



АССОЦИАЦИЯ
МЕДИЦИНСКИХ
ОБЩЕСТВ
ПО КАЧЕСТВУ



ПУЛЬМОНОЛОГИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО КРАТКОЕ ИЗДАНИЕ

Под редакцией
академика РАН А.Г. Чучалина

Подготовлено под эгидой
Российского респираторного общества
и Ассоциации медицинских обществ по качеству



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Участники издания	6
Список сокращений и условных обозначений	11
Глава 1. Анамнез и физикальное обследование. А.Г. Чучалин	18
Глава 2. Основные лабораторно-инструментальные методы при заболеваниях органов дыхания	27
2.1. Микробиологическая диагностика. М.Н. Зубков	27
2.2. Методы лучевой диагностики болезней органов дыхания. И.Е. Тюрин	40
2.3. Диагностическая и лечебная бронхоскопия. Н.Е. Чернеховская	71
2.4. Торакоскопия и другие инвазивные вмешательства. П.К. Яблонский, В.Г. Пищик	78
Глава 3. Исследование функции дыхания. З.Р. Айсанов, А.В. Черняк, С.Ю. Чикина, Е.Н. Калманова	92
Глава 4. Фармакология препаратов, воздействующих на дыхательные пути. В.В. Архипов, Д.Е. Архипова	108
Глава 5. Основные симптомы респираторных заболеваний и их лечение. Е.В. Бобков, В.Н. Абросимов	119
5.1. Одышка	119
5.2. Кашель	125
5.3. Боли в грудной клетке	133
Глава 6. Вирусные инфекции дыхательных путей. Л.В. Колобухина, М.Ю. Щелканов	143
Глава 7. Бактериальная пневмония. А.И. Синопальников	171
Глава 8. Острый абсцесс и гангрена легкого. Я.Н. Шойхет, И.П. Роцев, С.В. Заремба	202
Глава 9. Туберкулез и другие микобактериальные инфекции. В.Ю. Мишин	218
Глава 10. Микозы легких. Н.Н. Климко, Н.В. Васильева	228
Глава 11. Хроническая обструктивная болезнь легких. И.В. Лещенко, С.И. Овчаренко	242
Глава 12. Бронхиальная астма. А.В. Емельянов, Б.А. Черняк, Н.П. Княжеская, А.С. Белевский, М.О. Потапова	294
Глава 13. Муковисцидоз. Е.Л. Амелина, М.В. Самсонова	325
Глава 14. Бронхоэктазы. Я.Н. Шойхет, Н.М. Лепихин, Д.Н. Лепихина	351
Глава 15. Поражения трахеи. В.Д. Паршин	368
Глава 16. Бронхиолиты. С.Н. Авдеев, О.Е. Авдеева	377
Глава 17. Рак легкого. А.Х. Трахтенберг, К.И. Колбанов, С.А. Седых	388
Глава 18. Метастатические опухоли легких. А.Х. Трахтенберг	404

Глава 19. Тромбоэмболия легочной артерии. <i>П.К. Яблонский, Т.А. Фёдорова, Е.В. Павлушков</i>	411
Глава 20. Легочные васкулиты. <i>А.А. Баранов</i>	433
Глава 21. Отек и острое повреждение легких. <i>А.Г. Чучалин</i>	451
Глава 22. Идиопатическая легочная гипертензия. <i>И.Е. Чазова, Т.В. Мартынюк</i>	473
Глава 23. Хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. <i>С.Н. Авдеев, Н.А. Царёва</i>	485
Глава 24. Идиопатические интерстициальные пневмонии. <i>С.Н. Авдеев</i>	496
Глава 25. Поражения органов дыхания при системных заболеваниях соединительной ткани. <i>Л.П. Ананьева</i>	531
Глава 26. Саркоидоз. <i>А.А. Визель</i>	540
Глава 27. Лангерганс-клеточный гистиоцитоз легких. <i>Е.Н. Попова, А.Б. Пономарёв, М.В. Лебедева</i>	557
Глава 28. Синдром Гудпасчера. <i>Е.И. Шмелёв</i>	565
Глава 29. Идиопатический гемосидероз легких. <i>Е.И. Шмелёв</i>	570
Глава 30. Легочные эозинофилии. <i>И.Э. Степанян</i>	575
Глава 31. Альвеолярный протеиноз. <i>М.М. Илькович</i>	579
Глава 32. Профессиональная бронхиальная астма. <i>О.С. Васильева</i>	585
Глава 33. Острые токсические поражения дыхательных путей. <i>О.С. Васильева</i>	593
Глава 34. Поражения легких, вызванные лекарствами. <i>Е.Н. Попова, А.Б. Пономарёв, М.В. Лебедева</i>	597
Глава 35. Плевральный выпот. <i>А.Г. Чучалин, Я.Н. Шойхет, Е.А. Цеймах</i>	607
Глава 36. Пневмоторакс, гемоторакс, хилоторакс и фиброторакс. <i>Я.Н. Шойхет, Е.А. Цеймах</i>	631
Глава 37. Опухоли плевры. <i>Я.Н. Шойхет</i>	652
Глава 38. Дыхательные расстройства во время сна. <i>С.Л. Бабак, М.В. Горбунова</i>	665
Глава 39. Дыхательная недостаточность. <i>С.Н. Авдеев</i>	677
Глава 40. Острая гипоксемическая и вентиляционная дыхательная недостаточность. <i>С.Н. Авдеев</i>	691
Глава 41. Искусственная вентиляция легких. <i>С.Н. Авдеев</i>	705
Глава 42. Неинвазивная вентиляция легких при острой дыхательной недостаточности. <i>С.Н. Авдеев</i>	720
Глава 43. Трансплантация легких. <i>С.Н. Авдеев, А.Г. Чучалин</i>	736
Предметный указатель	758

Исследование функции дыхания

Спирометрия

Спирометрия — самый простой и распространенный метод функциональной диагностики и первый этап исследования вентиляционной функции легких. Спирометрия позволяет выявить нарушения вентиляционной функции и определить их тип (обструктивный, рестриктивный или смешанный), диагностировать обструкцию верхних дыхательных путей.

