

Лекция 3. Легочные объемы и емкости. Оценка ФОЕ методом разведения гелия

Спирометрическое исследование начинается с записи спокойного дыхания. При этом иногда 1-2 мин пациент адаптируется к спирометру (это прежде всего касается спирометров закрытого типа), затем после установления ровного спокойного дыхания включается запись. Ранее запись спокойного дыхания продолжалась 3-5 мин, теперь это время сокращено до полуминуты. На этом этапе измеряются следующие величины (рис. 5):

Дыхательный объем (*ДО*) (*V* - Tidal volume) - объем воздуха, который вдыхается и выдыхается за каждый дыхательный акт.

Частота дыхания (*ЧД*) (*f* - frequency) - число дыхательных движений в 1 мин.

Минутный объем дыхания (*МОД*) (*V* - Minute ventilation)- объем, который вентилируется через легкие за 1 мин $МОД = ДО \times ЧД$.

У взрослого человека *ДО* составляет около 500 мл, *ЧД* -16 в 1 мин, а *МОД* - около 8 л/мин. Необходимо отметить, что величины *ЧД* и *ДО* очень индивидуальны.

Резервный объем вдоха (*РО_{вд}*) (*IRV* - inspiratory reserve volume) - максимально возможный объем, который можно дополнительно довдохнуть после спокойного вдоха. У взрослого человека небольшого роста он составляет около 2 л¹.

Резервный объем выдоха (*РО_{выд}*) (*ERV* - expiratory reserve volume) - максимального возможный объем, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха. В нашем примере он составляет около 1,5 л,

Жизненная емкость легких (*ЖЕЛ*) (*VC* - vital capacity) - максимально возможный объем, который можно выдохнуть после максимально глубокого вдоха (*ЖЕЛ* выдоха), или максимальный объем, который можно вдохнуть после максимально глубокого выдоха (*ЖЕЛ* вдоха). Нередко проводят последовательно определение *ЖЕЛ* вдоха и *ЖЕЛ* выдоха. Редко у тяжелых больных проводят прерывистый маневр определения *ЖЕЛ*, сначала определяя *Е_{вд}*, а потом *РО_{выд}*. Тогда *ЖЕЛ* определяют как сумму *Е_{вд}* и *РО_{выд}*. Эти варианты определения *ЖЕЛ* представлены на рис. 6. В норме эти величины одинаковые, но при бронхиальной обструкции за счет экспираторного закрытия бронхов *ЖЕЛ* выдоха может быть меньше, чем *ЖЕЛ* вдоха. Во всех случаях $ЖЕЛ = РО_{вд} + ДО + РО_{выд}$.

¹ Здесь и далее приводятся условные значения объемов для некоторого абстрактного примера. В реальных условиях у каждого обследуемого эти значения индивидуальны.

