

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_t – 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 $E_{вд}$, а потом $РО_{выд}$. Тогда ЖЕЛ определяют как сумму $E_{вд}$ 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 $ЖЕЛ = РО_{вд} + ДО + РО_{выд}$.

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

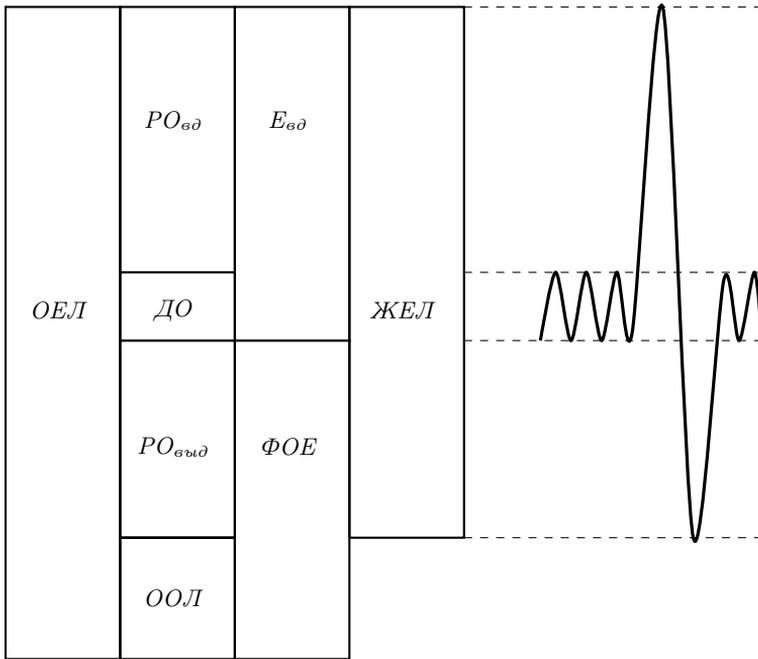


Рис. 5. Схематическое изображение легочных объемов и емкостей
 Штриховые линии обозначают (сверху вниз) уровни: максимально глубокого вдоха, спокойного вдоха, спокойного выдоха, максимально глубокого выдоха.

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.
 $ФОЕ = РО_{выд} + ООЛ$

Емкость вдоха ($Е_{вд}$) (IC - inspiratory capacity) – максимальный объем, который можно вдохнуть после спокойного выдоха. $Е_{вд} = ДО + РО_{вд}$. 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 $ООЛ$. $ОЕЛ = ЖЕЛ + ООЛ = ФОЕ + Е_{вд}$.

Таким образом, выделяют 4 объема: $ДО$, $РО_{вд}$, $РО_{выд}$, $ООЛ$ и 4 емкости: $ЖЕЛ$, $ОЕЛ$, $Е_{вд}$, $ФОЕ$. Как видно, легочные емкости включают два

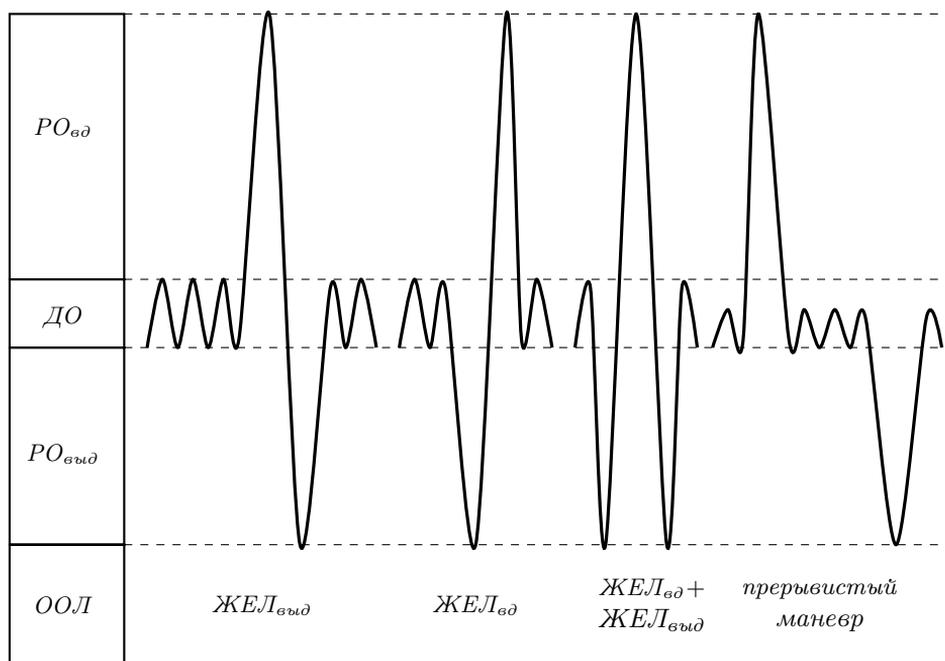


Рис. 6. Различные варианты определения ЖЕЛ

легочных объема и более. Из них $ДО$, $PO_{вд}$, $PO_{выд}$, $ЖЕЛ$ определяют при спирометрии непосредственно путем выполнения соответствующего маневра.

