

# Функциональные исследования внешнего дыхания

Кирюхина Лариса Дмитриевна,  
к.м.н., руководитель направления клиническая физиология,  
заведующая отделением функциональной диагностики  
СПб НИИ фтизиопульмонологии

[kld@spbniif.ru](mailto:kld@spbniif.ru)

ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский  
институт фтизиопульмонологии» Минздрава России



# Содержание

- Введение. Дыхание, этапы системы дыхания. Функциональные исследования системы внешнего дыхания, требования к методам, методы.
- Спирометрия, принцип измерения и область применения
- Показания к проведению спирометрии
- Противопоказания
- Требования к используемому оборудованию
- Требования гигиены
- Требования к кабинету спирометрии
- Условия проведения
- Основные показатели, оцениваемые при проведении спирометрии
- Методика исследования
- Критерии правильности выполнения маневров
- Наиболее частые ошибки при выполнении маневра форсированного выдоха
- Отбор маневров спирометрии для обработки
- Оценка результатов спирометрии
- Бронходилатационный тест
- Заключение
- Рекомендуемая литература
- Вопросы для самоконтроля



**Дыхание – процесс газообмена  
между организмом и средой его  
обитания, сопровождающийся  
поглощением кислорода,  
выделением углекислого газа**



## Этапы системы дыхания

|                         |   |   |
|-------------------------|---|---|
| <b>Внешнее дыхание</b>  | Легочная вентиляция – процесс обмена дыхательных газов между внешней средой и альвеолами легкого                              | -Центральная нервная система,<br>-Дыхательные мышцы<br>- Легкие<br>- Дыхательные пути |
| <b>Транспорт газов</b>  | Диффузия газов через альвеолокапиллярную мембрану и транспорт кислорода тканям  | - Легкие<br>- Кровь<br>- ССС  |
| <b>Тканевое дыхание</b> | Процесс поглощения тканями кислорода и выделения углекислого газа, сопровождающееся процессами окисления и выработкой энергии | Органы и ткани  |



**Функциональное исследование**  
количественное (цифровое) выражение  
результатов объективного исследования  
человека.

**Функциональная диагностика** — раздел  
диагностики, содержанием которого являются  
объективная оценка, обнаружение отклонений и  
установление степени нарушений функции  
различных органов и физиологических систем  
организма на основе измерения физических,  
химических или иных объективных показателей их  
деятельности с помощью инструментальных или  
лабораторных методов исследования.



**Результат функционального исследования** – не абсолютная величина, а диапазон, в котором может находиться действительное значение показателя

**Воспроизводимость** – диапазон, в котором с принятой степенью достоверности могут встречаться значения изучаемого показателя при повторных его измерениях в процессе одного исследования.

**Повторяемость** - диапазон, в котором с принятой степенью достоверности могут встречаться значения изучаемого показателя при повторных исследованиях в разные дни (недели, месяцы), несмотря на соблюдение одинаковых условий исследования.



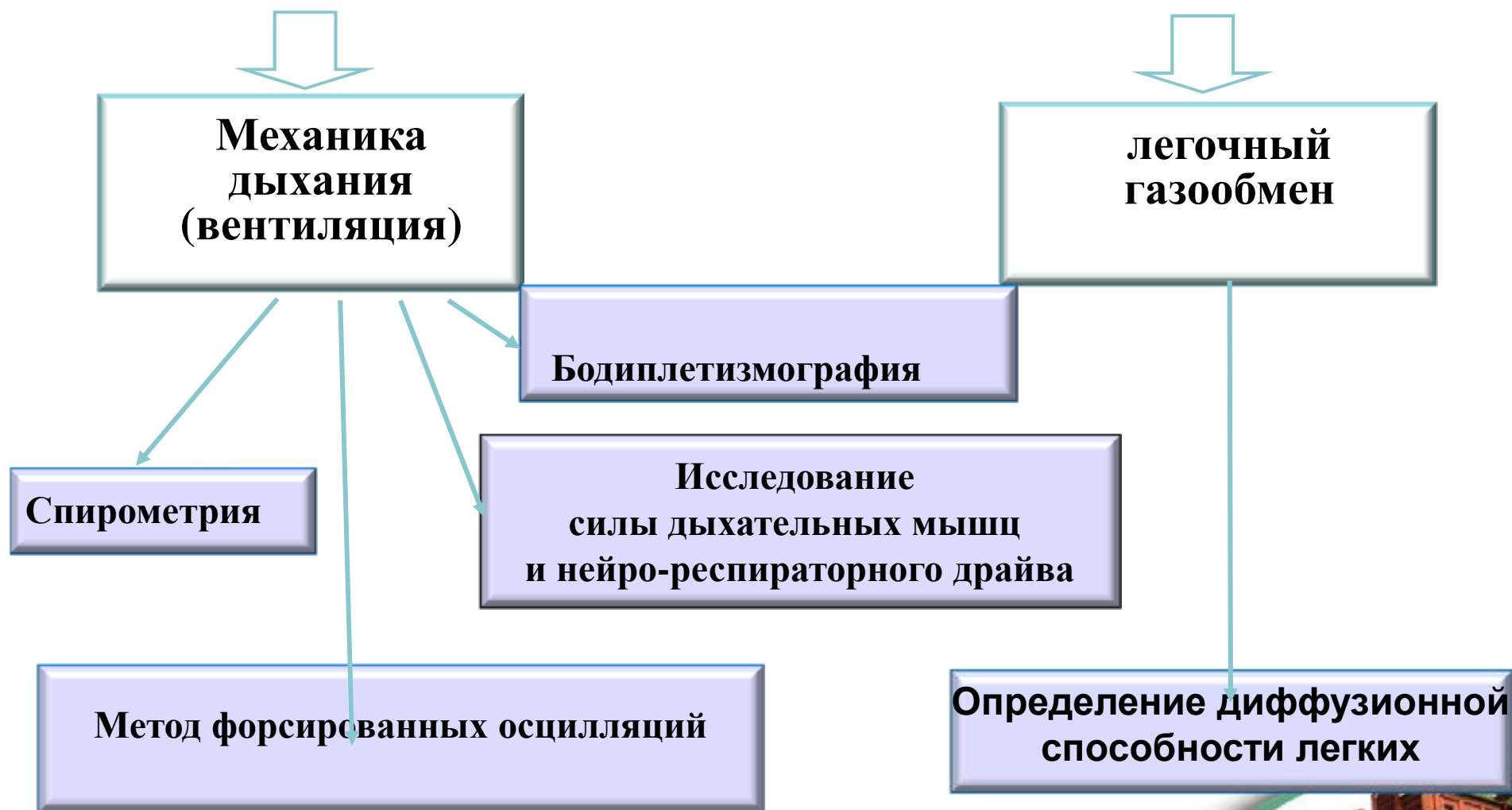


# Требования к методам функциональных исследований

- Ø Физиологическая и биофизическая обоснованность
- Ø Надежная воспроизводимость результатов измерений
- Ø Стандартизация методики исследования и оценки полученных результатов
- Ø Простота и необременительность процедуры для испытуемого



# Методы функционального исследования внешнего дыхания





# Биомеханика дыхания

Изучает связи между **работой дыхательных мышц, давлением** в разных частях аппарата вентиляции, **объемом** легких и движением воздуха (**потоком**), выясняет физическую сущность и физиологические механизмы процессов и их количественные закономерности



# Исследование механических свойств легких

## 1. Методы исследования бронхиальной проходимости

- Спирометрия
- Метод форсированных осцилляций (МФО)
- Бодиплетизмография
- Функциональные пробы:
  - бронхолитические
  - бронхопровокационные

## 2. Определение статических легочных объемов:

- Бодиплетизмография
- Метод разведения инертных газов

## 3. Исследование эластических свойств легких:

- Измерение внутриплеврального давления с помощью **внутрипищеводного зонда**
- **МФО**



# СПИРОМЕТРИЯ

- изучение механических свойств аппарата вентиляции на основе измерения **отношений поток-объем-время** в процессе выполнения человеком медленных и форсированных дыхательных маневров с полной амплитудой изменения объема, является базисным методом функциональных исследований внешнего дыхания уже более 60 лет.

В результате столь длительного опыта клинического применения метода в настоящее время можно считать завершенной работу по стандартизации методики выполнения дыхательных маневров, требований к измерительной и регистрирующей аппаратуре, а также обоснованию диагностических выводов.



# Принцип измерения и область применения

Первыми приборами, с помощью которых проводилось данное исследование, были спирографы, в которых динамика объема воздуха у рта человека регистрировалась как колебания объема закрытого контура прибора, вызванных дыханием подсоединенного к нему человека. Поэтому методика была названа спирометрией или спирографией.

