

Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов

Межрегиональная общественная организация «Российское респираторное общество»
Общероссийская общественная организация «Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики»
Общероссийская общественная организация «Российское научно-медицинское общество терапевтов»

*М.Ю.Каменева*¹, *А.В.Черняк*^{2,3}, *З.Р.Айсанов*⁴ ✉, *С.Н.Авдеев*^{2,5}, *С.Л.Бабак*⁶, *А.С.Белевский*⁴,
Н.Ф.Берестень^{7,8}, *Е.Н.Калманова*³, *А.Г.Малявин*⁶, *Ю.М.Перельман*⁹, *А.Г.Приходько*⁹,
П.В.Стручков^{10,11}, *С.Ю.Чикина*⁵, *М.И.Чушкин*¹²

- ¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8
- ² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России: 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, 28
- ³ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»: 105077, Россия, Москва, ул. 11-я Парковая, 32
- ⁴ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, 1
- ⁵ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет): 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2
- ⁶ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И.Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 127473, Россия, Москва, ул. Делегатская, 20, стр. 1
- ⁷ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 125993, Россия, Москва, ул. Баррикадная, 2 / 1, стр. 1
- ⁸ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф.Владимирского»: 129110, Россия, Москва, ул. Щепкина, 61 / 2, корп. 1
- ⁹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»: 675000, Россия, Амурская область, Благовещенск, ул. Калинина, 22
- ¹⁰ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства»: 115682, Россия, Москва, Ореховый бульвар, 28
- ¹¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Клиническая больница № 85» Федерального медико-биологического агентства России: 115522, Россия, Москва, ул. Москворечье, 16, стр. 9
- ¹² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»: 107564, Россия, Москва, Яузская аллея, 2

Резюме

Спирометрия является наиболее распространенным методом исследования вентиляционной функции системы дыхания. Данный метод широко применяется для получения объективной информации, используемой при диагностике заболеваний органов дыхания и мониторинге состояния функции респираторной системы. Российским респираторным обществом (РРО) (2014) утверждены технические стандарты проведения спирометрии, а усовершенствование измерительных приборов обусловили необходимость обновления технических стандартов и стандартизации алгоритма интерпретации результатов. **Методы.** Данный документ по спирометрии разработан группой экспертов РРО и Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики. Все эксперты обладают опытом проведения спирометрии в соответствии с критериями качества, анализа результатов исследования и разработки национальных стандартов. **Результаты.** В технические стандарты спирометрии (2014) были внесены изменения, включая добавление критериев качества измерения и оценки качества исследования. При необходимости приводились доказательства в поддержку изменений. При разработке этих рекомендаций использованы опыт и знания членов экспертной группы. **Заключение.** Представлены стандарты проведения спирометрии, бронходилатационного теста и алгоритм интерпретации результатов, которые должны способствовать повышению качества измерений и единообразию при интерпретации данных.

Ключевые слова: спирометрия, спирометр, функция системы дыхания, технические стандарты, интерпретация результатов.

Конфликт интересов. Конфликт интересов авторами не заявлен.

Финансирование. Спонсорская поддержка отсутствовала.

© Каменева М.Ю. и соавт., 2023

Для цитирования: Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Мальявин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. *Пульмонология*. 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340

Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results

Interregional Public Organization “Russian Respiratory Society”

All-Russian Public Organization “Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics”

All-Russian Public Organization “Russian Scientific Medical Society of Therapists”

*Marina Yu. Kameneva*¹, *Alexander V. Cherniak*^{2,3}, *Zayrbek R. Aisanov*⁴ ✉, *Sergey N. Avdeev*^{2,5},
*Sergey L. Babak*⁶, *Andrey S. Belevskiy*⁴, *Natalya F. Beresten*^{7,8}, *Elena N. Kalmanova*³,
*Andrey G. Malyavin*⁶, *Juliy M. Perelman*⁹, *Anna G. Prikhodko*⁹, *Petr V. Struchkov*^{10,11},
*Svetlana Yu. Chikina*⁵, *Mikhail I. Chushkin*¹²

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Academician I.P.Pavlov First St. Petersburg State Medical University” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation: ul. L'va Tolstogo 6 – 8, Saint-Petersburg, 197022, Russia

² Federal State Budgetary Institution “Pulmonology Scientific Research Institute” under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation: Orekhovy bul'var 28, Moscow, 115682, Russia

³ State Budgetary Health Care Institution of the City of Moscow “City Clinical Hospital named after D.D.Pletnev of Moscow Department of Health”: ul. Odinnadtsataya Parkovaya 32, Moscow, 105077, Russia

⁴ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I.Pirogov Russian National Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation: ul. Ostrovityanova 1, Moscow, 117997, Russia

⁵ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University): ul. Trubetskaya 8, build. 2, Moscow, 119991, Russia

⁶ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I.Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation: ul. Delegatskaya 20/1, Moscow, 127473, Russia

⁷ Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education”, Ministry of Health of Russia: ul. Barrikadnaya 2/1, Moscow, 123995, Russia

⁸ State Budgetary Health Institution of the Moscow Region “Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F.Vladimirsky”: ul. Shchepkina 61/2, Moscow, 129110, Russia

⁹ Federal State Budgetary Scientific Institution “Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration”: ul. Kalinina 22, Blagoveshchensk, 675000, Russia

¹⁰ Federal State Budgetary Institution “Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal Medical and Biological Agency of Russia”: Orekhovy bul'var 28, Moscow, 115682, Russia

¹¹ Federal State Budgetary Institution of Health Care “Clinical Hospital No.85”, Federal Medical and Biological Agency of Russia: ul. Moskvorech'e 16, build. 9, Moscow, 115522, Russia

¹² Federal State Budgetary Scientific Institution “Central Research Institute of Tuberculosis”: Yauzskaya alleya 2, Moscow, 107564, Russia

Abstract

Spirometry is the most common method to assess respiratory function. It is widely used to obtain objective information for the diagnosis of respiratory diseases and monitoring the functional state of the respiratory system. In 2014, the Russian Respiratory Society approved the technical standards for performing spirometry. Improvements in measuring devices have necessitated updating technical standards and standardizing the result interpretation algorithm. **Methods.** This document on spirometry was prepared by a joint group of experts from the Russian Respiratory Society and the Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics, who have experience in performing spirometry in accordance with quality criteria, analyzing the results of the study, and developing national standards. **Results.** The 2014 Spirometry Technical Standards were revised, including the addition of quality criteria for measurements and test quality assessment. Where necessary, evidence was provided to support the change. The experience and knowledge of the expert group members were used to develop these recommendations. **Conclusion.** Standards for spirometry and bronchodilator test and the result interpretation algorithm are presented to improve the measurement quality and consistency of data interpretation.

Key words: spirometry; function of the respiratory system; technical standards, interpretation of results.

Conflict of interests. The authors report that there is no conflict of interest.

Funding. The study was not sponsored.

© Kameneva M.Yu. et al., 2023

For citation: Kameneva M.Yu., Cherniak A.V., Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Babak S.L., Belevskiy A.S., Beresten N.F., Kalmanova E.N., Malyavin A.G., Perelman Ju.M., Prikhodko A.G., Struchkov P.V., Chikina S.Yu., Chushkin M.I. Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results. *Pul'monologiya*. 2023; 33 (3): 307–340 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340

Термины и определения

Бронходилатационный тест (БДТ) — последовательное проведение спирометрии до и после ингаляции бронхорасширяющего препарата с целью оценки реакции дыхательных путей на его воздействие. Позволяет выявить обратимый компонент обструкции бронхов.

Бронходилатационный ответ (БДО) — реакция дыхательных путей в ответ на ингаляцию бронхорасширяющего препарата, измеряемая на пике его действия.

Бронходилататор или **бронхолитический препарат** — лекарственный препарат, вызывающий бронходилатацию.

Вентиляционная функция легких — способность органов дыхания обеспечивать воздухообмен в легких путем вентиляции.

Воспроизводимость (reproducibility) — степень близости друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно у одного и того же человека в измененных условиях, таких как метод исследования, оператор, инструмент, место выполнения, условия выполнения, время выполнения.

Должная (или референсная) величина — установленная статистически норма показателя для человека данного пола, возраста, роста и популяции.

Допустимость (usability) — признание клинической ценности попытки, не соответствующей всем критериям качественного измерения при проведении спирометрии.

Дыхательный маневр — дыхательное движение с определенными характеристиками, например, маневр форсированного выдоха.

Дыхательный объем — объем воздуха, вдыхаемый или выдыхаемый при каждом дыхательном цикле при спокойном дыхании.

Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) — максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после максимального выдоха или, наоборот, выдохнуть после максимального вдоха. Включает в себя дыхательный объем, резервный объем вдоха ($PO_{вд.}$), резервный объем выдоха ($PO_{выд.}$).

Емкость вдоха ($E_{вд.}$) — сумма $PO_{вд.}$ и дыхательного объема.

Калибровка спирометра — процедура, используемая для подтверждения того, что спирометр находится в пределах погрешности измерения, например, $\pm 3\%$ от истинного значения.

Максимальная объемная скорость вдоха ($МОС_{вд.}$) — объемная скорость воздушного потока в момент вдоха 25, 50 или 75 % форсированной ЖЕЛ (ФЖЕЛ).

Максимальная объемная скорость выдоха ($МОС$) — объемная скорость воздушного потока в момент выдоха 25, 50 или 75 % ФЖЕЛ.

Обструктивный тип нарушений вентиляционной функции легких — вид нарушения вентиляционной функции легких, возникающий вследствие сужения дыхательных путей и повышения их сопротивления движению воздуха.

Объем форсированного выдоха за 1-ю секунду ($ОФВ_1$) — объем воздуха, выдыхаемого за 1-ю секунду от начала выполнения маневра ФЖЕЛ.

Объем форсированного выдоха за t секунд ($ОФВ_t$) — объем воздуха, выдыхаемого за t секунд от начала выполнения маневра ФЖЕЛ. Рассчитывается от нуля времени, определяемого путем обратной экстраполяции.

Общая емкость легких (ОЕЛ) — объем воздуха, который содержится в легких после максимально глубокого вдоха.

Остаточный объем легких (ООЛ) — объем воздуха, который остается в легких после максимально глубокого выдоха.

Оператор — специалист с высшим или средним специальным медицинским образованием, проводящий исследование.

Паттерн дыхания — совокупность временных и объемных характеристик дыхательного цикла.

Пиковая объемная скорость выдоха (ПОС) — максимальная скорость воздушного потока при форсированном выдохе.

Повторяемость (repeatability) — степень близости друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно у одного и того же человека через короткое время в одинаковых условиях — одним и тем же методом, одним и тем же инструментом, в одном и том же месте, в одних и тех же условиях, одними и теми же средствами и с одинаковой тщательностью.

Приемлемость (acceptability) — соответствие попытки дыхательного маневра во время проведения спирометрии всем критериям качественного измерения.

Резервный объем вдоха ($PO_{вд.}$) — объем воздуха, который можно дополнительно вдохнуть от уровня спокойного вдоха до уровня максимально глубокого вдоха.

Резервный объем выдоха ($PO_{выд.}$) — объем воздуха, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха до уровня максимально глубокого выдоха.

Рестриктивный тип нарушений вентиляционной функции легких — вид нарушения вентиляционной функции легких, возникающего вследствие уменьшения объема легких.

Смешанный тип нарушений вентиляционной функции легких — вид нарушения вентиляционной функции легких, объединяющего в себе признаки обструктивного и рестриктивного типов нарушений вентиляционной функции легких, часто с превалированием одного из них.

Спирометрия (спирография) — неинвазивный метод измерения воздушных потоков и объемов при выполнении спокойных и форсированных дыхательных маневров.

Средняя объемная скорость (СОС) при выдохе от 25 до 75 % форсированной жизненной емкости легких ($СОС_{25-75}$) — средняя объемная скорость воздушного потока при форсированном выдохе 25–75 % ФЖЕЛ.

Условия ATPS (Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated) — соответствуют условиям, при которых происходит измерение воздушных потоков (температура, атмосферное давление, насыщение водяным паром воздуха в месте, где проводится исследование).

Условия BTPS (Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated) — соответствуют услови-

ям, при которых газ находится в легких человека (температура тела (37 °С), атмосферное давление и полное насыщение воздуха водяным паром).

Форсированный выдох — выдох, осуществляемый с максимально возможным усилием.

Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) — максимальный объем воздуха, форсированно выдыхаемый после полного вдоха.

Функциональная остаточная емкость (ФОЕ) — объем воздуха, который остается в легких после обычного выдоха.

z-оценка — мера отклонения показателя от нормы; определяется числом стандартных отклонений между измеренной величиной показателя и его должным значением.

Определение спирометрии

Спирометрия представляет собой неинвазивный метод измерения воздушных потоков и объемов при выполнении спокойных и форсированных дыхательных маневров. В зависимости от конструктивных особенностей оборудования первично измеряемыми параметрами могут быть либо объем, либо поток (объемная скорость).

Показания к проведению спирометрии

Диагностика:

- диагностика наличия, степени выраженности и обратимости нарушений вентиляционной функции легких при заболеваниях органов дыхания, других органов и систем;
- уточнение причин респираторных жалоб больного, клинических симптомов либо отклонений в лабораторных показателях;
- скрининг популяций людей с высоким риском заболеваний органов дыхания;
- предоперационная оценка риска;
- оценка прогноза заболевания;
- оценка функционального состояния перед участием пациента в программах с физическими нагрузками высокой интенсивности, дыхательными нагрузками (пребывание в условиях высокогорья, задержка дыхания и др.).

Наблюдение:

- оценка эффективности лечебных мероприятий;
- мониторинг течения заболевания;
- наблюдение популяций людей, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов, в т. ч. связанных с их профессиональной деятельностью;
- мониторинг побочных эффектов лекарств с известной способностью оказывать влияние на функциональное состояние или вызывать повреждение органов дыхания.

Экспертная оценка:

- обследование больного перед началом реабилитации;
- оценка рисков при страховании здоровья и жизни;
- экспертиза трудоспособности;

- экспертная оценка состояния здоровья по другим юридическим поводам.

Общественное здоровье:

- эпидемиологические исследования;
- разработка систем должных величин;
- клинические исследования.

Противопоказания к проведению спирометрии

Абсолютными противопоказаниями для проведения спирометрии следует считать любые острые состояния, при которых выполнение форсированных дыхательных маневров чревато угрозой для жизни больного. При назначении исследования важно оценить возможность пациента адекватно выполнить все требуемые дыхательные маневры. Если полноценный контакт с пациентом невозможен (когнитивные нарушения, языковой барьер, дети младшего возраста, пожилые пациенты и др.), то качественно выполнить спирометрию не удастся. Ограничением для проведения исследования может быть наличие травм и заболеваний челюстно-лицевого аппарата, не позволяющих пациенту герметично подсоединиться к загубнику или специальной маске. При наличии трахеостомы спирометрию выполнить можно, если существует возможность герметизации трубки на время исследования.

Относительные противопоказания к проведению спирометрии связаны с необходимостью выполнения форсированных дыхательных маневров. Значительное изменение внутригрудного, внутрибрюшного и интракраниального давления при дыхании с максимальным усилием может влиять на органы грудной клетки и брюшной полости, венозный возврат и системное артериальное давление, поэтому спирометрию следует выполнять с осторожностью в следующих случаях:

- первая неделя после развития инфаркта миокарда;
- снижение или значительное повышение системного артериального давления;
- выраженные нарушения сердечного ритма;
- декомпенсированная сердечная недостаточность;
- неконтролируемая легочная гипертензия;
- острая правожелудочковая недостаточность;
- клинически нестабильные формы легочной тромбоэмболии;
- наличие в анамнезе синкопальных состояний, внезапно возникающих судорожных приступов, связанных с кашлем или форсированным дыханием;
- аневризмы церебральных сосудов;
- недавнее сотрясение головного мозга с сохраняющимися симптомами;
- первые 4 нед. после операций на головном мозге, грудной и брюшной полостях;
- первая неделя после офтальмологических операций и операций на придаточных пазухах носа и среднем ухе;
- пневмоторакс;
- осложненная беременность;
- беременность на поздних сроках;
- болевой синдром, препятствующий правильному выполнению спирометрии;
- острый отит, синусит.

Проведение спирометрии у пациентов с признаками острых респираторных или других инфекционных заболеваний, включая туберкулез, возможно при условии строгого соблюдения существующих санитарно-эпидемиологических норм. Следует принять во внимание высокий риск заражения у пациентов с кровохарканьем, большим количеством мокроты и наличием повреждений в ротовой полости.

Решение о назначении спирометрии принимает лечащий врач с учетом всех рисков и необходимости проведения данного исследования.

Технические условия

Инфекционный контроль

Исследование должно проводиться в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями, чтобы предотвратить инфицирование медицинского персонала и пациентов во время тестирования. Оператор должен помыть руки или использовать утвержденное дезинфицирующее средство для рук перед обследованием каждого нового пациента. Использование одноразовых перчаток не исключает необходимости мытья рук или дезинфекции, при использовании перчаток для каждого пациента требуется новая пара. Пациенту также следует обработать руки дезинфицирующим гелем или салфеткой, поскольку пациенты могут прикасаться к различным поверхностям (оборудованию, ручке спирометра, подлокотникам кресла и др.). Риск распространения инфекционных заболеваний при проведении спирометрии существенно снижается при использовании одноразовых антибактериальных / противовирусных фильтров, неотъемлемой частью которых является загубник.

После тестирования все одноразовые расходные материалы (фильтры, загубники, перчатки и т. д.) необходимо утилизировать.

Требования к оборудованию

Все спирометры должны удовлетворять техническим требованиям ГОСТ Р ИСО 26782-2016. В отдельных ситуациях, например, при проведении клинических исследований, объем технических требований может быть увеличен.

Для оптимального контроля над качеством измерений спирометр должен оснащаться дисплеем, на котором отображаются как кривые «поток—объем», так и кривые «объем—время». Желательно, чтобы все кривые одного типа в данном исследовании накладывались на дисплей друг на друга. Это позволяет визуально оценивать достаточность усилия при выполнении дыхательных маневров и повторяемость попыток.

Условия измерения

Все измерения при спирометрии выполняются в условиях окружающей среды и стандартно обозначаются аббревиатурой ATPS (*Atmospheric (ambient) condition*

for Temperature and barometric Pressure, Saturated) [1]: температура и влажность воздуха в помещении, где проводится исследование, барометрическое (атмосферное) давление.