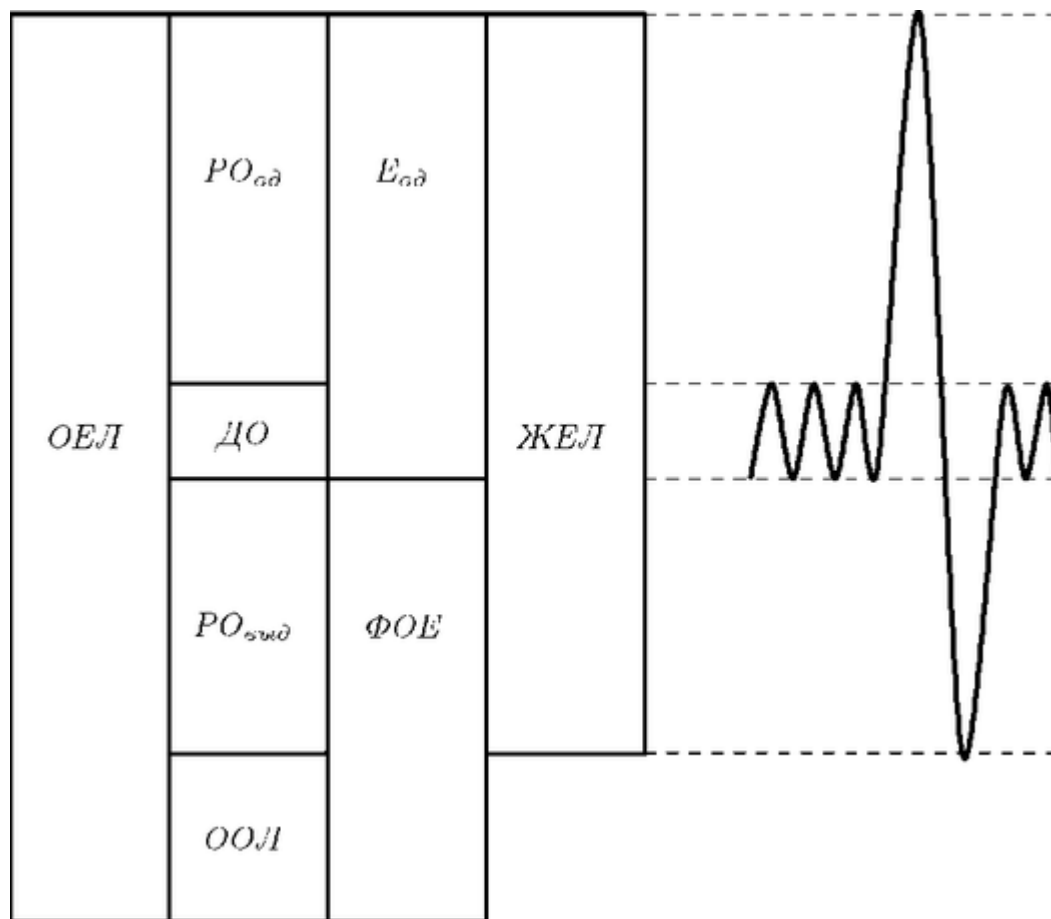


Рис. 5. Схематическое изображение легочных объемов и емкостей

Штриховые линии обозначают (сверху вниз) уровни: максимально глубокого вдоха, спокойного вдоха, спокойного выдоха, максимально глубокого выдоха.

Остаточный объем легких (*ООЛ*) (*RV* - residual volume)-объем воздуха, остающийся в легких после максимально глубокого выдоха. Этот объем не может быть определен при спирометрии, его измеряют при бодиплетизмографии или конвекционным методом разведения инертного газа (гелия).

Функциональная остаточная емкость легких (*ФОЕ*) (*FRC* - functional residual capacity) - объем воздуха в легких на глубине спокойного выдоха.

$$ФОЕ = PO_{выд} + ООЛ$$

Емкость вдоха (*Е_{вд}*) (*IC* - inspiratory capacity)- максимальный объем, который можно вдохнуть после спокойного выдоха. $E_{вд} = ДО + PO_{вд}$. У здорового человека величины *Е_{вд}* и *ФОЕ* примерно равны. При обструкции *ФОЕ* обычно превышает *Е_{вд}*. При рестриктивных нарушениях уменьшаются как *ФОЕ*, так и *Е_{вд}*.

Общая емкость легких (*ОЕЛ*) (*TLC* - total lung capacity) - объем воздуха в легких на глубине максимально глубокого вдоха. Уменьшение *ОЕЛ* - это

основной признак рестриктивного синдрома. При обструкции $ОЕЛ$ часто увеличивается за счет увеличения $ООЛ$. $ОЕЛ = ЖЕЛ + ООЛ = \Phi ОЕ + E_{\text{вд}}$.

Таким образом, выделяют 4 объема: $ДО$, $PO_{\text{вд}}$, $PO_{\text{выд}}$, $ООЛ$ и 4 емкости: $ЖЕЛ$, $ОЕЛ$, $E_{\text{вд}}$, $\Phi ОЕ$. Как видно, легочные емкости включают два легочных объема и более. Из них $ДО$, $PO_{\text{вд}}$, $PO_{\text{выд}}$, $ЖЕЛ$ определяют при спирометрии непосредственно путем выполнения соответствующего маневра.