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 ($V_{сн}$) известен по паспортным данным прибора, то известно количество введенного гелия: $C_1 \times V_{сн}$. 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. $C_1 \cdot V_{сн} = C_2 \cdot (V_{сн} + V_{легких})$. Из этого выражения вычисляется величина $V_{легких}$:

$$V_{легких} = \frac{C_1 - C_2}{C_2} \times V_{сн}$$

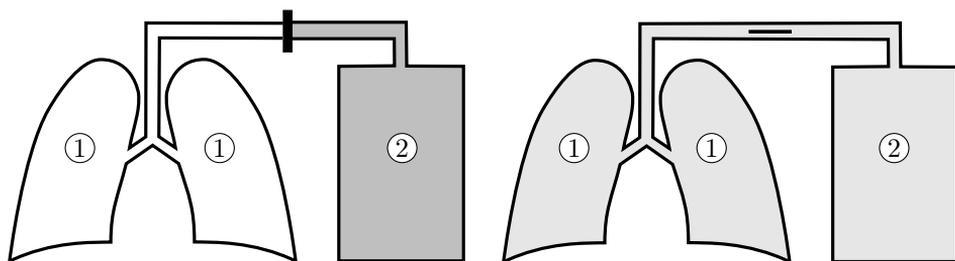


Рис. 7. Схема определения ΦOE методом разведения гелия

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:

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

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

ΦOE также можно измерить 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 методом вымывания 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 $PO_{\text{выд}}$. При тяжелой обструкции уменьшается и $ЖЕЛ$, сначала преимущественно за счет снижения $PO_{\text{выд}}$ (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 спе-

циальных таблицах. Уровень спокойного выдоха соответствует равновесию этих сил, когда ΦOE равна емкости вдоха.

На рис. 8 представлена схема изменений структуры $OEЛ$ 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 $ООЛ$ и соотношение $ООЛ/OEЛ$ при малом изменении $OEЛ$. $ЖЕЛ$ может уменьшиться преимущественно за счет $PO_{выд}$.
3. При дистальной обструкции характерно еще более значимое увеличение $OEЛ$, $ООЛ$, $ООЛ/OEЛ$. $ЖЕЛ$ 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 $OEЛ$ составляет $ООЛ$. При всех трех вариантах уменьшаются OFB_1 и скоростные показатели кривой форсированного выдоха.
4. При рестриктивных нарушениях основным показателем является уменьшение $OEЛ$ и всех ее составляющих, хотя часто и не в равной степени. Уменьшение только $ЖЕЛ$ не может служить однозначным признаком

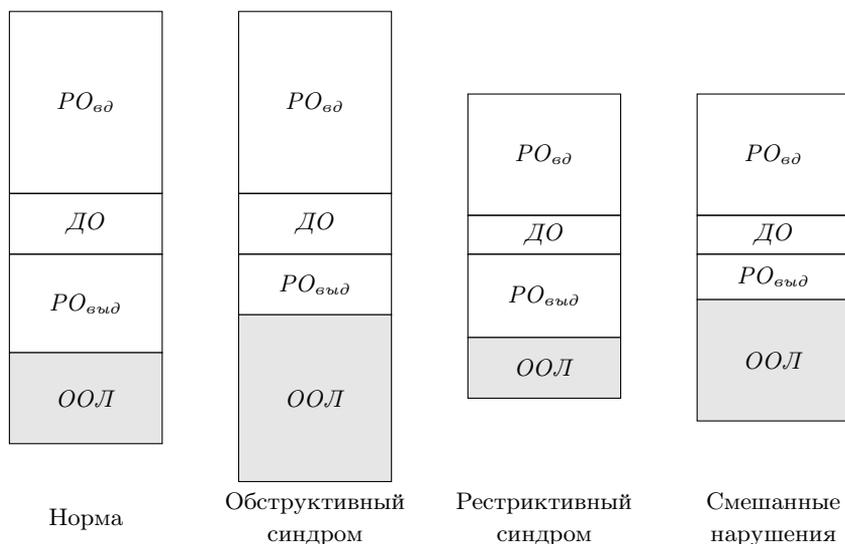


Рис. 8. Схема изменений структуры $OEЛ$ при обструкции, рестрикции и смешанных нарушениях