Параметры окружающей среды, в которых возможна эксплуатация спирометра, должны быть указаны в инструкции производителя оборудования.

Результаты спирометрии отображаются в условиях, соответствующих параметрам газа в легких человека, и стандартно обозначаются аббревиатурой ВTPS (*Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*): температура тела человека (37 °С), барометрическое (атмосферное) давление и полное насыщение водяным паром [2]. Параметры окружающей среды измеряются непосредственно перед началом калибровки, а актуальные поправки для пересчета от условий ATPS к условиям ВTPS определяются по завершении калибровки спирометра. Точность измерения температуры должна составлять ± 1 °С. Если температура в помещении быстро меняется, т. е. более чем на 3 °С в течение < 30 мин, то следует своевременно скорректировать условия ATPS.

Калибровка спирометра

Калибровка — это процедура, во время которой устанавливается взаимосвязь между характеристиками потоков и объемов, определяемыми сенсором, и их реальными величинами. Помимо этого, существует процедура проверки калибровки, во время которой оператор удостоверяется, что спирометр по-прежнему находится в разрешенных пределах калибровки (допустимая точность — ± 3 % ($\pm 2,5$ % — для спирометра и $\pm 0,5$ % — для калибровочного шприца)) [2].

Калибровка проводится ежедневно или чаще, если это оговорено в инструкции производителя оборудования. Если результаты калибровки неудовлетворительные, калибровка выполняется заново. Причиной неудачной калибровки могут быть отклонения в работе спирометра. Если такие отклонения незначительны, то они могут быть скорректированы с помощью новых калибровочных коэффициентов. Программное обеспечение для спирометров должно включать в себя возможность генерировать отчет о калибровках, который включает результаты всех проверок, количество неудачных проверок калибровки в каждом сеансе и изменения калибровочных коэффициентов.

Предупреждение о некорректной работе должно выдаваться, если новые калибровочные коэффициенты выходят за диапазон ± 2 SD (*standard deviation* — стандартное отклонение) или отличаются более чем на 6 % от предыдущих. В инструкции производителя должны быть указаны действия, которые необходимо предпринять в случае неудавшейся проверки калибровки. На точность калибровки могут оказывать влияние следующие потенциально устранимые факторы:

- утечка в месте соединения калибровочного шприца и спирометра;
- движение воздуха у датчика при установке нулевой отметки;

- неполная амплитуда перемещения поршня калибровочного шприца;
- неисправность калибровочного шприца (утечка воздуха, затрудненное перемещение поршня, нарушение геометрии и др.);
- попадание мусора или руки оператора в зону работы датчика;
- неправильные сборка датчика, установка загубника или фильтра;
- различия между температурой калибровочного шприца и воздуха в помещении;
- ошибочные данные температуры и давления в помещении.

Калибровка объема обязательно выполняется ежедневно перед началом работы на приборе. В особых ситуациях (при скрининге больших популяций, быстром изменении температуры воздуха и т. д.) требуется более частая калибровка. Точные указания о режимах дополнительных калибровок обязательно указываются в инструкциях производителя оборудования.

Калибровочный шприц объемом 3 л должен обеспечивать точность измерений $\pm 0,015$ л или $\pm 0,5$ % на всем диапазоне изменения объема. Хранить калибровочный шприц следует в том же помещении, где проводится спирометрия, желательно рядом со спирометром. Калибровочный шприц очень чувствителен к изменению параметров окружающей среды, особенно температуры. Даже то обстоятельство, что шприц долго находился в руках во время калибровки, может исказить ее результаты, поэтому во время процедуры проверки желательно располагать шприц на столе.

Калибровочный шприц нуждается в периодической проверке. Не реже 1 раза в месяц следует проверять его на наличие утечки. Для такой проверки перекрывается выходное отверстие шприца и делаются попытки максимально наполнить его или опустошить с разного уровня положения поршня. Кроме того, являясь метрологическим устройством, калибровочный шприц нуждается в специальной проверке, периодичность которой определяется производителем оборудования. По результатам испытания выдается специальный сертификат. В том случае, если шприц поврежден или подвергся механическому воздействию, например упал, такая проверка должна быть проведена внепланово.

Калибровку следует проводить ежедневно 3-литровым калибровочным шприцем. Следует выполнить ≥ 3 попыток (3 вдоха и 3 выдоха) для получения нескольких потоков в диапазоне от 0,5 до 12 л / с. Каждый раз на перемещение поршня отводится от 1,5 до 6 с. Если при обследовании пациентов используются какие-либо фильтры, то калибровку спирометра следует выполнять вместе с ними. Точность измерения объема для каждого из потоков как на вдохе, так и на выдохе должна составлять $\pm 3,0$ % [3]. Для спирометров, с помощью которых первично измеряется объем, аналогичное требование предъявляется только к измерению на выдохе. В случаях, когда в работе прибора предусмотрено использование сменных датчиков, каждый из них должен калиброваться ежедневно.

Дополнительный контроль над качеством измерений при эксплуатации оборудования

В качестве дополнительного этапа контроля над качеством измерений при спирометрии рекомендуется проведение биологического контроля. Для этого периодически, не реже 1 раза в месяц, следует проводить тестирование двоих здоровых некурящих людей, как правило, сотрудников подразделения, способных адекватно выполнять спирометрию с хорошей повторяемостью. Результаты измерения ФЖЕЛ и ОФВ₁ регистрируются в специальном файле или журнале. Биологический контроль не заменяет использование калибровочного шприца, однако позволяет оператору провести быструю проверку и выявить проблему с оборудованием.

Для каждого спирометра необходимо вести журнал, где следует регистрировать следующие манипуляции, влияющие на качество проводимых измерений:

- результаты ежедневных калибровок;
- сведения о поломке и ремонте оборудования;
- сведения о замене программного обеспечения;
- сведения о перемещении оборудования.

После замены программного обеспечения рекомендуется самостоятельно проверить корректность расчетов должных величин.

Методика проведения спирометрии

Подготовка к спирометрии

Перед началом исследования рекомендуется:

- измерить параметры окружающей среды и выполнить калибровку спирометра;
- задать пациенту вопросы и зарегистрировать ответы об имеющихся заболеваниях, использовании лекарственных препаратов, потенциально влияющих на результаты исследования (с указанием названия, дозы и времени последней ингаляции), курении, в т. ч. о том, курил ли он незадолго до исследования;
- измерить рост и массу тела пациента, желательно измерить артериальное давление;
- проверить актуальность информации о пациенте в базе данных спирометра;
- объяснить пациенту порядок проведения исследования и важность правильного выполнения всех дыхательных маневров.

Возраст лучше рассчитывать, используя даты рождения и проведения исследования, также следует указывать число прожитых лет с точностью до 1 знака после запятой. Рост определяется в сантиметрах и округляется до целого числа, измеряется без обуви, пациенту необходимо стоять с прямой спиной, смотреть перед собой, а ноги держать вместе. В случаях, когда измерить рост в положении стоя невозможно (например, у пациентов с кифосколиозом), его можно определить либо по длине локтевой кости [4], что предпочтительно для детей, либо по размаху рук [5]. В последнем случае пациент становится лицом к стене с раскинутыми как можно дальше руками, так, чтобы расстояние между средними пальцами было мак-

симальным. Повторное измерение роста у взрослых (25 лет и старше) рекомендуется проводить не чаще 1 раза в год. Пол и популяция указываются в соответствии с данными, указанными в свидетельстве о рождении, даже в случаях иной гендерной идентичности. Масса тела в килограммах измеряется без уличной одежды и обуви, с точностью до 0,5 кг.

Спирометрию рекомендуется выполнять в положении больного сидя, с прямой спиной и слегка приподнятым подбородком. Кресло должно быть устойчивым и неподвижным (без колесиков), с подлокотниками, чтобы снизить вероятность падения пациента при выполнении дыхательных маневров. Ноги пациента должны доставать до пола, поэтому должна быть возможность регулировки кресла по высоте. Если при особых обстоятельствах требуется проведение исследования в положении пациента стоя или каком-либо другом, это должно быть отражено в протоколе исследования.

При наличии у пациента съемных зубных протезов рекомендуется не снимать их при проведении спирометрии, однако в ситуации, когда они мешают пациенту плотно обхватить загубник и становятся причиной утечки воздуха, следует продолжить исследование без них.

Курение (любым способом) должно быть исключено как минимум за 1 ч, а употребление алкоголя и других психоактивных веществ — за 8 ч до исследования. В течение 1 ч перед проведением спирометрии следует избегать значимых физических нагрузок, чтобы минимизировать возможность появления бронхоконстрикторной реакции, спровоцированной физической активностью.

Одежда не должна сильно обтягивать и ограничивать экскурсии грудной клетки и брюшной стенки. С этой же целью за 2 ч до исследования не рекомендуется обильный прием пищи [3].

Возможность применения бронхорасширяющих препаратов зависит от цели исследования. При необходимости оценить исходное состояние вентиляционной функции легких или провести бронходилатационный тест (БДТ) следует прекратить использование препаратов в зависимости от срока их действия:

- β_2 -агонистов короткого действия — за 4–6 ч;
- β_2 -агонистов длительного действия — за 24 ч;
- β_2 -агонистов сверхдлительного действия — за 36 ч до исследования;
- антихолинергических препаратов короткого действия — за 12 ч;
- антихолинергических препаратов длительного действия — за 36–48 ч;
- назальных деконгестантов — за 4 ч.

Если спирометрия проводится для оценки эффективности базисной терапии и поиска возможностей дополнительного улучшения легочной функции, то прием бронхорасширяющих препаратов не ограничивается, а в протоколе указываются доза и время последнего приема [3].

Показатели спирометрии

При спокойном дыхании с максимальной амплитудой измерения объема определяются следующие показатели (рис. 1):

- ЖЕЛ — максимальный объем легких, который человек может вдохнуть после максимально глубокого выдоха (ЖЕЛ_{вд.}) или выдохнуть после максимально глубокого вдоха (ЖЕЛ_{выд.}), т. е. между уровнями ООЛ и ОЕЛ;
- $E_{вд.}$ — максимальный объем, который человек может вдохнуть после спокойного выдоха, т. е. уровня ФОЕ легких до уровня ОЕЛ;

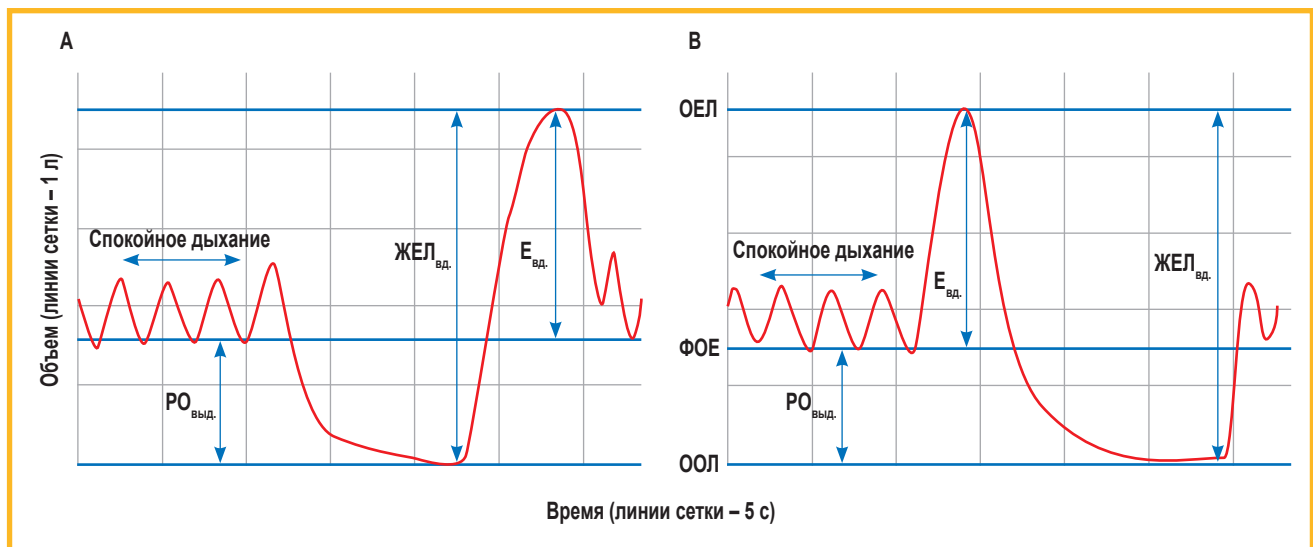


Рис. 1. Измерение жизненной емкости легких и емкости вдоха: А — кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких на вдохе; В — кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких на выдохе [3]

Примечание: ОЕЛ — общая емкость легких; ЖЕЛ_{вд.} — жизненная емкость легких на вдохе; ЖЕЛ_{выд.} — жизненная емкость легких на выдохе; $E_{вд.}$ — емкость вдоха; ФОЕ — функциональная остаточная емкость легких; $PO_{выд.}$ — резервный объем выдоха; ООЛ — остаточный объем легких.

Figure 1. Measurement of slow vital capacity and inspiratory capacity: A, curve “volume-time” when measuring inspiratory vital capacity; B, curve “volume-time” when measuring expiratory vital capacity [3]

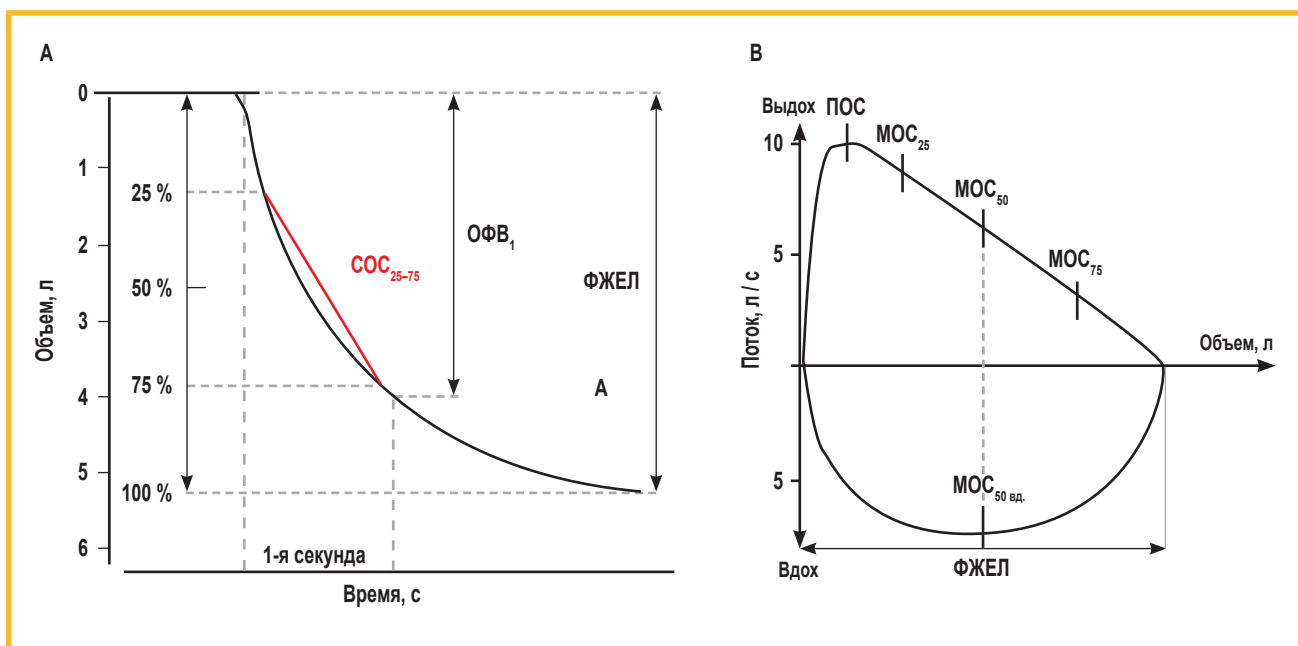


Рис. 2. Форсированная спирометрия: А – маневр форсированного выдоха в координатах «объем–время»; В – маневры форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»

Примечание: $СОС_{25-75}$ – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % форсированной жизненной емкости легких; $ОФВ_1$ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; $ФЖЕЛ$ – форсированная жизненная емкость легких выдоха; $ФЖЕЛ_{вд.}$ – форсированная жизненная емкость легких вдоха; $ПОС$ – пиковая объемная скорость выдоха; $МОС_{25-75}$ – максимальная объемная скорость при выдохе 25, 50 и 75 % $ФЖЕЛ_{вд.}$; $МОС_{50 вд.}$ – максимальная объемная скорость при вдохе 50 % $ФЖЕЛ_{вд.}$

Figure 2. Forced spirometry: A, forced expiratory maneuver in the “volume-time” coordinates; B, forced expiratory and inspiratory maneuvers in the “flow-volume” coordinates

- $РО_{вд.}$ – максимальный объем, который человек может выдохнуть после спокойного выдоха, т. е. от уровня ФОЕ до уровня ООЛ.

С помощью маневра форсированного выдоха определяются следующие показатели (рис. 2):

- $ФЖЕЛ$ – ЖЕЛ, которая измеряется при форсированном выдохе;
- $ФЖЕЛ_{вд.}$ – ЖЕЛ, которая измеряется при форсированном вдохе;
- $ОФВ_1$ – объем, который человек успевает выдохнуть за 1-ю секунду форсированного выдоха;
- соотношение $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ (индекс Генслера);
- соотношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ (индекс Тиффно);
- $ПОС$ выдоха – максимальная скорость воздушного потока при форсированном выдохе;
- $МОС$ при выдохе 25 % $ФЖЕЛ$ ($МОС_{25}$) – скорость воздушного потока в момент выдоха 25 % $ФЖЕЛ$;
- $МОС$ при выдохе 50 % $ФЖЕЛ$ ($МОС_{50}$) – скорость воздушного потока в момент выдоха 50 % $ФЖЕЛ$;
- $МОС$ при выдохе 75 % $ФЖЕЛ$ ($МОС_{75}$) – скорость воздушного потока в момент выдоха 75 % $ФЖЕЛ$;
- $СОС$ при выдохе 25–75 % $ФЖЕЛ$ ($СОС_{25-75}$) – средняя скорость воздушного потока при выдохе 25–75 % $ФЖЕЛ$.