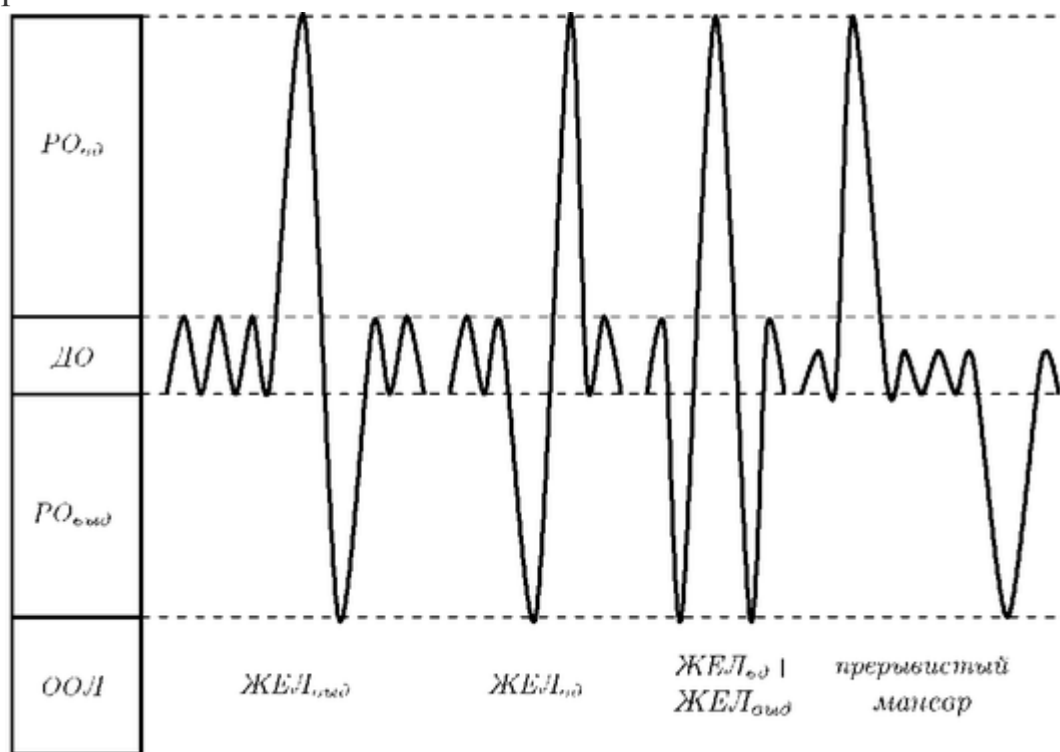


Рис. 6. Различные варианты определения ЖЕЛ

Схема определения величины $ООЛ$ методом разведения гелия

Гелий, обладая малой плотностью, легко проникает во все участки легких, быстро смешиваясь во всем объеме легких, не попадая в кровь, кроме того, он безвреден для организма. На первом этапе емкость спирографа закрытого типа заполняется газовой смесью с небольшим количеством гелия. Газоанализатором измеряется его концентрация - C_1 . Поскольку объем спирометра ($V_{\text{сп}}$) известен по паспортным данным прибора, то известно количество введенного гелия: $C_1 \times V_{\text{сп}}$. Далее открывается дыхательный кран, и гелиевая смесь начинает поступать в легкие пациента. Газоанализатор позволяет установить момент, когда концентрация гелия установится на новом уровне - C_2 . Поскольку гелий не покидает легкие, не поступает в кровь, то количество гелия остается одинаковым как до смешивания, так и после него (рис. 7).