Показания и противопоказания. Целями спирометрического исследования являются:

- выявление причины респираторных симптомов (хронического кашля, одышки, хрипов, стридора);
- установление причины нарушений газообмена;
- оценка риска оперативного вмешательства;
- оценка физического статуса пациента;
- мониторинг бронхиальной обструкции;
- мониторинг рестриктивных нарушений у больных с интерстициальными заболеваниями легких и патологией нервно-мышечного аппарата;
- оценка эффективности лечения бронхолегочной патологии;
- объективизация жалоб больного при профессиональной патологии легких либо заболеваниях, связанных с воздействиями окружающей среды.

Метод спирометрии безопасен, поэтому не существует абсолютных противопоказаний к его применению. Однако маневр форсированного выдоха следует выполнять с осторожностью при пневмотораксе; в первые 2 нед острого инфаркта миокарда, после офтальмологических и полостных операций; выраженном продолжающемся кровохарканье; тяжелой бронхиальной астме (БА).

При подозрении на активный туберкулез легких либо другие заболевания, передающиеся воздушно-капельным путем, следует принимать меры предосторожности во избежание их распространения через спирометр.

Методика исследования. Объем легких при спирометрии можно вычислить двумя способами: измерив объем вдыхаемого или выдыхаемого воздуха и построив график зависимости объе-

ма легких от времени (кривая «объем–время», или спирограмма) (рис. 3.1, *а*), либо измерив объемную скорость воздушного потока и рассчитав объем при умножении потока на время, при этом на графике отображается зависимость объемной скорости потока от объема легких (кривая «поток–объем», рис. 3.1, *б*).

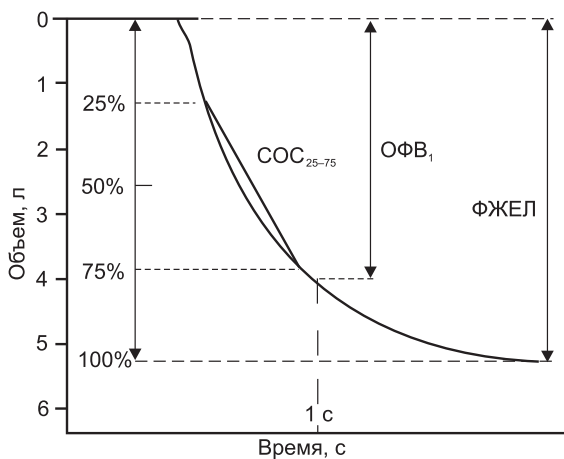
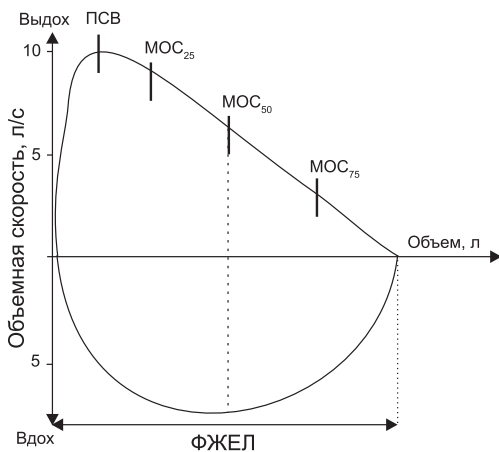
*а**б*

Рис. 3.1. Вычисление объема воздуха в легких: *а* — спирограмма форсированного выдоха. ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких, ОФВ₁ — объем форсированного выдоха за 1 с, СОС_{25–75} — средняя объемная скорость экспираторного потока на уровне 25–75% ФЖЕЛ; *б* — нормальная петля «поток–объем», полученная при максимальных вдохе и выдохе. Пояснения в тексте

Современные спирометры по своей сути являются пневмотахометрами и позволяют оценивать основные параметры (объем, поток и время) и их взаимосвязь с помощью кривых «поток–объем» и «объем–время».

Для получения наилучших результатов необходимо после спокойного выдоха сделать максимально глубокий вдох и сразу же без паузы выдохнуть весь воздух с максимальным усилием. Пауза на высоте вдоха может вызвать «стрессовое расслабление» дыхательных путей, что снижает скорость выдоха.

По данным литературы и нашему собственному опыту, наиболее простым для интерпретации и информативным является представление результатов спирометрии в виде кривой «поток–объем».

Экспираторная и инспираторная петли кривой «поток–объем» имеют различную форму. Экспираторная часть кривой имеет форму почти прямоугольного треугольника, основание которого соответствует форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ, англ. FVC), а вершина — пиковая скорость выдоха (ПСВ_{выд}, англ. PEF). После достижения пика выдоха скорость потока плавно снижается, и при достижении уровня остаточного объема легких (ООЛ, англ. RV) становится нулевой. У людей молодого возраста, а также пациентов с ограничением расширения грудной клетки из-за ригидности грудной стенки в конце выдоха можно наблюдать резкое снижение потока.

Инспираторная кривая «поток–объем» имеет форму симметричной дуги. Измерение максимальных инспираторных потоков не получило широкого распространения, однако качественный анализ инспираторной и экспираторной частей кривой «поток–объем» позволяет выявить изолированную обструкцию верхних дыхательных путей.