В последние годы с внедрением компьютерной техники более широко используются приборы, не имеющие закрытого контура, в которых первично с помощью расходомеров измеряется поток воздуха, а объем рассчитывается путем интегрирования потока. Некоторые зарубежные фирмы продолжают использовать спирометры, в которых поток рассчитывается путем дифференциации объема. Если следовать принципу измерения, то приборы нужно определять как "пневмотахометр (расходомер) с интегратором" и "спирометр с дифференциатором".

В целях краткости, простоты, а также следуя традициям, все приборы независимо от того, какой сигнал первично измеряется, продолжают называть спирометрами. Если прибор обеспечивает автоматизацию методики проведения исследования и обработки получаемых результатов, то его принято определять как "спирометр автоматический".



Относительная простота и доступность как аппаратуры, так и методики сделали спирометрию наиболее широко применяемым методом исследования функционального состояния легких.

Она используется для качественной и количественной оценки изменений функционального состояния легких, обусловленных различными заболеваниями, на разных этапах лечебно-диагностического процесса (выявление нарушений, оценка их выраженности, обоснование и оценка эффективности проводимой терапии, прослеживание динамики заболевания), при экспертизе трудоспособности и пригодности к работе в определенных условиях, при массовых и эпидемиологических обследованиях групп населения.

Кроме того, эти исследования используются в диагностике чувствительности дыхательных путей к различным воздействиям. Во всех перечисленных случаях ставится задача персональной оценки результатов исследования с вынесением заключения о наличии или отсутствии отклонений от нормы, их особенностях, а также о достоверности сдвигов, происшедших в определенный промежуток времени под влиянием терапии или каких-либо воздействий.

Поэтому спирометрия является базовым методом исследования функционального состояния легких в учреждениях практического здравоохранения различного (не только пульмонологического) уровня (поликлиники, районные, городские больницы, диагностические центры), а также в аналогичных медицинских учреждениях профпатологического и противотуберкулезного профиля и спортивной медицины.



# Показания к проведению спирометрии

## 1. Диагностика

- объективизация влияния заболевания на функциональное состояние легких
- объективизация изменения функционального состояния легких при первичном обследовании и наличии определенных клинических (одышка, кашель, свистящее дыхание, изменение перкуторного тона и характера дыхания, выявление различных хрипов и пр.) и лабораторных (изменение рентгенологической картины и др.) признаков
- определение риска развития заболевания легких (у курильщиков, работников вредных производств, при работе с определенным типом напряжений)
- оценка операционного риска
- оценка прогноза заболевания
- оценка состояния здоровья.





## ***2. Наблюдение***

- оценка эффективности терапевтических мероприятий
- оценка динамики развития заболеваний (легочных, сердечно-сосудистых, нервно-мышечной системы)
- оценка воздействия пребывания во вредных условиях или контактов с вредными веществами
- оценка эффективности реабилитационных программ

## ***3. Экспертная оценка***

- временной утраты трудоспособности
- пригодности к работе в определенных условиях
- трудоспособности.

## ***4. Оценка здоровья населения***

- эпидемиологические исследования
- сравнение здоровья населения в разных географических, климатических и прочих условиях
- массовые обследования



# Противопоказания

- Ø Отсутствие контакта с пациентом (*нежелание сотрудничества, дети младшего возраста, умственно неполноценные лица, наличие языкового барьера, и др.*).
- Ø Заболевания, при которых невозможно или противопоказано выполнение маневра форсированного выдоха (*переломы ребер, межреберная невралгия, миастения, центральные и периферические параличи с поражением дыхательных мышц, тяжелая легочно-сердечная недостаточность, послеоперационный период и т.п.*).
- Ø Травмы и заболевания челюстно-лицевого аппарата
- Ø Острые респираторные заболевания (относительное).
- Ø Спонтанный пневмоторакс (не ранее, чем через 2 нед.)
- Ø Первые 2 недели после развития инфаркта миокарда
- Ø Первые 2 недели после офтальмологических и полостных операций
- Ø Выраженное кровохарканье
- Ø Тяжелая бронхиальная астма



# Требования к используемому оборудованию

- Результаты, полученные при спирометрии, имеют большое значение для обследованного человека в плане изменения его образа жизни, условий труда, а также корректировки терапии. Поэтому используемые приборы должны обеспечивать не только достаточную точность однократных измерений, но и их надежность для оценки динамического исследования. При приобретении приборов необходимо оценить насколько по своим техническим характеристикам он соответствует предъявляемым к нему требованиям не только по точности и надежности измерений, но и по обеспечению правильного и безопасного проведения исследования.



## **Общие требования**

Прибор должен выполнять точные измерения объема по отношению ко времени, и измерения потока как по отношению ко времени, так и по отношению к объему в процессе маневров вдоха и выдоха, выполняемых испытуемым человеком. Программное обеспечение прибора должно давать возможность измерения потока и объема в этих координатах, отбор приемлемых маневров (для чего проводится оценка каждого маневра и последовательное их сравнение), расчет показателей, приведение объемных и скоростных показателей к стандартным газовым условиям, оценку степени отклонений от нормы отдельных показателей и заключение по результатам исследования с определением степени и качественных характеристик выявленных нарушений. Полученные результаты формируются в заключительный протокол исследования, в котором должны содержаться паспортные данные испытуемого человека, рассчитанные значения показателей как в абсолютных единицах, так и в процентах должных величин, оценка степени отклонения от нормы каждого показателя и текст заключения по результатам исследования. Данные каждого исследования должны архивироваться с возможностью в последующем проводить сравнение повторных исследований, статистических отчетов и научных исследований. Ход выполнения исследования контролируется оператором, для чего на экране дисплея в реальном времени должны отображаться графики отношений поток-объем отдельных маневров и по возможности приводиться их комментарии в виде абсолютных значений отдельных показателей. На этих графиках поток выдоха откладывается вверх, между шкалами потока и объема должно поддерживаться отношение 2:1, а каждый вдох и выдох начинаются из точки начала координат.



## ***Требование к точности измерения***

Амплитуда измерения объема должна быть в пределах 8,0 л с точностью 3% (или 50 мл) и разрешающей способностью 25 мл. Амплитуда измерения потока должна составлять 15,0 л.с-1 с точностью 5% (или 0,2 л.с-1), динамическое сопротивление - менее 0,05 кПа.л-1.с, а инерционность менее 0,001кПа.л-1.с<sup>2</sup> в пределах потока от 0 до 12,0 л.с-1. Динамический ответ необходим в пределах 5% и составляет 20 Гц. Требуемая точность расчета времени 1%. Длительность выполнения одного маневра должна быть предусмотрена 15 с. Эти требования необходимо обеспечить при разработке прибора независимо от типа первичных измерителей потока или объема.





## ***Контроль надежности измерений***

Повседневная эксплуатация не требует полной проверки прибора, но необходим контроль за надежностью проводимых измерений с тем, чтобы как можно раньше выявить необходимость настройки и ремонта аппаратуры. Такой поверкой как для собственно спирометров, так и для пневмотахометров с интегратором является калибровка по объему. Калибровка по объему проводится не менее, чем трехлитровым шприцем, точность которого должна составлять 25мл. Процесс калибровки должен быть доступен визуальному наблюдению оператора. Скорость изменения объема шприца должна ограничиваться и может различаться от 0,5 с до 6,0 с (диапазон потока 3,0 - 0,5 л.с-1). Всего необходимо выполнить не менее 4 изменений объема шприца с полной амплитудой. Измерения объема, независимо от скорости изменения объема шприца, должны проводиться с точностью 50 мл или 3,0%, таким образом, комбинированная ошибка при калибровке объема не должна превышать 70 мл или 3,5%. В процессе калибровки автоматически должен рассчитываться калибровочный коэффициент для вдоха и выдоха и проводиться как его оценка, так и оценка симметричности. Процесс калибровки отражается на дисплее, при ее завершении должен быть показан калибровочный коэффициент и дана его оценка. Калибровку по объему необходимо проводить ежедневно непосредственно перед началом исследования, если время работы превышает 4 часа, то ее необходимо повторить. В программном обеспечении должны быть предусмотрены запрет на проведение исследования без калибровки и напоминание о необходимости ее повторения. (Нелинейность, характерная для многих расходомеров, должна быть скорректирована перед интеграцией потока.)





