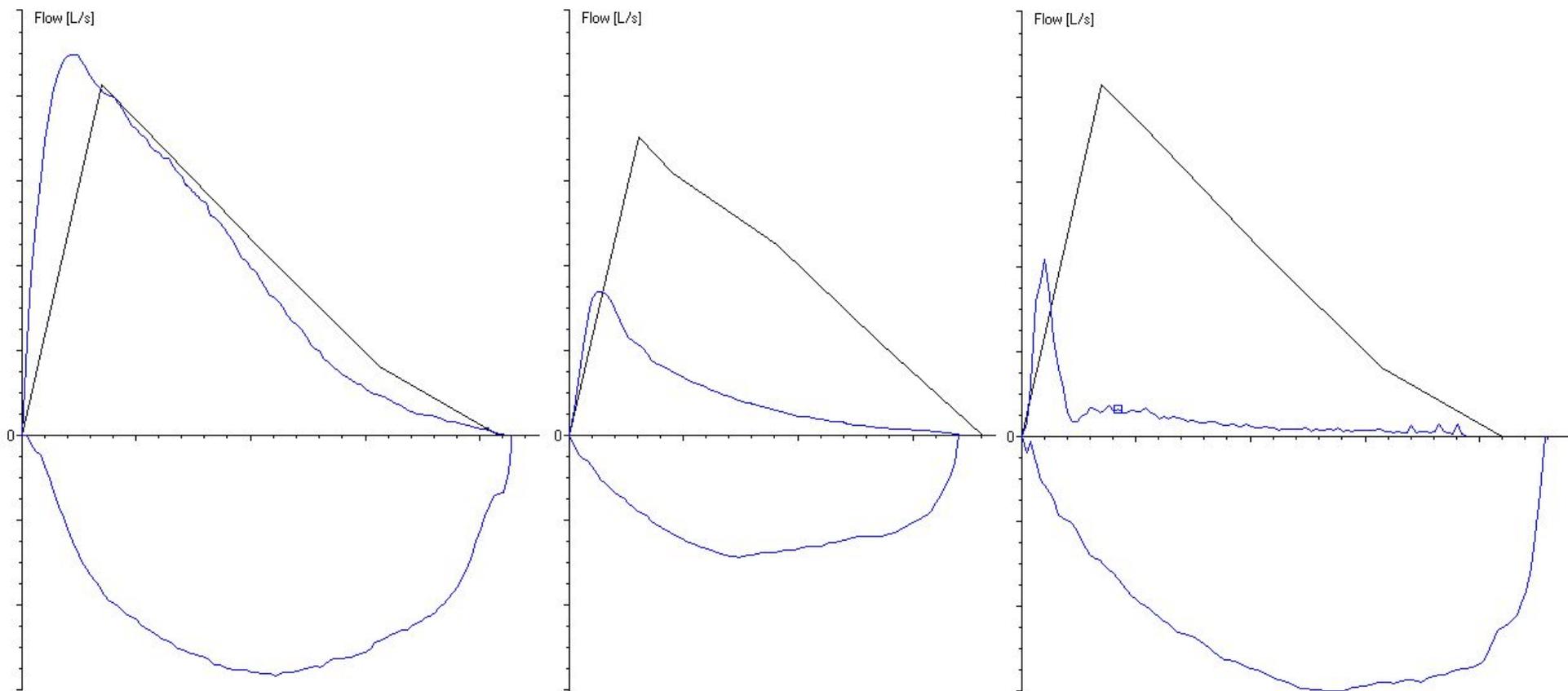
# нарушения

- Наиболее частое показание к проведению спирометрического исследования – выявление обструкции дыхательных путей и оценка ее выраженности. Обструктивный тип вентиляционных нарушений характеризуется снижением соотношения  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  при нормальной  $ФЖЕЛ$ .
- Патофизиологической основой снижения максимального экспираторного потока при бронхиальной обструкции является повышение сопротивления дыхательных путей, однако при недостаточном усилии, приложенном пациентом во время выполнения маневра  $ФЖЕЛ$ , максимальный экспираторный поток также будет снижен. Дифференцировать эти ситуации можно при количественной оценке усилия пациента, измерив плевральное давление (с помощью внутрипищеводного баллона)

# нарушения

- Ранними признаками обструктивных нарушений вентиляции у пациентов без клинических проявлений, возможно, могут служить изменение формы экспираторной кривой поток-объем и снижение скоростных показателей, измеренных при низких легочных объемах во время теста ФЖЕЛ ( $\text{СОС}_{25-75'}$ ,  $\text{МОС}_{50'}$ ,  $\text{МОС}_{75}$ )
- При обструктивных нарушениях происходит снижение экспираторных потоков, и кривая пациента располагается под должной кривой

# нарушения



а)                      б)                      в)

Рисунок 4. Кривые поток-объем у больных с обструктивными заболеваниями органов дыхания: а)-б) бронхиальной астмой и в) эмфиземой легких.

# нарушения

- Кроме того, обычное линейное снижение скорости потока на кривой поток-объем нарушается, ее нисходящее колено приобретает вогнутую форму. Нарушение линейности нижней половины кривой поток-объем является характерной чертой обструктивных нарушений вентиляции и предполагает наличие бронхиальной обструкции, даже когда ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> не выходят за пределы нормальных значений. Выраженность изменений формы кривой зависит как от тяжести обструктивных нарушений, так и от нозологической формы. Причиной этого чаще всего является сужение просвета дыхательных путей при бронхиальной астме, ХОБЛ, эмфиземе, муковисцидозе, сдавление крупных бронхов и трахеи опухолью извне, стенозирование эндофитно растущей опухолью, рубцовой тканью, инородным телом.
- При подозрении на бронхиальную астму следует провести бронходилатационный тест, а при необходимости - бронхоконстрикторный тест. Для оценки выраженности эмфиземы следует исследовать общую емкость легких и диффузионную способность легких.

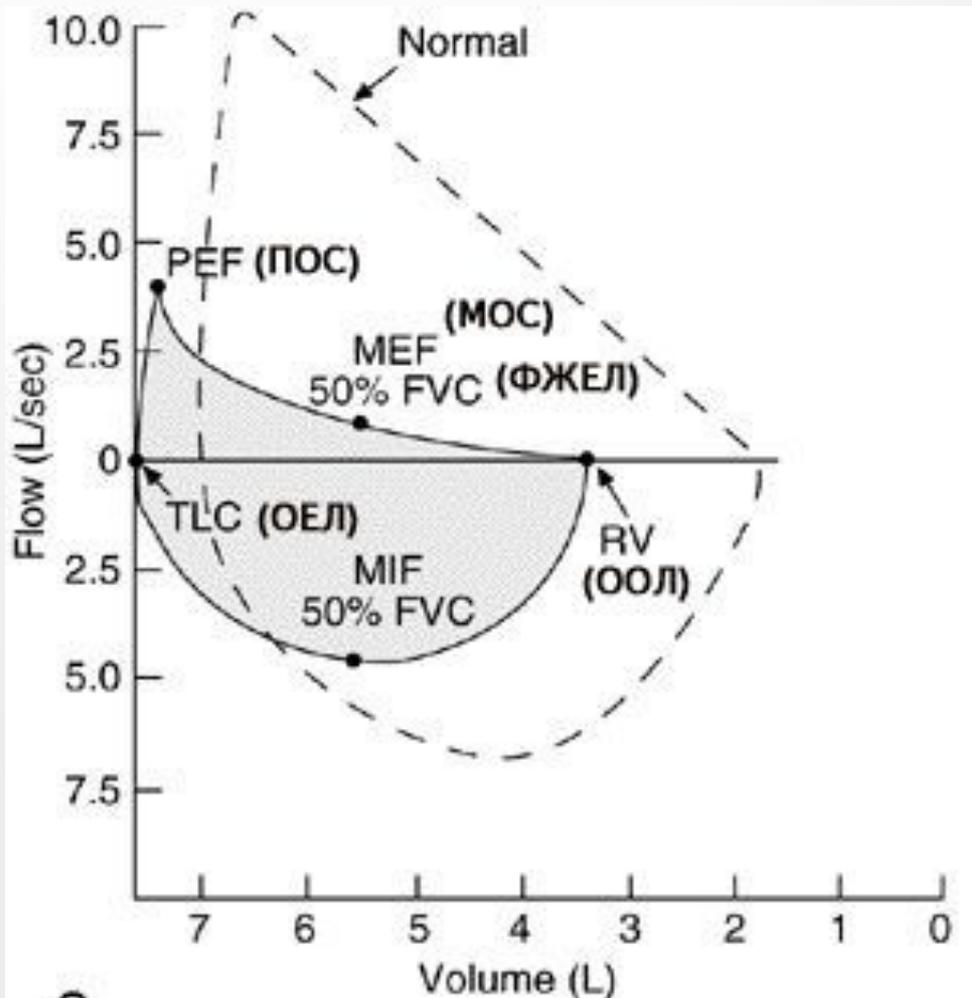
# нарушения

- Особое внимание следует уделить синхронному снижению  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ, при котором отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  остается нормальным или почти нормальным. Такие изменения спирограммы чаще всего наблюдаются, если пациент делает вдох или выдох не полностью или если поток настолько медленный, что для выдыхания всего воздуха из легких требуется слишком большая продолжительность выдоха. В таком случае дистальный отдел кривой поток-объем будет вогнутым ( $МОС_{75}$  снижена). Измерение ЖЕЛ (инспираторной или экспираторной) поможет более точно оценить отношение  $ОФВ_1$  к максимальному объему легких.
- Другая возможная причина одновременного снижения  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ - коллапс мелких дыхательных путей в начале выдоха. Если такие изменения наблюдаются при выполнении маневра с максимальным усилием, достоверный прирост  $ОФВ_1$  после ингаляции бронхолитика подтвердит наличие экспираторного коллапса. Достоверное увеличение  $ОФВ_1$ , ФЖЕЛ или обоих параметров после ингаляции бронхолитика свидетельствует об обратимости обструктивных нарушений.

# Обструктивные изменения

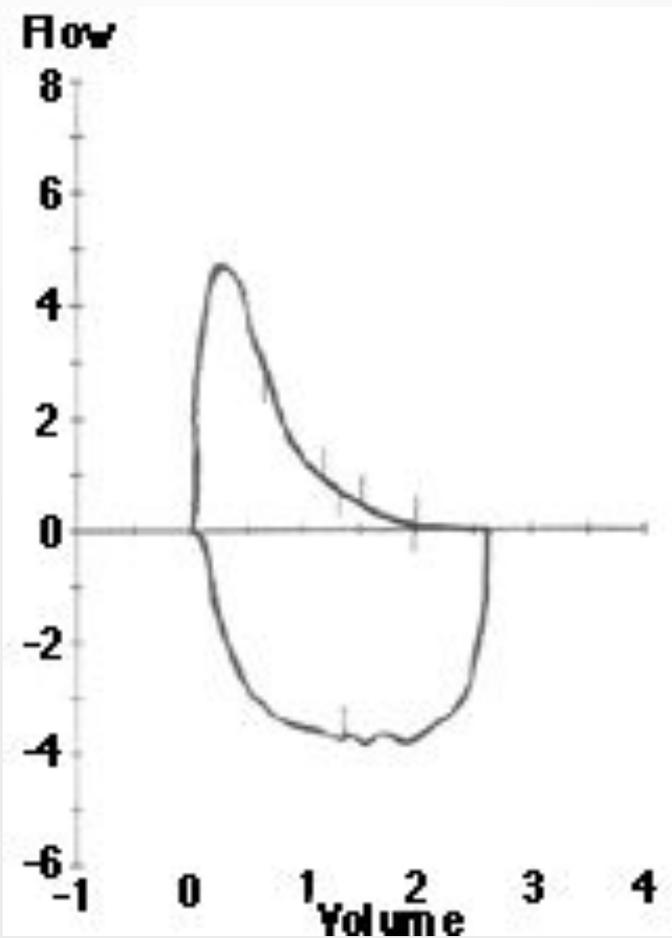
## Обструкция при ХОБЛ

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

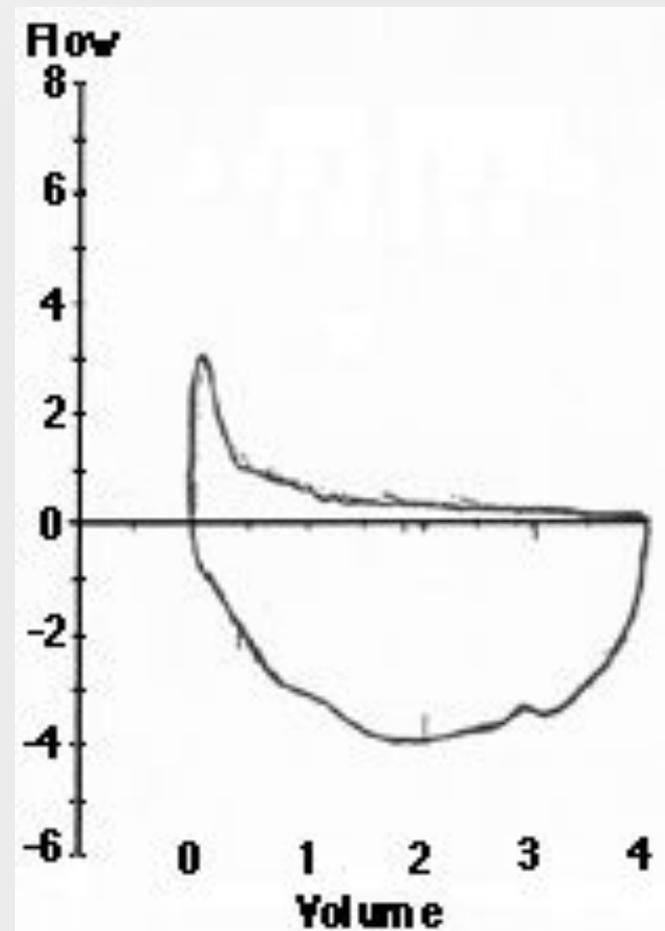


Обструктивная болезнь легких приводит к изменению петли поток-объем. На кривой выдоха, как и в норме, имеется пик максимальной скорости потока (ПОС), но затем кривая сходит более быстро, чем в норме, принимая вогнутую форму. Это приводит к быстрому падению МОС<sub>25-75</sub>. По мере нарастания обструкции 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.