Структура ФЖЕЛ. Легочные объемы при спирометрии можно измерить при спокойном или форсированном дыхании. С помощью маневра форсированного выдоха измеряют ФЖЕЛ и показатели объемной скорости воздушного потока: объем форсированного выдоха за 1-ю секунду — ОФВ₁ (англ. FEV₁), отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ, среднюю объемную скорость выдоха между 25 и 75% ФЖЕЛ — СОС_{25–75} (англ. FEF_{25–75}), максимальные объемные скорости (МОС, англ. FEF) на уровнях 25, 50 и 75% ФЖЕЛ, ПСВ_{выд}, которую иначе называют максимальной экспираторной скоростью. Наиболее важным из них является ОФВ₁ — самый хорошо воспроизводимый и информативный показатель спирометрии, который лежит в основе оценки тяжести обструктивных нарушений.

Отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ является модификацией индекса Тиффно (ОФВ₁/ЖЕЛ_{вд}, где ЖЕЛ_{вд} — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после полного спокойного выдоха) и обычно выражается в процентах. У здорового человека это соотношение составляет 75–85% (у детей 90%), но с возрастом несколько уменьшается.

ОФВ₁/ФЖЕЛ оценивают в первую очередь для дифференциальной диагностики обструктивных и рестриктивных нарушений легочной вентиляции.

СОС₂₅₋₇₅ снижается на ранних стадиях бронхиальной обструкции раньше, чем ОФВ₁, но имеет более широкий диапазон нормальных значений.

МОС₂₅, МОС₅₀ и МОС₇₅ плохо воспроизводимы, поэтому не играют существенной роли в диагностике вентиляционных нарушений.

ПСВ_{выд} в большей степени, чем другие показатели спирометрии, зависит от усилия пациента: для получения воспроизводимых данных пациент должен приложить максимальное усилие. В домашних условиях ПСВ_{выд} измеряется с помощью пикфлоуметра для самоконтроля состояния больных БА, что получило широкое распространение во всем мире.

Критерии правильно выполненного маневра ФЖЕЛ:

- 1) длительность выдоха не менее 3 с для детей младше 10 лет и не менее 6 с для лиц старше 10 лет или до достижения плато на кривой «объем–время» (когда объем в течение 1 с меняется не более чем на 25 мл);
- 2) выдох должен быть резким с самого начала [объем обратной экстраполяции с самой верхней точки кривой «объем–время», определяющий момент начала выдоха, должен быть менее 5% от ФЖЕЛ, или менее 0,15 л (берется наибольший из этих показателей)];
- 3) выдох не должен прерываться кашлем и перекрытием надгортанника;
- 4) выдох должен выполняться с максимальным усилием от начала и до самого конца;
- 5) на кривой «поток–объем» должны отсутствовать артефакты (например, кашель на выдохе, перекрытие гортани надгортанником, преждевременное прекращение выдоха, недостаточное усилие на любом участке форсированного выдоха, утечка воздуха, перекрытие загубника губами/зубами); деформированный загубник должен быть заменен.

Исследование может быть завершено, когда получено три технически удовлетворительных дыхательных маневра. В целом за одно исследование допускается выполнение не более 8 маневров. Результаты спирометрии должны быть воспроизводимы, т.е. максимальный и следующий за ним показатели ФЖЕЛ и/или ОФВ₁ должны различаться не более чем на 150 мл. В случаях когда ФЖЕЛ не превышает 1 л, максимально допустимая разница между двумя лучшими попытками как по ФЖЕЛ, так и по ОФВ₁ не должна превышать 100 мл. Из этих попыток для интерпретации выбирают лучшую: попытку с наибольшей суммой ФЖЕЛ и ОФВ₁ и с самым большим значением ПСВ_{выд}.

У некоторых пациентов повторные маневры форсированного выдоха могут вызывать бронхоконстрикцию, при этом показате-

ли снижаются от попытки к попытке. В такой ситуации не следует выбирать какую-либо одну попытку, а указать все полученные результаты. У таких пациентов следует исключать бронхиальную гиперреактивность.

Техническую вариабельность результатов спирометрии можно минимизировать при регулярной калибровке оборудования, тщательном инструктаже пациента, повышении квалификации персонала.

Должные величины. Европейское сообщество стали и угля (англ. ECCS) и Американское торакальное общество (англ. ATS) опубликовали уравнения для расчета должных значений спирометрических показателей и рекомендации по интерпретации результатов. Должные величины зависят от антропометрических параметров, в основном от роста, пола, возраста, расы. Вместе с тем следует принимать во внимание и индивидуальные вариации нормы. Так, у людей с исходными показателями выше среднего уровня при развитии легочной патологии эти показатели будут снижаться относительно исходных, но по-прежнему могут оставаться в пределах популяционной нормы.

Анализ функциональных результатов должен учитывать динамику клинической картины заболевания.

Повторные исследования

Спирометрические показатели ($ОФВ_1$ и $ФЖЕЛ$) достоверно отражают динамику легочной функции во времени, однако необходимо учитывать вероятность технической и биологической вариабельности результатов. У здоровых лиц изменения $ФЖЕЛ$ и $ОФВ_1$ клинически значимы, если при повторных исследованиях в течение дня разница превышает 5%, в течение нескольких недель — 11–12%, за год — 15%.

Интерпретация результатов спирометрии основана на отклонении полученных величин от должных значений. Для корректной интерпретации результатов спирометрии необходимо технически правильно выполнить исследование.

Обструктивный тип вентиляционных нарушений

При обструктивных нарушениях ведущим патофизиологическим механизмом является повышение сопротивления дыхательных путей, которое приводит к снижению экспираторного потока. Обструктивный тип вентиляционных нарушений характеризуется снижением соотношения $ОФВ_1/ЖЕЛ$ при сохранной жизненной емкости легких ($ЖЕЛ$, англ. VC).