Порядок проведения спирометрии

Все измерения выполняются с использованием носового зажима либо путем зажатия ноздрей пальцами, загубник спирометра следует плотно обхватить губами и зубами. Во время выполнения дыхательных маневров нередко происходит утечка воздуха из-за

того, что пациент отпускает или неплотно держит загубник, а носовой зажим слетает, поэтому очень важно контролировать надежность подсоединения пациента к спирометру в течение всего цикла измерений. На точность измерений также могут влиять смыкание голосовых связок и попадание языка в просвет загубника, на что необходимо обращать внимание.

Спирометрическое исследование проводится при спокойном и форсированном дыхании. При спокойном дыхании оценивается паттерн дыхания, определяются ЖЕЛ и ее составляющие – $E_{вд.}$ и $РО_{вд.}$. Исследование проводится при расслабленном состоянии пациента, все маневры выполняются без излишней спешки. Измерение ЖЕЛ начинается непосредственно после того, как дыхание станет спокойным, т. е. минимум в течение 3 дыхательных циклов уровень дыхания (ФОЕ) и величина дыхательного объема будут стабильными. Смещение уровня спокойного дыхания в пределах 15 % дыхательного объема считается допустимым. Если в течение 10 дыхательных циклов не удастся добиться стабилизации спокойного дыхания, то измерение ЖЕЛ возможно, однако величина $E_{вд.}$ в этом случае будет определена некорректно. Измерение ЖЕЛ можно выполнить одним из следующих способов [3]:

- ЖЕЛ вдоха ($ЖЕЛ_{вд.}$): после максимально полного выдоха делается максимально глубокий вдох (см. рис. 1А);
- ЖЕЛ выдоха ($ЖЕЛ_{вд.}$): после максимально полного вдоха без задержки делается максимально глубокий выдох (см. рис. 1В).

Для определения ЖЕЛ рекомендуется измерять ЖЕЛ_{вд.}, если это невозможно, то в качестве альтернативы может быть использован показатель ЖЕЛ_{выд.}. У здорового человека разница между ЖЕЛ_{вд.} и ЖЕЛ_{выд.} незначительна, но при ряде заболеваний, особенно при эмфиземе легких, ЖЕЛ_{выд.} может быть существенно меньше ЖЕЛ_{вд.}. Это обусловлено феноменом патологически раннего сужения дыхательных путей (ДП) вплоть до полного смыкания их стенок при выдохе, который принято называть экспираторным ограничением потока или экспираторным коллапсом ДП [6, 7]. Измерение ЖЕЛ следует проводить в начале исследования, до выполнения форсированной спирометрии, чтобы зафиксировать максимальное значение этого параметра. Форсированное дыхание, особенно с максимальной амплитудой изменения объема, может вызвать утомление дыхательных мышц и повышение уровня ФОЕ из-за экспираторного ограничения воздушного потока, что приведет к занижению величины ЖЕЛ.

Здоровым пациентам достаточно 5–6 с для выполнения маневра ЖЕЛ. Больным с обструкцией ДП, возможно, потребуется больше времени, но измерение можно завершить, если глубокий вдох или выдох продолжаются > 15 с.

В современных моделях спирометров существует унифицированная система видео- и аудиоподсказок для оператора (однократный звуковой сигнал и цветовая индикация момента стабилизации дыхания и двукратный звуковой сигнал и цветовая индикация либо момента достижения максимальной глубины вдоха или выдоха, которые определяются по наличию на кривой «объем–время» небольшого плато на пике изменения объема (изменение объема – 0,025 л / с), либо по прошествии 15 с от начала выполнения маневра). Для работы на приборах более простых модификаций достаточно визуального контроля над правильностью выполнения маневра по кривой «объем–время» на экране монитора.

С помощью маневра форсированного выдоха измеряются ФЖЕЛ и объемные скорости воздушного потока.

Маневр форсированного выдоха выполняется следующим образом: максимально глубокий вдох (от уровня ФОЕ до уровня ОЕЛ), затем следует резкий и максимально полный и быстрый выдох (до уровня ООЛ) и снова – максимально глубокий и по возможности быстрый вдох (до уровня ОЕЛ). Оператору рекомендуется сначала объяснить и продемонстрировать пациенту правильное выполнение маневра.

Предшествующий форсированному выдоху вдох оказывает существенное влияние на экспираторные потоки, поэтому для получения максимально точных результатов рекомендуется делать максимально полный вдох без задержки. Если пауза на высоте вдоха продолжается > 2 с, то возможно занижение скоростных параметров последующего форсированного выдоха из-за т. н. стрессового расслабления, проявляющегося повышением податливости стенок ДП из-за снижения упругих свойств легких [8, 9].

После максимально глубокого вдоха пациент должен сделать мощный выдох с максимальным усилием

и скоростью, продолжая его до полного опорожнения легких (до уровня ООЛ). Во время выполнения маневра рекомендуется словами и жестами поощрять пациента делать максимально мощный выдох и продолжать его как можно дольше, при этом необходимо следить за графическим отражением результатов теста на дисплее спирометра и визуально оценивать качество маневра. Одновременно следует внимательно наблюдать за пациентом во избежание нежелательных явлений, связанных с резким и глубоким выдохом (например, синкопального состояния). Если выполнение дыхательных маневров связано с болевыми ощущениями, то исследование прекращается. При появлении головокружения или ухудшении самочувствия можно сделать паузу и продолжить исследование, когда нежелательные симптомы прекратятся.

После завершения форсированного выдоха пациент делает максимально глубокий и по возможности быстрый вдох. Максимальная скорость вдоха важна лишь в том случае, если измеряются скоростные параметры вдоха, что важно при диагностике стенозов внелегочных ДП (ВДП). В стандартной ситуации достаточно, чтобы вдох выполнялся без намеренного сдерживания, но максимально полно. Измеряемая на вдохе сразу после форсированного выдоха ЖЕЛ обозначается как ФЖЕЛ_{вд.}. Сопоставление величин ФЖЕЛ и ФЖЕЛ_{вд.} позволяет убедиться в том, что пациент полностью вдохнул перед маневром форсированного выдоха.

Описанная последовательность проведения спирометрии является оптимальной для достижения максимально точных и полных результатов исследования. Однако не все приборы, используемые в рутинной практике, могут обеспечить измерения и на вдохе, и на выдохе. При использовании спирометров, регистрирующих только выдох, пациент должен подсоединиться к прибору (обхватить мундштук губами) в течение первых 2 с после окончания максимально глубокого вдоха и отсоединиться от прибора после полного окончания форсированного выдоха.

Критерии качества спирометрии

При оценке качества спирометрии используются следующие понятия:

- **приемлемость** (*acceptability*) – соответствие попытки всем критериям качественного измерения;
- **допустимость** (*usability*) – признание клинической ценности попытки, не соответствующей всем критериям качественного измерения;
- **повторяемость** (*repeatability*) – максимально допустимое различие между величинами одного и того же показателя, измеренными при разных попытках.

Основным критерием качества при измерении ЖЕЛ является повторяемость результатов. Для корректного определения ЖЕЛ необходимо выполнить минимум 3 технически приемлемых измерения, чтобы различие между 2 наибольшими значениями ЖЕЛ не превышало 0,150 л или 10 % от величины ЖЕЛ,

причем ориентироваться следует на меньший по величине критерий. Если после выполнения 8 попыток критерий повторяемости не достигнут, то рекомендуется исследование прекратить и повторить в другой день. В протокол исследования вносятся максимальное из полученных значений ЖЕЛ и средняя величина $E_{\text{вд}}$.

Оценка качества выполнения маневра форсированного выдоха проводится по большему числу критериев.

Начало исследования. Начало форсированного выдоха как нулевая точка для расчета временных параметров спирометрии определяется методом обратной экстраполяции. Нулевая точка – это точка пересечения касательной линии, которая строится к самой крутой части кривой «объем–время», соответствующей ПОС, и горизонтальной оси (рис. 3). Объем воздуха, который человек успевает выдохнуть от уровня максимально глубокого вдоха (уровня ОЕЛ) до достижения нулевой точки, называется объемом обратной экстраполяции (ООЭ). Если маневр форсированного выдоха выполнен качественно, то ООЭ составит $< 0,1$ л или 5 % ФЖЕЛ (следует ориентироваться на большую величину). Увеличение ООЭ происходит при медленном начале маневра форсированного выдоха. Время от момента максимально глубокого вдоха до нулевой точки, соответствующее

времени выдоха ООЭ, не должно превышать 2 с. Попытки, при которых показатель ООЭ превышен, не могут использоваться для дальнейших расчетов. Для дополнительного контроля над достаточностью экспираторного усилия можно использовать параметры, характеризующие время развития ПОС: время достижения ПОС ($T_{\text{ПОС}}$) – время от начала выдоха до достижения ПОС должно быть $\leq 0,10$ с, либо время ускорения (достижение 10–90 % ПОС) – при быстром выдохе его значения не должны превышать 0,15 с [10, 11]. Следует учитывать, что у пациентов с обструкцией ВДП значение этих 2 параметров могут быть больше, ориентиром правильности выполнения маневров в таких случаях должно служить стойкое воспроизведение формы кривых при повторных попытках.

Окончание форсированного выдоха. Для определения момента окончания маневра форсированного выдоха используется один из следующих 3 равнозначных критериев:

1. Наличие т. н. плато, т. е. практически горизонтального участка в конце кривой «объем–время» при выполнении форсированного выдоха, когда объем воздуха практически не меняется – за 1 с выдыхается $< 0,025$ л. В современных спирометрах предусмотрены не только возможность визуального контроля над достижением плато, но и звуковая индикация этого момента, что существенно повышает возможность

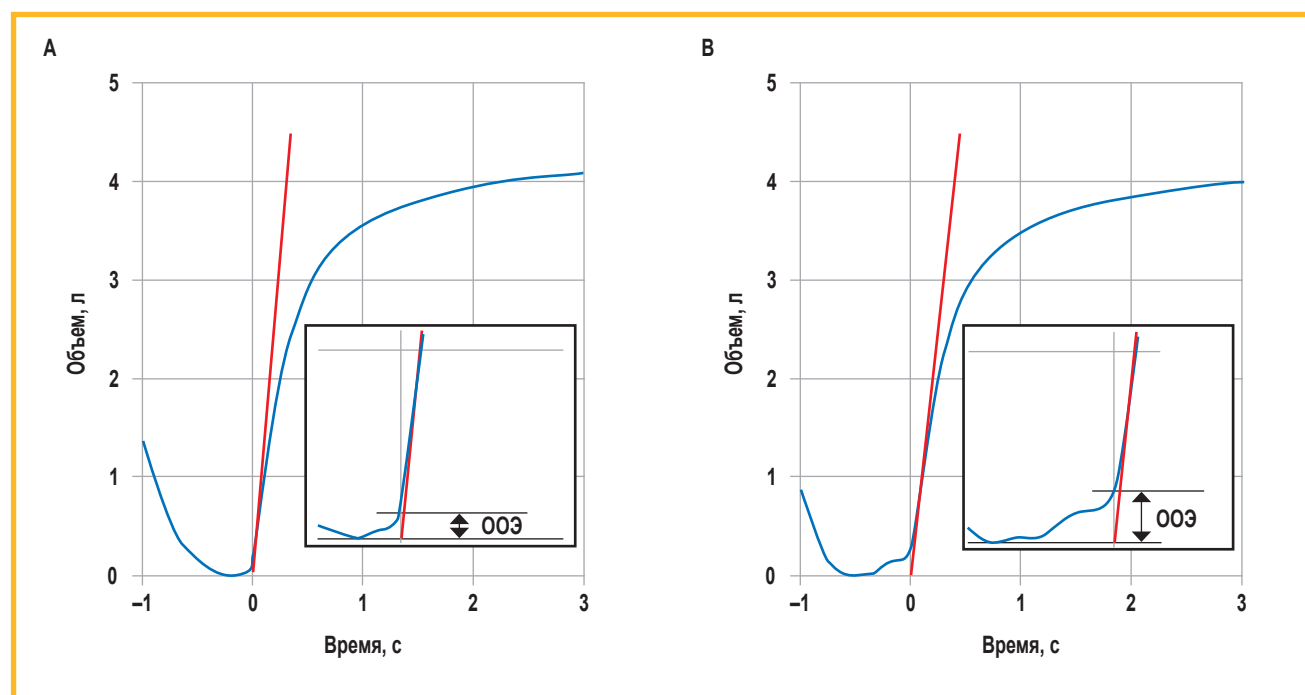


Рис. 3. Объем обратной экстраполяции: нулевая точка – это точка пересечения касательной линии, которая строится по самой крутой части кривой «объем–время», соответствующей пиковому потоку (красная линия), и горизонтальной оси времени. Объем обратной экстраполяции равен объему воздуха, который человек успевает выдохнуть до нулевой точки. А – пример приемлемого измерения, объем обратной экстраполяции составляет 0,136 л; В – пример неприемлемого измерения, объем обратной экстраполяции составляет 0,248 л. У этого пациента объем обратной экстраполяции не должен превышать 5 % форсированной жизненной емкости легких (0,225 л) [3]

Примечание: ООЭ – объем обратной экстраполяции.

Figure 3. Inverse extrapolation volume: the zero point is the intersection point of the tangent line that is drawn to the steepest part of the volume-time curve corresponding to the peak flow (red line) and the horizontal time axis. The volume of backward extrapolation is equal to the volume of air that a person can exhale before the zero point. A – is an example of an acceptable measurement with back extrapolation volume of 0.136 L; B – is an example of an unacceptable measurement with back extrapolation volume of 0.248 L. In this patient, the back extrapolation volume should not exceed 5% of forced vital capacity (0.225 L) [3]

качественного выполнения маневра. Критерий плато является наиболее надежным для определения момента полного завершения форсированного выдоха. Однако следует помнить, что закрытие голосовой щели может привести к преждевременному формированию плато даже при достаточно продолжительном выдохе.

2. Продолжительность форсированного выдоха ($T_{\text{ФЖЕЛ}}$) ≥ 15 с. В большей степени это критерий достижим у больных с выраженной обструкцией ДП, у других пациентов попытки столь продолжительного выдоха могут провоцировать головокружение, обмороки, вызывать усталость и дискомфорт.

3. Если пациент не может выдыхать долго, чтобы достичь плато, что часто связано с высокой эластичностью легких у детей или больных с рестриктивными нарушениями (РН) вентиляции, то критерием полного завершения маневра форсированного выдоха считается достижение повторяемых значений ФЖЕЛ: различие между наибольшими значениями ФЖЕЛ не должно превышать 0,150 л (для пациентов старше 6 лет).

Полнота форсированного выдоха. Дополнительным критерием, позволяющим оценить, насколько полно был выполнен форсированный выдох, служит разница между величинами ФЖЕЛ_{вд.} и ФЖЕЛ. При корректном выполнении всех маневров ФЖЕЛ_{вд.}, измеряемая при глубоком быстром вдохе сразу по окончании форсированного выдоха, не должна превышать ФЖЕЛ, измеряемую при форсированном выдохе, более чем на 0,1 л или 5 % ФЖЕЛ (следует ориентироваться на большую величину).

Отсутствие кашля. Следует избегать кашля при выполнении дыхательных маневров, особенно важно исключить кашель в 1-ю секунду форсированного выдоха, поскольку это существенно влияет на величину ОФВ₁.

Утечка воздуха. При неполном прилегании губ к загубнику возникает утечка воздуха из ротовой полости, в результате спирометрические показатели занижаются. Некоторым больным со слабостью мышц или пациентам пожилого возраста трудно герметично держать загубник губами в течение всего исследования, частично это можно компенсировать дополнительной фиксацией губ вокруг загубника пальцами рук. Иногда причиной утечки могут быть съемные зубные протезы и проблему можно решить, если провести исследование со снятыми протезами.

Обструкция загубника языком. Попадание языка в просвет загубника может быть препятствием к проведению корректных измерений, следует обращать на это внимание при выполнении дыхательных маневров.

Повторяемость дыхательных маневров. Помимо технической приемлемости каждого маневра, оценивается степень вариабельности между ними (повторяемость). Критерий повторяемости определяет разницу между 2 наибольшими значениями показателя, допустимую для технически приемлемых маневров. У пациентов старше 6 лет используются следующие критерии [3]:

- ФЖЕЛ $\leq 0,150$ л;
- ОФВ₁ $\leq 0,150$ л.

Возможно, чтобы при выполнении маневров форсированного выдоха критерии повторяемости для параметров ФЖЕЛ и ОФВ₁ были достигнуты при разных попытках. По результатам исследований показано, что большинство взрослых способны достичь повторяемости ФЖЕЛ и ОФВ₁ в пределах 0,150 л [12, 13].

Оценка качества выполнения форсированной спирометрии проводится интегрально по совокупности параметров. Результаты спирометрии могут быть оценены при выполнении ≥ 3 технически приемлемых попыток, отвечающих критериям повторяемости. Если после выполнения 8 попыток критерии повторяемости не достигнут, то целесообразно исследование прекратить и повторить в другой день.

В реальной практике часто возникают ситуации, когда выполненные пациентом маневры не отвечают всем критериям качественных измерений, однако для принятия клинических решений важна даже приближительная оценка респираторной функции. С учетом этих обстоятельств в современных стандартах спирометрии вводится новое понятие — **допустимость попытки**, т. е. признание клинической ценности попытки, не соответствующей всем критериям качественного измерения.

Обновленная система оценки качества форсированной спирометрии несколько отличается от привычной, при этом предусматриваются 2 этапа оценки. На 1-м этапе интегрально оцениваются приемлемость и допустимость выполненных попыток как для ФЖЕЛ, так и для ОФВ₁ (табл. 1).

Второй этап — это формализованная интегральная оценка качества измерения величин ФЖЕЛ и ОФВ₁, когда с помощью стандартных кодов обозначаются качество и количество выполненных попыток измерения каждого из параметров (табл. 2). В финальном протоколе спирометрии стандартные коды качества измерений указываются отдельно для ФЖЕЛ и ОФВ₁, что позволяет сразу определить ценность результатов спирометрии. Измерения с кодом А соответствуют всем критериям качества форсированной спирометрии и дают наиболее достоверную характеристику функционального состояния органов дыхания. Измерения с кодом В также можно отнести к качественным измерениям с высокой клинической ценностью. В силу того, что некоторые пациенты не могут выполнять необходимые дыхательные движения с соблюдением всех существующих требований, но стараются и демонстрируют свои максимальные возможности при проведении спирометрии, результаты таких исследований могут быть полезны при решении клинических задач. Именно с этой целью рекомендуется протоколировать все максимально возможные результаты спирометрии с обязательным указанием качества их определения. В целом для использования применимы тесты качества А, В, и С; тесты качества D являются сомнительными; тесты качества Е можно использовать только при нормальных значениях параметров спирометрии; тесты качества U и F использовать не следует.