## ***Подсоединение человека к прибору***

Независимо от типа первичного измерителя потока или объема, его крепление должно обеспечивать проведение исследования человека как сидя, так и стоя. Поскольку движение головой или наклоны туловища вперед при выполнении форсированных дыхательных маневров нежелательны, крепление ротового модуля должно быть достаточно прочным. Для обеспечения требуемого положения обязательно нужна регулировка по росту испытуемого человека. Для подсоединения к дыхательному контуру прибора предпочтительнее использование мундштука с достаточно жесткими стенками, чтобы при прикусывании не происходило изменения его внутреннего диаметра. Для взрослых людей внутренний диаметр мундштука обычно не меньше 22 мм. Форма мундштука должна быть такой, чтобы обеспечивала герметичность подсоединения человека к прибору без дополнительных усилий. Помимо мундштука необходимо использование носового зажима. И мундштуки, и носовые зажимы должны входить в комплектацию прибора.



## ***Обеспечение требований гигиены***

- Хотя еще не было установлено случаев передачи инфекции через оборудование, применяемое при спирометрии, тем не менее последовательное использование одного и того же прибора для исследования различных людей (здоровых и больных с различными заболеваниями) требует соблюдения общих гигиенических правил. Поэтому все детали приборов, имеющие контакт с дыхательным воздухом человека, необходимо сконструировать так, чтобы быть доступными для гигиенической обработки, а мундштуки и носовые зажимы, кроме того, должны быть изготовлены из материалов, нетоксичных для людей. Наиболее рационально использование одноразовых мундштуков.
- Независимо от типа прибора (закрытый или открытый контур) для облегчения обработки все внутренние поверхности дыхательного контура, включая мундштуки (или загубники), должны быть гладкими. Измерительные сопротивления пневмотахометров также должны быть доступны очистке от органических веществ, оседающих из конденсата, и гигиенической обработке. Для обеспечения достаточной пропускной способности приборы должны быть снабжены или несколькими преобразователями потока или несколькими сменными сопротивлениями (не менее трех). Исходя из конструктивных особенностей и использованных материалов производитель обязан составить рекомендации по гигиенической обработке оборудования, которые отражают три ее этапа (очистка, обеззараживание и высушивание) с указанием интервалов, через которые проводится обработка измерительного контура.



## ***Приведение к стандартным условиям***

- Все измерения объемов и потоков воздуха принято выражать при тех условиях, в которых воздух находится в легких: при температуре тела человека, полном насыщении водяными парами и при давлении окружающей среды. По начальным буквам английских слов (body temperature, pressure, saturated) эти условия принято обозначать как **BTPS**. Измерения выполняются при других условиях: при температуре и влажности воздуха в помещении, где проводится исследование и окружающем давлении. Эти условия обозначаются как **ATP** (ambient temperature, pressure). Перевод значений показателей от одной системы к другой может осуществляться при расчете окончательного протокола. В процессе работы значения всех показателей могут приводиться к системе ATP, но в описании работы прибора момент перехода от одной системы к другой должен быть указан.
- Пересчет из одной системы в другую представляет определенные сложности, несмотря на то, что физические законы газового состояния давно и хорошо известны. Так, при измерении ЖЕЛ вдоха, за газ окружающей среды может быть принят комнатный воздух (его температура и насыщение  $H_2O$ ), а при ЖЕЛ выдоха - под ним подразумевается воздух, содержащийся в измерительной аппаратуре (например, в ротовом модуле пневмотахометра).



- Для приборов, в которых дыхание человека осуществляется по замкнутому контуру, достаточно введение двух поправок, для различий температуры и влажности:  $273 + 37^{\circ}\text{C} / 273 + t$  ( $37^{\circ}\text{C}$  - температура альвеолярного газа;  $t$  - температура воздуха в замкнутом контуре) и  $P_B - e / P_B - 6,3 \text{ кПа}$  ( $P_B$  - барометрическое давление окружающей среды,  $e$  - давление  $\text{H}_2\text{O}$  при температуре воздуха в этом же контуре, а  $6,3 \text{ кПа}$  ( $47 \text{ мм рт.ст.}$ ) - давление  $\text{H}_2\text{O}$  при температуре тела человека -  $37^{\circ}\text{C}$ ). Коррекция для пневмотахометров является более сложной, так как воздух вдоха существенно отличается по температуре и влажности от воздуха выдоха. Кроме того, конструктивные особенности влияют на степень охлаждения воздуха выдоха к моменту его поступления к измерительному сопротивлению.
- Поскольку производитель может применять как подогрев пневмотахометра до  $30^{\circ}\text{C}$ , так и использовать измеритель без подогрева, то все расчеты по корректировке должны быть проверены каждым производителем экспериментально. В описании прибора необходимо указать принцип, использованный разработчиком, и поправочные коэффициенты для воздуха вдоха при каких-либо реальных условиях, например, при  $20^{\circ}\text{C}$  и 50% влажности для окружающей среды и для воздуха выдоха при температуре и влажности воздуха на измерительном сопротивлении. Если калибровка по объему проводится комнатным воздухом, то обязательно указывается как скорректировано влияние изменения влажности выдыхаемого воздуха, на конечный поправочный коэффициент. Кроме того, должен быть указан оптимальный для работы прибора диапазон температуры воздуха в помещении.





# Требования гигиены

- \*Главным при проведении исследований является предотвращение передачи инфекции не только от пациента к пациенту, но и медицинскому персоналу. Есть два пути передачи инфекции: через поверхности, находящиеся в контакте со слизистыми пациента и воздушно-капельным путем.
- \*Для предотвращения передачи инфекции медицинский персонал должен работать в масках, за губники и другие съемные части после использования не брать незащищенными руками, а их очистку проводить обязательно в перчатках. Мытье рук должно выполняться после каждого пациента.
- \*За губники, мундштуки, соединительные трубки должны заменяться после каждого пациента.
- \*Если в учреждении постоянно проводится исследование больных с известной инфекцией, например, туберкулезом легких, то для них лучше выделить отдельный прибор. При отсутствии такой возможности исследование инфицированных больных лучше проводить в последнюю очередь.
- \*Помещение, где проводится исследование, должно хорошо вентилироваться. В случае непрерывной работы более 2-х часов необходим 30-минутный перерыв для проветривания.
- \*Способы гигиенической обработки мундштуков, соединительных трубок, измерительных сопротивлений, внутренних поверхностей дыхательного контура зависят от их конструктивных особенностей, но, как правило, не подлежат автоклавированию. Поэтому она должна состоять из следующих этапов: очистка (замачивание в моющих средствах с последующей механической очисткой и промыванием в проточной воде), обеззараживание (замачивание в дезинфицирующих растворах на определенное время), промывание в проточной воде и сушка.



# Требования к кабинету спирометрии

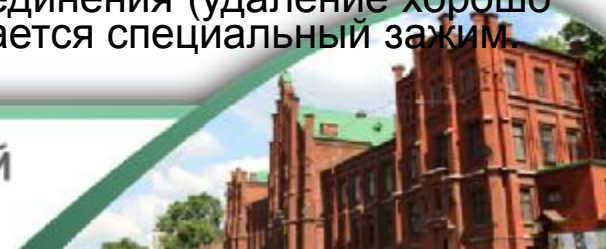
1. Стандартная комната площадью 18 м<sup>2</sup>.
2. Заземление розетки. Отсутствие тройников и удлинителей. Отдельное за-земление для каждого аппарата.
3. Наличие кварцевой лампы или рециркулятора.
4. Наличие вытяжного устройства, если предусмотрено проведение ингаля-ционных проб.
5. Наличие раковины.
6. Наличие двух маркированных емкостей для многоразовых загубников и носовых зажимов (чистых и использованных), пинцета, салфеток для об-работки пневмотахографической (дыхательной) трубки (в работе нельзя использовать вату).
7. Наличие аптечки для оказания экстренной медицинской помощи (в кото-рой обязательно должен находиться нашатырный спирт).
8. Термометр, барометр, гигрометр.
9. Ростомер, весы.
10. Журнал калибровки аппарата.
11. Журнал регистрации пациентов и данных их исследований.
12. Журнал регистрации проверок аппаратуры, информации о неисправностях оборудования.