При обструктивных нарушениях кривая «поток–объем» располагается ниже должной кривой (рис. 3.2), и ее нисходящее колено приобретает вогнутую форму. Нарушение линейности нижней половины кривой «поток–объем» является характерной чертой обструктивных нарушений вентиляции, даже когда $ФЖЕЛ$ и $ОФВ_1$ не выходят за пределы нормальных значений.

Выраженность изменений зависит как от тяжести обструктивных нарушений, так и от заболевания. Причиной чаще всего является сужение просвета дыхательных путей при бронхиальной астме, ХОБЛ, эмфиземе, муковисцидозе, сдавлении крупных бронхов и трахеи опухолью извне, стенозировании эндофитно растущей опухолью, рубцовой тканью, инородным телом.

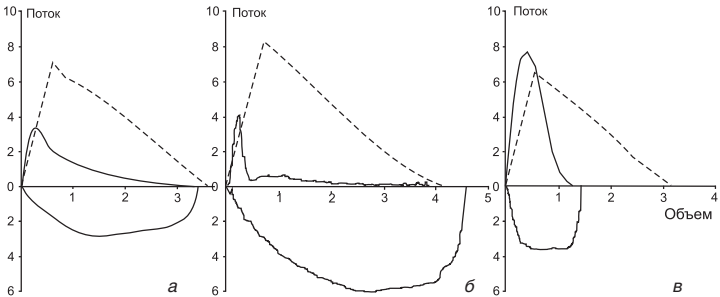


Рис. 3.2. Кривые «поток–объем» у больных с различными заболеваниями органов дыхания: *а* — бронхиальной астмой; *б* — эмфиземой легких; *в* — идиопатическим фиброзирующим альвеолитом. Пунктирной линией обозначена должная кривая

Ранними признаками обструктивных нарушений у пациентов без клинических проявлений бронхиальной обструкции могут служить изменение формы экспираторной части кривой «поток–объем» и снижение скоростных показателей СОС_{25-75} , МОС_{50} , МОС_{75} .

По мере прогрессирования обструктивной патологии происходит дальнейшее снижение экспираторного потока, нарастание воздушных ловушек и гиперинфляции легких, что приводит к снижению ЖЕЛ. Для того чтобы исключить смешанные обструктивно-рестриктивные нарушения, необходимо измерить общую емкость легких (ОЕЛ, англ. TLC).

При подозрении на бронхиальную астму следует провести бронходилатационный тест, а при необходимости — бронхоконстрикторный тест. Для оценки выраженности эмфиземы следует исследовать общую емкость легких (ОЕЛ) и диффузионную способность легких (ДСЛ).

Обструкция верхних дыхательных путей

При обструкции верхних дыхательных путей положительное трансмуральное давление [разница между внешним давлением (атмосферным или плевральным) и давлением внутри дыхательных путей] создает компрессию и сужает просвет дыхательных путей; отрицательное трансмуральное давление поддерживает дыхательные пути открытыми, увеличивая их просвет. Если обструкция возникает только на вдохе или выдохе, она считается переменной (рис. 3.3, *а*, *б*). Если воздушные потоки снижены в обе фазы дыхания, обструкция называется фиксированной (рис. 3.3, *в*).

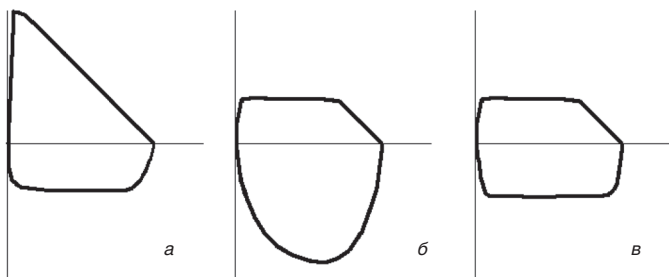


Рис. 3.3. Кривые «поток–объем» у больных с обструкцией верхних дыхательных путей (схема): *а* — переменной экстраторакальной обструкцией; *б* — переменной интаторакальной обструкцией; *в* — фиксированной обструкцией

При переменной экстраторакальной обструкции значительно меняется соотношение $\text{МОС}_{50\text{выд}}/\text{МОС}_{50\text{вд}}$. При подозрении на изолированную обструкцию верхних дыхательных путей следует подтвердить диагноз эндоскопически или рентгенологически.

Классификация тяжести обструктивных вентиляционных нарушений

Для оценки тяжести обструктивных нарушений в большинстве случаев используют степень отклонения ОФВ_1 от должного значения (табл. 3.1). Эту классификацию не применяют у пациентов с обструкцией верхних дыхательных путей, когда даже слабо выраженная обструкция может носить жизнеугрожающий характер.

Таблица 3.1. Классификация тяжести бронхиальной обструкции

Степень тяжести	ОФВ_1 , % долж.
Легкая	Более 70
Умеренная	60–69
Среднетяжелая	50–59
Тяжелая	35–49
Крайне тяжелая	Менее 35

Для определения тяжести обструктивных нарушений не рекомендуется использовать отношение $\text{ОФВ}_1/\text{ЖЕЛ}$, поскольку при прогрессировании заболевания ОФВ_1 и ЖЕЛ могут снижаться синхронно, а их соотношение останется при этом нормальным. Тем не менее отношение $\text{ОФВ}_1/\text{ЖЕЛ}$ помогает оценить тяжесть вентиляционных нарушений у людей с исходно большим объемом легких (например, у спортсменов). В этих случаях $\text{ОФВ}_1/\text{ЖЕЛ}$ может быть очень низким (50% и менее), а ОФВ_1 будет соответствовать обструкции легкой степени.