Таблица 1

Критерии приемлемости и допустимости попыток при измерениях объема форсированного выдоха за 1-ю секунду и форсированной жизненной емкости легких для пациентов старше 6 лет

Table 1

Acceptability and usability criteria for attempts to measure forced expiratory volume in 1 second and forced vital capacity for patients older than 6 years

Критерий качества	Для приемлемых попыток		Для допустимых попыток	
	ОФВ ₁	ФЖЕЛ	ОФВ ₁	ФЖЕЛ
ООЭ или ≤ 5 % ФЖЕЛ или 0,100 л (следует ориентироваться на большую величину)	Да	Да	Да	Да
Стабильная нулевая линия потока	Да	Да	Да	Да
Отсутствие кашля в 1-ю секунду форсированного выдоха	Да	Нет	Да	Нет
Отсутствие смыкания голосовых связок в 1-ю секунду форсированного выдоха	Да	Да	Да	Да
Отсутствие смыкания голосовых связок после 1-й секунды форсированного выдоха	Нет	Да	Нет	Нет
Достигнут 1 из 3 критериев окончания форсированного выдоха: • экспираторное плато (поток воздуха ≤ 0,025 л за последнюю секунду форсированного выдоха) или • время форсированного выдоха ≥ 15 с или • различие между 2 наибольшими значениями ФЖЕЛ ≤ 0,150 л	Нет	Да	Нет	Нет
Отсутствует обструкция мундштука или измерительной части спирометра	Да	Да	Нет	Нет
Отсутствует утечка воздуха	Да	Да	Нет	Нет
ФЖЕЛ _{зд} – ФЖЕЛ ≤ 0,100 л или 5 % ФЖЕЛ (следует ориентироваться на большую величину)	Да	Да	Нет	Нет

Примечание: ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ООЭ – объем обратной экстраполяции; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких выдоха.

Таблица 2
Стандартные коды качества измерений объема форсированного выдоха за 1-ю секунду и форсированной жизненной емкости легких у пациентов старше 6 лет

Table 2
Standard quality codes for measurements of forced expiratory volume in 1 second and forced vital capacity in patients older than 6 years

Код	Число попыток	Повторяемость, л
A	≥ 3 приемлемых	≤ 0,150
B	2 приемлемых	≤ 0,150
C	≥ 2 приемлемых	≤ 0,200
D	≥ 2 приемлемых	≤ 0,250
E	≥ 2 приемлемых	> 0,250
	1 приемлемая	-
U	0 приемлемых и ≥ 1 допустимых	-
F	0 приемлемых и 0 допустимых	-

Бронходилатационный тест

БДТ представляет собой последовательное проведение спирометрии до и после ингаляции бронхорасширяющего препарата с целью оценки реакции ДП на его воздействие. При первичном обследовании всегда предпочтительно проведение БДТ, который, в отличие от однократной спирометрии, позволяет более полно охарактеризовать вентиляционную функцию легких. Постдилатационные значения показателей

форсированного выдоха могут быть более информативными при оценке тяжести и прогноза заболевания, особенно при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) [14, 15].

Показания к проведению БДТ:

- определение реакции на бронходилататор;
- выявление положительной реакции на бронходилататор у пациентов с исходно нормальными показателями спирометрии;
- оценка потенциального эффекта бронходилатационной терапии;
- мониторинг динамики легочной функции у больных с хроническими заболеваниями органов дыхания при длительном (многолетнем) наблюдении.

Противопоказания к проведению БДТ. При назначении БДТ следует учитывать противопоказания к проведению спирометрии и ограничения, связанные с возможностью использования бронхорасширяющего препарата. Кроме того, не рекомендуется проведение БДТ, когда пациент исходно не смог выполнить маневры форсированного выдоха, отвечающие критериям приемлемости и повторяемости, поскольку результаты БДТ напрямую зависят от качества спирометрии до и после воздействия бронхорасширяющего препарата.

Методика проведения бронходилатационного теста

Перед проведением исследования пациент должен быть информирован о самой процедуре и тех побочных эффектах, которые могут возникнуть при ингаля-

ции бронхорасширяющего препарата. Спирометрия как до, так и после лекарственного воздействия проводится на одном и том же приборе по стандартной методике, описанной выше.

Ограничения по приему лекарственных препаратов перед началом исследования так же, как и при спирометрии, зависят от цели проведения БДТ. При необходимости оценить исходную реакцию на бронходилататор следует прекратить использование препаратов (принимаемых отдельно или в составе комбинаций) в зависимости от срока их действия:

- β_2 -агонистов короткого действия — за 4–6 ч;
- β_2 -агонистов длительного действия — за 24 ч;
- β_2 -агонистов сверхдлительного действия — за 36 ч до исследования;
- антихолинергических препаратов короткого действия — за 12 ч;
- антихолинергических препаратов длительного действия — за 36–48 ч;
- назальных деконгестантов — за 4 ч.

Прием глюкокортикостероидных и лейкотриеновых препаратов не ограничивается.

Если БДТ проводится для оценки эффективности проводимого лечения или по какой-либо причине отмена препаратов перед исследованием невозможна, то вся плановая терапия сохраняется в обычном для пациента объеме и в протоколе исследования указываются названия препаратов, их доза и время последней ингаляции.

Ограничения в отношении курения, значимых физических нагрузок, употребления алкоголя и других психоактивных веществ, актуальные для спирометрии, распространяются на все время проведения БДТ.

Относительно съемных зубных протезов рекомендуется соблюдать одинаковые условия измерения до и после ингаляции лекарственного препарата, т. е. либо оба исследования проводятся с протезами во рту, либо без них.

БДО зависит от многочисленных факторов, определяющих достоверность результатов:

- выбора бронходилататора и его дозы (чем выше доза, тем лучше ответ);
- времени, прошедшего после ингаляции (как правило, реакция измеряется на пике действия препарата);
- способа доставки препарата в ДП (дозированный аэрозоль или небулайзер);
- соблюдения качества при проведении спирометрии и способа расчета БДО.

На сегодняшний день не существует единого стандарта выбора бронходилататора, дозы или способа его применения при проведении БДТ.

Чаще всего для БДТ используются короткодействующие β_2 -агонисты адренорецепторов, например салбутамол, в виде дозированного аэрозольного ингалятора (ДАИ) в максимальной разовой дозе 400 мкг (4 ингаляции по 100 мкг с интервалом 30 с) с помощью спейсера, при соблюдении всех правил ингаляционной техники для ДАИ (после спокойного неполного выдоха — плавный максимально глубокий вдох с ак-

тивацией ингалятора (нажатием на клавишу) одновременно с началом вдоха, задержка дыхания на высоте вдоха на 10 с). Повторная спирометрия проводится через 15–20 мин.

При использовании М-холинолитического препарата (ипратропия бромид) максимальная разовая доза составляет 80 мкг (4 дозы по 20 мкг с интервалом 30 с). Повторная спирометрия выполняется через 30 мин [3].

Использование спейсера дает ряд преимуществ при проведении БДТ — увеличивается вдыхаемая фракция аэрозоля и не требуется четкой синхронизации между активацией ингалятора и вдохом, что значительно легче для пациента.

При использовании небулайзеров необходимо помнить, что для разных типов небулайзеров могут потребоваться разные дозы бронходилататоров и время доставки. Следует придерживаться рекомендаций производителей по их использованию. Для струйных небулайзеров 5 мг салбутамола в ингаляционном растворе номинально эквивалентны ингаляции 400 мкг с помощью ДАИ, а 1 мг ипратропия бромида в ингаляционном растворе номинально эквивалентен ингаляции 80 мкг с помощью ДАИ. В качестве движущего газа должен использоваться воздух. Использование 100%-ного кислорода в качестве движущего газа для струйного небулайзера при проведении БДТ не рекомендуется.

Особенности проведения спирометрии у детей

В лаборатории, в которой обследуются маленькие дети, должна быть очень доброжелательная атмосфера, можно использовать игрушки, соответствующие возрасту маленьких пациентов. Желательно, чтобы у специалиста, обследующего ребенка, имелся опыт выполнения функциональных исследований у детей. Перед началом исследования ребенку следует доступно объяснить, что он должен делать. Хорошие результаты дает применение визуальной «обратной связи» — изображения свечей или других картинок на мониторе, которые меняются в зависимости от того, насколько правильно маленький пациент выполняет дыхательные маневры. Даже если первые попытки были неудачными, продолжение исследования в большинстве случаев позволяет ребенку привыкнуть к обстановке и лучше выполнить дыхательный маневр. Не рекомендуется обследование детей в лабораториях для взрослых пациентов, где обстановка не адаптирована к особенностям детей [3].

Большинство детей старше 6 лет способны выполнить маневр форсированного выдоха, удовлетворяющий тем же критериям, которые применимы у взрослых пациентов, и только для детей 6 лет и младше критерии оценки отличаются. Различия связаны с тем, что у детей 6 лет и младше форсированный выдох может быть < 1 с и поэтому у детей этой возрастной группы оценивается объем форсированного выдоха за первые 0,75 с ($ОФВ_{0,75}$), информативность которого аналогична $ОФВ_1$ у пациентов постарше [16, 17]. Если форсированный выдох длится > 1 с, то у детей 6 лет

Таблица 3

Критерии приемлемости и допустимости попыток при измерениях объема форсированного выдоха за первые 0,75 с, объема форсированного выдоха за 1-ю секунду и форсированной жизненной емкости легких у детей 6 лет и младше

Table 3

Acceptability and usability criteria for attempts to measure forced expiratory volume in the first 0.75 s, forced expiratory volume in 1 second, and forced vital capacity in children of 6 years of age and younger

Критерий качества	Для приемлемых попыток		Для допустимых попыток	
	ОФВ _{0,75}	ОФВ ₁	ФЖЕЛ	ФЖЕЛ
ООЭ или ≤ 5 % ФЖЕЛ, или 0,100 л (следует ориентироваться на большую величину)	Да	Да	Да	Да
Стабильная нулевая линия потока	Да	Да	Да	Да
Отсутствие кашля в первые 0,75 с форсированного выдоха	Да	Нет	Да	Нет
Отсутствие смыкания голосовых связок в первые 0,75 с форсированного выдоха	Да	Да	Да	Да
Отсутствие смыкания голосовых связок после первых 0,75 с форсированного выдоха	Нет	Да	Нет	Нет
Достигнут 1 из 3 критериев полного окончания форсированного выдоха:				
1) экспираторное плато (поток воздуха ≤ 0,025 л за последнюю секунду форсированного выдоха)	Нет	Да	Нет	Нет
2) время форсированного выдоха ≥ 15 с				
3) различие между наибольшими значениями ФЖЕЛ ≤ 0,100 л				
Отсутствует обструкция мундштука или измерительной части спирометра	Да	Да	Нет	Нет
Отсутствует утечка воздуха	Да	Да	Нет	Нет
ФЖЕЛ _{вд.} – ФЖЕЛ ≤ 0,100 л или 5 % ФЖЕЛ (следует ориентироваться на большую величину)	Да	Да	Нет	Нет

Примечание: ООЭ – объем обратной экстраполяции; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкости легких выдоха; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ОФВ_{0,75} – объем форсированного выдоха за первые 0,75 с; ФЖЕЛ_{вд.} – форсированная жизненная емкости легких на вдохе, измеряемая при глубоком быстром вдохе сразу после окончания форсированного выдоха.

и младше рекомендуется измерять и ОФВ_{0,75}, и ОФВ₁. Критерии приемлемости и допустимости попыток при использовании этих параметров представлены в табл. 3, в большей части они аналогичны таковым для взрослых и различаются лишь в том, что для корректного измерения величины ОФВ_{0,75} важно избежать

кашля и смыкания голосовых связок в первые 0,75 с форсированного выдоха.

При оценке качества спирометрии у детей младшей возрастной группы используются такие же стандартные коды, как и у взрослых, однако требования к повторяемости показателей у них иные (табл. 4).

При определении ЖЕЛ у детей старше 6 лет применяется тот же критерий повторяемости, что и у взрослых – 0,150 л или 10 % от наибольшей измеренной величины ЖЕЛ (следует ориентироваться на меньшую величину). Для детей 6 лет и младше повторяемыми считаются попытки, при которых различия между двумя наибольшими величинами ЖЕЛ не превышают 0,100 л или 10 % от наибольшего значения ЖЕЛ (следует ориентироваться на меньшую величину).

Таблица 4
Стандартные коды качества измерений объема форсированного выдоха за первые 0,75 с, объема форсированного выдоха за 1-ю секунду и форсированной жизненной емкости легких у детей 6 лет и младше

Table 4
Standard quality codes for measurements of forced expiratory volume in the first 0.75 s, forced expiratory volume in 1 second, and forced vital capacity in children of 6 years of age and younger

Код	Число попыток	Повторяемость (следует ориентироваться на большую величину)
A	≥ 3 приемлемых	≤ 0,100 л или 10 % от наибольшего значения
B	2 приемлемых	≤ 0,100 л или 10 % от наибольшего значения
C	≥ 2 приемлемых	≤ 0,150 л или 10 % от наибольшего значения
D	≥ 2 приемлемых	≤ 0,200 л или 10 % от наибольшего значения
E	≥ 2 приемлемых	> 0,200 л или 10 % от наибольшего значения
	1 приемлемая	–
U	0 приемлемых и ≥ 1 допустимых	–
F	0 приемлемых и 0 допустимых	–

Интерпретация результатов спирометрии

Выбор результата для анализа

Величина ЖЕЛ оценивается по максимально измеренному значению показателя. Величина E_{вд.} определяется как среднее значение для всех технически приемлемых измерений. Для анализа ФЖЕЛ и ОФВ₁ выбираются также максимальные значения из всех приемлемых или допустимых попыток, если технически приемлемые попытки выполнить не удалось (см. табл. 1, 3). При этом неважно, что максимальное значение ФЖЕЛ было получено при одной попытке, а максимальное значение ОФВ₁ – при другой. Для расчета соотношения ОФВ₁ / ФЖЕЛ также используются максимальные значения каждого из параметров,

и необязательно они должны быть получены при одной и той же попытке. В отношении $ОФВ_{0,75}$ действуют те же правила, что и при выборе лучшего значения $ОФВ_1$. Данные требования могут быть учтены при настройке программного обеспечения спирометра.

Для протокола отбираются максимальное значение ПОС из всех приемлемых попыток, а значения $СОС_{25-75}$ и остальных скоростных параметров — из попытки с наибольшей суммой $ОФВ_1$ и ФЖЕЛ.

ФЖЕЛ_{вкл.} оценивается по максимальному значению из всех полученных. Скоростные инспираторные показатели также оцениваются по максимальной измеренной величине.

Должные величины

Количественная оценка данных спирометрии проводится путем сопоставления измеренных величин с их должными значениями, которые получены при обследовании здоровых некурящих лиц. Должные величины зависят от антропометрических параметров (в основном роста), пола, возраста и популяции. Чем выше рост человека, тем больше его легкие и протяженность ДП и, следовательно, максимальная экспираторная скорость. При вычислении нормальных значений для людей с кифосколиозом вместо значения роста в формулу следует занести значение размаха рук, аналогично поступают и в других случаях, при невозможности измерить рост стоя. У женщин объем легких меньше, чем у мужчин такого же роста. С возрастом эластичность легочной ткани снижается, в результате чего снижаются объем и скорость выдоха. Вместе с тем следует принимать во внимание и индивидуальные вариации нормы. Например, легочные заболевания могут возникать у лиц с исходными значениями легочного объема и потоков выше среднего уровня; в этом случае, несмотря на их снижение при прогрессировании заболевания, они могут оставаться в пределах нормальных для популяции в целом значений. Чем больше физиологические параметры человека отличаются от средних по популяции, тем хуже работает система должных значений и возрастает вероятность ошибки при интерпретации результатов спирометрии.

Существуют многочисленные системы должных величин, из которых в практической работе лучше всего зарекомендовала себя система, разработанная в 1993 г. Европейским сообществом стали и угля (*European Community for Steel and Coal*), — ECSC1993 [18]. В Российской Федерации *Р.Ф.Клемент и соавт.* разработаны отечественные системы должных величин для взрослых и лиц моложе 18 лет [19, 20]. Все эти системы разработаны для европейской популяции на основе единой методологии и при оценке данных спирометрии демонстрируют высокую согласованность [21].

Возможность применения системы должных величин ограничена параметрами здоровых лиц, данные которых использовались для разработки. Прежде всего важна популяционная идентичность, также важно соответствие обследуемых по росту и возрасту. Следует избегать экстраполяции должных величин за пределы

указанных диапазонов роста и возраста. Если показатели возраста или роста пациента все же выходят за границы популяции, для которой были разработаны должные величины, то в протоколе спирометрии необходимо указать, что при определении референсных значений проведена экстраполяция данных. Определенные трудности в оценке результатов спирометрии связаны еще и с тем, что для детей используются одни, а для взрослых — другие системы должных величин, плохо согласующиеся друг с другом.

Важным шагом в создании единой системы оценки спирометрических данных явилась работа экспертной группы Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов (*Global Lung function Initiative — GLI*). В 2012 г. для некоторых показателей спирометрии опубликована система должных величин (GLI2012), универсальная для большинства популяций в возрасте 3–95 лет [22]. За несколько лет апробации GLI2012 показаны хорошие результаты, но в практической медицине ее использование пока ограничено, поскольку при ее помощи оцениваются лишь несколько параметров спирометрии: ФЖЕЛ, $ОФВ_1$, $ОФВ_{0,75}$, $СОС_{25-75}$, $МОС_{75}$, $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ и $ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ$.

При оформлении заключения по результатам спирометрии необходимо указать систему должных величин, на основании которой проведен анализ результатов. И если системы *Р.Ф.Клемент и соавт.* и ECSC1993 не дают значимых различий, то по системе GLI2012 должные значения ФЖЕЛ и $ОФВ_1$ имеют большие значения, а потоки — меньшие [23]. Особенно выраженные различия в заключениях с использованием разных систем должных могут выявляться у молодых пациентов и лиц пожилого возраста.