## Умеренная обструкция



## Тяжелая обструкция



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.

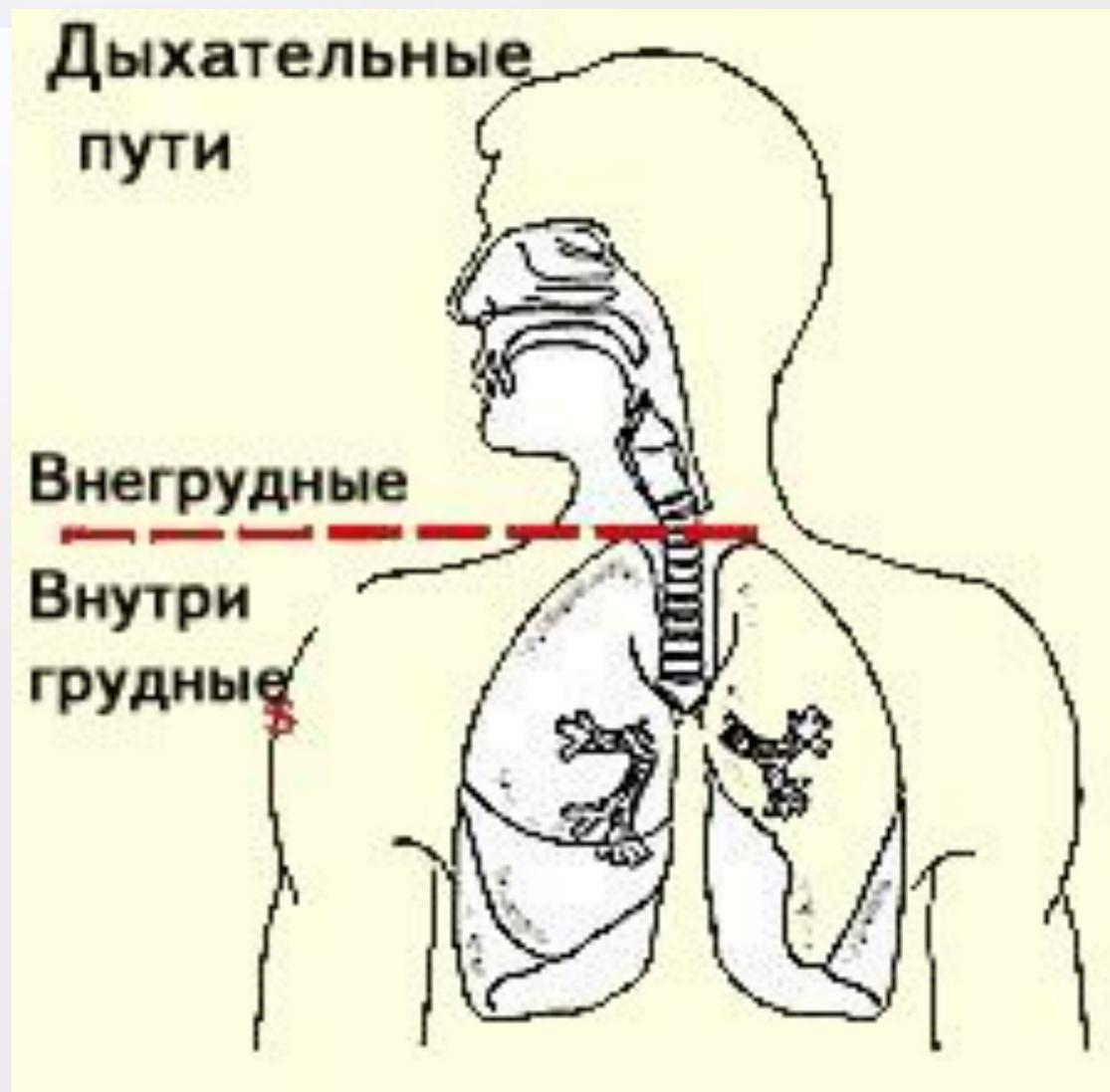
Во многих клиниках принято по показателю ОФВ1 подразделять степени обструкции.

<b>ОФВ1</b>	<b>&gt; 80% должного</b>	<b>норма</b>
	<b>65 - 80%</b>	<b>мягкая</b>
	<b>50 - 65%</b>	<b>умеренная</b>
	<b>&lt; 50%</b>	<b>тяжелая</b>

Для диагностики степени обратимости обструктивной дыхательной недостаточности рекомендую широко использовать ингаляционную пробу с сальбутамолом. Ее результаты позволяют выделить 3 варианта обратимости обструкции

- обратимую: увеличение ОФВ1 на 15 и > % от исходной;
- частично обратимую: увеличение ОФВ1 на 6 - 14% от исходной;
- необратимую: прирост показателя не превышает 5% от исходного.

# Обструкция верхних дыхательных путей



# *Обструкция верхних дыхательных путей*

- Форма максимальной кривой поток-объем существенно отличается от должной при обструкции верхних дыхательных путей. Своеобразная форма кривой поток-объем при поражениях верхних дыхательных путей обусловлена различным воздействием динамических факторов на экстра- и интраторакальные дыхательные пути. На экстраторакальные дыхательные пути влияет атмосферное давление, на интраторакальные – внутриплевральное. Разница между внешним давлением (атмосферным или плевральным) и давлением внутри дыхательных путей называется трансмуральным давлением. Положительное трансмуральное давление создает компрессию и уменьшает просвет дыхательных путей. Наоборот, отрицательное трансмуральное давление поддерживает дыхательные пути открытыми, увеличивая их просвет. Если обструкция возникает только во время вдоха либо выдоха, она считается переменной. Если воздушные потоки снижены во время обеих фаз дыхания, обструкция называется фиксированной.

Анализируя форму петли поток-объем можно выявить обструкцию верхних дыхательных путей.

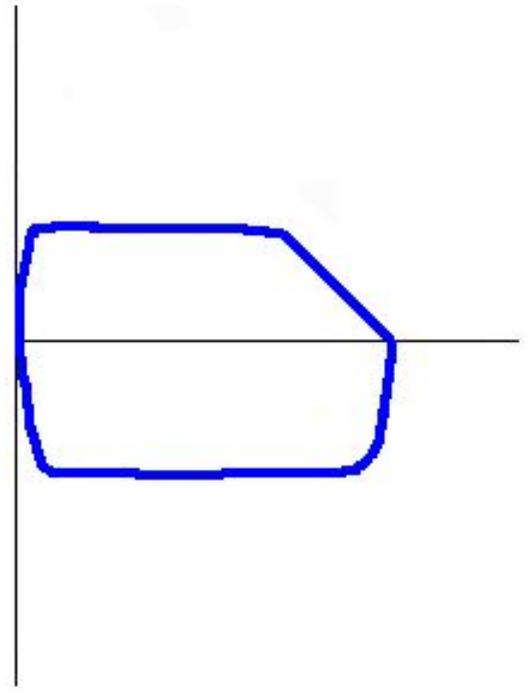
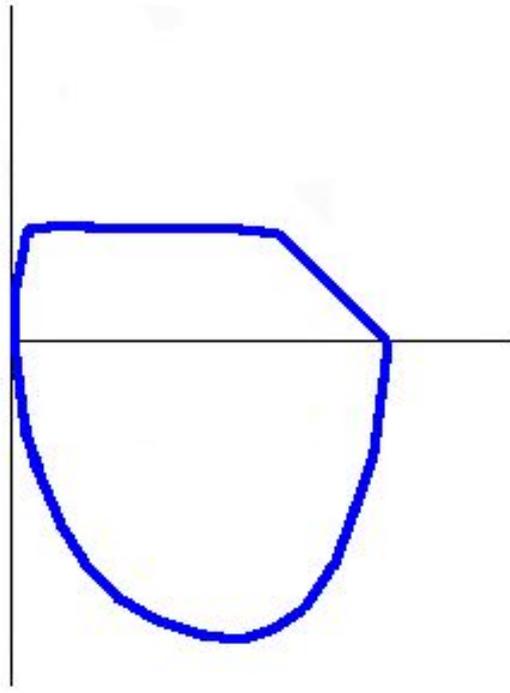
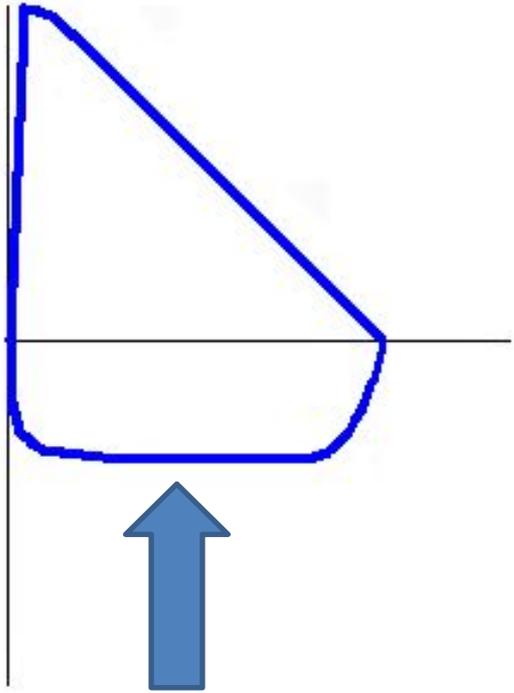
Различают три функциональных типа обструкции верхних ДП:

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

## обструкция

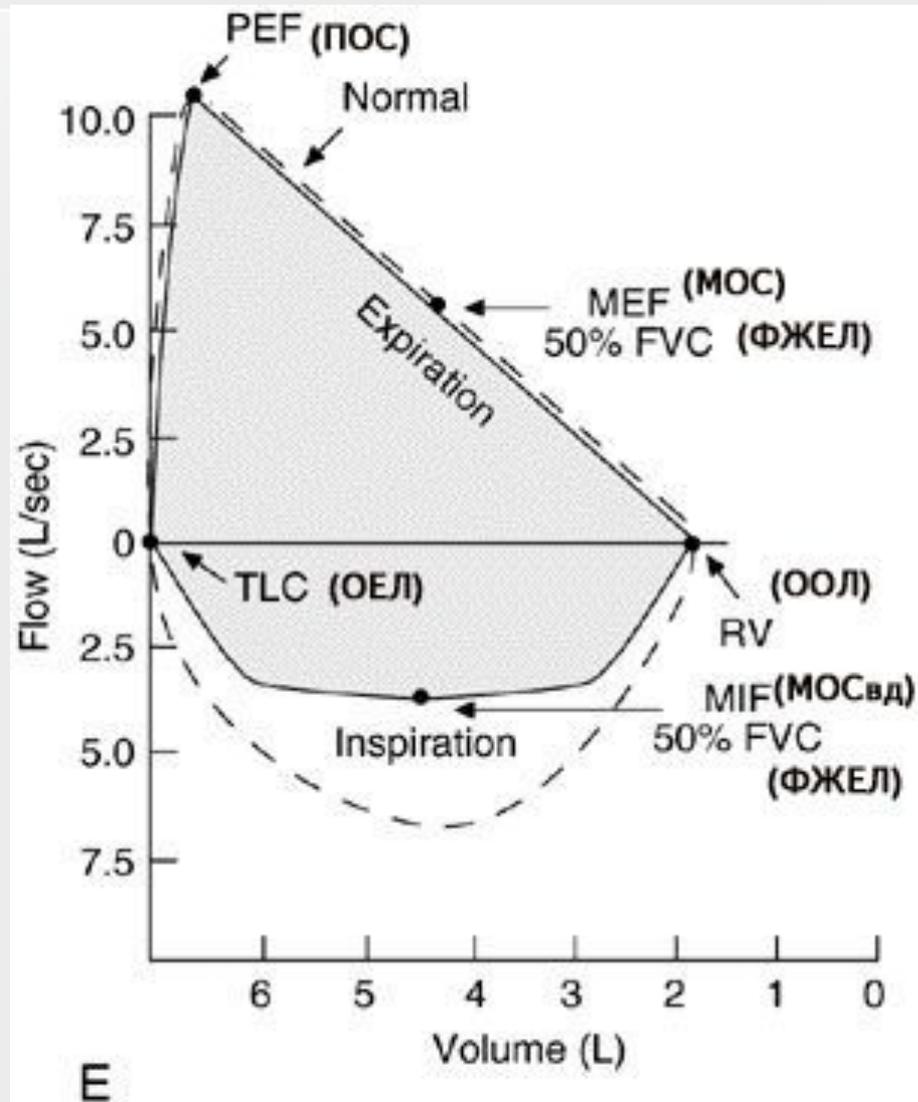
- (например, при параличе голосовых связок, увеличении щитовидной железы) вызывает избирательное ограничение воздушного потока при выдохе. Во время выдоха давление внутри дыхательных путей увеличивается и превышает атмосферное, воздействующее на зону поражения снаружи, поэтому экспираторный поток меняется мало. Во время вдоха наблюдается обратная картина: атмосферное давление значительно превышает давление в дыхательных путях, что приводит к снижению инспираторных потоков. Изменения инспираторных потоков хорошо видны на кривой поток–объем (рис. 5, А).