Т.е. $C_1 \times V_{\text{сп}} = C_2 \times (V_{\text{сп}} + V_{\text{легких}})$. Из этого выражения вычисляется величина $V_{\text{легких}}$:

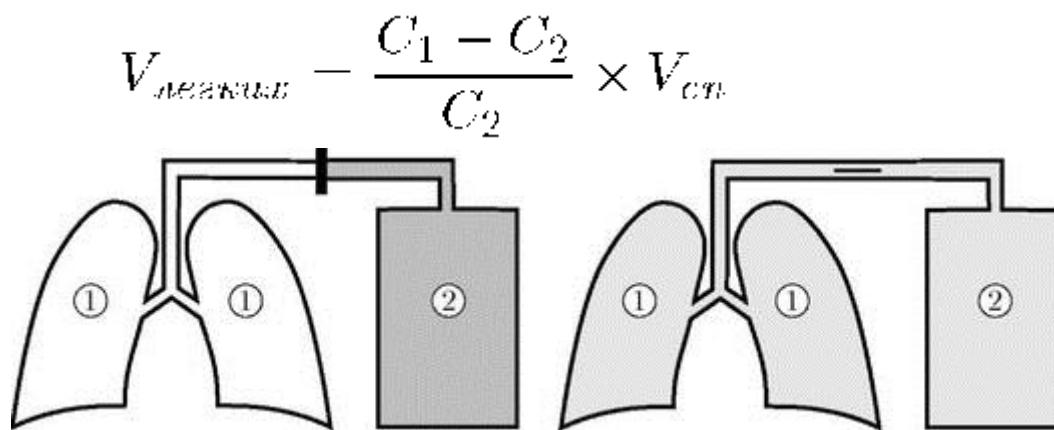


Рис. 7. Схема определения ΦOE методом разведения гелия 1 - легкие пациента, 2 - емкость спирометра.

Слева: до открытия крана весь индикаторный газ находится в спирометре; справа: после открытия газа он распределяется равномерно в легких и спирометре.

Поскольку подключение пациента к спирометру проводится на уровне спокойного выдоха, то величина $V_{\text{легких}}$ будет равна ΦOE . Далее рассчитывают:

$$OOL = \Phi OE - RO_{\text{выд}}, OEL = ЖЕЛ + OOL$$

Информативными являются также соотношения: OOL / OEL и $\Phi OE / OEL$.

ΦOE может быть также измерена методом вымывания азота кислородом. При заполнении емкости спирометра чистым кислородом (в закрытой системе) непрерывно регистрируют концентрацию азота в выдыхаемом газе с помощью азотографа (или масс-спектрометра) с последующим расчетом величины ΦOE . Некоторые приборы позволяют рассчитать ΦOE при регистрации азота в открытой системе.

Альтернативой методу разведения индикаторного газа для определения OOL является метод бодиплетизмографии, основанный на законе Бойля-Мариотта.

В норме OOL составляет 20-35% от OEL в зависимости от возраста (у молодых лиц он меньше, с возрастом OOL увеличивается в связи с развитием возрастной эмфиземы легких). При выраженной обструкции характерно увеличение OOL , увеличение ΦOE , уменьшение $RO_{\text{выд}}$. При тяжелой обструкции уменьшается и $ЖЕЛ$, сначала преимущественно за счет снижения $RO_{\text{выд}}$ (при выраженной эмфиземе возможно уменьшение и емкости вдоха). При рестрикции отмечается уменьшение OEL , при этом уменьшаются все составляющие ее объемы, хотя и в разной степени. При смешанных нарушениях уменьшается и OEL , и изменяется структура OEL по аналогии с обструктивным синдромом.

Соотношение $\Phi OE/OEL$ в норме у молодых людей составляет около 50%, отражая то, что уровень спокойного выдоха является уровнем равновесия эластических сил аппарата дыхания: легочной паренхимы, которая стремится к сжатию, и грудной клетки, которая стремится к расширению. Конкретное значение соотношения $\Phi OE/OEL$ у лиц разного возраста можно найти в специальных таблицах. Уровень спокойного выдоха соответствует равновесию этих сил, когда ΦOE равна емкости вдоха.

На рис. 8 представлена схема изменений структуры OEL в норме, при обструкции (например, ХОБЛ), рестриктивных и смешанных нарушениях.