Система должных величин характеризует диапазон нормальных значений показателя, соответствующий здоровой популяции. Для определения этого диапазона используются уравнение регрессии и соответствующая ему величина стандартного отклонения (SD). С помощью уравнения рассчитывается должная величина, представляющая собой среднее арифметическое значение показателя, и SD, характеризующее разброс (дисперсию) значений показателя, характерный для данной популяции. При оценке дыхательной системы за диапазон нормальных значений принимается 90%-ный доверительный интервал, соответственно, актуальная для анализа спирометрии нижняя граница нормы (НГН) в абсолютных величинах ($НГН_{абс.}$) определяется по следующей формуле:

$$НГН_{абс.} = \text{должная величина} - 1,645SD.$$

Сопоставление фактически измеренного значения показателя с $НГН_{абс.}$, определяемой в абсолютных величинах индивидуально для каждого пациента, служит наиболее точным способом оценки результатов спирометрии. Практика определения $НГН_{абс.}$ как фиксированного значения 80%_{долж.} для ЖЕЛ, ФЖЕЛ и $ОФВ_1$, теряет свою актуальность, особенно у взрослых, поскольку при этом часто отмечаются случаи гипердиагностики обструкции у пожилых пациентов

и гиподиагностики этих нарушений — у лиц молодого возраста [24, 25]. По этим же причинам нежелательно определять НГН для соотношений $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ и $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ по одинаковому для всех фиксированному значению.

Анализ результатов спирометрии

Интерпретация результатов функционального исследования должна быть четкой, краткой и информативной. Алгоритм интерпретации результатов спирометрии строится на анализе основных спирометрических параметров — $ОФВ_1$, ЖЕЛ, $ОФВ_1 / ЖЕЛ$. Для детей 6 лет и младше используется показатель $ОФВ_{0,75}$, информативность которого у пациентов этой возрастной группы аналогична $ОФВ_1$ [16, 17]. Если спокойная ЖЕЛ не определялась, анализируются показатели $ОФВ_1$, ФЖЕЛ и $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$. При описании результатов исследования отдельно оценивается величина ЖЕЛ и характеризуется состояние вентиляционной функции легких, исходя из параметров форсированного выдоха.

Выраженность вентиляционных нарушений принято оценивать по изменению показателя $ОФВ_1$ (табл. 5) [26].

Наличие патологических отклонений каждого из показателей предлагается определять одновременно с использованием 3 следующих критериев границы нормы:

- $НГН_{абс.}$;
- z-оценка;
- фиксированное значение в процентах от должной величины.

Преимущественно следует ориентироваться на значения $НГН_{абс.}$ и z-оценки. Указывать фиксированное значение границы нормы, как и определять измерен-

ные величины в процентах от должной величины, рекомендуется для того, чтобы практикующие специалисты могли оценить преимущества обновленного подхода и накопить собственный опыт его применения.

По z-оценке определяется, насколько измеренная величина показателя отличается от его должного значения, при этом мерой отклонения служит SD. Значения z-оценки от $-1,645$ до $+1,645$ соответствуют диапазону нормальных значений для всех показателей спирометрии. Кроме того, z-оценка служит универсальным средством оценки выраженности выявленных отклонений от нормы. Рабочей комиссией Европейского респираторного (*European Respiratory Society* (ERS) / Американского торакального (*American Thoracic Society* (ATS)) обществ рекомендуется использовать следующую классификацию функциональных нарушений системы дыхания (табл. 6) [27].

Таблица 6
Оценка выраженности функциональных нарушений по z-оценке*

Table 6
Evaluation of the severity of lung function impairment by z-score*

Выраженность нарушений	Диапазон значений
Легкая	$-2,500 \leq z\text{-оценка} < -1,645$
Средняя	$-4,000 \leq z\text{-оценка} < -2,500$
Тяжелая	$z\text{-оценка} < -4,000$

Примечание: * – z-оценка – это число стандартных отклонений между измеренной величиной и средним значением в популяции.

Note: *, the z-score is the number of standard deviations between the measured value and the population mean.

Обструктивный тип нарушений вентиляционной функции легких

Наиболее частым показанием к проведению спирометрии является выявление обструкции ДП и оценка ее выраженности.

Диагностическим критерием обструктивных нарушений вентиляции является снижение соотношения $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ и / или $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ [26, 28]. Сужение ДП приводит к снижению скорости воздушного потока из-за возросшего бронхиального сопротивления, что функционально проявляется уменьшением скоростных параметров форсированного выдоха. Из всех показателей наиболее важным является $ОФВ_1$, поскольку его измерение стандартизовано наилучшим образом и он в меньшей степени, нежели другие характеристики форсированного выдоха, зависит от приложенного усилия. Однако изменение $ОФВ_1$ носит неспецифичный характер и зависит не только от состояния просвета ДП, но и величины ЖЕЛ. При обструктивных нарушениях уменьшается доля ФЖЕЛ, которую пациент успевает выдохнуть за 1-ю секунду форсированного выдоха, поэтому соотношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ ($ОФВ_1 / ФЖЕЛ$) снижается.

Для диагностики обструктивных нарушений лучше использовать отношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$, поскольку

Таблица 5
Оценка выраженности нарушений вентиляционной функции легких

Table 5
Evaluation of the severity of lung function impairment

Выраженность нарушений	Градация отклонений	Диапазон значений $ОФВ_{1, \% \text{ долж.}}$
Легкая	1	≥ 70
Умеренная	2	60–69
Среднетяжелая	3	50–59
Тяжелая	4	35–49
Крайне тяжелая	5	< 35

Примечание: $ОФВ_1$ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; степень вентиляционных нарушений не всегда строго коррелирует с тяжестью клинических проявлений заболеваний органов дыхания. Кроме того, до изменения объема форсированного выдоха за 1-ю секунду не рекомендуется оценивать степень тяжести обструкции внелегочных дыхательных путей, т. к. даже при незначительном снижении объема форсированного выдоха за 1-ю секунду ее клинические проявления могут быть значительно более выраженными.

Note: the degree of ventilation disorders does not always strictly correlate with the severity of clinical manifestations of respiratory diseases. In addition, it is not recommended to assess the severity of extrapulmonary airway obstruction before a change in forced expiratory volume in 1 second. The clinical manifestations can be much more pronounced even with an insignificant decrease in forced expiratory volume in 1 second.

у пациентов с обструктивными заболеваниями легких ФЖЕЛ может быть существенно меньше ЖЕЛ, измененной при спокойном дыхании. Использовать в диагностическом алгоритме соотношение $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ следует лишь в случаях, когда ЖЕЛ не измерялась.

При обструктивных нарушениях кривая «поток—объем» изменяется характерным образом: из-за снижения экспираторных потоков нисходящая часть кривой приобретает вогнутую форму и располагается ниже гипотетической кривой «поток—объем», которая строится по должным для данного человека величинам и, как правило, отображается на экране монитора непосредственно в момент измерения (рис. 4). Выраженность изменений формы кривой «поток—объем» зависит от тяжести обструктивных нарушений. В современных спирометрах построение такой должной кривой является обязательной опцией как для экранного меню, так и для графика в финальном протоколе исследования. Визуализация получаемых данных позволяет не только повысить качество измерений, но и значительно упростить интерпретацию результатов спирометрии.

По форме кривой «поток—объем» можно судить о некоторых причинах формирования обструктивных нарушений. Для эмфиземы легких характерно резкое снижение скорости форсированного выдоха после достижения ПОС, что связано с возникновением экспираторного коллапса ДП. Появление этого патофизиологического феномена обусловлено разрушением эластического каркаса легких, когда стенки ДП становятся податливыми и быстро спадаются под действием внешнего давления, возрастающего за счет активной работы дыхательных мышц в процессе форсированного выдоха. В этом случае кривая «поток—объем» приобретает характерную форму, которая часто сравнивается с зубом акулы (см. рис. 4С).

Суррогатным маркером экспираторного коллапса ДП является показатель $E_{вд.}$, поскольку его снижение означает реципрокное повышение ФОЕ, а значит, наличие гиперинфляции легких. При определении причин одышки важно снижение показателя $E_{вд.}$ во время нагрузочных тестов, указывающее на возникновение динамической гиперинфляции легких, отсутствующей в покое [7].

Специфические изменения формы кривой «поток—объем» наблюдаются при обструкции ВДП. В зависимости от того, в какой фазе дыхательного цикла отмечаются функциональные изменения, выделяются постоянная (проявляется как на вдохе, так и на выдохе) и переменная (проявляется или на вдохе, или на выдохе) обструкция ВДП.

Постоянная (фиксированная) обструкция ВДП всегда связана с выраженными и протяженными изменениями эластичности ВДП. Повышение жесткости стенок ВДП, например при рубцовых стенозах трахеи или распространенных опухолевых процессах, приводит к тому, что просвет ВДП практически не меняется в разные фазы дыхательного цикла и при форсированном дыхании в равной степени снижаются как инспираторные, так и экспираторные потоки (см. рис. 5С).

При переменной обструкции ВДП функциональные проявления зависят от характера и локализации патологических изменений; переменная обструкция ВДП подразделяется на экстраторакальную и интраторакальную.

Переменная экстраторакальная обструкция. Для этого типа обструкции ДП характерно ограничение воздушного потока на вдохе. Избыточного давления, возникающего во ВДП в момент форсированного выдоха, достаточно, чтобы нивелировать воздействие патологического фактора в эту фазу дыхательного цикла. При форсированном вдохе наблюдается обратная

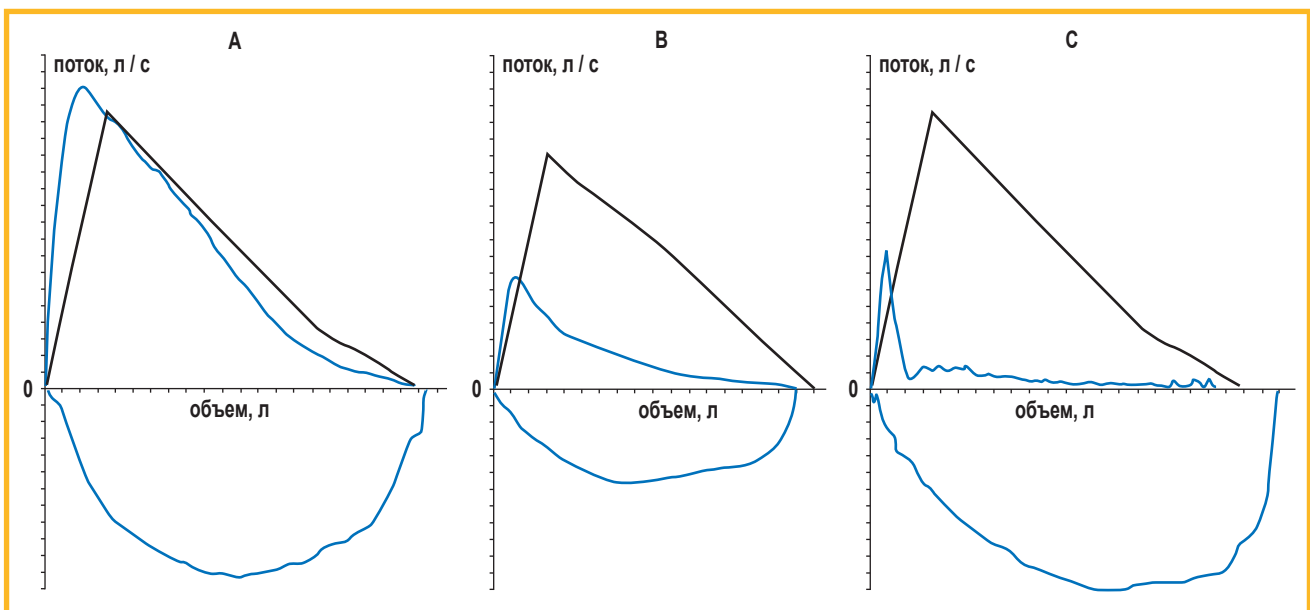


Рис. 4. Форсированная спирометрия у пациентов с обструктивными заболеваниями органов дыхания: А, В — петли «поток—объем» при бронхиальной астме; С — петля «поток—объем» при эмфиземе легких

Figure 4. Forced spirometry in patients with obstructive respiratory diseases: А, В, flow-volume loops in bronchial asthma; С, flow-volume loop in pulmonary emphysema

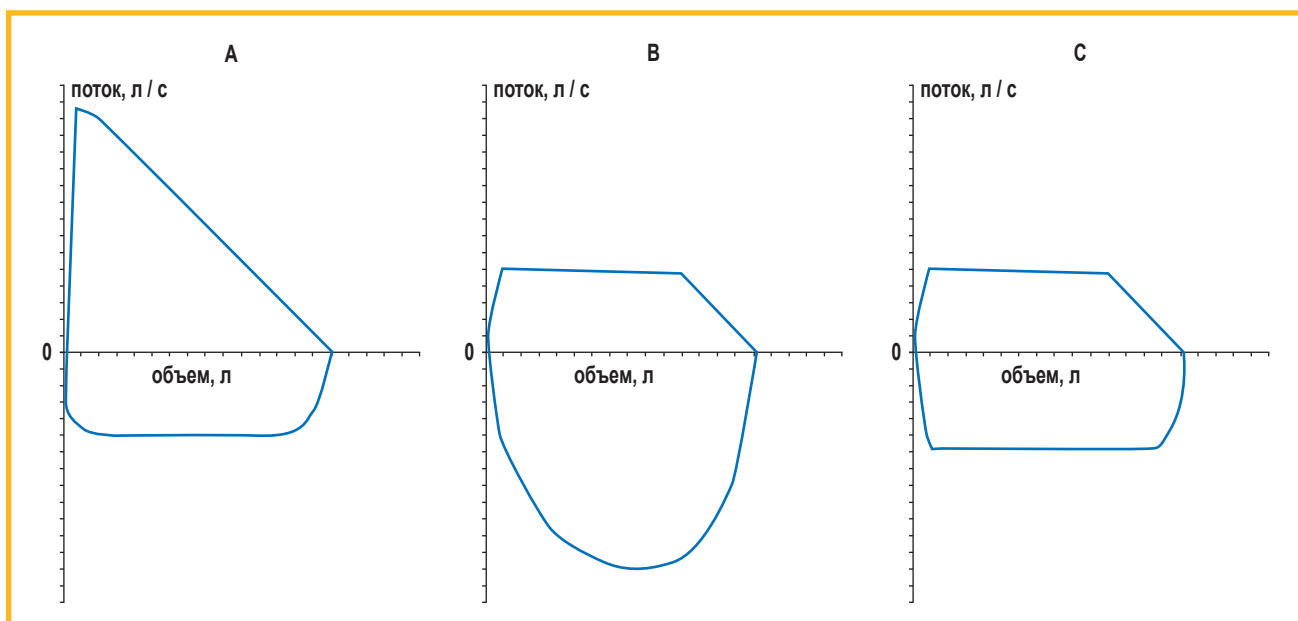


Рис. 5. Форсированная спирометрия у пациентов с обструкцией внелегочных дыхательных путей: А – петля «поток–объем» при переменной экстраторакальной обструкции: соотношение показателей максимальной объемной скорости при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких и максимальной объемной скорости при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких > 1 , пиковая объемная скорость выдоха – норма или снижена, максимальная объемная скорость при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких снижена; В – петля «поток–объем» при переменной интраторакальной обструкции: соотношение максимальной объемной скорости при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких и максимальной объемной скорости при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких < 1 , пиковая объемная скорость выдоха снижена, максимальная объемная скорость при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких – норма или снижена; С – петля «поток–объем» при фиксированной обструкции: соотношение максимальной объемной скорости при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких и максимальной объемной скорости при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких < 1 , показатели пиковой объемной скорости выдоха и максимальной пиковой объемной скорости при вдохе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких снижены

Figure 5. Forced spirometry in patients with extrapulmonary airway obstruction: A, flow-volume loop with variable extrathoracic obstruction: ratio of peak expiratory flow of 50% forced vital capacity and peak inspiratory flow of 50% forced inspiratory vital capacity > 1 , peak expiratory flow is normal or reduced, the peak inspiratory flow 50% of forced inspiratory vital capacity is reduced; B, flow-volume loop with variable intrathoracic obstruction: ratio of peak expiratory flow at 50% forced vital capacity and peak inspiratory flow at 50% forced inspiratory vital capacity < 1 , peak expiratory flow is reduced, peak inspiratory flow at 50% of the forced inspiratory vital capacity is normal or reduced; C, flow-volume loop with fixed obstruction: the ratio of the peak expiratory flow at 50% forced vital capacity and the peak inspiratory flow at 50% forced inspiratory vital capacity < 1 , peak expiratory flow and peak inspiratory flow at 50% of the forced inspiratory vital capacity are reduced

картина – давление в этих отделах ДП становится меньше атмосферного, скорость воздушного потока снижается, а патологический фактор, например пролапс голосовых связок при их парезе, способствует еще большему его замедлению. Изменение инспираторного потока хорошо видно на кривой «поток–объем» (рис. 5А).

Переменная интраторакальная обструкция проявляется ограничением воздушного потока на выдохе. Патологические изменения внутригрудных отделов ВДП, например частичное поражение нижнего отдела трахеи при гранулематозных или опухолевых процессах, не позволяют реализовать физиологический механизм ограничения воздушного потока при форсированном выдохе, связанный с достижением ПОС, – жесткость стенок измененных участков ДП препятствует их быстрому экспираторному сужению (см. рис. 5В).

Для диагностики обструкции ВДП определяется соотношение скоростных параметров на уровне 50 % ФЖЕЛ при вдохе ($МОС_{50\text{ влд}}$) и выдохе ($МОС_{50\text{ вл}}$), которое у здоровых людей не превышает 1,0 [29]. Это соотношение чаще всего меняется при переменной экстраторакальной обструкции, для другой патологии

оно неспецифично. Варианты отклонений скоростных показателей при некоторых вариантах обструкции ВДП представлены в табл. 7. При подозрении на обструкцию ВДП диагноз подтверждается по результатам эндоскопического и рентгенологического исследований.