обструкция



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

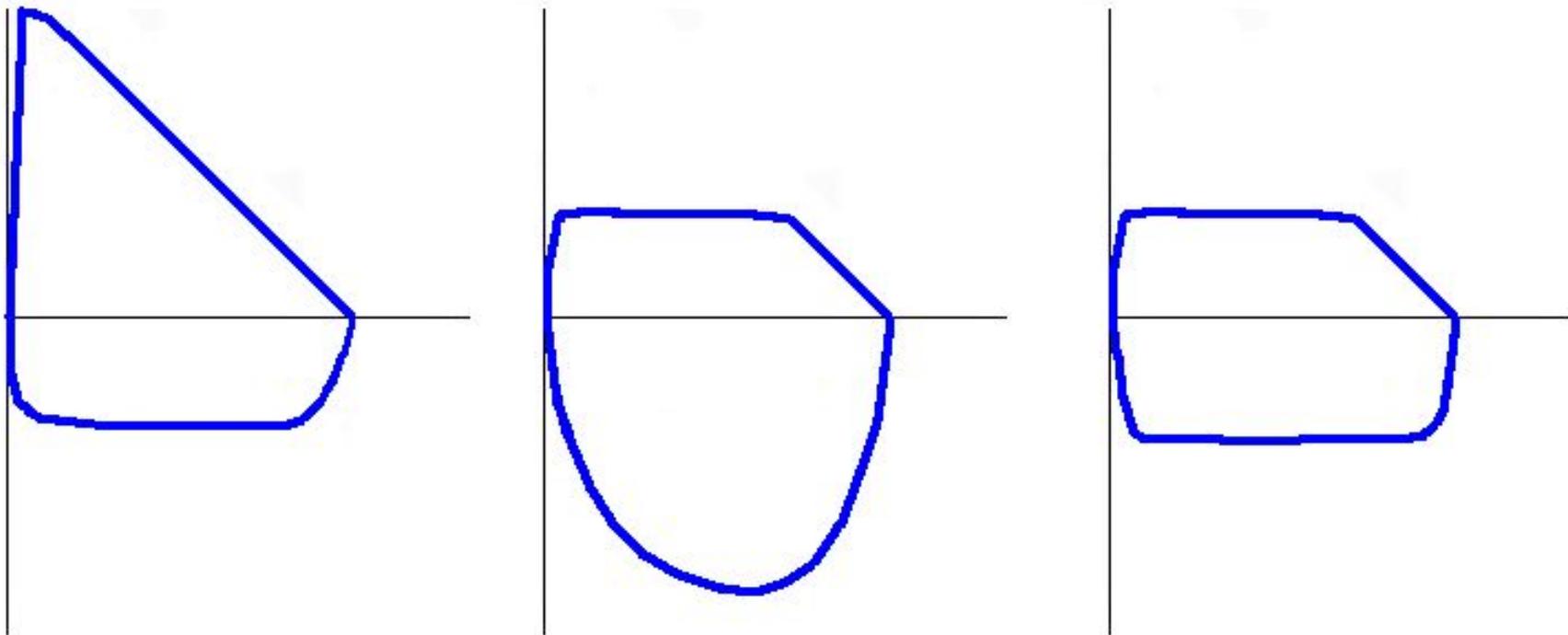
Когда парализована одна голосовая связка, она пассивно перемещается в соответствии с градиентом давления вдоль надгортанника. Во время форсированного вдоха она смещается внутрь, что приводит к снижению инспираторного потока и появлению плато. Во время форсированного выдоха парализованная голосовая связка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



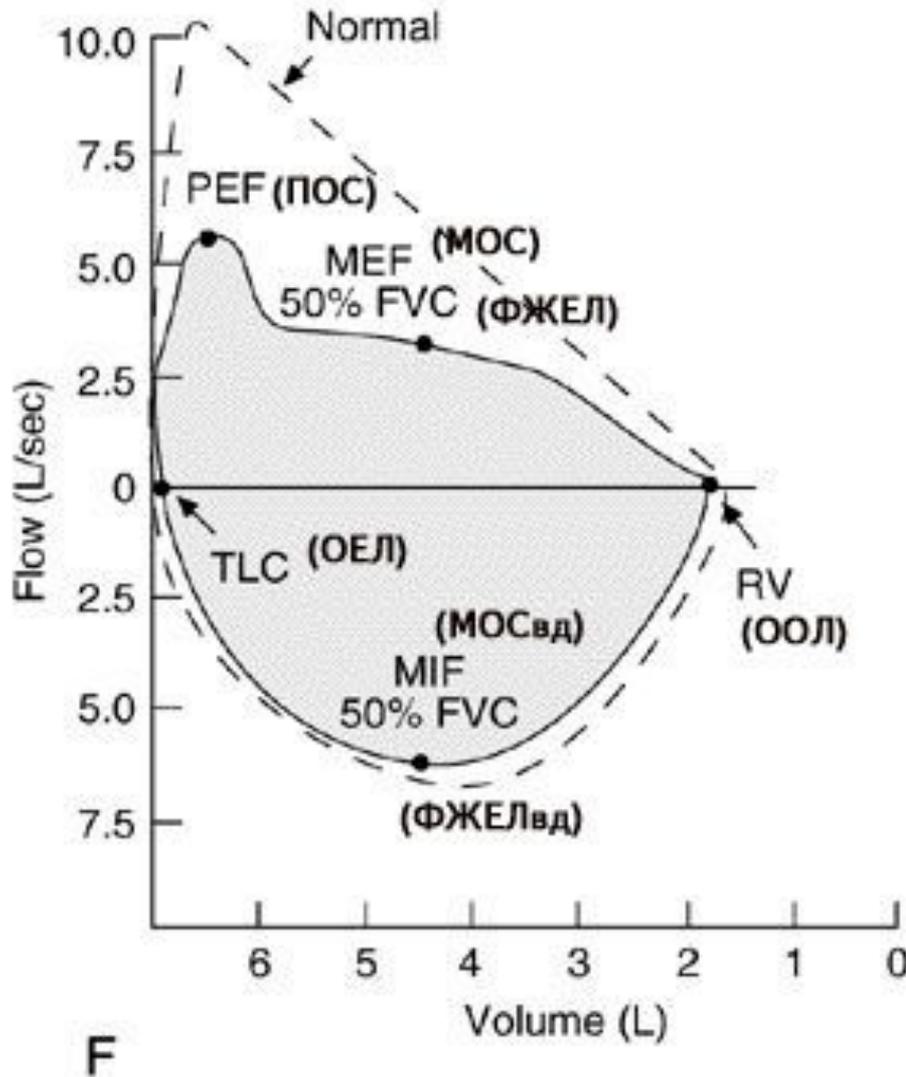
## *переменной интраторакальной обструкции*

- При (например, при опухоли нижнего отдела трахеи (ниже яремной ямки грудины), трахеомалации, гранулематозе Вегенера или редицивирующем полихондрите) высокое внутриплевральное давление во время форсированного выдоха превышает давление в дыхательных путях, что приводит к выраженному сужению их просвета с критическим снижением экспираторных потоков. Инспираторные потоки могут мало меняться, если плевральное давление более отрицательное, чем давление в дыхательных путях. Характерная кривая поток–объем представлена на рисунке 5, Б.

# Переменная интраторакальной обструкция



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

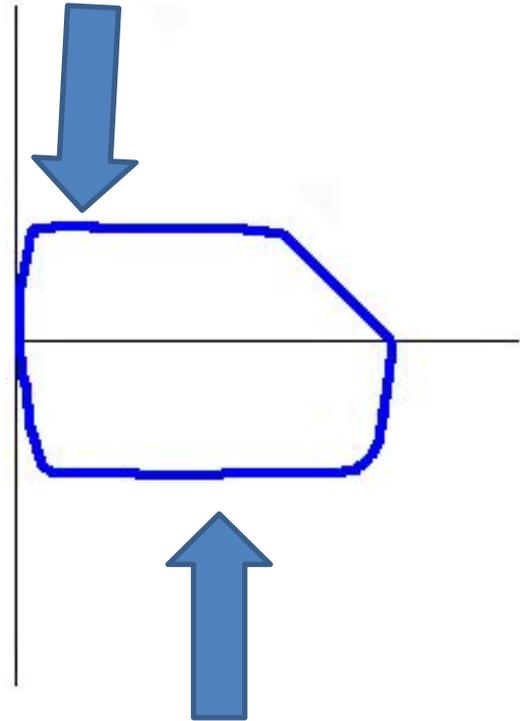
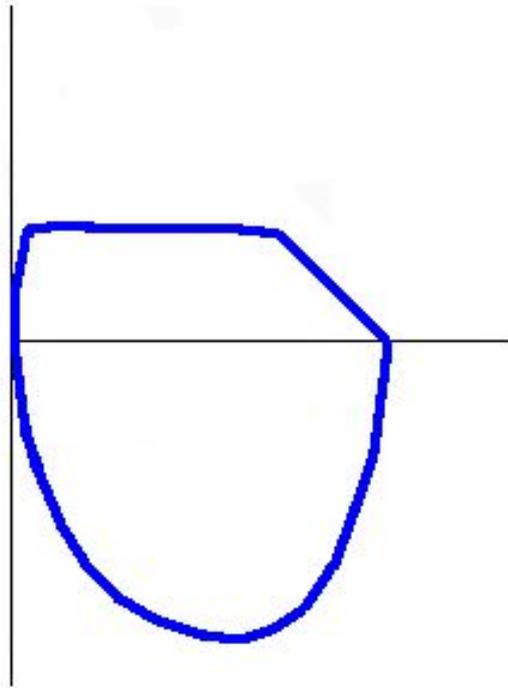
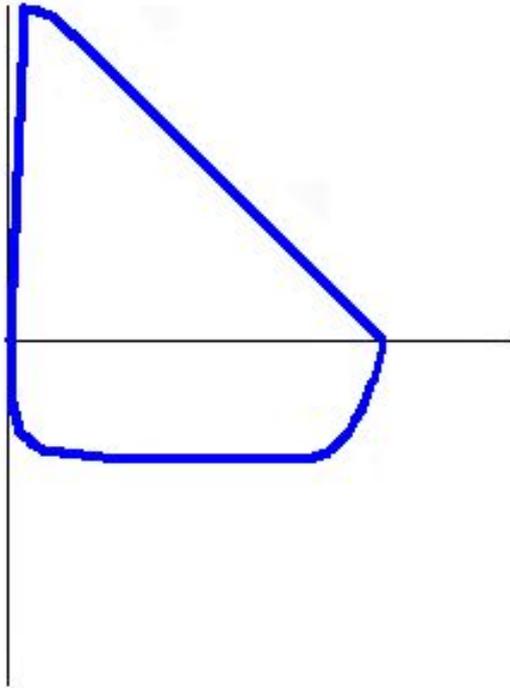


Во время форсированного вдоха отрицательное плевральное давление поддерживает трахею в открытом состоянии, поэтому объемная скорость потока и форма петли не изменяются по сравнению с нормой.

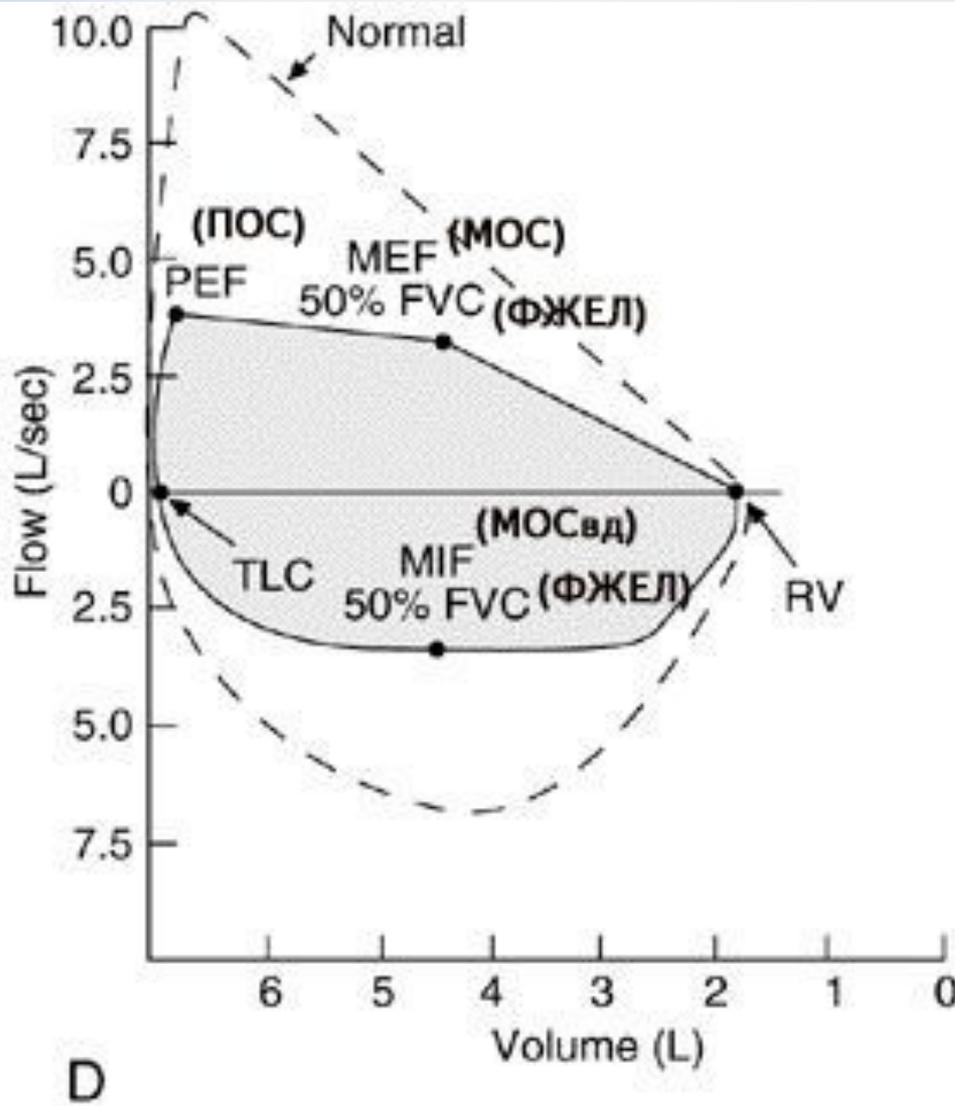
## Фиксированной обструкции

- При *фиксированной обструкции* (например, при опухолях на любом уровне верхних дыхательных путей или параличе голосовых связок с фиксированным стенозом, рубцовых стриктурах) инспираторные и экспираторные потоки нарушаются почти в одинаковой степени. Локализация поражения не имеет значения, поскольку размеры трахеи при этом не зависят от давления внутри и снаружи дыхательных путей (рис.5, В).
- Для характеристики вышеуказанных поражений верхних дыхательных путей используются различные показатели, например, соотношение инспираторных и экспираторных потоков на уровне 50% жизненной емкости ( $\text{МОС}_{50\text{ВД}} / \text{МОС}_{50\text{ВЫД}}$ , в норме это соотношение приблизительно равно 1,5). Это соотношение наиболее значительно меняется при переменной экстраторакальной обструкции и неспецифично для другой патологии (рис.5). При подозрении на изолированную обструкцию верхних дыхательных путей следует подтвердить диагноз эндоскопически или рентгенологически.

# фиксированная обструкция



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



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.