При различных вариантах нарушений внешнего дыхания отмечаются следующие изменения объемных показателей:

1. При обструкции внегрудных дыхательных путей изменения напоминают таковые при рестриктивных нарушениях: пропорциональное уменьшение всех легочных объемов.

2. При обструкции центральных отделов бронхиального дерева увеличиваются OOL и соотношение OOL/OEL при малом изменении OEL . $ЖЕЛ$ может уменьшиться преимущественно за счет $PO_{выд}$.

3. При дистальной обструкции характерно еще более значимое увеличение OEL , OOL , OOL/OEL . $ЖЕЛ$ может уменьшаться за счет $PO_{выд}$. При выраженной дистальной обструкции, в частности, при эмфиземе легких, возможно значительное уменьшение $ЖЕЛ$ при резком снижении $PO_{выд}$, а также и снижения емкости вдоха. При этом наибольшую часть OEL составляет OOL . При всех трех вариантах уменьшаются $O\Phi B$ и скоростные показатели кривой форсированного выдоха.

4. При рестриктивных нарушениях основным показателем является уменьшение OEL и всех ее составляющих, хотя часто и не в равной степени. Уменьшение только $ЖЕЛ$ не может служить однозначным признаком рестрикции, так как при выраженных обструктивных нарушениях $ЖЕЛ$ также уменьшается.

5. Смешанные нарушения могут быть выявлены только при анализе структуры OEL . При этом будет уменьшаться OEL и изменяться ее структура с уменьшением $PO_{выд}$ и увеличением OOL . Схематичное представление изменений легочных объемных показателей при обструктивных и рестриктивных нарушениях представлено в табл. 2.

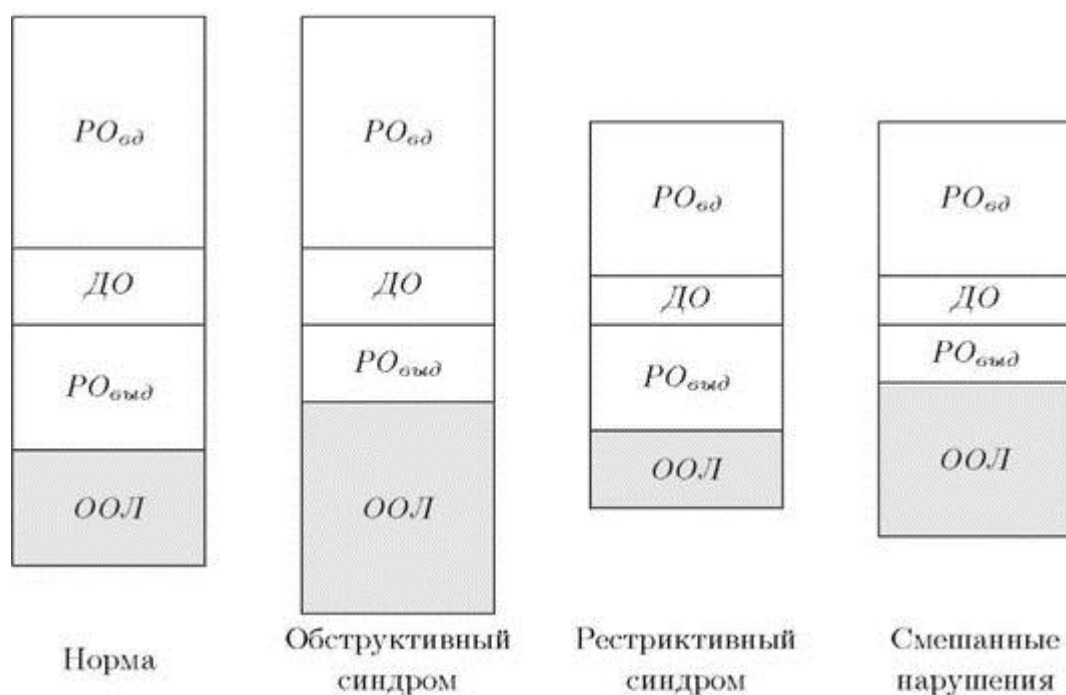


Рис. 8. Схема изменений структуры ОЕЛ при обструкции, рестрикции и смешанных нарушениях