Рестриктивный тип нарушений вентиляционной функции легких

РН вентиляции обусловлены процессами, ограничивающими наполнение легких воздухом. Причиной таких нарушений могут быть не только изменения в самих легких, связанные с повышением эластичности легочной ткани (отеки, фиброз легких и т. д.), но и внешние причины, ограничивающие подвижность грудной клетки (кифосколиозы, травмы грудной клетки и т. д.). Функциональным признаком РН, независимо от причины их появления, является снижение ЖЕЛ при нормальных значениях соотношений $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ и $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$. Скоростные показатели форсированного выдоха могут оставаться в границах физиологической нормы или снижаться пропорционально снижению ЖЕЛ.

Таблица 7
Изменение показателей спирометрии при различных вариантах обструкции внелегочных дыхательных путей

Table 7
Changes in spirometric parameters in various types of central and upper airway obstruction

Показатели	Фиксированная обструкция	Преходящая обструкция	
		экстраторакальная	интраторакальная
ПОС	Снижение	Норма или снижение	Снижение
МОС _{50 вд.}	Снижение	Снижение	Норма или снижение
МОС ₅₀ / МОС _{50 вд.}	≈ 1	> 1	< 1

Примечание: ПОС – пиковая объемная скорость; МОС₅₀ – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких; МОС₅₀ / МОС_{50 вд.} – соотношение максимальной объемной скорости при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких и максимальной объемной скорости при входе 50 % форсированной инспираторной жизненной емкости легких.

При начале развития патологических нарушений, когда снижение объема легких еще не фиксируется, скоростные показатели и соотношение $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ и / или $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ могут даже увеличиваться, поскольку из-за воздействия возрастающей эластической тяги легких на стенки бронхов их просвет увеличивается относительно сохраняющегося объема легких.

При прогрессировании заболевания воздушность легочной ткани снижается, что проявляется снижением ЖЕЛ и изменением формы кривой «поток–объем» – она становится высокой и узкой (см. рис. 6А). ПОС обычно остается нормальной. После достижения ПОС наблюдается быстрое линейное снижение потока. Форма кривой «поток–объем» может не меняться, а представлять собой пропорционально уменьшенную копию должной кривой, как, например, при пневмоэктомии (см. рис. 6В). РН могут встречаться при интерстициальных заболеваниях легких, обширной воспалительной инфильтрации легочной ткани, отеках, гипоплазии и ателектазах легкого, после резекции легочной ткани. К рестрикции также может приводить и внелегочная патология, например, поражение грудного отдела позвоночника, ребер, дыхательной мускулатуры, в т. ч. нарушение регуляции дыхания

при угнетении дыхательного центра наркотическими препаратами или его повреждении опухолью, кровоизлиянием. РН также могут быть связаны с высоким стоянием диафрагмы на поздних стадиях беременности. При подозрении на мышечную слабость для уточнения причины РН следует измерить силу дыхательных мышц. Помимо этого, можно измерить ЖЕЛ при различном положении тела: у больных с выраженной мышечной слабостью величины ЖЕЛ, измеренные в вертикальном положении и в положении лежа, будут существенно различаться из-за воздействия гравитации на органы брюшной полости. В норме ЖЕЛ в положении лежа на 3–9 % меньше, чем в положении сидя. Падение ЖЕЛ на 10–20 % в положении лежа на спине наблюдается при одностороннем параличе диафрагмы [30]. Снижение ЖЕЛ в положении лежа на спине на ≥ 25 % указывает на слабость диафрагмы, при этом степень снижения ЖЕЛ коррелирует с выраженностью одышки [30]. Важно помнить, что снижение ЖЕЛ может наблюдаться и при обструктивных нарушениях вентиляции. Для диагностики РН, помимо спирометрии, необходимо определение ОЕЛ и ее структуры. Методом выбора при диагностике РН служит бодиплетизмография, которую рекомендуется дополнять определением диффузионной способности

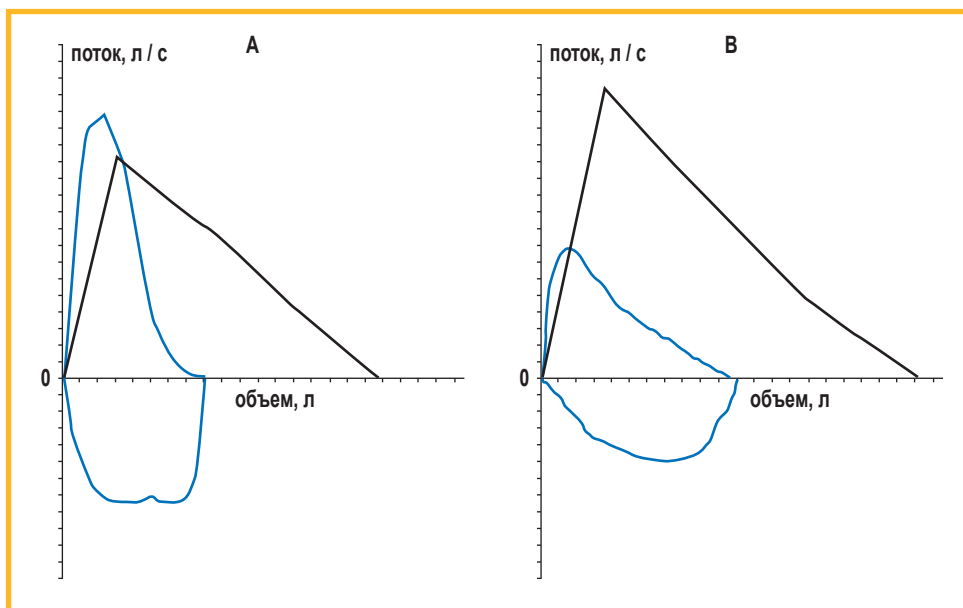


Рис. 6. Форсированная спирометрия у пациентов с рестриктивным типом вентиляционных нарушений: А – петля «поток–объем» при фиброзе легких; В – петля «поток–объем» после пневмоэктомии
Figure 6. Forced spirometry in patients with restrictive ventilatory defects: A, flow-volume loop in pulmonary fibrosis; B, flow-volume loop after pneumonectomy

Таблица 8
Упрощенный алгоритм интерпретации спирометрии
Table 8
Simplified spirometry interpretation algorithm

Параметры	Нарушений не выявлено	Тип вентиляционных нарушений		
		обструктивный	рестриктивный*	смешанный*
ЖЕЛ**	Норма	Норма	↓	↓
ОФВ ₁	Норма	Норма или ↓	↓	↓
ОФВ ₁ / ЖЕЛ**	Норма	↓	Норма или	↓

Примечание: ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; * – для диагностики рестриктивных и смешанных нарушений данных одной спирометрии недостаточно, необходимо подтвердить снижение общей емкости легких; ** – если проводилась только форсированная спирометрия, то анализируются показатели объема форсированного выдоха за 1-ю секунду, форсированной жизненной емкости легких и их соотношения.

Note: *, spirometry alone is not enough to diagnose restrictive and mixed disorders; a decrease in total lung capacity has to be confirmed; **, if only forced spirometry was performed, forced expiratory volume in 1 second, forced vital capacity, and their ratio are analyzed.

легких, особенно если есть основания предполагать наличие интерстициального заболевания легких.

Смешанный тип нарушений вентиляционной функции легких

Смешанные нарушения легочной вентиляции развиваются при процессах, вызывающих сочетанное снижение легочных объемов и сужение просвета ДП. При проведении спирометрии регистрируется одновременное, но не всегда пропорциональное снижение всех ключевых диагностических параметров: ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ₁, ОФВ₁ / ЖЕЛ и ОФВ₁ / ФЖЕЛ. Как и в случае РН, для диагностики смешанного паттерна необходимо определение ОЕЛ методом бодиплетизмографии.

В табл. 8 схематически представлен упрощенный алгоритм диагностики нарушений легочной вентиляции, подробное описание которого представлено выше.

Анализ результатов бронходилатационного теста

Результат БДТ определяется по изменению ОФВ₁ или ФЖЕЛ. Другие параметры спирометрии, в т. ч. потоки, измеренные на разных уровнях ФЖЕЛ (МОС₂₅, МОС₅₀, МОС₇₅, СОС_{25–75}), использовать для оценки обратимости обструктивных нарушений не рекомендуется ввиду их высокой вариабельности [26].

Существуют 2 способа расчета бронходилатационного коэффициента (БДК):

1. БДК = (показатель **после** приема бронхолитического препарата, л) – (показатель **до** приема бронхолитического препарата, л) / (показатель **до** приема бронхолитического препарата, л) × 100 %.

2. БДК* = (показатель **после** приема бронхолитического препарата, л) – (показатель **до** приема бронхолитического препарата, л) / (**должная величина** показателя, л) × 100 %.

При использовании 1-го способа расчета БДК для интерпретации результатов БДТ необходимо еще определить абсолютную разницу между величинами ОФВ₁ (ФЖЕЛ) до и после ингаляции бронхорасширяющего препарата. При оценке 2 последовательных измерений важно убедиться, что разница в значениях превышает естественную вариабельность показате-

ля. Повторяемость ОФВ₁ и ФЖЕЛ составляет 0,150 л или 8 %, поэтому изменение величины показателя на ≥ 0,200 л и можно расценивать как реакцию на воздействие лекарственного препарата. Проба считается положительной, если БДК составляет > 12 %, абсолютный прирост > 200 мл [26].

Однако соотношение с исходной величиной приводит к диспропорции при оценке БДО у пациентов высокого и ниже среднего роста. Помимо этого, возникает вероятность переоценки БДО у пациентов с выраженными обструктивными нарушениями за счет исходно низких значений ОФВ₁. Сравнение с должной величиной позволяет гармонизировать определение БДО при любых функциональных изменениях с учетом не только роста, но и пола, а также популяции [31]. При увеличении БДК* более чем на 10 % проба считается положительной [27].

С учетом утвержденных Министерством здравоохранения Российской Федерации клинических рекомендаций по бронхиальной астме и ХОБЛ для оценки БДО предпочтительно использовать 1-й вариант, когда проба считается положительной в случае прироста ОФВ₁ (или, что менее значимо, ФЖЕЛ) по приросту показателя ≥ 12 %_{исх.} и одновременно ≥ 200 мл.

Для оценки БДТ предлагается использовать также z-оценку – увеличение показателя более чем на 0,780 может соответствовать положительному БДТ [31]. Опыт применения такого способа оценки БДО еще невелик, однако первые результаты свидетельствуют о перспективности его использования в клинической практике [31, 32].

Увеличение ФЖЕЛ при БДТ связано с гиперинфляцией легких и чаще всего наблюдается у больных ХОБЛ с выраженной обструкцией ДП [31, 33]. При оценке БДТ по изменению ФЖЕЛ следует убедиться, что прирост ФЖЕЛ не связан с большей продолжительностью выдоха при повторном тестировании [26, 34].

При оценке БДТ у детей используются те же самые способы расчета БДО, что и у взрослых. При обследовании детей младшего возраста с маленькими легочными объемами вместо ОФВ₁ анализируется изменение ОФВ_{0,75}, а величина абсолютного прироста, как правило, не учитывается (может быть < 0,200 л) [35–37].

Протокол спирометрии

Унификация протоколов спирометрии призвана повысить информативность и качество исследования, сделать сопоставимыми данные, полученные в разных лабораториях [3, 26, 38]. Следует разделить требования к информации о каждом исследовании, которая будет максимально полной и доступной с экрана монитора, а также более краткой версии, которая будет содержаться в печатном протоколе. Из этого количества показателей в каждой лаборатории будет выбираться необходимый

минимум в соответствии с потребностями. По мере обновления аппаратуры единые требования к содержанию протоколов становятся обязательными, для приборов предыдущего поколения по мере возможности необходимо соответствовать предлагаемым правилам.

Рекомендуемый перечень параметров, который должен быть отражен в протоколе исследования, приводится в Приложении 1.

Стандартные обозначения показателей спирометрии и англоязычный вариант их написания представлены в Приложении 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1. Протокол спирометрии

Рекомендуемый перечень параметров, который должен быть отражен в протоколе исследования.

Данные пациента:

- фамилия, имя, отчество;
- идентификационный номер (номер в базе данных лаборатории);
- пол;
- дата рождения;
- возраст (годы);
- рост (см);
- масса тела (кг);
- индекс массы тела (ИМТ) ($\text{кг} / \text{м}^2$);
- популяция (табл. 1S);
- статус курения;
- дата исследования;
- время исследования;
- лечащий врач;
- диагноз;
- цель проведения исследования (кратко);
- комментарии оператора:
 - спирометрия выполняется впервые;
 - недостаточно сведений о популяционной принадлежности пациента;
 - пациент использовал препараты, потенциально влияющие на результаты БДТ до проведения спирометрии — указать название препарата, дозу и время последнего применения;
 - пациент курил менее чем за 1 ч до проведения спирометрии;

- пациент плохо понимает команды оператора;
- пациент употреблял алкоголь или другие психоактивные вещества;
- наличие кашля, хрипов, одышки и цианоза;
- другие обстоятельства, влияющие на результаты спирометрии.

Данные лаборатории:

- название медицинского учреждения, подразделения;
- оператор;
- модель спирометра;
- дата калибровки;
- время калибровки;
- температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);
- влажность воздуха (%);
- атмосферное давление (мм рт. ст. или кПа);
- данные калибровки (средняя ошибка, %).

Информация о бронходилатационном тесте:

- название препарата;
- доза препарата;
- способ доставки (дозированный аэрозольный ингалятор или небулайзер);
- число попыток измерения до ингаляции бронходилататора;
- число попыток измерения после ингаляции бронходилататора;
- интервал между последней попыткой до ингаляции и первой попыткой после ингаляции бронходилататора (мин);
- комментарии оператора:
 - отклонения в проведении стандартного БДТ относительно типа, дозы и способа доставки

Таблица 1S
Основные популяционные группы для расчета должных величин экспертной группы Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов (GLI2012) [3]

Table 1S
Main population groups for calculating the Global Lung Function Initiative equations for spirometry (GLI2012) [3]

Популяция	Страна / регион
Европеоидная или кавказская	Российская Федерация, Европа, Израиль, Австралия, США, Канада, Мексика, Уругвай, Венесуэла, Алжир, Тунис
Африканская	Африка
Юго-Восточная Азия	Тайланд, Тайвань, Китай (включая Гонконг) южнее реки Хуайхэ и гор Циньлин
Северо-Восточная Азия	Корея, Китай севернее реки Хуайхэ и гор Циньлин
Другие	

- бронходилататора, а также времени начала измерений после ингаляции бронходилататора;
- другие обстоятельства, влияющие на результаты БДТ.

Данные о каждом маневре ЖЕЛ:

- время начала маневра;
- ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.} (л);
- E_{вд.} (л);
- PO_{выд.} (л).

Итоговые данные всех маневров ЖЕЛ:

- график измерений в координатах «объем—время»;
- должные величины, выбранные для оценки;
- время начала маневра с максимальной величиной ЖЕЛ;
- ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.} (л);
- НГН для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.} (л);
- z-оценка для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.};
- %_{долж.} для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.};
- E_{вд.} до ингаляции бронходилататора (л);
- %_{долж.} для E_{вд.} до ингаляции бронходилататора;
- E_{вд.} после ингаляции бронходилататора (л);
- %_{долж.} для E_{вд.} после ингаляции бронходилататора;
- PO_{выд.} (л).

Данные о каждом маневре форсированного выдоха:

- маневр выполнен до или после ингаляции бронходилататора;
- время начала маневра;
- для ОФВ₁ — приемлемость, допустимость, непригодность измерения;
- для ФЖЕЛ — приемлемость, допустимость, непригодность измерения;
- ФЖЕЛ (л);
- ОФВ₁ (л);
- ОФВ₁ / ФЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- T_{ФЖЕЛ} (с);
- ПОС (л / с);
- ФЖЕЛ_{вд.} (с);
- ОФВ_{0,75} (л) (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- СОС₂₅₋₇₅ (л / с);
- ООЭ (л);
- T_{ПОС} или время ускорения (с);
- время задержки между окончанием глубокого вдоха и началом форсированного выдоха (с), если программное обеспечение позволяет его рассчитывать;
- комментарии оператора:
 - кашель в течение 1-й секунды форсированного выдоха;
 - смыкание голосовых связок;
 - ранее окончание форсированного выдоха;
 - задержка перед началом форсированного выдоха;
 - обструкция мундштука или измерительной части спирометра;
 - утечка воздуха;

- неглубокий вдох перед форсированным выдохом;
- изменение оператором критериев качества маневра, определенных автоматически программой измерений с указанием причины;
- другие обстоятельства, влияющие на результаты спирометрии.