# Условия проведения исследования

- \* Результаты спирометрии в значительной степени зависят от активного сотрудничества испытуемого человека. Поэтому перед непосредственным выполнением измерений проводится подробный инструктаж о способе выполнения требуемых дыхательных маневров, а при необходимости и с их демонстрацией. Два маневра обычно достаточны для тренировки лиц, впервые проходящих исследование.
- \* Невозможность достижения контакта с испытуемым (дети младшего возраста, умственно неполноценные лица, языковой барьер) является противопоказанием к проведению исследования. Поскольку в процессе исследования необходимо развитие максимальных дыхательных усилий, то исследование не нужно проводить в тех случаях, когда это невозможно (например, при миастении) или противопоказано (тяжелая легочно-сердечная недостаточность, послеоперационный период и т.п.).
- \* Принимая во внимание циркадные ритмы и возможность динамического наблюдения, исследования должны проводиться в первую половину дня (с 9 до 12-13 часов).
- \* Для получения реальных значений показателей необходима отмена бронхолитической терапии за 6 часов до исследования. В случае невозможности этого в протоколе должны быть указаны препараты и время их последнего приема.
- \* Необходим также отказ от курения не менее, чем за 2 часа до начала исследования.
- \* Амбулаторным больным показан предварительный 20-минутный отдых.
- \* Повторные исследования лучше проводить на том же приборе, тем же оператором и в то же время дня.
- \* Измерения должны проводиться при вертикальном положении грудной клетки, при этом человек может сидеть или стоять. При любом положении тела необходимо предотвращать наклоны тела вперед при выполнении дыхательных маневров. Наиболее рациональным представляется проведение измерений в положении стоя, а отдых между маневрами - в положении сидя.
- \* Одежда должна быть свободной и не стеснять движений.
- \* Загубник (или мундштук) укрепляется на высоте, соответствующей росту испытуемого. Должно быть обращено внимание на герметичность подсоединения (удаление хорошо укрепленных зубных протезов не требуется). На нос надевается специальный зажим.



# Основные показатели, оцениваемые при проведении спирометрии

- **ЖЕЛвдоха** (Inspiratory Vital Capacity, **IVC**, или **VCin**) - рассчитывается как разница объема легких между полным выдохом и полным вдохом. Диапазон ее значений у здоровых и больных от 0,5 до 8 л. Разброс последовательно определяемых ЖЕЛвдоха (воспроизводимость) составляет 0,2 л.
- **ФЖЕЛвыдоха** (Forced Expiratory Vital Capacity - **FVC**) - рассчитывается как разница объемов между точками начала и конца маневра. Диапазон - 0,5 - 8,0 л. У здоровых ЖЕЛвдоха и ФЖЕЛвыдоха практически не различаются, но иногда ФЖЕЛвыдоха из-за максимального усилия может быть больше ЖЕЛвдоха. В этом случае при оценке за максимальную величину ЖЕЛ принимается ФЖЕЛвыдоха. У больных, особенно с обструктивной патологией, ФЖЕЛвыдоха, как правило, меньше ЖЕЛвдоха. Но, если различия превышают 0,5 л, то в процессе выполнения маневров на это должно быть обращено внимание оператора. Воспроизводимость ФЖЕЛ составляет 0,2 л. (Если в приборе не предусмотрено измерение ЖЕЛ спокойного выдоха и ФЖЕЛ вдоха, то в перечне измеряемых показателей ЖЕЛвдоха может быть обозначена как ЖЕЛ, а ФЖЕЛвыдоха как ФЖЕЛ, но эти сокращения должны быть указаны в прилагаемом руководстве).
- **ЖЕЛмакс** Максимальная ЖЕЛ (Maximal VC - **VCmax**) - максимальное значение ЖЕЛ, полученное при маневрах вдоха (ЖЕЛвдоха) и выдоха (ФЖЕЛ).
- **ОФВ** - Объем форсированного выдоха за первую секунду маневра ФЖЕЛ выдоха - (Forced Expiratory Volume in the first second - **FEV1**) определяется как объем, выдохнутый в первую секунду от точки начала маневра ФЖЕЛвыдоха. Воспроизводимость ОФВ1 составляет 0,15 л. (Так же как и при обозначении ЖЕЛ и ФЖЕЛ, должно быть обращено внимание, что аббревиатура относится только к маневру форсированного выдоха).



- **ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ** - относительная по отношению к ЖЕЛ величина ОФВ<sub>1</sub> (**FEV<sub>1</sub>/VC<sub>in</sub>**) - - выражается в процентах, является чувствительным индексом наличия или отсутствия ухудшения проходимости дыхательных путей. Учитывая возможные различия в величинах ЖЕЛвдоха и ФЖЕЛвыдоха рационально рассчитывать **ОФВ<sub>1</sub>/ЖЕЛ<sub>макс</sub>**.
- **СО<sub>25-75</sub>-75** - средняя объемная скорость выдоха, определяемая в процессе выдоха от 25 до 75% ФЖЕЛвыдоха -, (Mean forced expiratory flow during the middle half of the FVC - **FEF<sub>25-75</sub>**). Может рассчитываться посредством "интерполяции" между точками, соответствующими выдоху от 25 до 75% ФЖЕЛвыдоха, а также путем расчета истинного среднего потока на этапе маневра ФЖЕЛвыдоха.
- **ПОС** пиковая объемная скорость - (**Peak Expiratory Flow - PEF**) - максимальный поток, достигаемый в процессе выдоха первых 20% ФЖЕЛ выдоха. Если ПОС определяется позже, то это свидетельствует о том, что маневр выполнен неправильно, с поздним развитием максимального усилия. Диапазон значений ПОС у здоровых составляет от 4,0 до 15,0 л.с-1, у больных его величина может снижаться до 2,5 л.с-1. Воспроизводимость ПОС составляет 0,63 л.с-1.



- **МОС** мгновенные максимальные объемные скорости - (**Maximal Expiratory Flow - MEF**, или **Forced Expiratory Flow - FEF**), рассчитываются при определенном объеме выдоха.

Обычно используются два способа обозначения объема ФЖЕЛ, при котором рассчитываются МОС. В одном случае обозначается та часть ФЖЕЛ, которая *уже была выдохнута* к моменту измерения МОС, , а во втором - та, которая *еще должна быть выдохнута* (первый способ рекомендуется Американским торакальным обществом, а второй - Европейским респираторным обществом).

Так, MEF25 обозначает, что эта скорость была измерена *после выдоха первых 25% ФЖЕЛ*, а FEF25 - после измерения этого потока *должно быть выдохнуто еще 25% ФЖЕЛ* (т.е. MEF25 соответствует FEF75). В отечественной практике используется первый способ обозначения объема ФЖЕЛ, при котором рассчитываются МОС (т.е. указывается та часть ФЖЕЛ, , которая *уже была выдохнута к моменту измерения МОС*). Единицы измерения -л/сек. В целях упрощения, а также принимая во внимание, обозначения диапазона объема в случае расчета СОС мы предлагаем использовать аналогичные обозначения и для МОС: **МОС25, МОС50 и МОС75**.

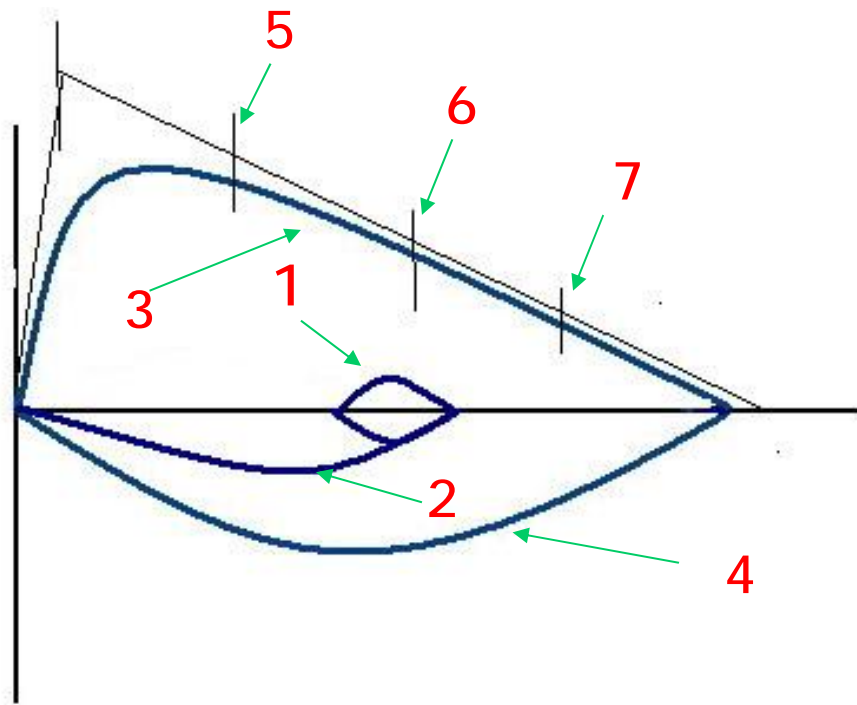




- **ОФВПОС** - объем форсированного выдоха, при котором достигается ПОС - (**Forced Expiratory Volume at peak expiratory flow - FEVPEF**) - рассчитывается как тот объем воздуха ( в абсолютных величинах), который был выдохнут к моменту достижения ПОС. У здоровых его величина не превышает 0,6 л, а у больных может понижаться до 0,05 л.
- **ТПОС** - время, потребовавшееся для достижения ПОС - (**Forced Expiratory Time at PEF – FETPEF, Time of PEF - TPEF**). У здоровых ТПОС не превышает **0,1 с**, а у больных может понижаться до 0,01 с.
- **ТФЖЕЛ** - время, необходимое для выдоха 100% ФЖЕЛ выдоха - (**Forced Expiratory Time at FVC - TFVC**), рассчитывается как промежуток времени, соответствующий точкам начала маневра и конца маневра ФЖЕЛ выдоха. Если ТФЖЕЛ меньше 1,0 с, то это, скорее всего, свидетельствует о незавершенности выдоха. Увеличение его больше 6,0 с также требует обращения внимания оператора на целесообразность продолжения маневра. В случае, если ФЖЕЛ через 6,0 с выдоха отличается от ЖЕЛ вдоха менее, чем на 0,5 л, маневр может быть прекращен командой оператора.