# Классификация тяжести обструктивных вентиляционных нарушений

- Было показано, что у лиц некоторых профессий ОФВ<sub>1</sub> и ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ являются независимыми факторами риска летального исхода, в том числе от заболеваний органов дыхания. Кроме того, мета-анализ шести обзоров, посвященных смертности в различных профессиональных группах в Великобритании, продемонстрировал, что существует связь между риском смерти от ХОБЛ и ОФВ<sub>1</sub>. Пациенты, ОФВ<sub>1</sub> которых при начальном обследовании<sup>1</sup> был ниже среднего значения более чем на 2 SD, по сравнению с пациентами, ОФВ<sub>1</sub> которых был не ниже 1 SD от среднего, имели в 12 раз более высокий риск смерти от ХОБЛ, в 10 раз - от неопухолевых легочных заболеваний и вдвое - от сосудистых заболеваний в течение 20-летнего периода наблюдения. Доказано, что в большинстве случаев ОФВ<sub>1</sub> коррелирует с тяжестью симптомов и прогнозом заболевания, тем не менее корреляции не позволяют точно предсказывать тяжесть и течение болезни у конкретного пациента.

# Классификация тяжести обструктивных вентиляционных нарушений

- Для оценки тяжести обструктивных нарушений в большинстве случаев используют степень отклонения  $ОФВ_1$  от должного значения (табл. 2). Эту классификацию не применяют у пациентов с обструкцией верхних дыхательных путей, когда даже слабо выраженная обструкция может быть опасна для жизни.
- Для определения тяжести обструктивных нарушений не рекомендуется использовать отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ , поскольку при прогрессировании заболевания  $ОФВ_1$  и  $ФЖЕЛ$  могут снижаться синхронно, а их соотношение останется при этом нормальным. Тем не менее, отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  помогает оценить тяжесть вентиляционных нарушений у людей с исходно большим объемом легких. В этих случаях  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  может быть очень низким (50 % и менее), а  $ОФВ_1$  будет соответствовать обструкции легкой степени.

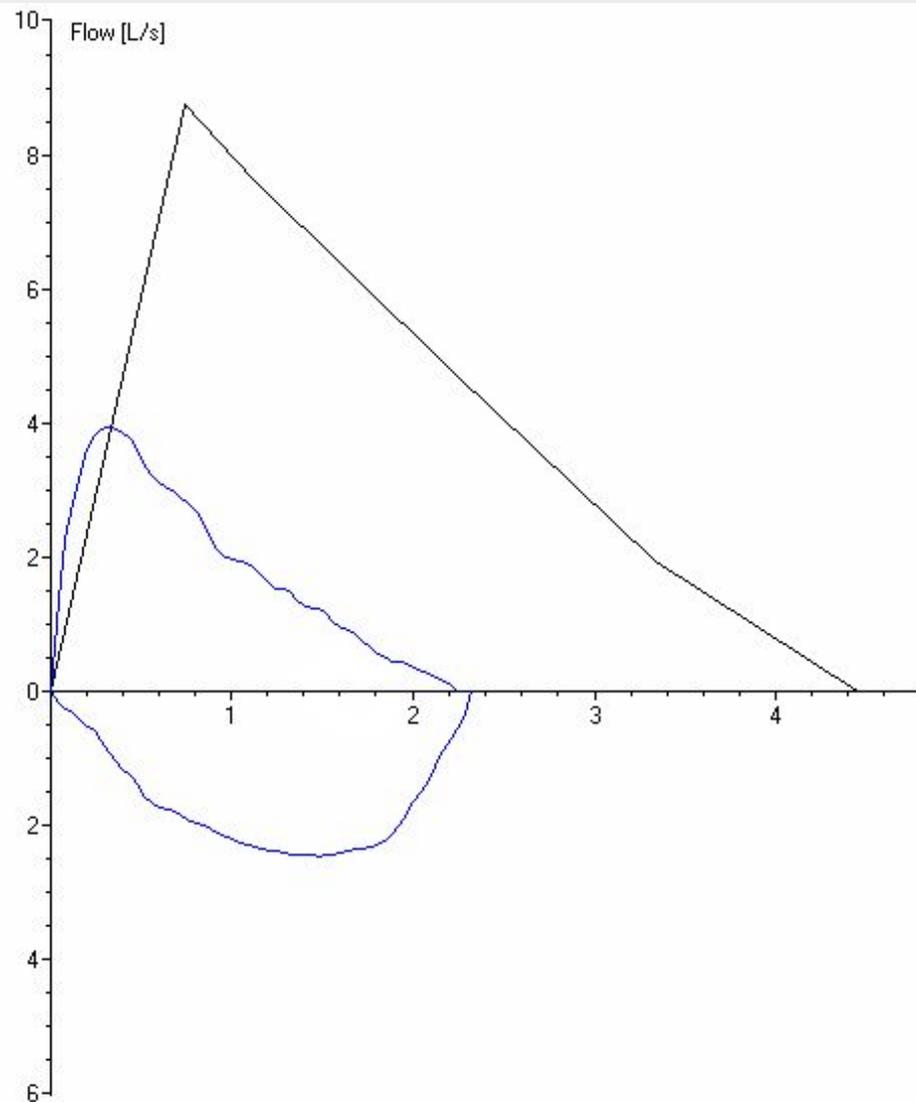
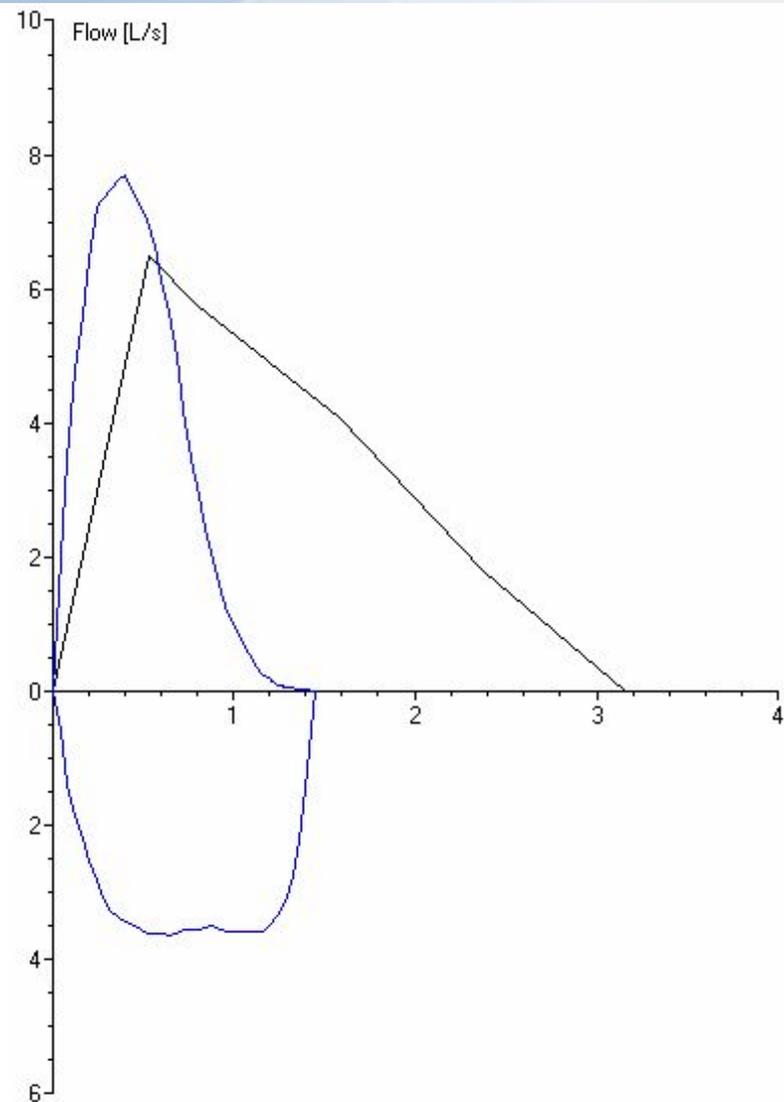
# Классификация тяжести обструктивных нарушений легочной вентиляции

<b>ОФВ<sub>1</sub>, %должн.</b>	
Легкие	>70%
Умеренные	60 – 69%
Среднетяжелые	50 – 59%
Тяжелые	35 – 49%
Крайне тяжелые	< 35%

# Рестриктивные вентиляционные нарушения

- Рестриктивные нарушения вентиляции обусловлены процессами, снижающими растяжимость легких и, следовательно, ограничивающими наполнение легких воздухом. В начале развития патологических нарушений, когда объем легких еще не снижен, скоростные показатели и отношение  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$  могут увеличиваться вследствие того, что паренхима легких оказывает большее растягивающее действие на дыхательные пути: просвет бронхов увеличивается относительно объема легких. При прогрессировании заболевания происходит уменьшение воздушности легочной ткани. Это проявляется снижением ЖЕЛ, кривая поток-объем становится высокой и узкой (рис. 6 А)

# Рестриктивные вентиляционные нарушения



Кривые поток-объем у больных с рестриктивными вентиляционными нарушениями:  
а) фиброзом легких и в) пневмонэктомией.

# Рестриктивные вентиляционные нарушения

- Пиковая объемная скорость обычно остается нормальной, после пика наблюдается быстрое линейное снижение потока. Форма кривой может и не меняться, а представлять собой пропорционально уменьшенную копию должной кривой, как, например, при пневмонэктомии (рис. 6, Б).

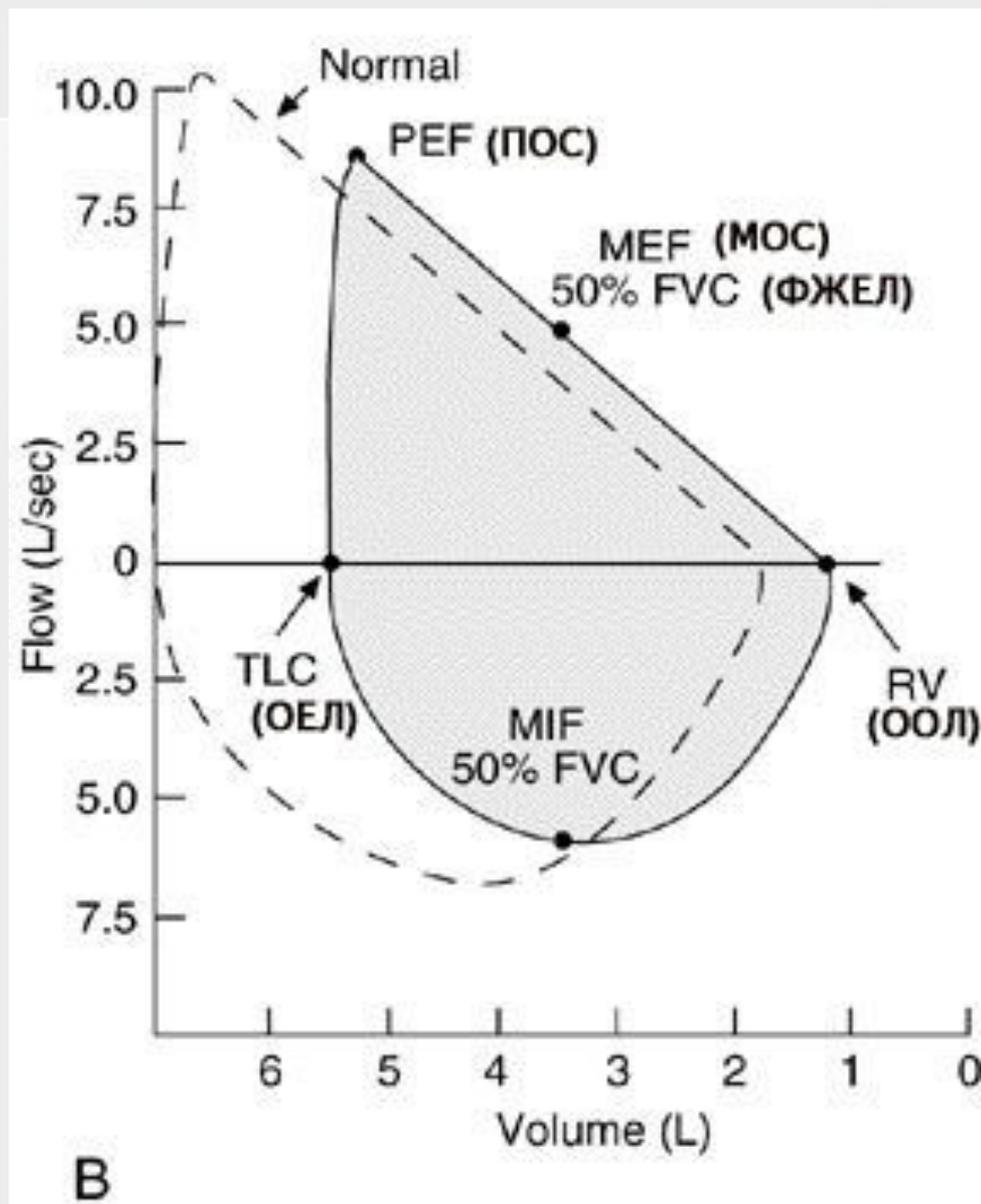
# Рестриктивные вентиляционные нарушения

- Рестриктивные нарушения могут встречаться при интерстициальных заболеваниях легких, обширной воспалительной инфильтрации легочной ткани, гипоплазии и ателектазах легкого, после резекции легочной ткани. При подозрении на интерстициальные заболевания легких следует измерить диффузионную способность легких и общую емкость легких. К рестрикции также может приводить и внелегочная патология, например, поражение грудного отдела позвоночника, ребер, дыхательной мускулатуры; высокое стояние диафрагмы, что делает невозможным выполнение глубокого полноценного вдоха; нарушение регуляции дыхания при угнетении дыхательного центра наркотическими препаратами или его повреждении опухолью, кровоизлиянием. При подозрении на мышечную слабость как причину рестрикции следует измерить силу дыхательных мышц. Кроме того, у больных с выраженной мышечной слабостью ФЖЕЛ, измеренная в вертикальном положении и в положении лежа, будет существенно различаться из-за воздействия гравитации на органы брюшной полости. В норме ФЖЕЛ в положении лежа на 5-10% меньше, чем в положении сидя. При выраженной диафрагмальной дисфункции эта разница превышает 30%.
- Для диагностики рестриктивных нарушений недостаточно спирометрического исследования, а следует выполнить бодиплетизмографию и измерить легочные объемы.