Итоговые данные всех маневров форсированного выдоха:

- график измерений в координатах «объем—время»;
- график измерений в координатах «поток—объем»;
- должные величины, выбранные для оценки;
- ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- НГН для ФЖЕЛ (л);
- z-оценка для ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- T_{ФЖЕЛ} до ингаляции бронходилататора (с);
- ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- изменение ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (л);
- изменение ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (%);
- T_{ФЖЕЛ} после ингаляции бронходилататора (с);
- ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора (л);
- НГН для ОФВ₁ (л);
- z-оценка для ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора;
- ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- изменение ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (л);
- изменение ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (%);
- ОФВ₁ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- ОФВ₁ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- НГН для ОФВ₁ / ФЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- z-оценка для ОФВ₁ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ОФВ₁ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;

- $ОФВ_1$ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
 - $ОФВ_1$ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
 - НГН для $ОФВ_1$ / ЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
 - z-оценка для $ОФВ_1$ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
 - z-оценка для $ОФВ_1$ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
 - $ОФВ_{0,75}$ до ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
 - стандартный код качества измерения $ОФВ_{0,75}$ до ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
 - НГН для $ОФВ_{0,75}$ (л) (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - $\%_{\text{долж.}}$ для $ОФВ_{0,75}$ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
 - стандартный код качества измерения $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - $\%_{\text{долж.}}$ для $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - изменение $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
 - изменение $ОФВ_{0,75}$ после ингаляции бронходилататора (%) (для детей 6 лет и младше);
 - $ОФВ_{0,75}$ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - $ОФВ_{0,75}$ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - НГН для $ОФВ_{0,75}$ / ФЖЕЛ (десятичная дробь, два знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - $ОФВ_{0,75}$ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - $ОФВ_{0,75}$ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - НГН для $ОФВ_{0,75}$ / ЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - z-оценка для $ОФВ_{0,75}$ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
 - ПОС до ингаляции бронходилататора (л / с);
 - ПОС после ингаляции бронходилататора (л / с);
 - $СОС_{25-75}$ до ингаляции бронходилататора (л / с);
 - $СОС_{25-75}$ после ингаляции бронходилататора (л / с);
 - комментарии оператора:
 - критерии приемлемости и / или повторяемости не были достигнуты;
 - спирометрия спровоцировала бронхоспазм;
 - в ходе проведения спирометрии наблюдалось снижение $ОФВ_1$ ($ОФВ_{0,75}$) более чем на 20 % по сравнению с исходным уровнем;
 - пациент не смог выполнить все необходимые маневры из-за усталости;
 - отсутствие мотивации у пациента;
 - другие обстоятельства, влияющие на результаты спирометрии.
- Заключение:*
- указывается система должных величин, на основании которой сделано заключение (если это не было отражено в результатах спирометрии);
 - наличие (тип вентиляционных нарушений и степень выраженности) / отсутствие нарушений вентиляционной функции легких;
 - наличие / отсутствие изменений ЖЕЛ;
 - подпись врача.
- Стандартный **печатный протокол** в современных спирометрах должен содержать как минимум следующие данные:
- Данные пациента:*
- фамилия, имя, отчество;
 - идентификационный номер (номер в базе данных лаборатории);
 - пол;
 - дата рождения;
 - возраст (годы), для детей до 10 лет – возраст в годах и месяцах;
 - рост (см);
 - масса тела (кг);
 - ИМТ (кг / м²);
 - популяция (см. табл. 1S);
 - статус курения;
 - дата исследования;
 - время исследования;
 - лечащий врач;
 - цель проведения исследования (кратко).
- Данные лаборатории:*
- название медицинского учреждения, подразделения;
 - дата калибровки.
- Информация о бронходилатационном тесте:*
- название препарата;
 - доза препарата;
 - способ доставки (ДАИ или небулайзер);
 - интервал между последней попыткой до ингаляции и первой попыткой после ингаляции бронходилататора (мин);
 - комментарии относительно приема препаратов, потенциально влияющих на результаты БДТ (название препарата, доза и время последнего применения).

Итоговые данные всех маневров ЖЕЛ:

- график измерений в координатах «объем—время»;
- должные величины, выбранные для оценки;
- ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.} (л);
- НГН для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.} (л);
- z-оценка для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.};
- %_{долж.} для ЖЕЛ_{вд.} и / или ЖЕЛ_{выд.};
- E_{вд.} (л);
- НГН для E_{вд.} (л);
- z-оценка для E_{вд.};
- %_{долж.} для E_{вд.}.

Итоговые данные всех маневров форсированного выдоха:

- график измерений в координатах «объем—время»;
- график измерений в координатах «поток—объем»;
- должные величины, выбранные для оценки;
- ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- НГН для ФЖЕЛ (л);
- z-оценка для ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (л)
- стандартный код качества измерения ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- изменение ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (л);
- изменение ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (%);
- ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора (л);
- НГН для ОФВ₁ (л);
- z-оценка для ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ОФВ₁ до ингаляции бронходилататора;
- ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (л);
- стандартный код качества измерения ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- %_{долж.} для ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора;
- изменение ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (л);
- изменение ОФВ₁ после ингаляции бронходилататора (%);
- ОФВ₁ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- ОФВ₁ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- НГН для ОФВ₁ / ФЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- z-оценка для ОФВ₁ / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ОФВ₁ / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;

- ОФВ₁ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- ОФВ₁ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- НГН для ОФВ₁ / ЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой);
- z-оценка для ОФВ₁ / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора;
- z-оценка для ОФВ₁ / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора;
- ОФВ_{0,75} до ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
- стандартный код качества измерения ОФВ_{0,75} до ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
- НГН для ОФВ_{0,75} (л) (для детей 6 лет и младше);
- z-оценка для ОФВ_{0,75} до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- %_{долж.} для ОФВ_{0,75} до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
- стандартный код качества измерения ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- z-оценка для ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- %_{долж.} для ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- изменение ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (л) (для детей 6 лет и младше);
- изменение ОФВ_{0,75} после ингаляции бронходилататора (%) (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- НГН для ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше)
- z-оценка для ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- z-оценка для ОФВ_{0,75} / ФЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- ОФВ_{0,75} / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- НГН для ОФВ_{0,75} / ЖЕЛ (десятичная дробь, 2 знака после запятой) (для детей 6 лет и младше);
- z-оценка для ОФВ_{0,75} / ЖЕЛ до ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- z-оценка для ОФВ_{0,75} / ЖЕЛ после ингаляции бронходилататора (для детей 6 лет и младше);
- ПОС до ингаляции бронходилататора (л / с);
- ПОС после ингаляции бронходилататора (л / с);
- СОС_{25–75} до ингаляции бронходилататора (л / с);
- СОС_{25–75} после ингаляции бронходилататора (л / с).

Заключение

- указывается система должных величин, на основании которой сделано заключение (если это не было отражено в результатах спирометрии);
- наличие (тип вентиляционных нарушений и степень выраженности) / отсутствие нарушений вентиляционной функции легких;
- наличие / отсутствие изменений ЖЕЛ;
- подпись врача.

Приложение 2. Клинические примеры

Клинический пример № 1

Пациент – мужчина 50 лет европеоидной расы. Диагноз: бронхиальная астма. Рост – 169 см, масса тела – 73,0 кг, ИМТ – 25,7 кг / м². Экс-куритель, не курит 3 нед., курил 27 лет по 20 сигарет в день. Результаты спирометрии представлены в табл. 2S и рис. 1S.

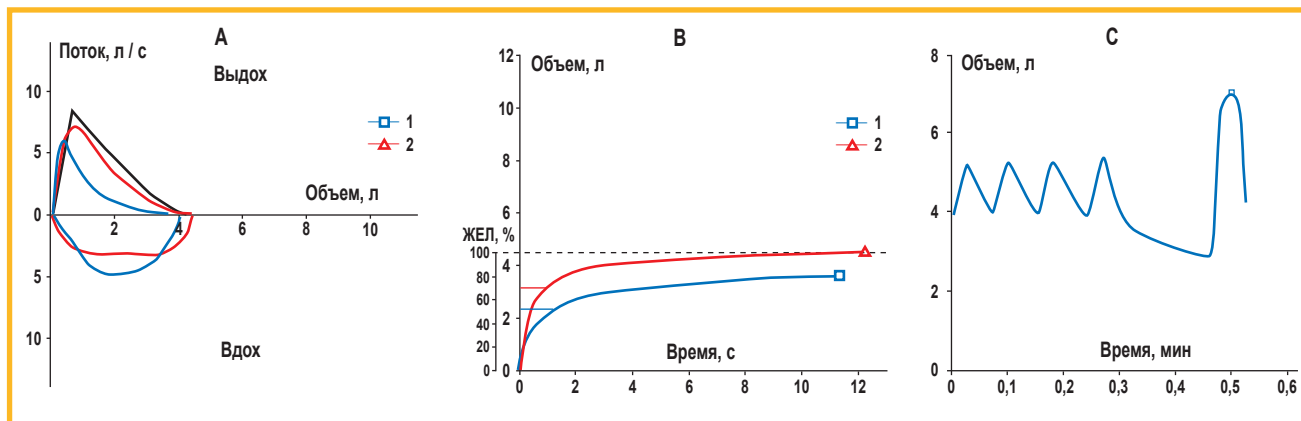


Рис. 1S. Форсированная спирометрия: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время». Измерение жизненной емкости легких: С – кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких

Примечание: синий цвет – до ингаляции сальбутамола; красный цвет – после ингаляции сальбутамола; черный цвет – должная кривая «поток–объем».

Figure 1S. Forced spirometry: A, flow-volume curves of forced expiration and inspiration; B, forced exhalation curves in the “volume-time” coordinates. Measurement of vital capacity of the lungs: C, curve “volume-time” when measuring the inspiratory vital capacity

Note: blue color – before salbutamol inhalation; red color – after salbutamol inhalation; black – reference flow-volume curve.

Таблица 2S
Результаты спирометрии (клинический пример № 1)

Table 2S
Spirometry results (case study No.1)

Показатель	Значение										
	должное	НГН	до пробы с сальбутамолом			после пробы с сальбутамолом				изменение	
			полученное	z-оценка	% _{долж.}	полученное	z-оценка	% _{долж.}	абс. / %		
									абс.	%	
ФЖЕЛ, л	4,07	3,07	3,59	-0,79	88	4,48	0,67	110	0,89	25	
ОФВ ₁ , л	3,31	2,47	2,17	-2,24	66	3,17	-0,27	96	1,00	46	
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ	0,80	0,69	0,60	-2,69		0,71	-1,36				
ПОС, л / с	8,35	6,36	6,09	-1,87	73	7,19	-0,96	86			
МОС _{25%} , л / с	7,28	4,48	3,60	-2,15	50	6,03	-0,73	83			
МОС _{50%} , л / с	4,49	2,32	1,25	-2,45	28	2,68	-1,37	60			
МОС _{75%} , л / с	1,76	0,48	0,35	-1,81	20	0,69	-1,37	39			
СОС _{25-75%} , л / с	3,82	2,11	0,97	-2,74	25	2,00	-1,75	52			
T _{ФЖЕЛ} , с			11,16			12,19					
T _{ПОС} , с			0,07			0,12					
ООЭ, л			0,12			0,14					
ООЭ, % ФЖЕЛ			3			3					
ФЖЕЛ _{вд.} , л	4,23	3,31	4,07	-0,29	96	4,41	0,32	104			
МОС _{50% вд.} , л / с			4,92			3,16					
ЖЕЛ, л	4,23	3,31	4,07	-0,29	96						

Начало. Окончание табл. 2S см. на стр. 332

Окончание табл. 2S. Начало см. на стр. 331

ОФВ ₁ / ЖЕЛ	0,78	0,66	0,53	-3,49
E _{вд} , л	3,00	3,08		103

Примечание: ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ПОС – пиковая объемная скорость выдоха; МОС₂₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ; МОС₅₀ – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ; МОС₇₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 75 % ФЖЕЛ; СОС₂₅₋₇₅ – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % ФЖЕЛ; Т_{ФЖЕЛ} – продолжительность форсированного выдоха; Т_{ПОС} – время достижения пиковой объемной скорости; ООЭ – объем обратной экстрапояции; ФЖЕЛ_{вд} – форсированная жизненная емкости легких на выдохе; МОС_{50 вд} – максимальная объемная скорость при входе 50 % ФЖЕЛ_{вд}; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; E_{вд} – емкость вдоха.

Заключение

Должные величины Европейского сообщества стали и угля (1993) (для ОФВ₁ / ФЖЕЛ – G12012).

Нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу, умеренной степени. ФЖЕЛ в пределах возрастной нормы.

Проба с сальбутамолом 400 мкг (ДАИ) положительная (прирост ОФВ₁ составил 1,0 л и 46 %_{исх.}).

Клинический пример № 2

Пациент – мужчина 31 года европеоидной расы. Диагноз: муковисцидоз. Рост – 178 см, масса тела – 54,0 кг,

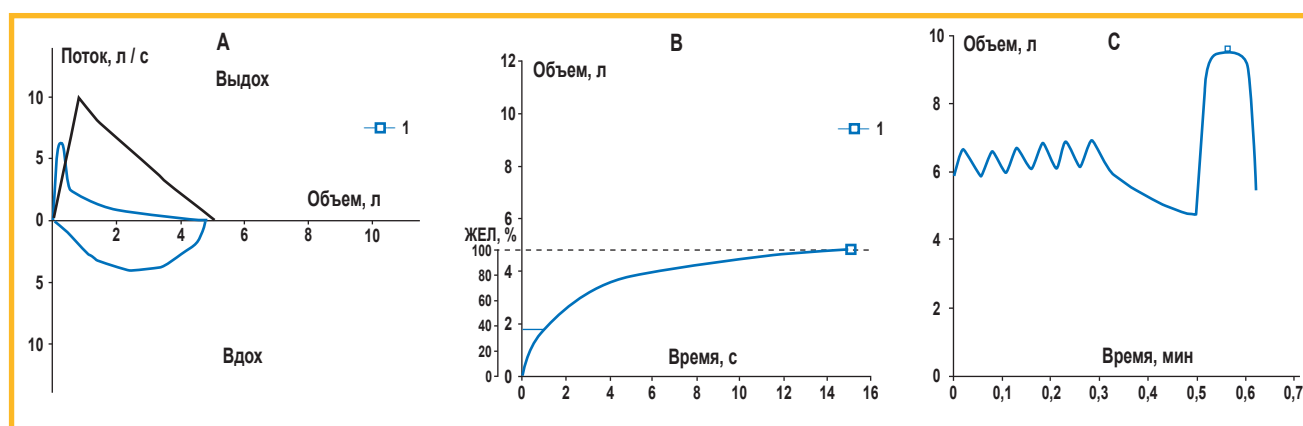


Рис. 2S. Форсированная спирометрия: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время». Измерение жизненной емкости легких: С – кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких вдоха

Примечание: синий цвет – данные пациента; черный цвет – должная кривая «поток–объем».

Figure 2S. Forced spirometry: A, flow-volume curves of forced expiration and inspiration in the “volume-time” coordinates; B, forced exhalation curves in the “volume-time” coordinates. Measurement of vital capacity: C, curve “volume-time” for inspiratory vital capacity.

Note: blue color – patient data; black – reference flow-volume curve.

Таблица 3S
Результаты спирометрии (клинический пример № 2)

Table 3S
Spirometry results (case study No.2)

Показатель	Значение				
	должное	НГН	полученное	z-оценка	% _{доп.}
ФЖЕЛ, л	5,11	4,11	4,83	-0,46	95
ОФВ ₁ , л	4,26	3,43	1,82	-4,78	43
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ	0,83	0,72	0,38	-4,73	
ПОС, л / с	9,75	7,76	6,28	-8,7	64
МОС ₂₅ , л / с	8,35	5,55	1,44	-4,04	17
МОС ₅₀ , л / с	5,44	3,27	0,69	-3,60	13
МОС ₇₅ , л / с	2,50	1,22	0,26	-2,87	10
СОС ₂₅₋₇₅ , л / с	4,82	3,11	0,59	-4,07	12
T _{ФЖЕЛ} , с			14,98		
T _{ПОС} , с			0,05		
ООЭ, л			0,08		

Начало. Окончание табл. 3S см. на стр. 333

Окончание табл. 3S. Начало см. на стр. 332

ООЭ, % ФЖЕЛ			1,66		
ФЖЕЛ _{вд} , л	5,34	4,42	4,76	-1,04	89
МОС _{50 вд} , л / с			4,03		
ЖЕЛ, л	5,34	4,42	4,83	-0,91	91
ОФВ ₁ / ЖЕЛ	0,82	0,75	0,38	-6,14	
Е _{вд} , л	3,77		3,39		90

Примечание: ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ПОС – пиковая объемная скорость выдоха; МОС₂₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ; МОС₅₀ – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ; МОС₇₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 75 % ФЖЕЛ; СОС₂₅₋₇₅ – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % ФЖЕЛ; Т_{ФЖЕЛ} – продолжительность форсированного выдоха; Т_{ПОС} – время достижения пиковой объемной скорости; ООЭ – объем обратной экстраполяции; ФЖЕЛ_{вд} – форсированная жизненная емкости легких на выдохе; МОС_{50 вд} – максимальная объемная скорость при входе 50 % ФЖЕЛ; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; Е_{вд} – емкость вдоха.

ИМТ – 19,7 кг / м². Не курит. Результаты спирометрии представлены в табл. 3S и рис. 2S.

Заключение

Должные величины Европейского сообщества стали и угля (1993) (для ОФВ₁ / ФЖЕЛ – GLI2012).

Нарушение легочной вентиляции по обструктивному типу тяжелой степени. ФЖЕЛ в пределах возрастной нормы.

Клинический пример № 3

Пациент – женщина 50 лет европеоидной расы. Диагноз: кифосколиоз. Рост (по размаху рук) – 158 см, масса тела – 55,0 кг, ИМТ – 23,8 кг / м². Не курит. Спирометрия проводилась на фоне базисной бронходилатационной терапии. Результаты спирометрии представлены в табл. 4S и рис. 3S.

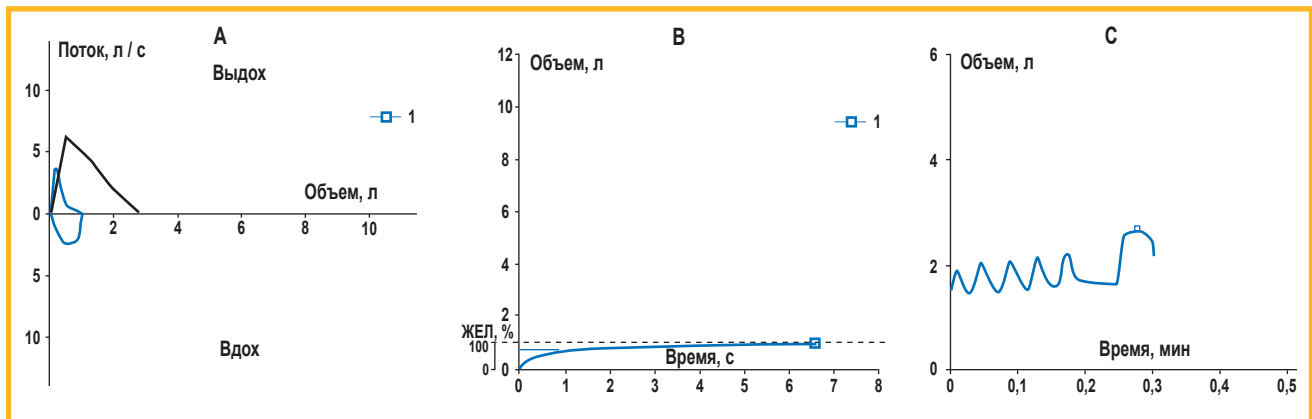


Рис. 3S. Форсированная спирометрия: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время». Измерение жизненной емкости легких: С – кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких вдоха

Примечание: синий цвет – данные пациента; черный цвет – должная кривая «поток–объем».