Таблица 2. Типичные изменения спирометрических показателей при обструктивных и рестриктивных нарушениях

Показатель	Синдром	
	Обструктивный	Рестриктивный
ОЕЛ	$N \uparrow$	$\downarrow$
ЖЕЛ	$N \downarrow$	$\downarrow$
$PO_{ад}$	N	$\downarrow$
$PO_{амд}$	$\downarrow$	$\downarrow$
$E_{ад}$	N	$\downarrow$
ФОЕ	$N \uparrow$	$\downarrow$
ООЛ	$\uparrow$	$N \downarrow$
ООЛ/ОЕЛ	$\uparrow$	N
ОФВ ₁	$\downarrow$	$\downarrow$
ОФВ ₁ /ЖЕЛ	$\downarrow$	$N \uparrow$
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ	$\downarrow$	$N \uparrow$
ДО	$N \uparrow$	$N \downarrow$
ЧД	$N \uparrow$	$N \uparrow$
МВЛ	$\downarrow$	$\downarrow$

N - показатель не меняется или меняется незначительно, стрелки указывают на уменьшение или увеличение показателя.

На рис. 9 представлена возрастная динамика показателей *ОЕЛ*, *ООЛ*, *ЖЕЛ*. После 20 лет *ОЕЛ* и *ЖЕЛ* постепенно снижаются, а *ООЛ* и *ФОЕ* увеличиваются. С возрастом увеличивается соотношение *ООЛ/ОЕЛ*, что отражает развитие возрастной эмфиземы легких.

При ХОБЛ характерно изменение соотношения легочных объемов, отражающих обструктивные нарушения и развитие эмфиземы легких: увеличение *ООЛ*, *ФОЕ* и *ОЕЛ*. При физической нагрузке за счет значительных колебаний давления в грудной клетке происходит нарастание экспираторного закрытия бронхов, мелкие бронхи играют роль клапана, происходит «накачка» воздуха в легкие: еще большее увеличение *ООЛ*, *ФОЕ* и *ОЕЛ*. Улучшение бронхиальной проходимости под действием бронхолитических препаратов уменьшает указанную тенденцию.