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

Показатель	Синдром	
	Обструктивный	Рестриктивный
<i>ОЕЛ</i>	<i>N</i> ↑	↓
<i>ЖЕЛ</i>	<i>N</i> ↓	↓
<i>RO_{вд}</i>	<i>N</i>	↓
<i>RO_{выд}</i>	↓	↓
<i>E_{вд}</i>	<i>N</i>	↓
<i>ФОЕ</i>	<i>N</i> ↑	↓
<i>ООЛ</i>	↑	<i>N</i> ↓
<i>ООЛ/ОЕЛ</i>	↑	<i>N</i>
<i>ОФV₁</i>	↓	↓
<i>ОФV₁/ЖЕЛ</i>	↓	<i>N</i> ↑
<i>ОФV₁/ФЖЕЛ</i>	↓	<i>N</i> ↑
<i>ДО</i>	<i>N</i> ↑	<i>N</i> ↓
<i>ЧД</i>	<i>N</i> ↑	<i>N</i> ↑
<i>МВЛ</i>	↓	↓

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

рестрикции, так как при выраженных обструктивных нарушениях *ЖЕЛ* также уменьшается.

- Смешанные нарушения могут быть выявлены только при анализе структуры *ОЕЛ*. При этом будет уменьшаться *ОЕЛ* и изменяться ее структура с уменьшением *RO_{выд}* и увеличением *ООЛ*.

Схематичное представление изменений легочных объемных показателей при обструктивных и рестриктивных нарушениях представлено в табл. 2.

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.

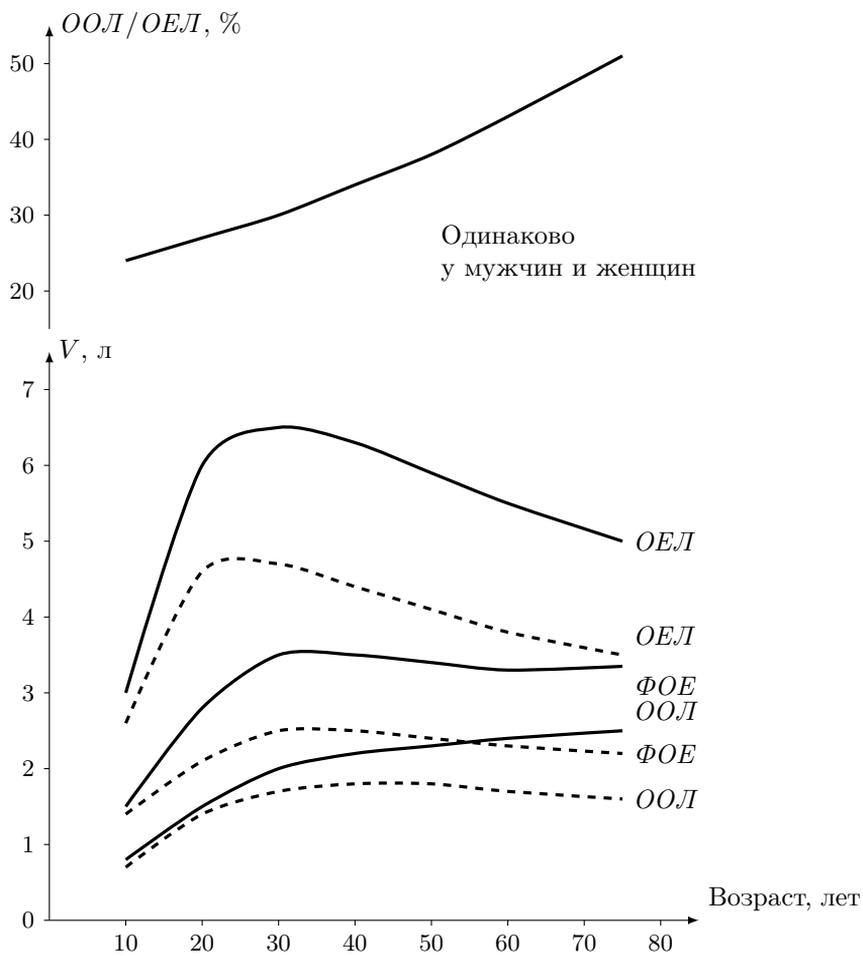


Рис. 9. Возрастная динамика показателей легочных объемов (по Neetham, 1954)

Сплошная линия — мужчины, пунктирная — женщины.