Рестриктивный тип вентиляционных нарушений

Рестриктивные нарушения вентиляции обусловлены процессами, снижающими растяжимость легких и, следовательно, огра-

ничивающими наполнение легких воздухом. В начальной стадии рестриктивных заболеваний объем легких еще не снижен, а скоростные показатели и отношение $\text{ОФВ}_1/\text{ЖЕЛ}$ могут даже увеличиваться вследствие того, что паренхима легких оказывает большее растягивающее действие на дыхательные пути и просвет бронхов увеличивается относительно объема легких. При прогрессировании заболевания происходит снижение воздушности легочной ткани, что проявляется снижением ЖЕЛ и ОЕЛ, а кривая «поток–объем» становится высокой и узкой. Пиковая объемная скорость обычно остается нормальной, после пика наблюдается быстрое линейное снижение потока до уровня ООЛ. Иногда кривая не меняет свою форму, а пропорционально уменьшается по сравнению с должной кривой (например, после пневмонэктомии).

Для диагностики рестриктивных нарушений недостаточно одной спирометрии и необходимо измерить ОЕЛ (см. ниже).

Бронходилатационный тест

Бронходилатационный тест представляет собой повторную спирометрию после ингаляции бронходилататора.

Показания к проведению бронходилатационного теста

1. Выявление обратимости бронхиальной обструкции.
2. Определение потенциального эффекта бронхолитической терапии.

Отсутствие значимого улучшения спирометрических показателей в бронходилатационном тесте ни в коей мере не означает, что больному не показаны бронхолитики.

3. Выявление скрытого бронхоспазма у лиц с нормальными показателями спирометрии.

Бронходилатационный тест желательно выполнять практически всегда при первичном исследовании функции дыхания.

Противопоказания к проведению бронходилатационного теста

1. Отсутствие сотрудничества между врачом и пациентом.
2. Непереносимость бронхорасширяющих препаратов. Если пациент не переносит β_2 -агонисты, то в качестве бронходилататора можно использовать М-холинолитик.

Подготовка к бронходилатационному тесту. Перед проведением бронходилатационного теста следует отказаться от приема бронхорасширяющих препаратов: короткодействующих ингаляционных β_2 -агонистов (сальбутамол, фенотерол) и антихолинергических препаратов (ипратропия бромид) — за 4–6 ч, пролонгированных β_2 -агонистов (сальметерол, формотерол) и метилксантинов — за 12 ч, пролонгированных холинолитиков (тиотропия бромид) — за 24 ч до исследования. Курение не разрешается в течение 2 ч до исследования и на протяжении всего исследования.

Если препараты отменить нельзя, то в протоколе исследования указывают название препарата, дозу и время последней ингаляции.

Методика проведения исследования. После исходной спирометрии пациент ингалирует бронхорасширяющий препарат. Реко-

мендуется использовать короткодействующие бронходилататоры в максимальной разовой дозе:

- для β_2 -агонистов, например сальбутамола, — 400 мкг;
- для антихолинергических препаратов, например ипратропия бромида, — 160 мкг.

Можно также использовать комбинацию антихолинергических препаратов и β_2 -агонистов короткого действия в указанных дозах. Дозированные аэрозольные ингаляторы должны использоваться со спейсером.

Повторное спирометрическое исследование необходимо провести через 15 мин после ингаляции β_2 -агонистов или через 30–45 мин после ингаляции антихолинергических препаратов или их комбинации с β_2 -агонистами.

Интерпретация результатов. Бронходилатационный тест считается положительным, если после ингаляции бронходилататора коэффициент бронходилатации (КБД) превышает 12% и абсолютный прирост составляет более 200 мл:

$$\text{КБД} = \frac{\text{ОФВ}_1 \text{ после (мл)} - \text{ОФВ}_1 \text{ исх (мл)}}{\text{ОФВ}_1 \text{ исх (мл)}} \times 100\%,$$

$$\text{абсолютный прирост (мл)} = \text{ОФВ}_1 \text{ после (мл)} - \text{ОФВ}_1 \text{ исх (мл)},$$

где ОФВ₁ после — значение спирометрического показателя после ингаляции бронходилататора, ОФВ₁ исх — значение спирометрического показателя до ингаляции бронходилататора.

Для положительного бронходилатационного теста обязательно наличие обоих признаков.

Вместо ОФВ₁ КБД можно рассчитывать по ФЖЕЛ, но не по МОС₂₅, МОС₅₀, МОС₇₅, СОС_{25–75}, так как у этих показателей очень высокая вариабельность.

Максимальная произвольная вентиляция легких

При измерении максимальной произвольной вентиляции легких (МВЛ) определяют максимальный объем воздуха, который может быть перемещен по дыхательным путям за 1 мин. Во время исследования пациенту необходимо дышать максимально часто и глубоко. Время выполнения теста обычно составляет 15 с. Частота дыхания при измерении МВЛ не стандартизована и не оказывает существенного влияния на результат; однако ее следует указывать в протоколе исследования (например, МВЛ₉₀).

МВЛ хорошо коррелирует с тяжестью одышки и физической работоспособностью, позволяет оценить выносливость дыхательных мышц и выявить ранние признаки их утомления.

Измерение легочных объемов

Под термином «измерение легочных объемов», как правило, подразумевают измерение ОЕЛ и составляющих ее статических легочных объемов и емкостей, наиболее важными из которых являются

ЖЕЛ, ООЛ и функциональная остаточная емкость (ФОЕ, англ. FRC). Емкостью легких называют сумму двух и более легочных объемов.

ОЕЛ состоит из резервного объема вдоха ($PO_{вд}$), дыхательного объема (ДО), резервного объема выдоха ($PO_{выд}$) и ООЛ (рис. 3.4). Также в его структуре выделяют ЖЕЛ, емкость вдоха ($E_{вд}$), ФОЕ и ОЕЛ.