# Спирометрия



1 – ДО (TV)

2 – Емкость вдоха (IC)

3 – ФЖЕЛ (FVC)

4 – ЖЕЛ (VC IN)

5 –  $\text{MOC}_{25}$  ( $\text{FEF}_{25}$ )

6 –  $\text{MOC}_{25}$  ( $\text{FEF}_{25}$ )

7 –  $\text{MOC}_{25}$  ( $\text{FEF}_{25}$ )





## Методика исследования

Исследование механических свойств легких с помощью спирометрии требует от испытуемого выполнения двух разных по характеру дыхательных маневров:

1. ЖЕЛвд
2. ФЖЕЛвыд.



## Выполнение маневра ЖЕЛвд.

1. После входа в измерительную часть программы на экране должна появиться система координат. По вертикали должен откладываться поток, а по горизонтали - объем. Выдох - в верхней части шкалы, а соотношение шкал - 2:1. Такая система отображения отношений поток-объем значительно облегчает и упрощает визуальный контроль оператора за ходом выполнения маневров.
  2. После подключения человека к прибору выполняется 2-3 спокойных вдоха и выдоха для адаптации испытуемого к дыханию в прибор.
  3. Пациент по команде оператора производит глубокий полный выдох с уровня спокойного дыхания, а затем полный, глубокий спокойный вдох. Время маневра не ограничивается, но он не должен быть ни слишком медленным, ни форсированным, без фиксации объема на любом уровне вдоха.
- После завершения каждого маневра человек может отпускать загубник и отдыхать в течение необходимого времени. На экране при этом должен оставаться график выполнения маневра.
  - Требуется получить три воспроизводимых маневра ЖЕЛвд, в которых ее величина варьировала бы в пределах  $\pm 0,15$  л. Из этих трех значений для окончательной оценки принимается максимальная величина ЖЕЛвд.



## **Выполнение маневра ФЖЕЛвыд.**

- После 2-3 дыханий человеку предлагается от уровня спокойного дыхания выполнить полный глубокий вдох и без задержки дыхания с уровня максимального глубокого вдоха выполняется полный глубокий выдох с максимальным усилием, которое должно быть достигнуто в начале маневра и поддерживаться на всем его протяжении.
- О правильном выполнении маневра свидетельствует достижение ПОС до выдоха 20% ФЖЕЛ и последующее плавное понижение потока до конца выдоха, что выражается в характерной кривой, близкой к треугольной форме



## Критерии правильности выполнения маневров

- Одним из важных критериев правильности выполнения теста является сопоставление объемов ЖЕЛвд и ФЖЕЛвыд. У здоровых ЖЕЛвд и ФЖЕЛвыд . У здоровых ЖЕЛвд и ФЖЕЛ выд равны или ЖЕЛвд может быть больше ФЖЕЛвыд на 100-150 мл. При нарушениях проходимости дыхательных путей это различие возрастает вследствие развития экспираторного коллапса мелких дыхательных путей и феномена «воздушной ловушки».
- Иногда у здоровых детей и молодых астеников возможно незначительное превышение величины ФЖЕЛвыд над величиной ЖЕЛвд , но не более чем на 100-150 мл. Объясняется этот факт анатомо-физиологическими особенностями аппарата вентиляции.
- В случаях, когда  $\text{ФЖЕЛвыд} > \text{ЖЕЛвд}$ , рекомендуется измерить ЖЕЛвыдоха : измерение проводится в аналогичной ЖЕЛвд манере из состояния максимально глубокого вдоха до полного выдоха. Кроме того, особенно у очень тяжелых пациентов, возможно проведение двухстадийной ЖЕЛ: на фоне спокойного дыхания делается максимально глубокий вдох, возврат к исходному уровню, а через несколько спокойных дыхательных циклов – максимальный выдох.



2. Для маневра ФЖЕЛвыд характерно наличие каскада скоростей:

$$\text{ПОС} \geq \text{МОС25} > \text{МОС50} > \text{МОС75},$$

причем равенство ПОС и МОС25 наблюдается только в редких случаях.

Все случаи, когда последующий параметр каскада больше предыдущего, требуют повторного выполнения исследования.

3. ПОС достигается при выдохе первых 20% ФЖЕЛ (индекс ОФВПОС / ФЖЕЛ должен быть не больше 20%). При этом **ТПОС  $\leq$  0,1 сек.**

Если ПОС определяется позже, то это свидетельствует о том, что маневр выполнен неправильно, с поздним развитием усилия.

- 4. Объем обратной экстраполяции (EV, VBE) должен быть менее 0,15л или 5% ФЖЕЛ





## Критерии окончания форсированного выдоха:

Ощущение полного выдоха  
на экране кривая выдоха переходит в плато,  
- то есть **изменение объема не  $> 0,025$  л за время  $\geq 1$  с.**

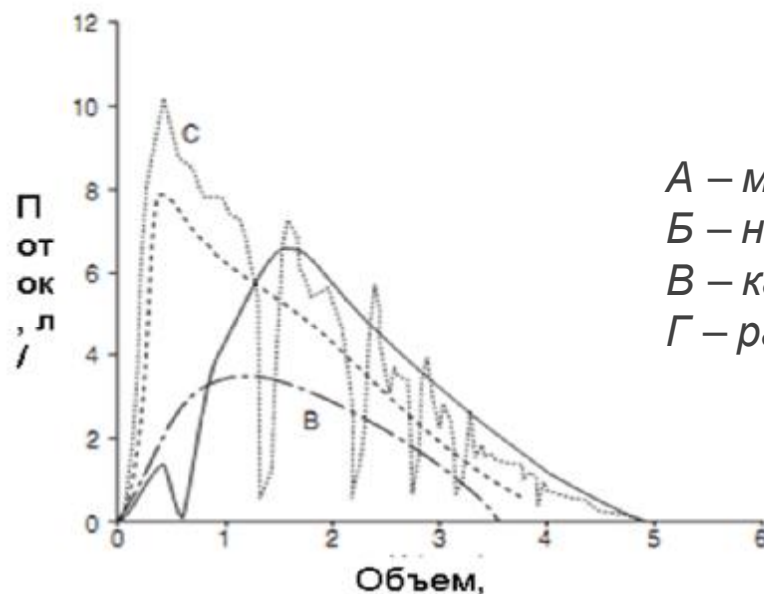
Время, необходимое для выдоха 100% ФЖЕЛ - время  
форсированного выдоха ( $T_{ФЖЕЛ}$ ,  $T_{FVC}$ , FET)

**для детей  $< 10$  лет <sup>3</sup> 3 сек**

**для детей  $> 10$  лет и взрослых <sup>3</sup> 6  
сек.**



# Наиболее частые ошибки при выполнении маневра форсированного выдоха



*А – медленное начало,  
Б – недостаточное усилие,  
В – кашель,  
Г – раннее завершение выдоха*

## Критерии воспроизводимости

- разница между двумя наибольшими ФЖЕЛ  $\leq 150$  мл
  - *разница  $\leq 100$  мл при ФЖЕЛ менее 1 л,*
- разница между двумя наибольшими ОФВ1  $\leq 150$  мл;



# Отбор маневров спирометрии для обработки

При проведении спирометрии очень велико значение активной кооперации испытуемого, его мотивации, заинтересованности в результатах правильного обследования. В связи с этим последовательно выполненные маневры могут отличаться один от другого. В этих условиях отбор маневров для окончательной обработки должен производиться особенно тщательно.