# Рестриктивные (ограничительные) изменения

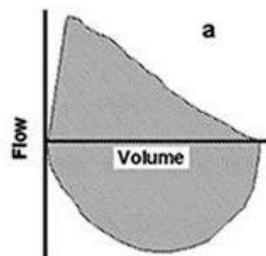
Рестриктивное заболевание (например, саркоидоз, кифосколиоз). Кривая имеет более узкую форму вследствие уменьшения легочных объемов, но ее форма в основном соответствует нормальной кривой, как на рисунке (А).

Потоковые 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).

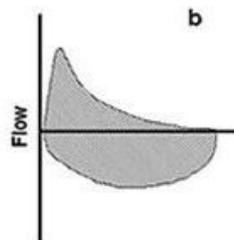


На рисунке, приведенной ниже, приведены типичные изменения петли объем-поток при наиболее распространенной патологии легких.

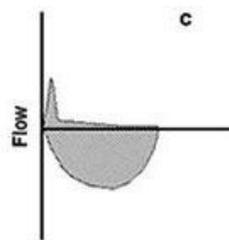
Кривые поток-объем максимального выдоха и вдоха при различной патологии легких



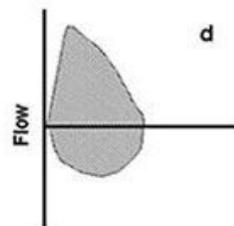
Здоровый человек



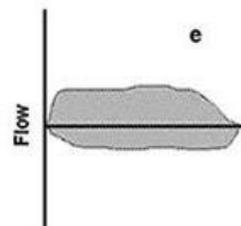
обструкция бронхов  
(бронхиальная астма)



тяжелое обструктивное  
заболевание (эмфизема)



рестриктивное заболевание  
легких (легочный фиброз)



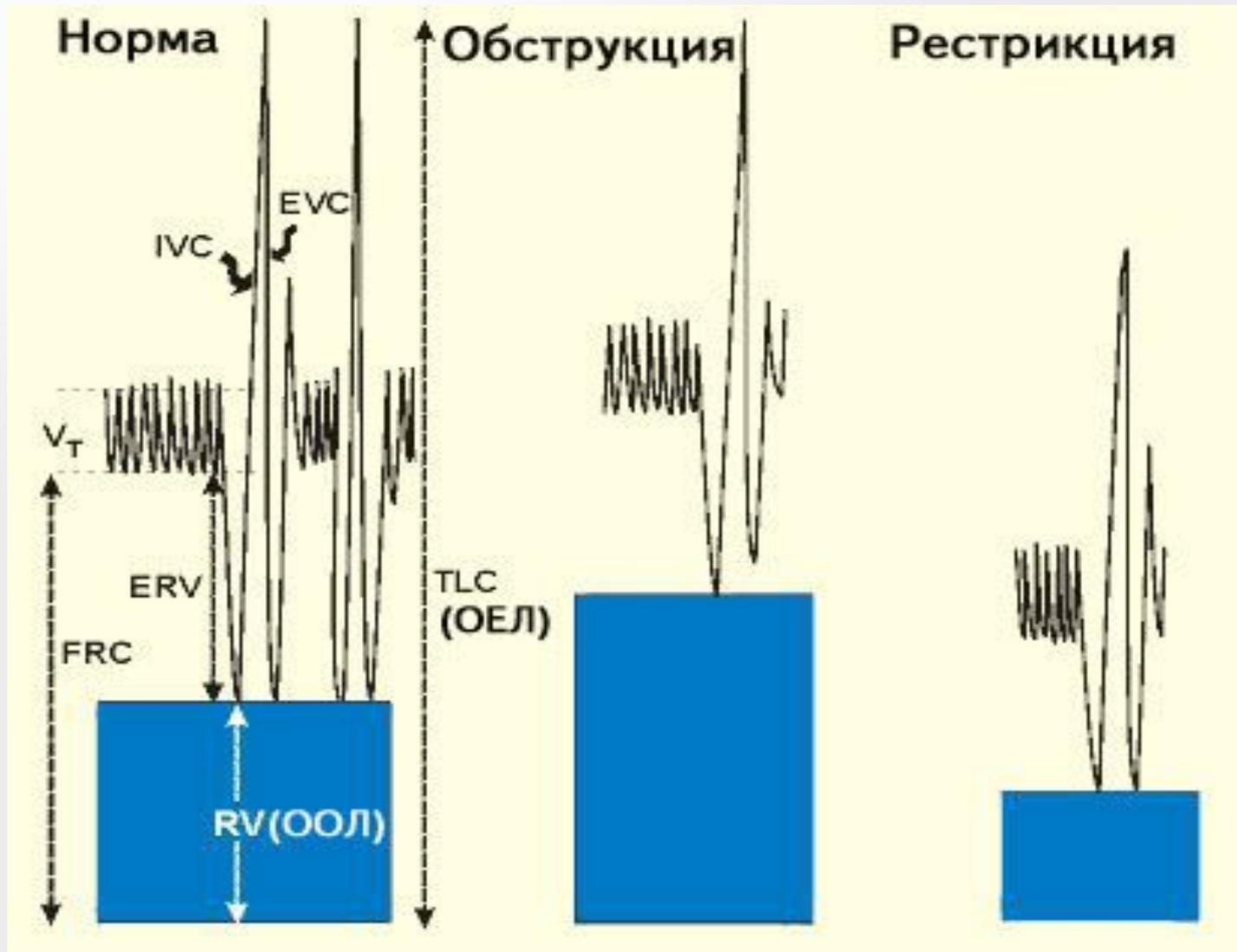
обструкция крупного бронха  
(карцинома трахеи)

# Смешанные вентиляционные нарушения

- Смешанные нарушения легочной вентиляции развиваются при сужении просвета дыхательных путей на фоне уменьшения легочных объемов. При этом спирометрия будет регистрировать одновременное снижение ФЖЕЛ,  $ОФВ_1$  и  $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ .
- Для уточнения характера функциональных нарушений необходимо выполнять бодиплетизмографию с измерением легочных объемов.

# Изменение легочных объемов

При основных типах дыхательной недостаточности - обструктивной и рестриктивном, закономерно изменяются легочные объемы.



Как видно на представленном рисунке, по сравнению с нормой для обструктивной дыхательной недостаточности характерно увеличение остаточного объема легких (RV, ООЛ), тогда как общая емкость легких (TLC, ОЕЛ) не изменяется или даже увеличивается. Для рестриктивного же типа дыхательной недостаточности характерно уменьшение общей емкости легких (TLC, ОЕЛ) как за счет уменьшения жизненной емкости легкого (IVC, ЖЕЛ), так и остаточного объема легких (RV, ООЛ).

Итак,

**VC** - жизненная емкость;

**FVC** - форсированная жизненная емкость

Уменьшение - отмечается при **дыхательной недостаточности**, при уменьшенной способности легких расширяться во время вдоха.

**MVV** - объем максимальной вентиляции легких

Уменьшение - отмечается при снижении способности легких к растяжению, при ослаблении дыхательных мышц. Это наблюдается при **эмфиземе легких, интерстициальных заболеваниях легких**.

**RV** - остаточный объем легких

Увеличение - характерно для **эмфиземы легких**

**FEV1** - объем форсированного выдоха за 1 сек;

**FEV1/FVC %** - отношение объема форсированного выдоха за 1 сек к форсированной жизненной емкости легких

Уменьшение - наблюдается при сужении просвета бронхов, что затрудняет выдох. Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита**.

**FEV 25-75%** - объемная форсированная скорость выдоха;

**PEF** - пиковая объемная форсированная скорость выдоха

Уменьшение - обусловлено сужением просвета бронхов без четких указаний на уровень сужения.

Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита**

**1) FEF (MEF)25%** - объемная форсированная скорость выдоха на 25% форсированной ЖЕЛ

**2) FEF (MEF)50%** - объемная форсированная скорость выдоха на 50% форсированной ЖЕЛ

**3) FEF (MEF)75%** - объемная форсированная скорость выдоха на 75% форсированной ЖЕЛ

Уменьшение указанных трех показателей в отдельности или в совокупности обусловлено сужением просвета бронхов - на уровне мелких, средних и крупных бронхов.

Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита.**

# БРОНХОДИЛАТАЦИОННЫЙ ТЕСТ

- При первичном исследовании функции дыхания почти всегда желательно выполнить бронходилатационный тест (*или бронходилатационную пробу*), то есть повторить спирометрию после ингаляции бронходилататора.
- **8.1. Показания для проведения бронходилатационного теста:**
- установление обратимости бронхиальной обструкции, включая пациентов с нормальными показателями исходной спирометрии;
- определение потенциального эффекта бронхолитической терапии;
- мониторинг динамики легочной функции у больных с хроническими респираторными заболеваниями при длительном (многолетнем) наблюдении.
- **Противопоказаний** к проведению бронходилатационного теста не существует за исключением тех ситуаций, в которых противопоказано выполнение спирометрии, и случаев **непереносимости бронхорасширяющих препаратов**. Если пациент не переносит  $\beta_2$ -агонисты, то в качестве бронходилататора можно использовать М-холинолитик короткого действия.

# Методика проведения бронходилатационного теста

- Реакция на бронходилататор является интегральной физиологической реакцией, в которую вовлечены эпителий дыхательных путей, нервы, медиаторы и гладкие мышцы.
- Если врач ставит задачей исследовать обратимость бронхиальной обструкции, то перед проведением бронходилатационного теста следует прекратить использование любых бронхорасширяющих препаратов на срок, соответствующий длительности их действия.
- -Короткодействующие ингаляционные  $\beta_2$ -агонисты (сальбутамол, фенотерол) и антихолинергические препараты (ипратропия бромид) следует отменить за 4-6 ч,  
- Пролонгированные  $\beta_2$ -агонисты (сальметерол, формотерол) и метилксантины - за 12 ч,
- - Пролонгированные холинолитики (тиотропия бромид, гликопиррония бромид) – за 24 ч до исследования [2]. Если препараты отменить нельзя, то в протоколе исследования указывают название препарата, дозу и время последней ингаляции.

# Методика проведения бронходилатационного теста

- Бронходилатационный ответ зависит от многих факторов, определяющих достоверность результатов: выбора бронходилататора и его дозы (чем выше доза, тем больше ответ), времени, прошедшего после ингаляции (как правило, реакция измеряется на пике действия препарата), способа доставки препарата в дыхательные пути (дозированный аэрозоль или небулайзер), соблюдения критериев воспроизводимости как исходной, так и повторной спирометрии и способа расчета бронходилатационного ответа. На сегодняшний день не существует единого стандарта выбора бронходилататора, дозы или способа его применения при проведении бронходилатационного теста. Однако можно минимизировать внутри- и межлабораторные различия при использовании дозированных аэрозольных ингаляторов, если придерживаться стандартных рекомендаций. И реакцией, в которую вовлечены

# Методика проведения бронходилатационного теста

- Для достижения максимально возможной бронходилатации рекомендуется использовать короткодействующие  $\beta_2$ -агонисты, например сальбутамол, в виде дозированного аэрозольного ингалятора в максимальной разовой дозе 400 мкг (четыре ингаляции по 100 мкг с интервалом в 30 сек) или фенотерол в максимальной разовой дозе 400 мкг (4 ингаляции по 100 мкг с интервалом в 30 сек) с помощью спейсера, с соблюдением всех правил ингаляционной техники для дозированных аэрозольных ингаляторов (после спокойного неполного выдоха - плавный максимально глубокий вдох с активацией ингалятора (нажатием на клавишу) одновременно с началом вдоха, задержка дыхания на высоте вдоха на 10 сек). Без использования спейсера вдыхаемая фракция аэрозоля меньше и ее величина в значительной степени зависит от синхронизации вдоха с активацией ингалятора. Повторную спирометрию проводят через 15 минут. При использовании М-холинолитика в качестве бронходилататора максимальная разовая доза составляет 160 мкг (4 дозы по 40 мкг) или их комбинации; повторную спирометрию выполняют через 30 мин [2, 7].

# Интерпретация результатов бронходилатационного теста

- Обратимость бронхиальной обструкции определяется по изменению  $ОФВ_1$  или ФЖЕЛ
- Интерпретация результатов бронходилатационного ответа состоит из нескольких этапов. На первом этапе необходимо определить, превышают ли полученные данные вариабельность измерения, которая составляет  $<8\%$ , или  $<150$  мл
- согласно последним рекомендациям ERS и ATS, абсолютное и относительное изменение  $ОФВ_1$  и/или ФЖЕЛ (коэффициент бронходилатации - КБД) позволяют достаточно точно определить обратимость обструкции дыхательных путей [2, 7]. Бронходилатационный тест считается положительным, если после ингаляции бронходилататора КБД составляет более  $12\%$ , а абсолютный прирост - более 200 мл.

# Интерпретация результатов бронходилатационного теста

- $\text{Показатель}_{\text{после}} \text{ (мл)} - \text{Показатель}_{\text{исх}} \text{ (мл)}$
- $\text{КБД} = \frac{\text{Показатель}_{\text{после}} \text{ (мл)} - \text{Показатель}_{\text{исх}} \text{ (мл)}}{\text{Показатель}_{\text{исх}} \text{ (мл)}} \times 100\%$
- $\text{Показатель}_{\text{исх}} \text{ (мл)}$
- $\text{Абсолютный прирост (мл)} = \text{Показатель}_{\text{после}} \text{ (мл)} - \text{Показатель}_{\text{исх}} \text{ (мл)}$ ,
- где  $\text{Показатель}_{\text{после}}$  - значение спирометрического показателя после ингаляции бронходилататора,  $\text{Показатель}_{\text{исх}}$  - значение спирометрического показателя до ингаляции бронходилататора [7].

# Интерпретация результатов бронходилатационного теста

- В отличие от больных с бронхиальной астмой, при ХОБЛ ответ на антихолинергические препараты не менее, а иногда и более выражен, чем при назначении  $\beta_2$ -агонистов.
- Отсутствие положительной реакции на короткодействующий бронхолитик в условиях бронходилатационного теста не означает нецелесообразности назначения этих препаратов пациенту с терапевтической целью.