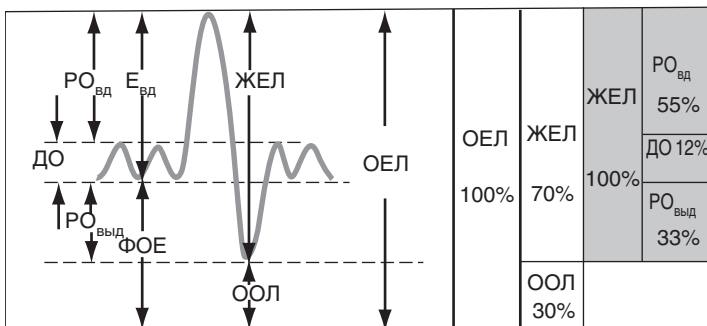


Рис. 3.4. Схематическое изображение статических легочных объемов и емкостей. Объемы легких: $PO_{вд}$ — резервный объем вдоха, ДО — дыхательный объем, $PO_{выд}$ — резервный объем выдоха, ООЛ — остаточный объем легких. Емкости легких представляют собой сумму легочных объемов: ЖЕЛ — жизненная емкость легких, $E_{вд}$ — емкость вдоха, ФОЕ — функциональная остаточная емкость, ОЕЛ — общая емкость легких

$PO_{вд}$ (англ. IRV) — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после обычного спокойного вдоха.

$PO_{выд}$ (англ. ERV) — максимальный объем воздуха, который можно выдохнуть после спокойного выдоха.

ДО (англ. V_T) — объем газа, вдыхаемый и выдыхаемый при спокойном дыхании. Его следует рассчитывать как среднее значение, как минимум, 6 дыхательных циклов. Сумма ДО и $PO_{вд}$ в норме обычно составляет 60–70% ЖЕЛ, этот показатель называют емкостью вдоха ($E_{вд}$, англ. IC).

ООЛ — объем воздуха, который остается в легких по окончании полного выдоха. Из всех вышеперечисленных объемов только ООЛ нельзя измерить напрямую. Он рассчитывается путем вычитания $PO_{выд}$ из ФОЕ или ЖЕЛ из ОЕЛ (последний способ предпочтителен).

ЖЕЛ — объем воздуха, который можно выдохнуть при полном выдохе после максимального вдоха. ЖЕЛ можно измерить при максимально глубоком спокойном выдохе после полного спокойного выдоха ($ЖЕЛ_{вд}$) или при полном выдохе после максимально глубокого вдоха ($ЖЕЛ_{выд}$). Двухстадийная ЖЕЛ определяется в 2 этапа как сумма емкости вдоха и резервного объема выдоха, но в повседневной практике ее не рекомендуется использовать, за исключением обследования больных с тяжелой одышкой.

ЖЕЛ в норме составляет приблизительно 70% ОЕЛ и включает в себя ДО, $PO_{\text{вд}}$ и $PO_{\text{выд}}$.

Методика измерения. ОЕЛ рассчитывается двумя способами:

$$\text{ОЕЛ} = \text{ООЛ} + \text{ЖЕЛ}$$

$$\text{или ОЕЛ} = \text{ФОЕ} + E_{\text{вд}}.$$

Последний способ более предпочтителен.

ФОЕ — объем воздуха после спокойного выдоха, при котором эластическая отдача легких уравновешена эластической отдачей грудной клетки.

$$\text{ФОЕ} = PO_{\text{выд}} + \text{ООЛ}$$

и в норме обычно составляет 40–50% ОЕЛ.

ФОЕ чаще всего измеряют методами разведения газов (газовой диллюции) или бодиплетизмографии.

Методы разведения газов основаны на разведении (обычно гелия) или вымывании (обычно азота) инертных индикаторных газов при многократных дыхательных циклах либо при одиночном вдохе в закрытой или открытой системе.

Метод вымывания азота основан на принципе сохранения массы. Для вымывания азота используют открытый контур. Во время исследования пациент дышит 100% кислородом. Выдыхаемый газ собирается до тех пор, пока весь азот не будет вымыт из легких. По совокупному объему выдыхаемого воздуха и концентрации азота можно вычислить исходный объем легких. Процедура измерения занимает около 7 мин.

При использовании метода вымывания азота необходимы тщательная синхронизация сигналов потока и концентрации азота, отсутствие утечек в дыхательном контуре. Чтобы избежать завышения ФОЕ вследствие элиминации азота из крови и тканей (приблизительно 30 мл/мин), необходима соответствующая коррекция. У пациентов с тяжелым нарушением бронхиальной проводимости или эмфиземой истинное значение ФОЕ при измерении этим методом занижается, поскольку вдыхаемый газ не проникает в гиповентилируемые и невентилируемые пространства.

Метод разведения гелия чаще других используется для определения ФОЕ в повседневной практике. Он основан на равенстве неизвестного объема газа в легких и известного объема газа, содержащего гелий. Пациент в закрытой системе дышит этой газовой смесью до выравнивания концентраций гелия в спирометре и в легких, что требует около 5 мин. Как и при использовании метода вымывания азота, у больных с обструктивными нарушениями ФОЕ, вычисленная методом разведения гелия, может быть занижена.

Метод вымывания азота при одиночном вдохе кислорода. ОЕЛ можно измерить путем вымывания азота после вдоха 100% кислорода, равного по объему ЖЕЛ. Данный метод не рекомендуется для рутинного использования.

Измерение ОЕЛ при оценке диффузионной способности легких. Альвеолярный объем можно измерить с помощью гелия при оценке диффузионной способности легких для монооксида углерода (DL_{CO}) методом однократного вдоха с задержкой дыхания. Этот метод не рекомендуется для рутинного измерения ОЕЛ в клинической практике.