Из 3-х приемлемых попыток две с максимальными значениями должны быть в пределах воспроизводимости:

ЖЕЛ в пределах 150 мл,

ПОС в пределах 10%,

ОФВ<sub>1</sub> – в пределах 150мл,

ФЖЕЛ выд – 150мл.

Для протокола выбирается попытка с максимальной величиной ЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub>

Как правило, для получения трех воспроизводимых попыток испытуемый человек выполняет большее количество маневров. Если три воспроизводимых маневра ФЖЕЛ после 8 попыток получить не удалось, то исследование прекращается и испытуемому предлагается 30-минутный отдых. Специальными исследованиями было продемонстрировано, что дальнейшее продолжение приводит к утомлению дыхательных мышц и искажению получаемых результатов.

Если по каким-либо причинам не удастся все же получить 3 воспроизводимых маневра ФЖЕЛвыд, то оператор должен отобрать один из имеющихся для последующей обработки, но при этом в окончательном протоколе необходимо обязательное указание на то, что значения показателей в силу определенных причин (субъективных или объективных) получены с отклонением от требований методики по данным одного маневра.



# Оценка результатов исследования

**Оценка значений отдельных показателей.** С этой целью обычно значение показателя сопоставляется с так называемой его “должной” величиной. Должные величины рассчитываются на основании изучения зависимости величины показателей от возраста, пола и антропометрических характеристик у достаточно больших групп здоровых людей. “Должная” величина показателя, таким образом, представляет собой теоретически наиболее вероятную величину, рассчитанную по установленным у здоровых зависимостям от возраста и антропометрических характеристик (роста, веса), то есть она является среднестатистической (ожидаемой) его величиной.

В практической работе можно использовать любые должные величины. Требуется только указать какие формулы были использованы. Наиболее часто используются следующие системы должных:

- Р.Ф.Клемент и соавт. , 1984 год  
Система должных величин показателей спирометрии для лиц старше 18 лет.
- Р.Ф.Клемент и Н.А.Зильбер, 1994 год.  
Система должных величин показателей спирометрии для лиц моложе 18 лет
- European Communnity for Steel and Coal, 1993



## Определение выраженности (степени) изменения показателей (Р.Ф.Клемент и соавт. , 1984 год)

Градации нормальных значений и степени снижения параметров спирометрии

- 1. Больше нормы - больше  $(D+1,0)$   $\delta\text{п}$
- 2. Норма - от  $(D\pm 1,0)$  до  $(D-1,0)$   $\delta\text{п}$
- 3. Условная норма - от  $(D-1,0)$  до  $(D-1,64)$   $\delta\text{п}$
  
- 4. Очень легкое снижение - ниже уровня «3» на 1,64  $\delta\text{п}$
- 5. Легкое снижение - ниже уровня «4» на 1,64  $\delta\text{п}$
- 6. Умеренное снижение - ниже уровня «5» на 1,64  $\delta\text{п}$
  
- 7. Значительное снижение - ниже уровня «6» на 1,64  $\delta\text{п}$
- 8. Весьма значительное снижение - ниже уровня «7» на 1,64  $\delta\text{п}$
  
- 9. Резкое снижение - ниже уровня «8» на 1,64  $\delta\text{п}$
- 10. Крайне резкое снижение - ниже уровня «8» на 1,64  $\delta\text{п}$

*Д - должная величина       $\delta\text{п}$ - сигма повторяемости*





# Общие принципы формирования заключения по результатам спирометрии

1. Оценка степени изменения ЖЕЛВД.
2. Оценка степени нарушений проходимости дых. путей (НП ДП)

Основной параметр –  $ОФВ_1$ .

*Если снижение  $МОС_{50}$  и  $СОС_{25-75}$  превышает степень снижения  $ОФВ_1$ , то в заключении выраженность НП ДП может быть увеличена не более, чем на 1-2 градации.*



## Пример

ФИО ХХХ.

Возраст

54л.

Вес 92 кг.

Пол м.

Рост 180 см

Дата 13.11.2014

| Показатели           | Измер. | Долж. | % долж. | Выраж. | Оценка             |
|----------------------|--------|-------|---------|--------|--------------------|
| ЖЕЛ                  | 4,7    | 4,8   | 98      | 1,6    | норма              |
| ФЖЕЛ                 | 4,3    | 4,63  | 92,3    | 1,8    | норма              |
| ОФВ <sub>1</sub>     | 2,72   | 3,75  | 72,4    | 4,4    | Легкое снижение    |
| ТТ                   | 63,6   | 76,87 | 82,7    | 3,2    | Очень легкое сниж. |
| ПОС                  | 7,06   | 8,79  | 80,4    | 2,4    | Условная норма     |
| МОС <sub>25</sub>    | 4,38   | 8,04  | 54,5    | 4,5    | Легкое снижение    |
| МОС <sub>50</sub>    | 2,01   | 5,3   | 37,7    | 5,8    | Умеренное снижение |
| МОС <sub>75</sub>    | 0,66   | 2,36  | 27,9    | 6,9    | Значительное сниж. |
| СОС <sub>25-75</sub> | 1,71   | 4,4   | 38,9    | 5,7    | Умеренное снижение |

**Заключение:** ***ЖЕЛ в пределах нормы,  
умеренные нарушения проходимости дых. путей***



# Классификация тяжести обструктивных нарушений легочной вентиляции (ATS/ERS 2005)

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



## Классификация тяжести обструктивных нарушений у больных ХОБЛ, основанная на постбронходилатационном ОФВ1 (GOLD 2014)

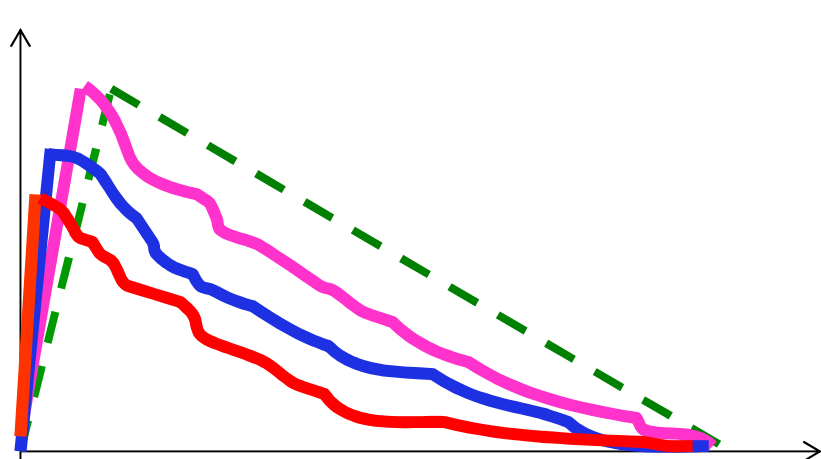
| Стадия           | ОФВ1                  | ОФВ1/ФЖЕЛ |
|------------------|-----------------------|-----------|
| I легкая         | $\geq 80\%$ д.в.      | < 70%     |
| II умеренная     | $\geq 50 < 80\%$ д.в. |           |
| III тяжелая      | $\geq 30 < 50\%$ д.в. |           |
| IV очень тяжелая | < 30% д.в.            |           |