# Интерпретация результатов бронходилатационного теста

- Бронходилатационный тест не позволяет дифференцировать бронхиальную астму и хроническую обструктивную болезнь легких, так как при обоих этих заболеваниях могут встречаться больные как с положительной реакцией на бронхолитик, так и ее отсутствием

спасибо

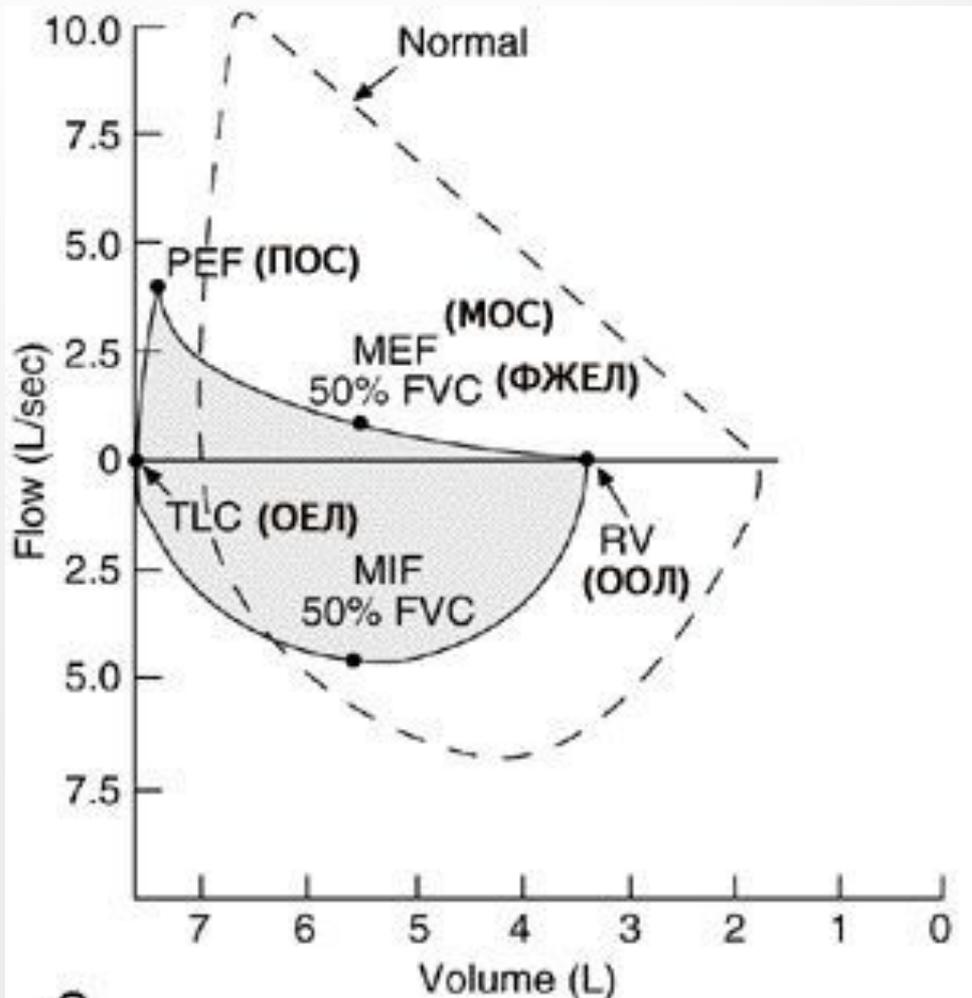
за внимание!



# Обструктивные изменения

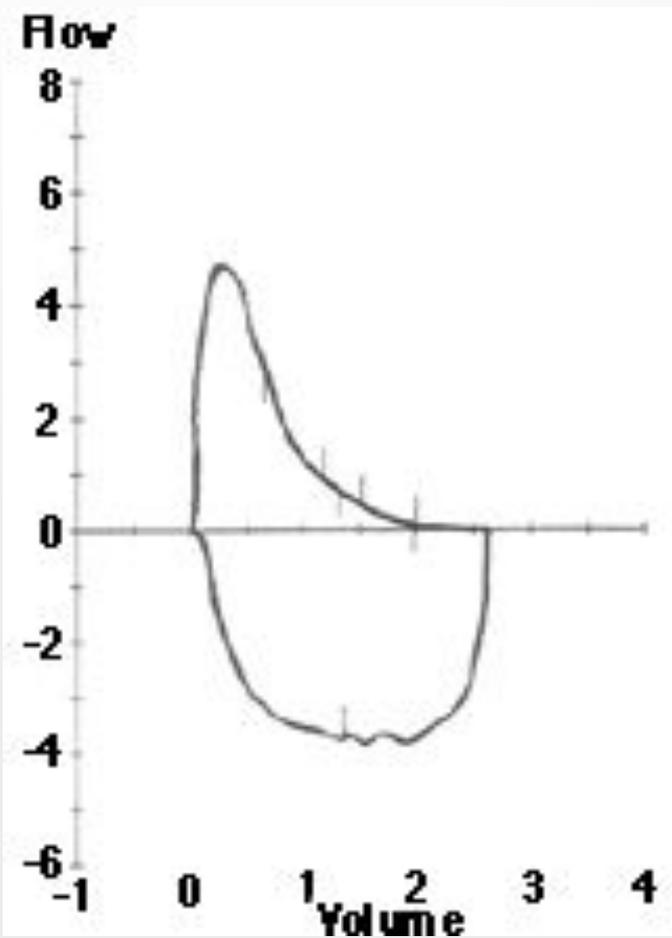
## Обструкция при ХОБЛ

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

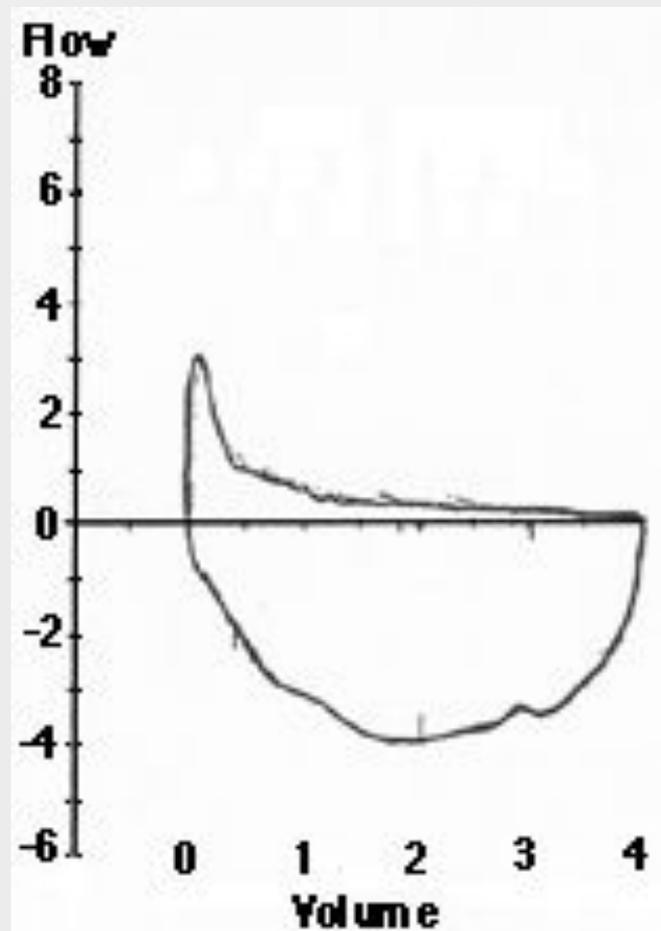


Обструктивная болезнь легких приводит к изменению петли поток-объем. На кривой выдоха, как и в норме, имеется пик максимальной скорости потока (ПОС), но затем кривая сходит более быстро, чем в норме, принимая вогнутую форму. Это приводит к быстрому падению МОС<sub>25-75</sub>. По мере нарастания обструкции 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.

## Умеренная обструкция



## Тяжелая обструкция



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.

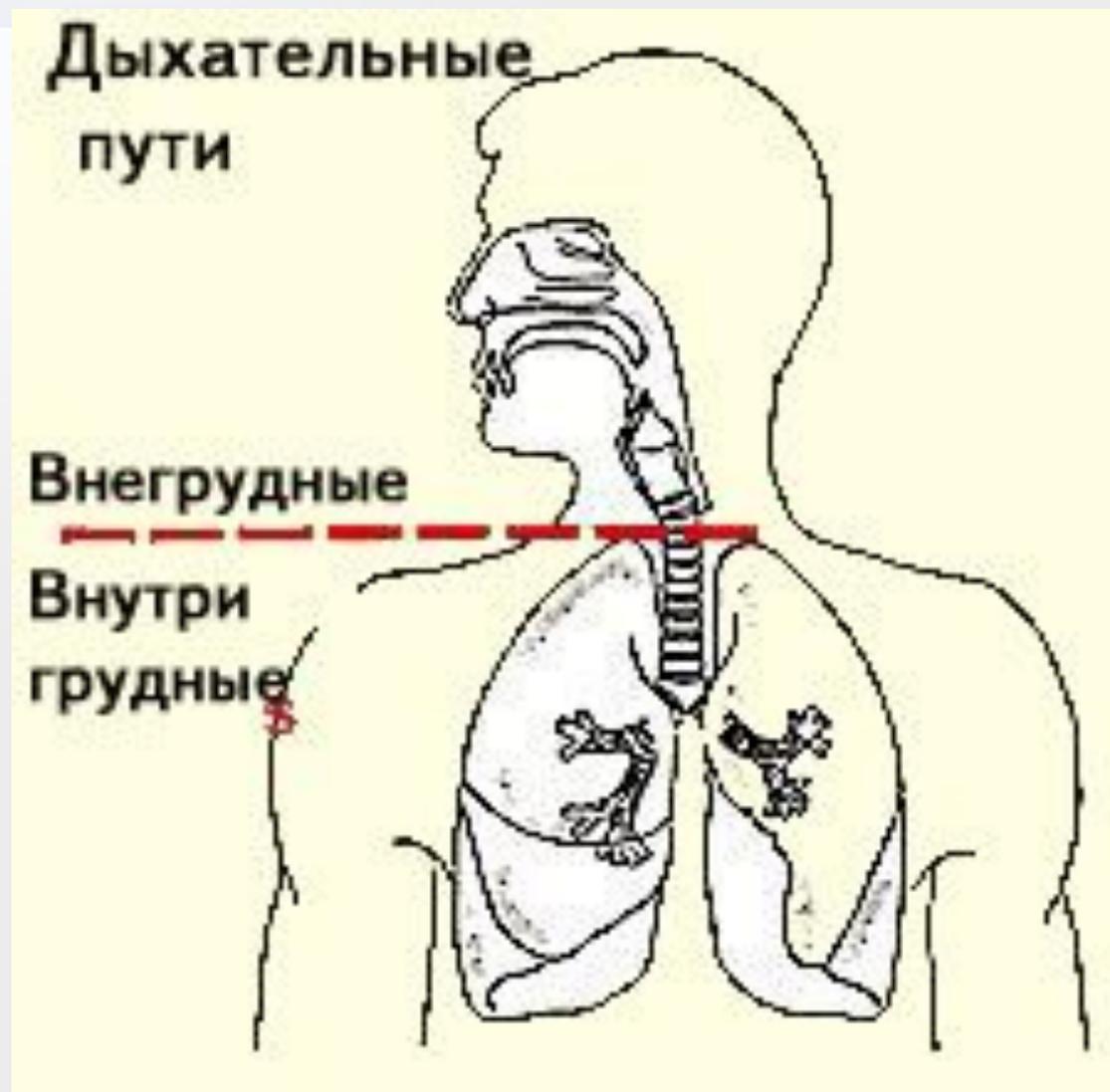
Во многих клиниках принято по показателю ОФВ1 подразделять степени обструкции.

<b>ОФВ1</b>	<b>&gt; 80% должного</b>	<b>норма</b>
	<b>65 - 80%</b>	<b>мягкая</b>
	<b>50 - 65%</b>	<b>умеренная</b>
	<b>&lt; 50%</b>	<b>тяжелая</b>

Для диагностики степени обратимости обструктивной дыхательной недостаточности рекомендую широко использовать ингаляционную пробу с сальбутамолом. Ее результаты позволяют выделить 3 варианта обратимости обструкции

- обратимую: увеличение ОФВ1 на 15 и > % от исходной;
- частично обратимую: увеличение ОФВ1 на 6 - 14% от исходной;
- необратимую: прирост показателя не превышает 5% от исходного.

# Обструкция верхних дыхательных путей

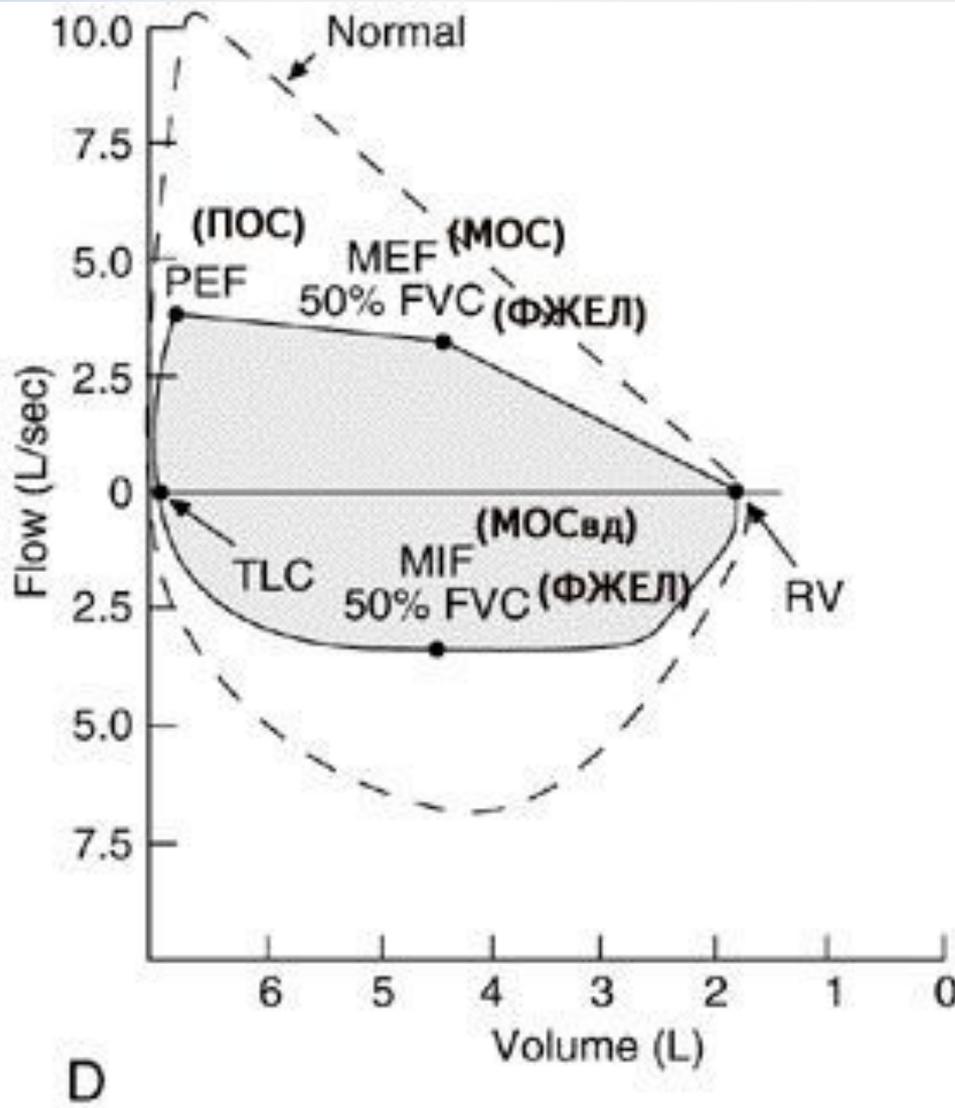


Анализируя форму петли поток-объем можно выявить обструкцию верхних дыхательных путей.