Бодиплетизмография позволяет определить внутригрудной объем газа с помощью специальной измерительной камеры фиксированного объема, в которой изменения объема вследствие сжатия и расширения внутригрудного газа определяются по изменению давления в камере; внутригрудной объем и сопротивление дыхательных путей измеряют при частом дыхании. Это самый универсальный метод.

Метод измерения внутригрудного объема газа основан на законе Бойля: объем определенного количества газа при постоянной температуре меняется обратно пропорционально давлению. При перекрытии дыхательных путей на уровне ротовой полости и попытках вдохов и выдохов строится график зависимости изменений объема в ротовой полости от изменений объема камеры, что позволяет оценить внутригрудной объем.

У больных с выраженными обструктивными нарушениями бодиплетизмография может завышать истинное значение ФОЕ. Ошибка может быть сведена к минимуму при проведении исследования с частотой дыхания менее 60/мин.

Бодиплетизмография позволяет за короткое время многократно измерить ФОЕ, что выгодно отличает ее от методов вымывания азота или разведения гелия, поскольку при использовании двух последних повторные измерения можно проводить только после «отмывочного» периода, необходимого для возвращения альвеолярного газа в исходное состояние (для больных с ХОБЛ он составляет 10–20 мин). Кроме того, ФОЕ, измеренная методом бодиплетизмографии, включает в себя как вентилируемые, так и невентилируемые отделы легких. Несмотря на высокую стоимость оборудования и техническую сложность исследования, бодиплетизмография является предпочтительным методом, поскольку более точно оценивает ФОЕ. Сопоставление результатов бодиплетизмографии и метода разведения газов позволяет выявить невентилируемое воздушное пространство в грудной клетке и вычислить объем «воздушной ловушки».

Рентгенографическая оценка объема легких

Объем легких можно измерить при рентгенографии грудной клетки в переднезадней и латеральной проекциях. Метод позволяет оценить ОЕЛ, при этом результаты незначительно отличаются от полученных при бодиплетизмографии. Однако при рентгенографии измеряют объем воздуха вместе с тканями легких, поэтому результаты требуют коррекции.

Клиническое значение измерения статических объемов легких. Измерение ОЕЛ помогает установить рестриктивные наруше-

ния легочной вентиляции. Кроме того, измерение ОЕЛ необходимо для дифференциальной диагностики выраженных обструктивных нарушений, приводящих к снижению ЖЕЛ, и сочетания обструктивных и рестриктивных нарушений механики дыхания.

Снижение ООЛ может быть единственным измененным функциональным показателем у пациентов с патологией грудной клетки (скелетной деформацией, фибротораксом) или внутренних органов (застойной сердечной недостаточностью, саркоидозом, инфекционными заболеваниями). Повышение ООЛ часто наблюдается при обструктивных заболеваниях, увеличивается и ОЕЛ.

Сопротивление дыхательных путей

Сопротивление дыхательных путей (respiratory airway resistance — R_{aw}) равно отношению движущего давления (разница между альвеолярным давлением и давлением в ротовой полости) к потоку воздуха.

В клинической практике часто используют величину, обратную сопротивлению, — проводимость дыхательных путей ($G_{aw} = 1/R_{aw}$).

Сопротивление дыхательных путей увеличивается при бронхиальной обструкции любого генеза, включая эмфизему и обтурацию дыхательных путей опухолью. В разных участках легких сопротивление дыхательных путей различно.

Таким образом, измерение сопротивления дыхательных путей применяется для диагностики и дифференциальной диагностики бронхиальной обструкции и уточнения ее уровня. Сопротивление дыхательных путей легко измеряется методом бодиплетизмографии.

Импульсная осциллометрия

Метод импульсной осциллометрии является модификацией метода форсированных осцилляций, с помощью которого можно измерить импеданс — общее сопротивление дыхательных путей, легких и грудной клетки воздушному потоку.

В дыхательные пути подается поток воздуха с навязанными осцилляциями в диапазоне от 5 до 35 Гц, а в выдыхаемом воздухе измеряются давление и скорость потока, при этом математически рассчитывают частотную зависимость фрикционного сопротивления (сопротивления трения дыхательных путей, тканей легких и грудной клетки) и реактанса (суммы эластического сопротивления легких и грудной клетки и инерционного сопротивления смещающихся при дыхании тканей легких, грудной клетки, дыхательных путей и воздуха).

Исследование необременительно для пациента и требует дыхания с обычной частотой в течение 30–60 с. Метод применяется для дифференциальной диагностики рестриктивных и обструктивных нарушений, уточнения локализации обструкции (проксимальной или дистальной), оценки бронходилатационного

и бронхоконстрикторного ответа, мониторингирования течения заболевания, эпидемиологического скрининга.

В настоящее время импульсная осциллометрия остается перспективным методом функциональной диагностики, место которого в диагностическом алгоритме исследования легочной функции требует дальнейшего уточнения.

Эластическая отдача легких

Эластичность (эластическая отдача) легких представляет собой меру упругости легочной ткани. Величина, обратная эластичности, называется растяжимостью.

При рестриктивных нарушениях, сопровождаемых уменьшением объема легких, эластическая отдача возрастает, при обструктивных — снижается: у пациентов с хроническим бронхитом и БА в незначительной мере, а у пациентов с эмфиземой — существенно.

Исследование эластической отдачи является трудоемким, дорогостоящим и инвазивным методом и редко применяется в повседневной клинической практике, однако играет важную роль в предоперационной оценке пациентов с буллезной и диффузной эмфиземой, направляемых на резекцию нефункционирующих или плохо функционирующих участков легочной ткани.

Диффузионная способность легких

Тест исследования ДСЛ — наиболее часто используемое в клинической практике исследование легочной функции после спирометрии.