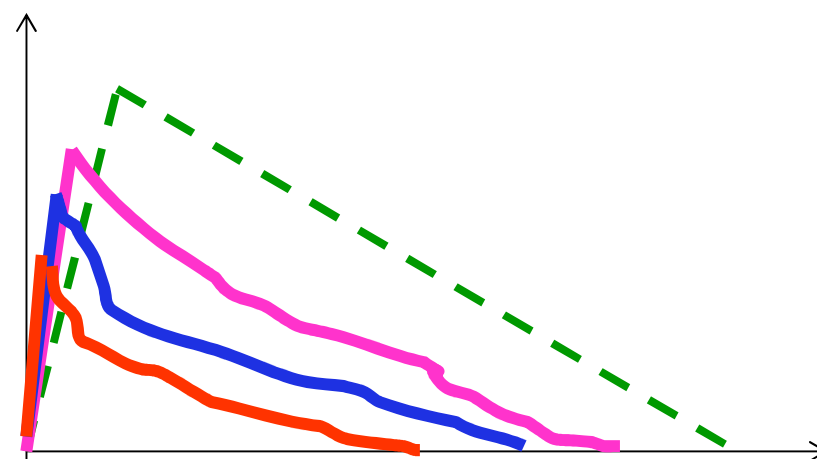
# Варианты отношений поток-объем

## Обструкция дыхательных путей

Преобладает снижение  $ОФВ_1$  и скоростных показателей



С нормальной ЖЕЛ



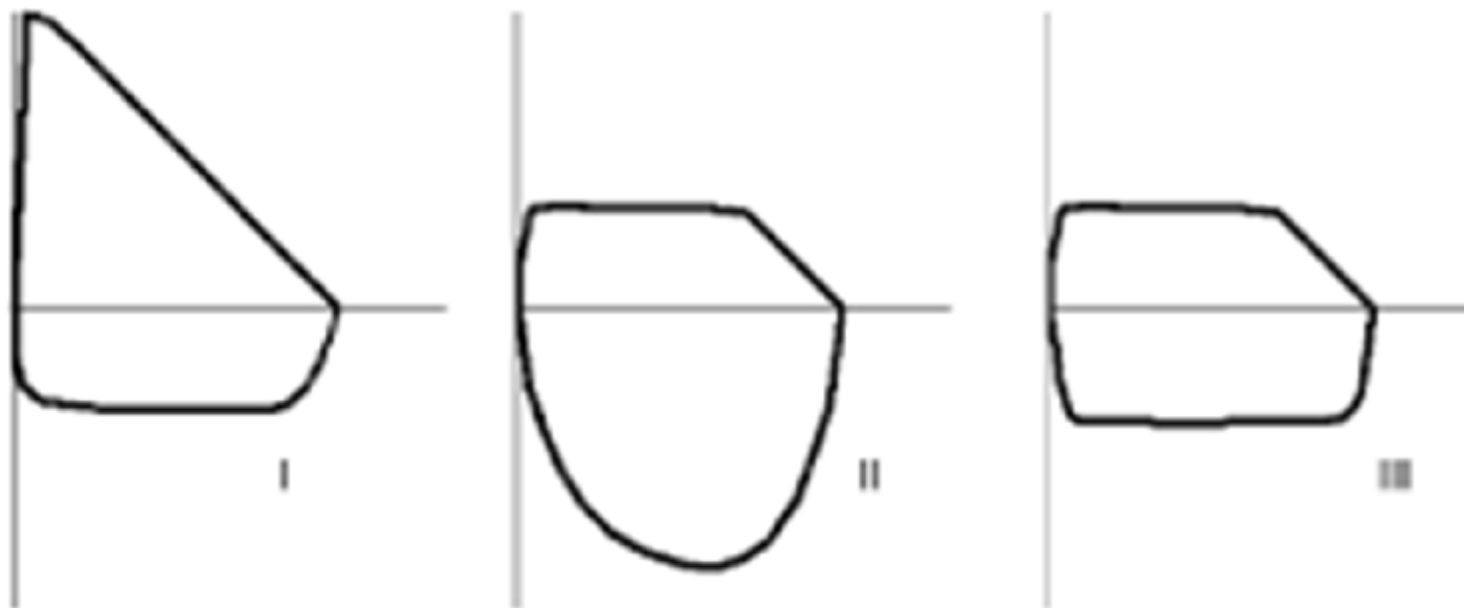
Со сниженной ЖЕЛ

— Умеренные НП ДП  
— Значительные НП ДП  
— Резкие НП ДП





## ***Обструктивные вентиляционные нарушения***



I — переменная экстраторакальной обструкцией (*паралич голосовых связок*),

II — переменной интраторакальной обструкцией (*опухоль нижнего отдела трахеи*),

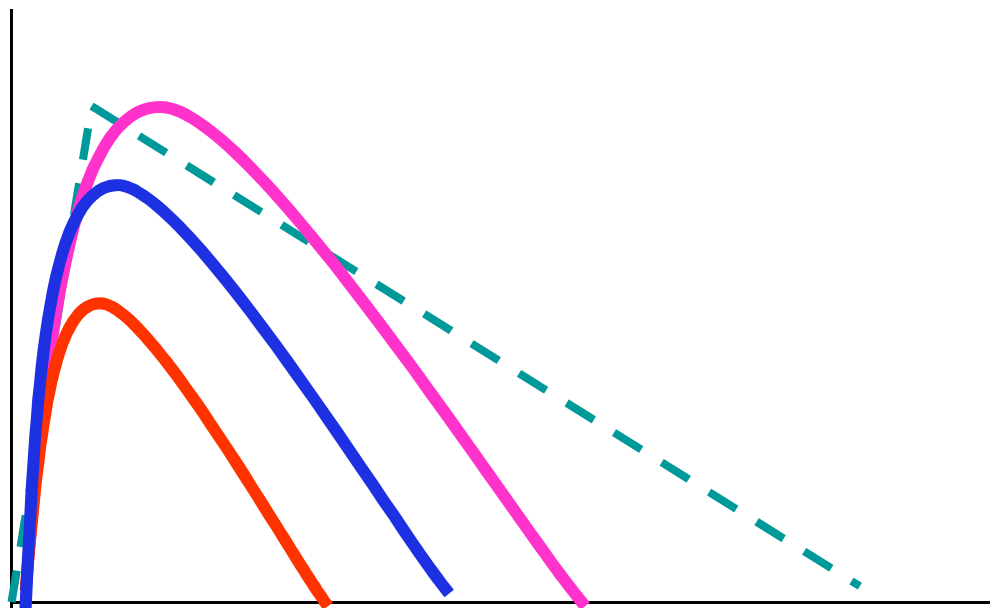
III — фиксированной обструкцией (*опухоль, фиксированный стеноз*).



## Предположение о *рестриктивном* варианте изменений механики дыхания

Равноценное снижение ЖЕЛ, ФЖЕЛ и ОФВ1  
при скоростных показателях, сниженных меньше,  
чем ОФВ1

$$\text{ОФВ1/ФЖЕЛ} > 80\%$$



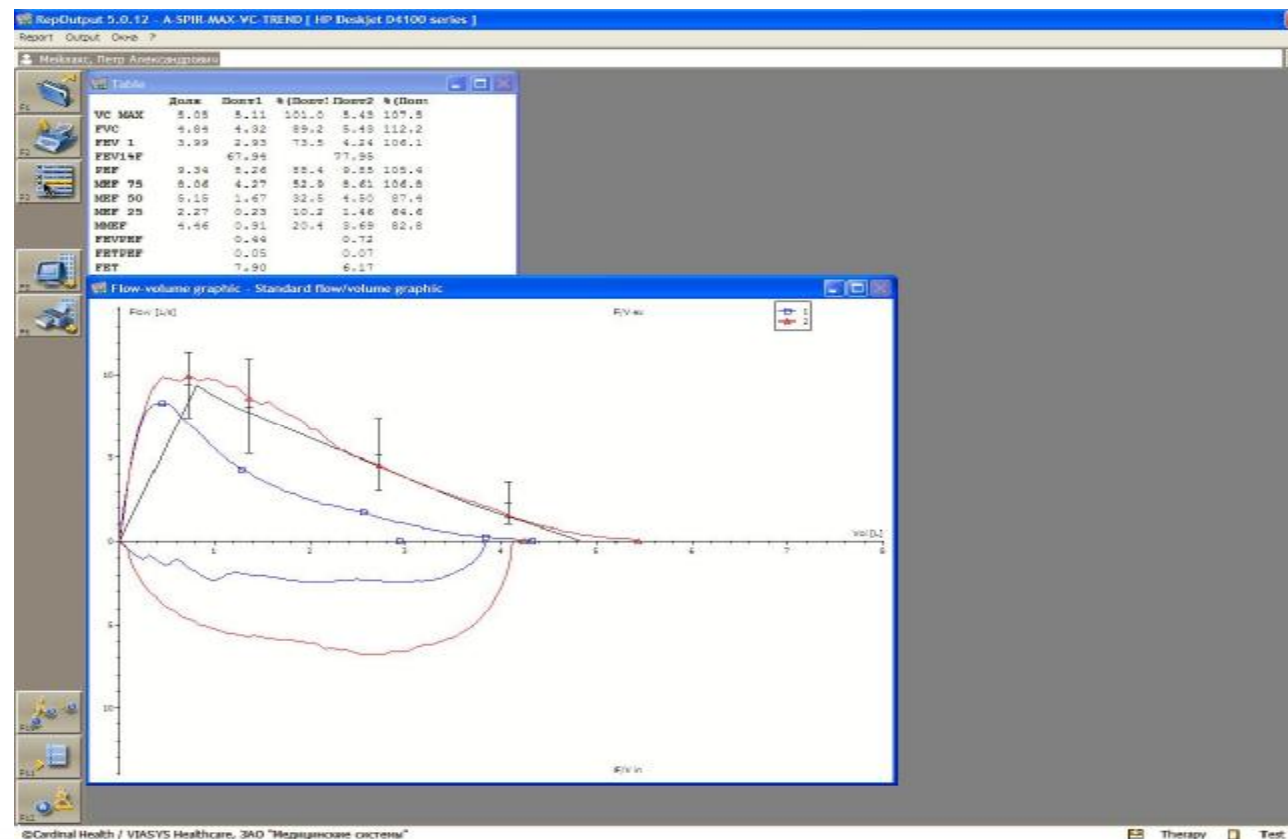
# Бронходилятационный тест

Сальбутамол 400 мкг (4 ингаляции по 100 мкг)  
или фенотерол 400 мкг (4 ингаляции по 100  
мкг) с интервалом в 30 сек