Различают три функциональных типа обструкции верхних ДП:

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

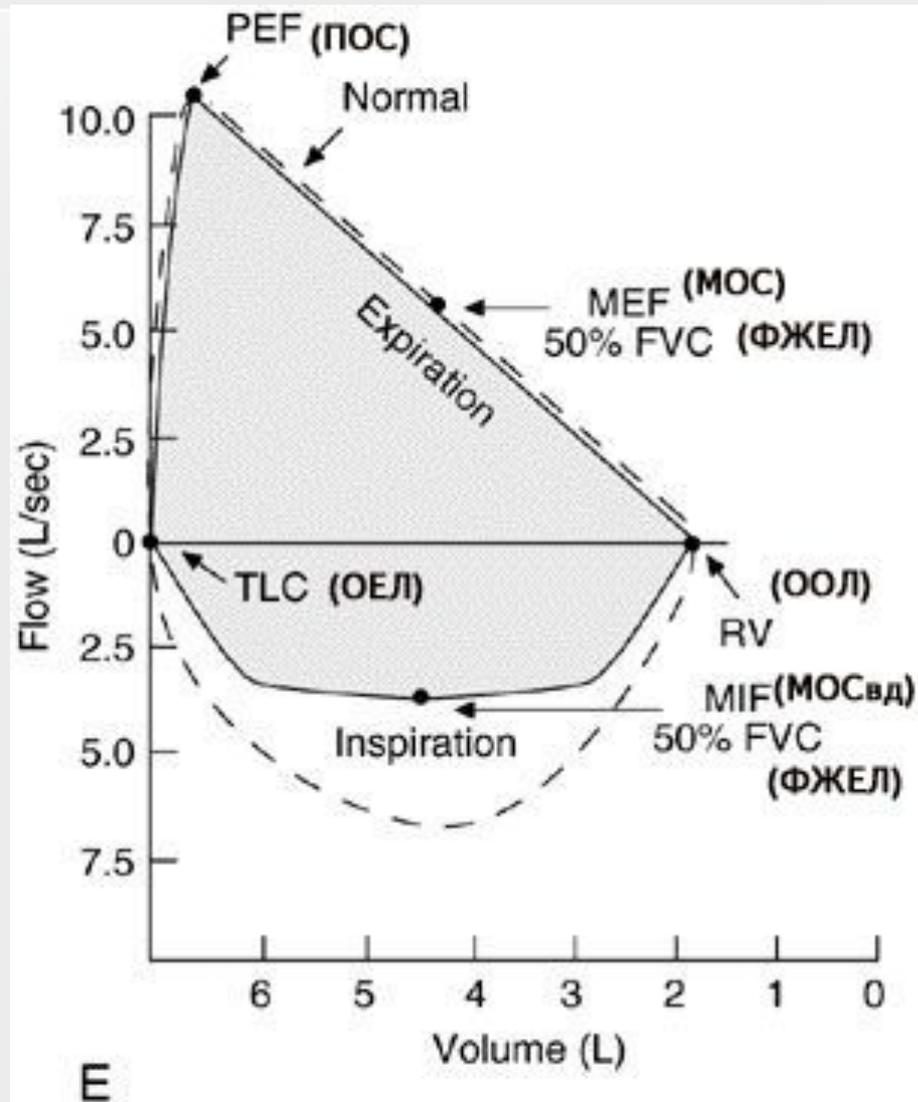
**Постоянная обструкция** верхних дыхательных путей (например, стеноз трахеи вследствие трахеостомии, двусторонний паралич голосовых связок, зоб).



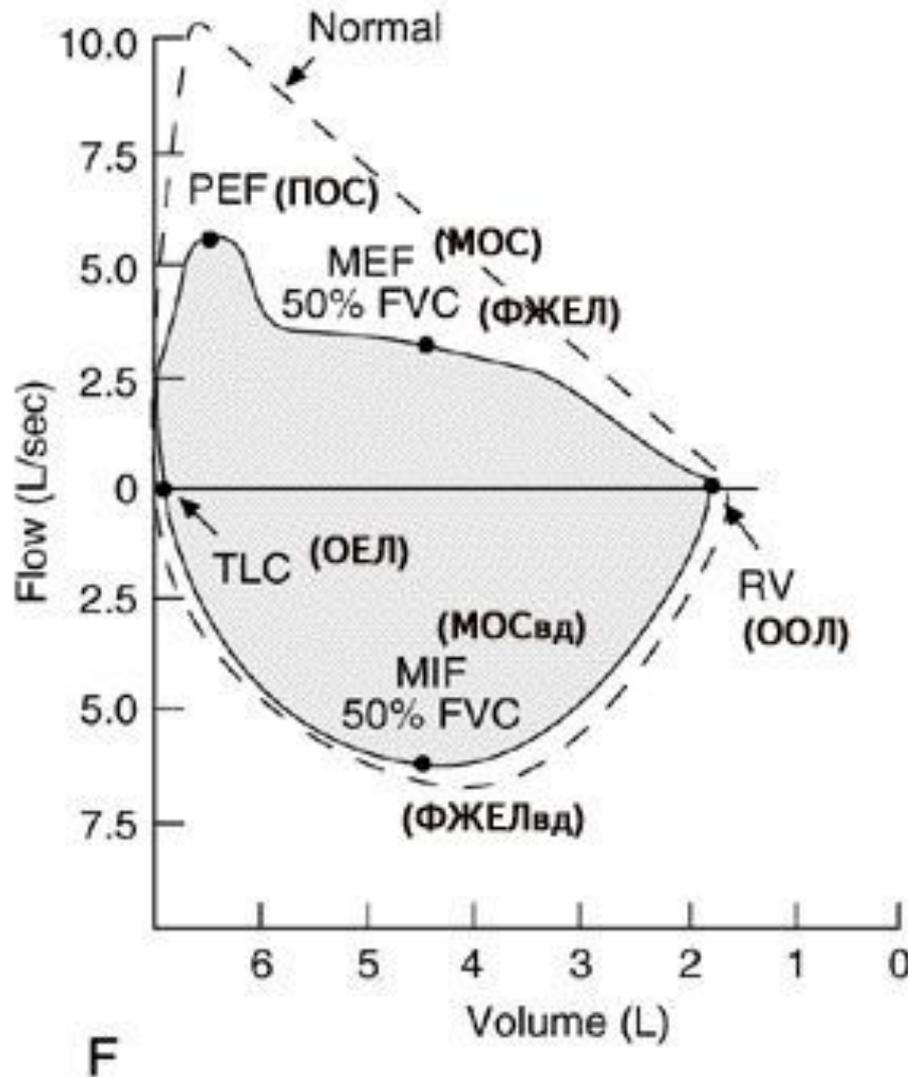
При "постоянной обструкции" (т.е. обструкции, геометрия которой остается постоянной в обеих фазах дыхания) происходит ограничение воздушного потока как на вдохе, так и на выдохе. Если постоянная обструкция находится в центральных дыхательных путях, то при анализе петли "поток-объем" обнаруживается снижение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

**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.



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

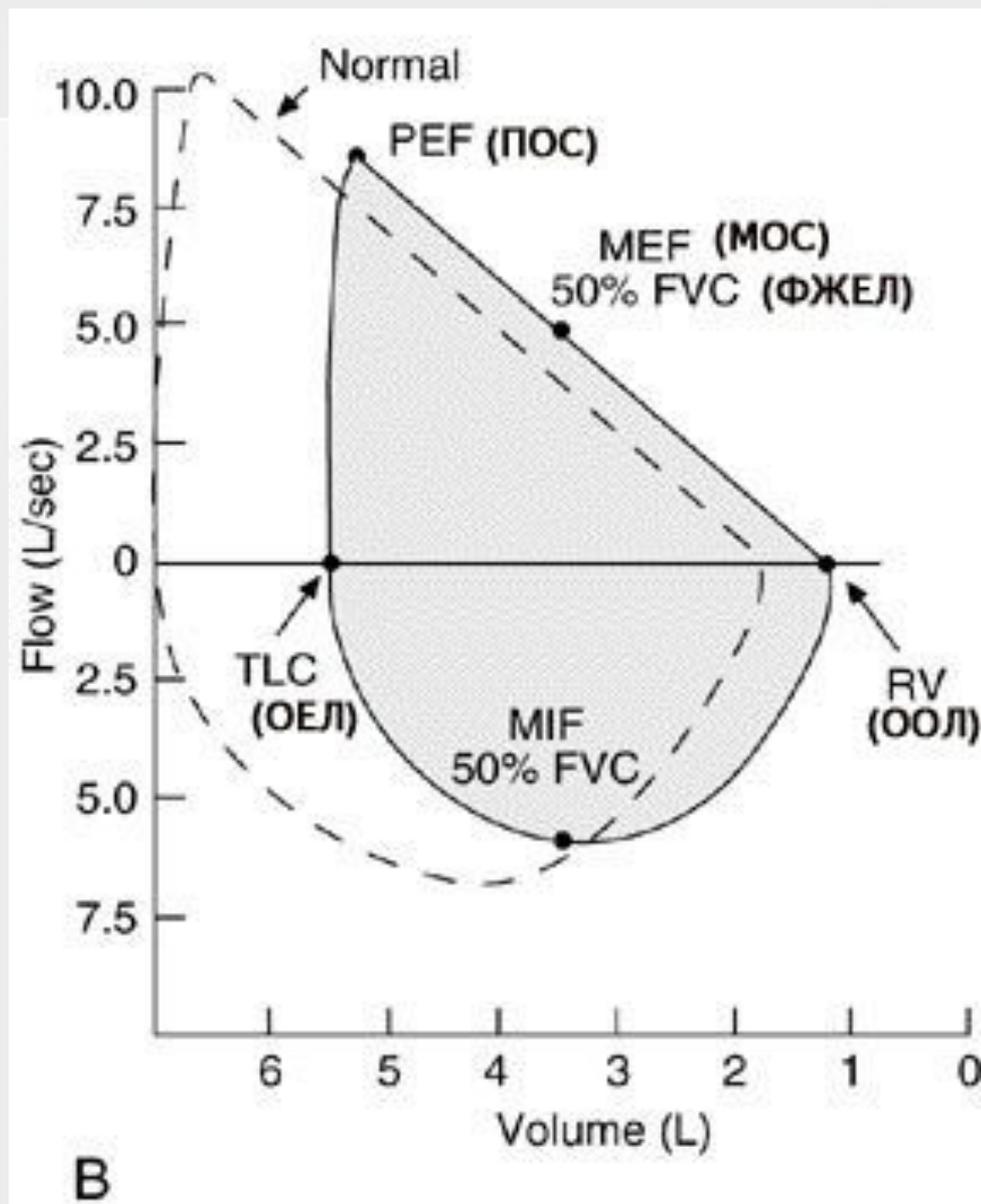


Во время форсированного вдоха отрицательное плевральное давление поддерживает трахею в открытом состоянии, поэтому объемная скорость потока и форма петли не изменяются по сравнению с нормой.