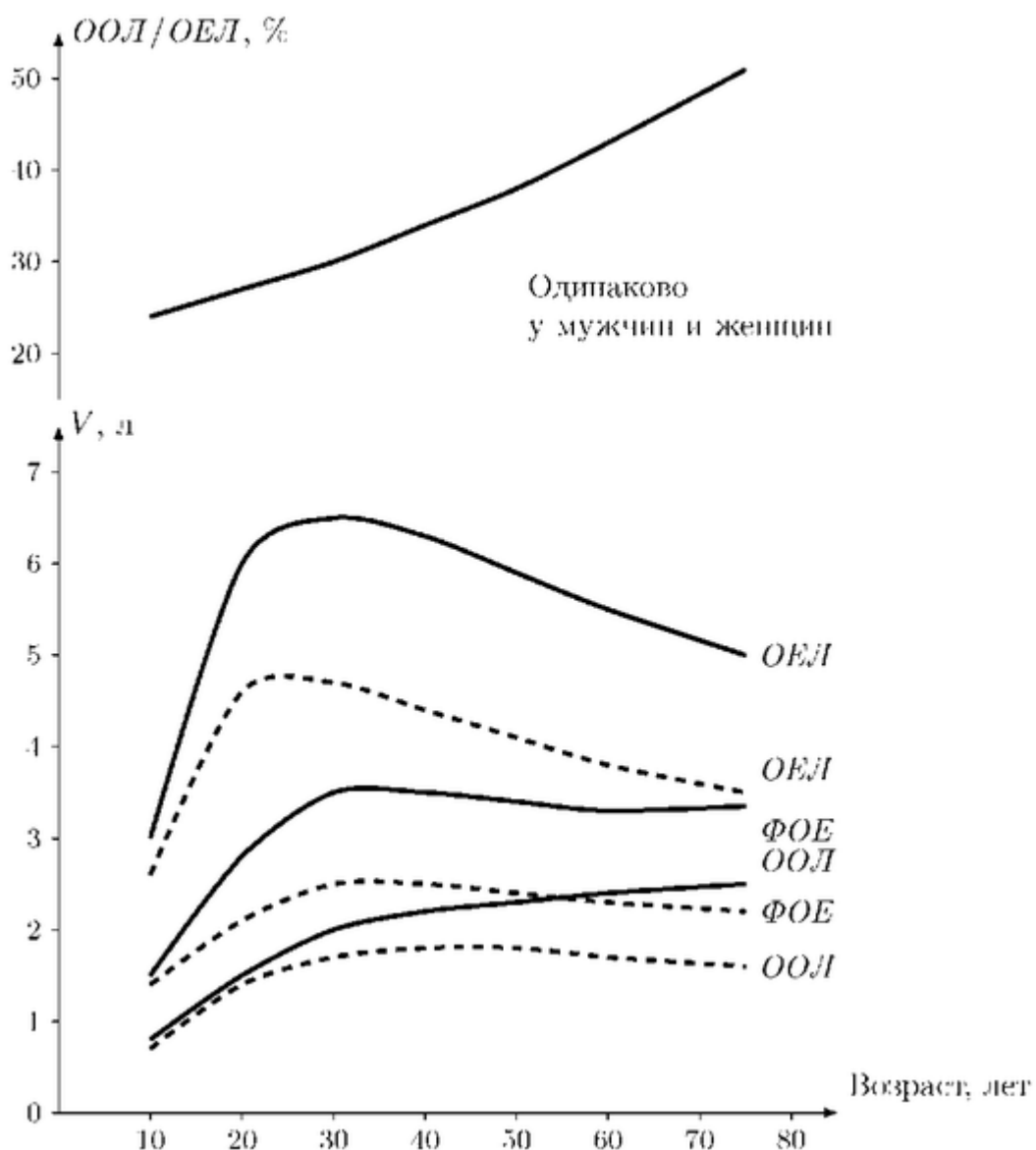
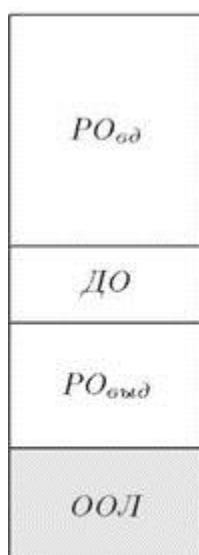
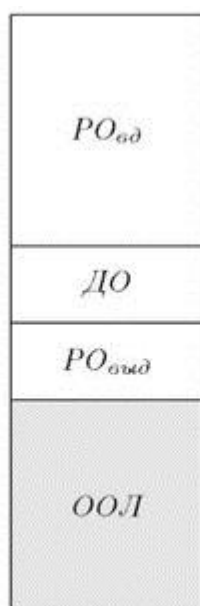


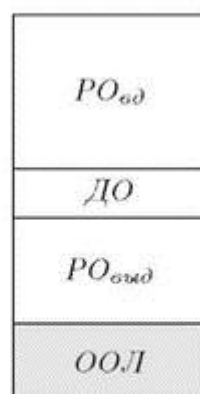
Рис. 9. Возрастная динамика показателей легочных объемов (по Neetham) Сплошная линия - мужчины, пунктирная - женщины.



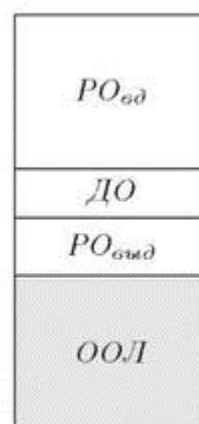
Норма



Обструктивный
синдром



Рестриктивный
синдром



Смешанные
нарушения