М-холинолитик 160 мкг (4 дозы по 40  
мкг)

Спирометрия через 15 минут

Спирометрия через 30 минут



ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский  
институт фтизиопульмонологии» Минздрава России



# Интерпретация результатов бронходилатационного теста

$$\text{КБД} = \frac{\text{ОФВ1}_{\text{после}} (\text{мл}) - \text{ОФВ1}_{\text{исходное}} (\text{мл})}{\text{ОФВ1}_{\text{исходное}} (\text{мл})} \times 100 \%$$

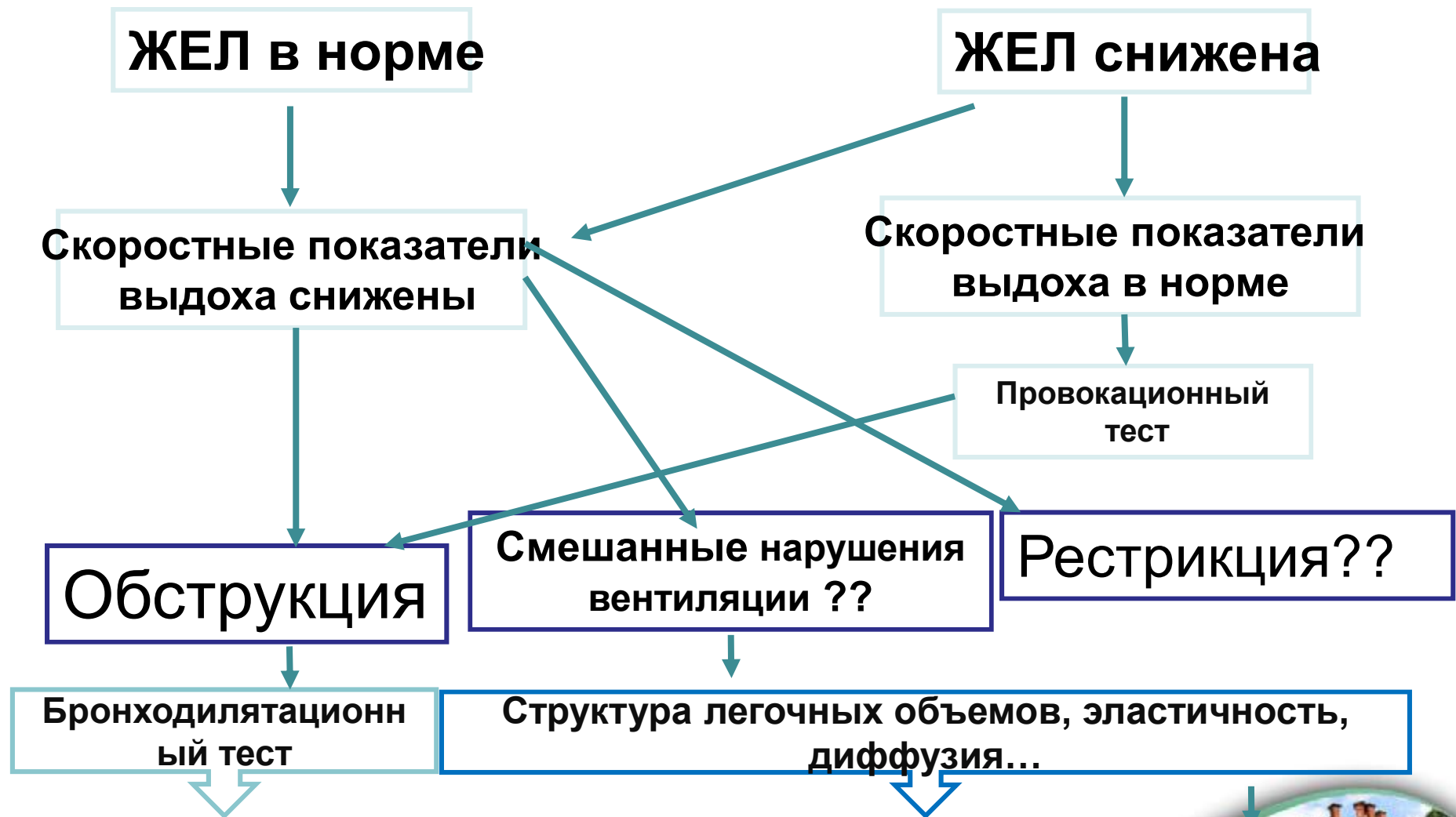
$$\text{Абсолютный прирост (мл)} = \text{ОФВ1}_{\text{после}} (\text{мл}) - \text{ОФВ1}_{\text{исходное}} (\text{мл})$$

Тест положительный, если после ингаляции бронходилататора:  
коэффициент бронходилатации > 12%,  
абсолютный прирост - > 200 мл.



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Алгоритм оценки спирометрии





# Общие принципы формирования заключения по результатам спирометрии

1. Оценка степени изменения ЖЕЛвд.
2. Оценка степени нарушений  
проходимости дых. путей (ОФВ<sub>1</sub> =  
принципиально. ОФВ<sub>1</sub>/ФЖЕЛ)
3. Оценка бронходилатационного теста.
4. Рекомендации по уточняющему  
исследованию.



# Комплексное исследование ФВД

## Спирометрия

Диагностика нарушений проходимости ДП и оценка их выраженности

Измерение ЖЕЛ  
Предположение о наличии рестрикции

## Бодиплетизмография

Диагностика рестриктивного и смешанного типов нарушений Вентиляции

Уточнение характера обструкции

## Диффузионтест

Оценка газообмена

Оценка механизма снижения диффузионной способности легких

Оценка альвеолярных шунтов

Оценка силы дыхательных мышц

Нейро респираторный драйв

Кардио-пульмональный нагрузочный тест

Полисомнография и др...



# Рекомендуемая литература

А. Г. Чучалин, З. Р. Айсанов, С. Ю. Чикина, А. В. Черняк, Е. Н. Калманова

**Федеральные клинические рекомендации Российского  
респираторного общества по использованию метода спирометрии**

Пульмонология, 2014. - №4 – с.11-24

Eur Respir J 2005; 26: 319–338  
DOI: 10.1183/09031936.05.00034805  
Copyright©ERS Journals Ltd 2005

## **SERIES “ATS/ERS TASK FORCE: STANDARDISATION OF LUNG FUNCTION TESTING”**

**Edited by V. Brusasco, R. Crapo and G. Viegi  
Number 2 in this Series**

### Standardisation of spirometry

M.R. Miller, J. Hankinson, V. Brusasco, F. Burgos, R. Casaburi, A. Coates,  
R. Crapo, P. Enright, C.P.M. van der Grinten, P. Gustafsson, R. Jensen,  
D.C. Johnson, N. MacIntyre, R. McKay, D. Navajas, O.F. Pedersen, R. Pellegrino,  
G. Viegi and J. Wanger



Eur Respir J 2005; 26: 948–968  
DOI: 10.1183/09031936.05.00035205  
Copyright©ERS Journals Ltd 2005

## **SERIES “ATS/ERS TASK FORCE: STANDARDISATION OF LUNG FUNCTION TESTING”**

**Edited by V. Brusasco, R. Crapo and G. Viegi  
Number 5 in this Series**


### Interpretative strategies for lung function tests

R. Pellegrino, G. Viegi, V. Brusasco, R.O. Crapo, F. Burgos, R. Casaburi, A. Coates,  
C.P.M. van der Grinten, P. Gustafsson, J. Hankinson, R. Jensen, D.C. Johnson,  
N. MacIntyre, R. McKay, M.R. Miller, D. Navajas, O.F. Pedersen and J. Wanger



ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский  
институт фтизиопульмонологии» Минздрава России





**В СПб НИИ фтизиопульмонологии  
проводятся циклы усовершенствования  
«Спирометрия, методика  
выполнения, интерпретация»  
18 часов с практическим освоением  
навыков на рабочем месте и выдачей  
сертификата.**

Запись на циклы  
Учебный отдел СПб НИИФ  
(812) 579-64-22  
[uo@spbniif.ru](mailto:uo@spbniif.ru)

ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский  
институт фтизиопульмонологии» Минздрава России