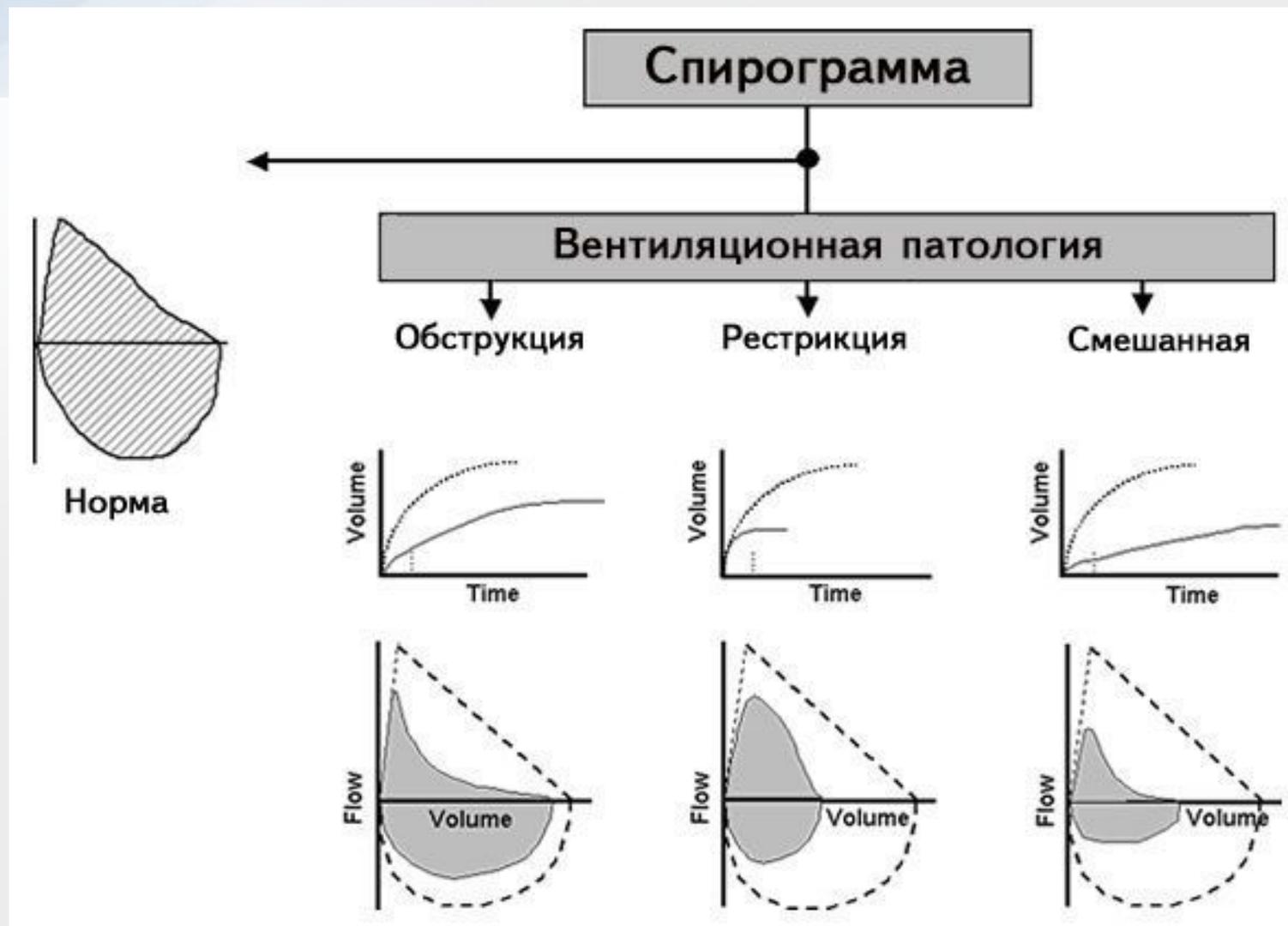
# Рестриктивные (ограничительные) изменения

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).

Потоковые 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).



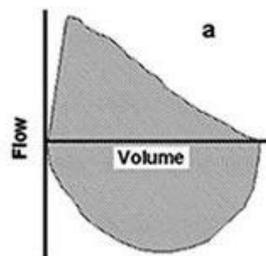
Еще раз всмотритесь и запомните типовые изменения петли поток-объем при различных типах спирограммы и различной патологии.



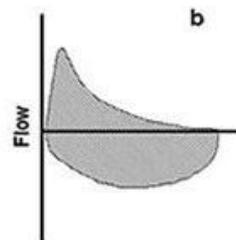
Так выглядят петли объем-поток при этих типах ДН.

На рисунке, приведенной ниже, приведены типичные изменения петли объем-поток при наиболее распространенной патологии легких.

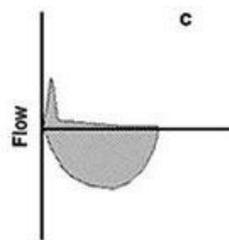
Кривые поток-объем максимального выдоха и вдоха при различной патологии легких



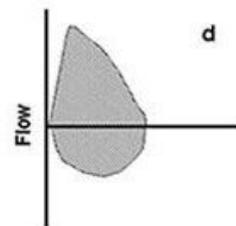
Здоровый человек



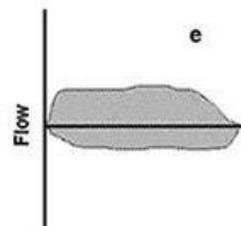
обструкция бронхов  
(бронхиальная астма)



тяжелое обструктивное  
заболевание (эмфизема)



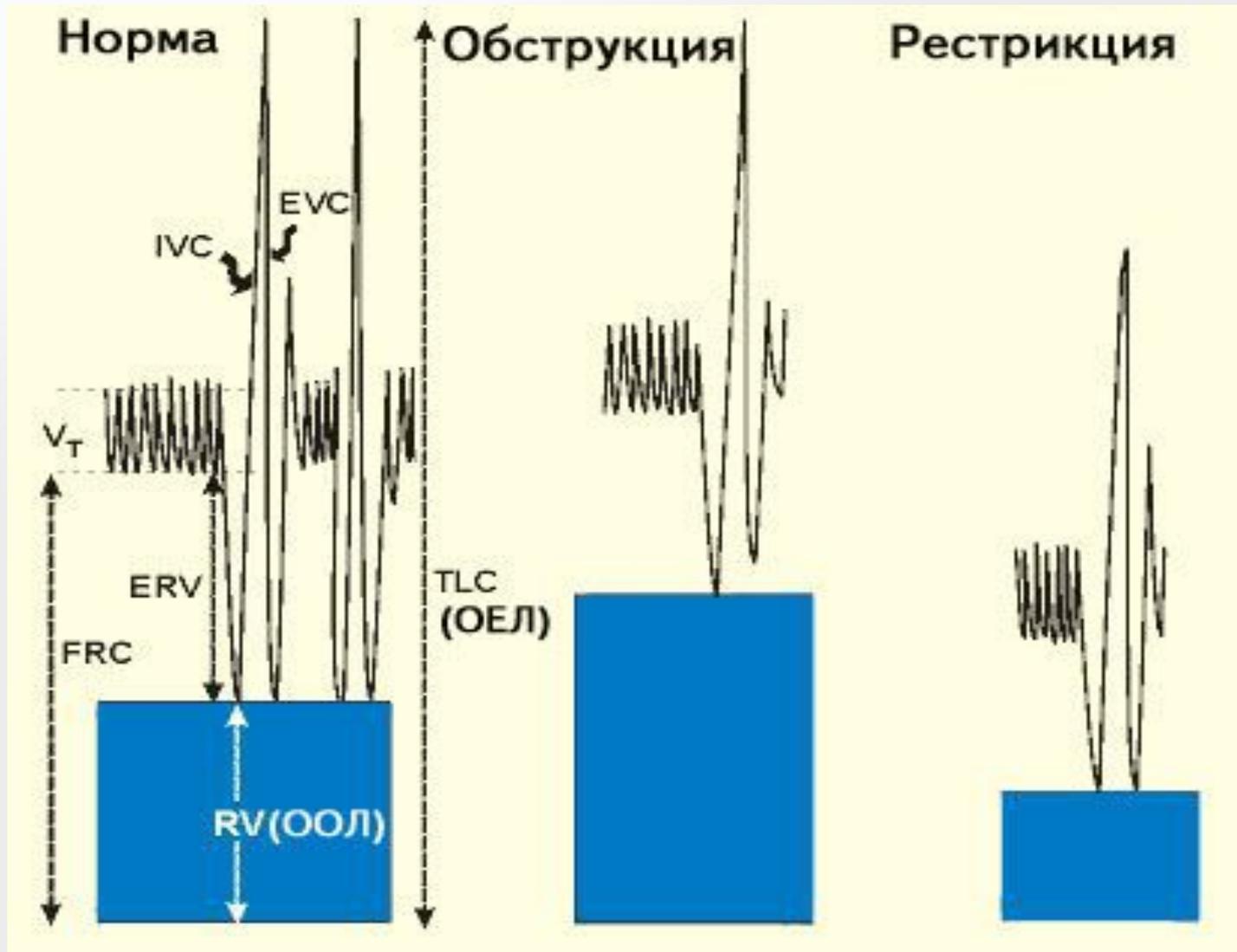
рестриктивное заболевание  
легких (легочный фиброз)



обструкция крупного бронха  
(карцинома трахеи)

# Изменение легочных объемов

При основных типах дыхательной недостаточности - обструктивной и рестриктивном, закономерно изменяются легочные объемы.



Как видно на представленном рисунке, по сравнению с нормой для обструктивной дыхательной недостаточности характерно увеличение остаточного объема легких (RV, ООЛ), тогда как общая емкость легких (TLC, ОЕЛ) не изменяется или даже увеличивается. Для рестриктивного же типа дыхательной недостаточности характерно уменьшение общей емкости легких (TLC, ОЕЛ) как за счет уменьшения жизненной емкости легкого (IVC, ЖЕЛ), так и остаточного объема легких (RV, ООЛ).

Итак,

**VC** - жизненная емкость;

**FVC** - форсированная жизненная емкость

Уменьшение - отмечается при **дыхательной недостаточности**, при уменьшенной способности легких расширяться во время вдоха.

**MVV** - объем максимальной вентиляции легких

Уменьшение - отмечается при снижении способности легких к растяжению, при ослаблении дыхательных мышц. Это наблюдается при **эмфиземе легких, интерстициальных заболеваниях легких**.

**RV** - остаточный объем легких

Увеличение - характерно для **эмфиземы легких**

**FEV1** - объем форсированного выдоха за 1 сек;

**FEV1/FVC %** - отношение объема форсированного выдоха за 1 сек к форсированной жизненной емкости легких

Уменьшение - наблюдается при сужении просвета бронхов, что затрудняет выдох. Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита**.

**FEV 25-75%** - объемная форсированная скорость выдоха;

**PEF** - пиковая объемная форсированная скорость выдоха

Уменьшение - обусловлено сужением просвета бронхов без четких указаний на уровень сужения.

Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита**

**1) FEF (MEF)25%** - объемная форсированная скорость выдоха на 25% форсированной ЖЕЛ

**2) FEF (MEF)50%** - объемная форсированная скорость выдоха на 50% форсированной ЖЕЛ

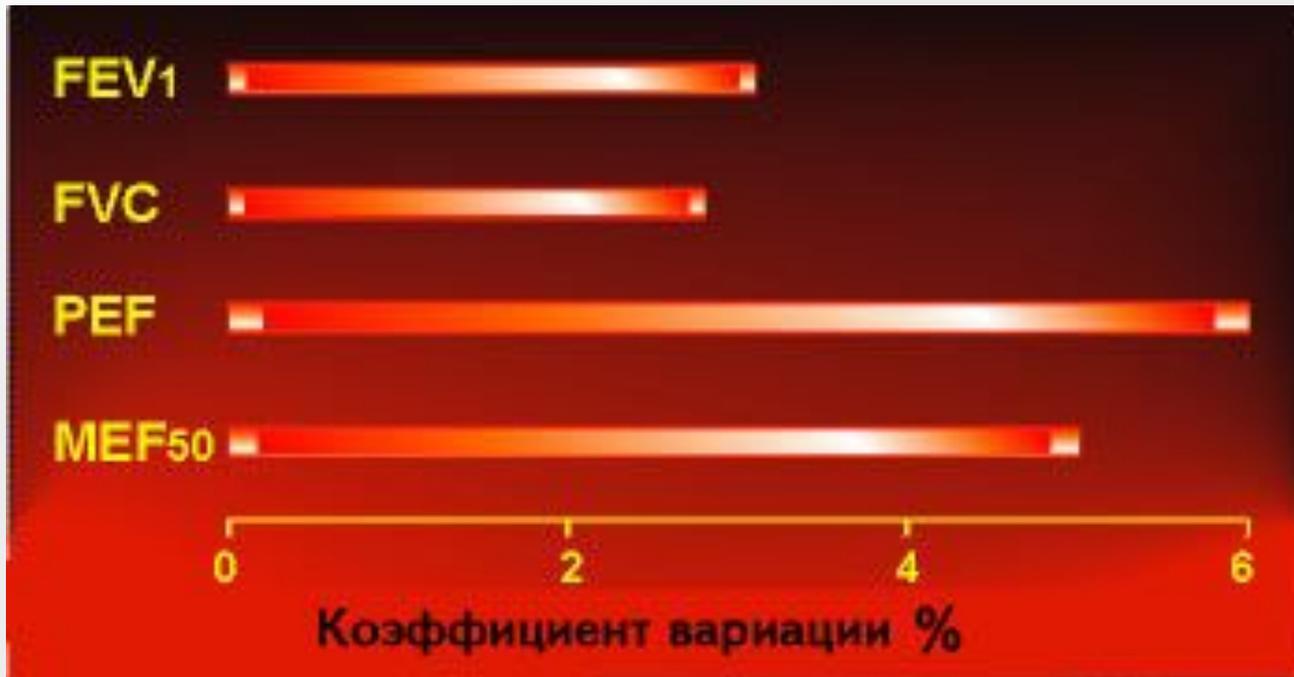
**3) FEF (MEF)75%** - объемная форсированная скорость выдоха на 75% форсированной ЖЕЛ

Уменьшение указанных трех показателей в отдельности или в совокупности обусловлено сужением просвета бронхов - на уровне мелких, средних и крупных бронхов.

Характерно для **бронхиальной астмы, хронического обструктивного бронхита.**

## *Статистический разброс показателей*

При анализе показателей спирограммы надо учитывать возможный статистический разброс при их повторении у одного и того же человека.



Как видно из приведенных данных наименьший разброс имеют такие показатели как FVC (ФЖЕЛ) и FEV1 (ОФВ1).

# *Пневмотахометрия*

**Пневмотахометрия** – это метод скоростей воздушного потока при форсированном вдохе и выдохе.

Пневмотахометрия является важным методом при определении состояния бронхиальной проходимости. У здоровых лиц показатель тахометрии колеблется от 4 до 8 л/с. Должная величина определяется по формуле ЖЕЛ X 1,2. Снижение этого показателя ниже 85 % считается нарушением бронхиальной проходимости.



Для того чтобы выявить скрытые бронхоспазмы, необходимо вычислить отношение пневмотахометрии на вдохе и выдохе.

Если показатель ниже 0,9 — то это ранний признак бронхоспастического состояния. Нормальная проходимость бронхов *у мужчин* мощность выдоха и вдоха составляет - **3,5–5,5 л/с, у женщин — 3–3,8 л/с.**

Как правило, фактический пневмотахометрический показатель по себе не характеризует состояния бронхиальной проходимости, его необходимо сопоставлять с должными величинами.

Наиболее эффективным является применение пневмотахографии в целях определения клапанного механизма нарушений бронхиальной проходимости, так как позволяет регистрировать скорость воздушного потока более длительно, чем при пневмотахометрии.

спасибо

за внимание!