Диффузия в легких, или трансфер-фактор (D_L) обеспечивает перенос кислорода из альвеолярного газа в кровь. Количество переданного кислорода определяется площадью и толщиной альвеолярно-капиллярной мембраны и движущим давлением (разницей в давлении кислорода между альвеолярным газом и венозной кровью).

Показания и противопоказания к исследованию ДСЛ

Для этого исследования противопоказания и побочные эффекты отсутствуют.

Наиболее часто тест используется для диагностики степени выраженности анатомической эмфиземы, у больных с диффузными паренхиматозными заболеваниями легких и поражением легочных сосудов, включая тромбоэмболию легочной артерии.

Методика исследования. Для измерения ДСЛ чаще используют метод одиночного вдоха, когда пациент после спокойного глубокого выдоха до уровня ООЛ делает быстрый максимальный вдох газовой смеси (обычно используют воздушную смесь, содержащую 0,3% СО и 10% гелия), задерживает дыхание в течение 10 с, после чего делает быстрый выдох (рис. 3.5). Тест повторяется через 5 мин, допустимая разница в измерениях составляет не более 10%, или 3 мл × мм рт.ст. /мин. Итоговое значение представляет собой среднюю величину двух измерений.

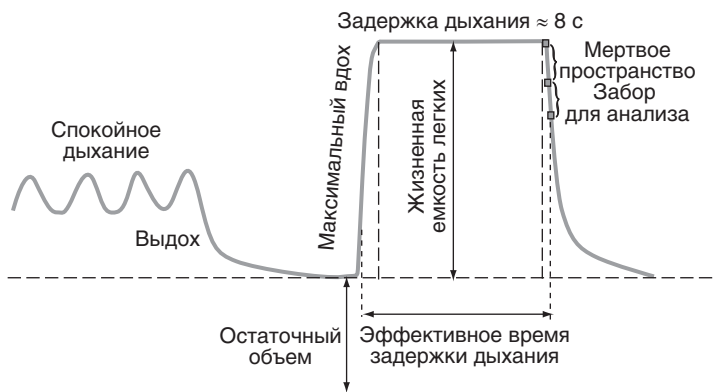


Рис. 3.5. Пациент выполняет быстрый максимально глубокий вдох, задерживает дыхание на 10 с, после чего делает быстрый выдох

Интерпретация результатов

Чтобы гарантировать правильную интерпретацию результатов, следует делать коррекцию по концентрации гемоглобина (Hb) или карбоксигемоглобина (HbCO) и парциальному давлению альвеолярного кислорода (P_A, O_2):

- при значительном отклонении концентрации Hb от нормы (146 г/л для мужчин и 134 г/л для женщин и детей младше 15 лет) следует корректировать D_L по уровню Hb у данного больного. В среднем изменение Hb на 10 г/л приводит к соответствующему изменению D_L примерно на 2,5% должного значения;
- повышение HbCO на 1% приводит к снижению показателя диффузии на $\approx 0,8\text{--}1\%$, поэтому пациентов просят воздержаться от курения в течение 4 ч перед проведением теста;
- при изменении P_A, O_2 (оно повышается при ингаляции кислорода или снижается при подъеме над уровнем моря) D_L изменяется на $\approx 0,35\%$ на 1 мм рт.ст. P_A, O_2 .

Как и другие функциональные параметры, D_L сравнивают с должными значениями, которые зависят от возраста (уменьшается с возрастом), пола (ниже у женщин, чем у мужчин), роста (у высоких лиц выше). Кроме того, D_L зависит от объема вдыхаемого газа (чем меньше объем, тем ниже диффузионная способность).

Кроме единичного измерения и сравнения с должными значениями, с клинической точки зрения более важна оценка индивидуальной динамики D_L в процессе лечения или с течением времени. Если у пациента есть данные качественно проведенных предшествующих исследований диффузионного теста, то изменение показателя больше чем на 4 мл $\times$ мм рт.ст. /мин считается достоверным.

У больных с диффузными паренхиматозными заболеваниями легких динамика ДСЛ более точно соответствует улучшению

или ухудшению их состояния, чем динамика легочных объемов (ОЕЛ или ЖЕЛ).

Повышение ДСЛ (более 140% должного) наблюдается при полицитемии, БА, легочном кровотечении, внутрисердечном шунтировании крови слева направо, левожелудочковой недостаточности, исследовании, выполненном сразу после физической нагрузки (вследствие повышенного сердечного выброса).

Снижение ДСЛ в сочетании с нормальной спирометрией наблюдается при анемии, поражении легочных сосудов, ИЗЛ.

Снижение ДСЛ в сочетании с обструктивными нарушениями наблюдается у больных с эмфиземой, муковисцидозом, бронхолитом, бронхоэктазами, лимфангиолейомиоматозом, саркоидозом, гистиоцитозом Х.

Снижение ДСЛ в сочетании с рестрикцией встречается при диффузном интерстициальном фиброзе на фоне ИЗЛ, милиарном туберкулезе, застойной сердечной недостаточности.

Классификация степени тяжести

Для оценки выраженности снижения ДСЛ в большинстве случаев используют отклонение измеренной величины D_L от должного значения.

Степень тяжести	D_L
Норма	Выше нижней границы нормы
Легкая	Более 60% долж. и ниже нижней границы нормы
Средняя	40–60% долж.
Тяжелая	Менее 40% долж.

Примечание: нижнюю границу нормы вычисляют вычитанием остаточной среднеквадратической ошибки (RSD), умноженной на 1,64, из должного значения.

Коррекция ДСЛ по объему

Многие лаборатории в заключениях приводят ДСЛ, «скорректированную» по легочному объему, т.е. DL_{CO}/V_a , где V_a — альвеолярный объем, измеренный во время маневра с задержкой дыхания. Однако не рекомендуется использовать этот показатель в повседневной клинической практике.