Figure 3S. Forced spirometry: A, flow-volume curves of forced expiration and inspiration in the “volume-time” coordinates; B, forced exhalation curves in the “volume-time” coordinates. Measurement of vital capacity: C, curve “volume-time” for inspiratory vital capacity

Note: blue color – patient data; black – reference flow-volume curve.

Таблица 4S
Результаты спирометрии (клинический пример № 3)
Table 4S
Spirometry results (case study No.3)

Показатель	Значение				
	должное	НГН	полученное	z-оценка	% долж.
ФЖЕЛ, л	2,81	2,10	0,87	-4,51	31
ОФВ ₁ , л	2,39	1,77	0,70	-4,45	29
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ	0,81	0,70	0,80	-0,06	
ПОС, л / с	6,08	4,60	3,57	-2,79	59

Начало. Окончание табл. 4S см. на стр. 334

Окончание табл. 4S. Начало см. на стр. 333

МОС _{25%} , л / с	5,44	3,22	2,75	-2,04	51
МОС _{50%} , л / с	3,78	1,98	0,71	-2,79	19
МОС _{75%} , л / с	1,52	0,39	0,24	-1,86	16
СОС _{25-75%} , л / с	3,19	1,80	0,62	-3,02	20
T _{ФЖЕЛ} , с			6,50		
T _{ПОС} , с			0,05		
ООЭ, л			0,04		
ООЭ, % ФЖЕЛ			5		
ФЖЕЛ _{вд.} , л	2,88	2,19	0,96	-4,57	33
МОС _{50 вд.} , л / с			2,48		
ЖЕЛ, л	2,88	2,19	0,96	-4,57	33
ОФВ ₁ / ЖЕЛ	0,80	0,69	0,73	-1,08	
E _{вд.} , л	1,95		0,94		48

Примечание: ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ПОС – пиковая объемная скорость выдоха; МОС_{25%} – максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ; МОС_{50%} – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ; МОС_{75%} – максимальная объемная скорость при выдохе 75 % ФЖЕЛ; СОС_{25-75%} – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % ФЖЕЛ; T_{ФЖЕЛ} – продолжительность форсированного выдоха; T_{ПОС} – время достижения пиковой объемной скорости; ООЭ – объем обратной экстраполяции; ФЖЕЛ_{вд.} – форсированная жизненная емкости легких на выдохе; МОС_{50 вд.} – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ_{вд.}; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; E_{вд.} – емкость вдоха.

Закключение

Должные величины Европейского сообщества стали и угля (1993) (для ОФВ₁ / ФЖЕЛ – G12012).

Нарушения легочной вентиляции крайне тяжелой степени. ФЖЕЛ снижена до 31 %_{долж.} при нормальных значениях отношения ОФВ₁ / ЖЕЛ. Полученные данные не позволяют исключить рестриктивный тип вентиляционных нарушений, для уточнения характера нарушения рекомендуется измерение общей емкости легких.

Клинический пример № 4

Пациент – мужчина 30 лет европеоидной расы. Диагноз: муковисцидоз. Рост – 168 см, масса тела – 67,5 кг, ИМТ – 23,9 кг / м². Результаты спирометрии представлены в табл. 5S и рис. 4S.

Закключение

Должные величины Европейского сообщества стали и угля (1993) (для ОФВ₁ / ФЖЕЛ – G12012).

Нарушений легочной вентиляции не выявлено. ФЖЕЛ в пределах возрастной нормы.

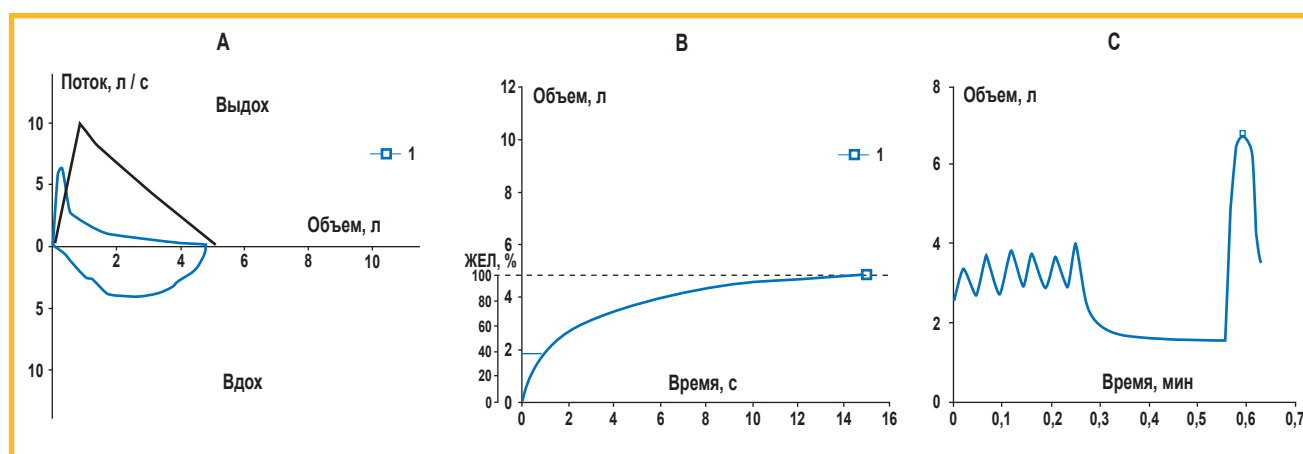


Рис. 4S. Форсированная спирометрия: А – кривые форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток–объем»; В – кривые форсированного выдоха в координатах «объем–время». Измерение жизненной емкости легких: С – кривая «объем–время» при измерении жизненной емкости легких

Примечание: синий цвет – данные пациента; черный цвет – должная кривая «поток–объем».

Figure 4S. Forced spirometry: A, flow-volume curves of forced expiration and inspiration in the “volume-time” coordinates; B, forced exhalation curves in the “volume-time” coordinates. Measurement of vital capacity: C, curve “volume-time” for inspiratory vital capacity

Note: blue color – patient data; black – reference flow-volume curve.

Таблица 5S
Результаты спирометрии (клинический пример № 4)

Table 5S
Spirometry results (case study No.4)

Показатель	Значение				
	должное	НГН	полученное	z-оценка	% доп.
ФЖЕЛ, л	4,56	3,56	5,30	1,21	116
ОФВ ₁ , л	3,86	3,02	4,28	0,82	111
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ, %	0,84	0,72	0,81	-0,45	-
ПОС, л / с	9,18	7,19	11,44	1,87	125
МОС ₂₅ , л / с	7,83	5,02	10,08	1,32	129
МОС ₅₀ , л / с	5,09	2,92	5,68	0,45	112
МОС ₇₅ , л / с	2,26	0,98	1,44	-1,05	64
СОС ₂₅₋₇₅ , л / с	4,67	2,96	4,43	-0,23	95
T _{ФЖЕЛ} , с	-	-	14,60	-	-
T _{ПОС} , с	-	-	0,06	-	-
ООЭ, л	-	-	0,14	-	-
ООЭ, % ФЖЕЛ	-	-	2,64	-	-
ФЖЕЛ _{вд} , л	4,76	3,84	5,19	0,77	109
МОС _{50 вд} , л / с	-	-	4,93	-	-
ЖЕЛ, л	4,76	3,84	5,30	0,96	112
ОФВ ₁ / ЖЕЛ	0,82	0,70	0,81	-0,14	-
E _{вд} , л	3,28	-	4,05	-	123

Примечание: ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ПОС – пиковая объемная скорость выдоха; МОС₂₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ; МОС₅₀ – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ; МОС₇₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 75 % ФЖЕЛ; СОС₂₅₋₇₅ – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % ФЖЕЛ; T_{ФЖЕЛ} – продолжительность форсированного выдоха; T_{ПОС} – время достижения пиковой объемной скорости; ООЭ – объем обратной экстраполяции; ФЖЕЛ_{вд} – форсированная жизненная емкость легких на вдохе; МОС_{50 вд} – максимальная объемная скорость при вдохе 50 % ФЖЕЛ; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; E_{вд} – емкость вдоха.

Приложение 3. Стандартные обозначения

Стандартные обозначения показателей приведены в табл. 6S.

Таблица 6S
Стандартные обозначения показателей

Table 6S
Standard notation for indicators

Показатель	Стандартное обозначение	Англоязычный вариант написания	Англоязычный вариант стандартного обозначения
Время достижения пиковой объемной скорости	T _{ПОС}	Time to PEF	FET PEF, T _{PEF}
Время ускорения для пиковой объемной скорости	-	Rise Time from 10 to 90% of PEF	RT
Должная величина	долж.	Predicted Value	pred
Дыхательный объем	ДО	Tidal Volume	TV, V _t
Емкость вдоха	E _{вд}	Inspiratory Capacity	IC
Жизненная емкость легких	ЖЕЛ	Vital Capacity	VC
		Slow Vital Capacity	SVC
Жизненная емкость легких вдоха	ЖЕЛ _{вд}	Inspiratory Vital Capacity	IVC, VC _{in}
Жизненная емкость легких выдоха	ЖЕЛ _{выд.}	Expiratory Vital Capacity	EVC
Максимальная объемная скорость при выдохе 25 % форсированной жизненной емкости легких	МОС ₂₅	Forced Expiratory Flow at 25% of FVC	FEF ₂₅
		Maximal Expiratory Flow at 75% of FVC	MEF ₇₅
Максимальная объемная скорость при вдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких	МОС _{50 вд.}	Forced Inspiratory Flow at 50% of FVC	FIF ₅₀
		Maximal Inspiratory Flow at 50% of FVC	MIF ₅₀

Начало. Окончание табл. 6S см. на стр. 336

Окончание табл. 6S. Начало см. на стр. 335

Максимальная объемная скорость при выдохе 50 % форсированной жизненной емкости легких	МОС ₅₀	Forced Expiratory Flow at 50% of FVC	FEF ₅₀
		Maximal Expiratory Flow at 50% of FVC	MEF ₅₀
Максимальная объемная скорость при выдохе 75 % форсированной жизненной емкости легких	МОС ₇₅	Forced Expiratory Flow at 75% of FVC	FEF ₇₅
		Maximal Expiratory Flow at 25% of FVC	MEF ₂₅
Нижняя граница нормы	НГН	Low Limit of Normal	LLN
Общая емкость легких	ОЕЛ	Total Lung Capacity	TLC
Объем обратной экстраполяции	ООЭ	Back-Extrapolated Volume	BEV
Остаточный объем легких	ООЛ	Residual Volume	RV
Объем форсированного выдоха за 1-ю секунду	ОФВ ₁	Forced Expiratory Volume in one second	FEV ₁
Объем форсированного выдоха за первые 0,75 с	ОФВ _{0,75}	Forced Expiratory Volume in 0.75 second	FEV _{0,75}
Пиковая объемная скорость выдоха	ПОС	Peak Expiratory Flow	PEF
Продолжительность форсированного выдоха	T _{ФЖЕЛ}	Forced Expiratory Time	FET, T _{FVC}
Резервный объем вдоха	РО _{вд.}	Inspiratory Reserve Volume	IRV
Резервный объем выдоха	РО _{выд.}	Expiratory Reserve Volume	ERV
Средняя объемная скорость при выдохе от 25 до 75 % форсированной жизненной емкости легких	СОС ₂₅₋₇₅	Forced expiratory flow between 25 and 75% of FVC (midexpiratory phase)	FEF ₂₅₋₇₅
		Maximum Mid-Expiratory Flow	MMEF
Функциональная остаточная емкость легких	ФОЕ	Functional Residual Capacity	FRC
Форсированная жизненная емкость легких выдоха	ФЖЕЛ	Forced Vital Capacity	FVC
Форсированная жизненная емкость легких вдоха	ФЖЕЛ _{вд.}	Forced Inspiratory Vital Capacity	FIVC
z-оценка	–	z-score	–

Список сокращений

БДК – коэффициент бронходилатации
 БДО – бронходилатационный ответ
 БДТ – бронходилатационный тест
 ВДП – внелегочные дыхательные пути
 ДАИ – дозированный аэрозольный ингалятор
 ДП – дыхательные пути
 E_{вд.} – емкость вдоха
 ЖЕЛ – жизненная емкость легких
 ЖЕЛ_{вд.} – жизненная емкость легких, измеренная на вдохе
 ЖЕЛ_{выд.} – жизненная емкость легких, измеренная на выдохе
 ИМТ – индекс массы тела
 МОС₂₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 25 % ФЖЕЛ
 МОС₅₀ – максимальная объемная скорость при выдохе 50 % ФЖЕЛ
 МОС_{50 вд.} – максимальная объемная скорость при вдохе 50 % ФЖЕЛ_{вд.}
 МОС₇₅ – максимальная объемная скорость при выдохе 75 % ФЖЕЛ
 НГН – нижняя граница нормы
 НГН_{абс.} – нижняя граница нормы в абсолютных величинах
 ОЕЛ – общая емкость легких
 ООЛ – остаточный объем легких
 ООЭ – объем обратной экстраполяции
 ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду
 ОФВ_{0,75} – объем форсированного выдоха за первые 0,75 с

ПОС – пиковая объемная скорость выдоха
 РН – рестриктивные нарушения
 РО_{выд.} – резервный объем выдоха
 СОС₂₅₋₇₅ – средняя объемная скорость при выдохе 25–75 % форсированной жизненной емкости легких
 T_{ПОС} – время достижения пиковой объемной скорости выдоха
 T_{ФЖЕЛ} – продолжительность форсированного выдоха
 ФОЕ – функциональная остаточная емкость легких
 ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких на выдохе
 ФЖЕЛ_{вд.} – форсированная жизненная емкость легких на вдохе
 ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких
 АТРС (*Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*) – параметры газа в помещении, где проводится исследование (температура, барометрическое (атмосферное) давление и влажность воздуха)
 ВТРС (*Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated*) – параметры газа в легких человека (температура тела человека (37 °C), барометрическое (атмосферное) давление и полное насыщение водяным паром)
 GLI2012 – система должных величин, разработанная в 2012 г. экспертной группой Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов (*Global Lung function Initiative – GLI*)
 SD – стандартное отклонение (*standard deviation*)
 z-оценка – это число SD между измеренной величиной и должным значением

Литература

- ГОСТ Р ИСО 13731-2016. Эргономика термальной среды. Термины, определения и обозначения. Введ. 26.10.16. М.: Стандартинформ; 2016. Доступно на: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205386>
- ГОСТ Р ИСО 26782-2016. Спирометры, предназначенные для измерения параметров форсированного выдоха человека. Введ. 20.07.16. М.: Стандартинформ, 2016. Доступно на: <https://docs.cntd.ru/document/1200137304/titles>
- Graham B.L., Steenbruggen I., Miller M.R. et al. Standardization of spirometry 2019. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 200 (8): e70–88. DOI: 10.1164/ajrccm.201908-1590ST.
- Gauld L.M., Kappers J., Carlin J.B., Robertson C.F. Height prediction from ulna length. *Dev. Med. Child. Neurol.* 2004; 46 (7): 475–480. DOI: 10.1017/s0012162204000787.
- Quanjer P.H., Capderou A., Mazzioglou M.M. et al. All-age relationship between arm span and height in different ethnic groups. *Eur. Respir. J.* 2014; 44 (4): 905–912. DOI: 10.1183/09031936.00054014.
- Gagnon P., Guenette J., Langer D. et al. Pathogenesis of hyperinflation in chronic obstructive pulmonary disease. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2014; 9 (1): 187–201. DOI: 10.2147/COPD.S38934.
- Айсанов З.Р., Калманова Е.Н. Бронхиальная обструкция и гипервоздушность легких при хронической обструктивной болезни легких. *Практическая пульмонология.* 2016; (2): 9–17. Доступно: https://atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp_2_2016_9.pdf
- Wanger J.S., Ikke D.N., Cherniack R.M. The effect of inspiratory maneuvers on expiratory flow rates in health and asthma: influence of lung elastic recoil. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1996; 153 (4, Pt 1): 1302–1308. DOI: 10.1164/ajrccm.153.4.8616558.
- D'Angelo E., Prandi E., Milic-Emili J. Dependence of maximal flow-volume curves on time course of preceding inspiration. *J. Appl. Physiol.* 1993; 75 (3): 1155–1159. DOI: 10.1152/jap.1993.75.3.1155.
- Hankinson J.L., Crapo O.R. Standard flow-time waveforms for testing of PEF meters. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1995; 152 (2): 696–701. DOI: 10.1164/ajrccm.152.2.7633728.
- Miller M.R., Pedersen O.F., Quanjer P.H. The rise and dwell time for peak expiratory flow in patients with and without airflow limitation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1998; 158 (1): 23–27. DOI: 10.1164/ajrccm.158.1.9708128.
- Enright P.L., Beck K.C., Sherrill D.L. Repeatability of spirometry in 18,000 adult patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004; 169 (2): 235–238. DOI: 10.1164/rccm.200204-3470C.
- Enright P., Vollmer W.M., Lamprecht B. et al. Quality of spirometry tests performed by 9893 adults in 14 countries: the BOLD Study. *Respir. Med.* 2011; 105 (10): 1507–1515. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.04.008.
- Enright P.L., Lebowitz M.D., Cockcroft D.W. Physiologic measures: pulmonary function tests: asthma outcome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1994; 149 (2, Pt 2): S9–18. DOI: 10.1164/ajrccm/149.2.Pt_2.S9.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for Prevention, Diagnosis and Management of COPD. 2023 Report. Available at: https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2023/03/GOLD-2023-ver-1.3-17Feb2023_WMV.pdf
- Crenesse D., Berlioz M., Bourrier T., Albertini M. Spirometry in children aged 3 to 5 years: reliability of forced expiratory maneuvers. *Pediatr. Pulmonol.* 2001; 32 (1): 56–61. DOI: 10.1002/ppul.1089.
- Piccioni P., Borraccino A., Forneris M.P. et al. Reference values of forced expiratory volumes and pulmonary flows in 3–6 year children: a cross-sectional study. *Respir. Res.* 2007; 8 (1): 14. DOI: 10.1186/1465-9921-8-14.
- Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E. et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur. Respir. J. Suppl.* 1993; 6 (Suppl. 16): 5–40. DOI: 10.1183/09041950.005s1693.
- Клемент Р.Ф., Лаврушин А.А., Котеков Ю.М. и др. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей. Л.; 1986.
- Клемент Р.Ф., Зильбер Н.А. Методологические особенности показателей кривой поток-объем у лиц моложе 18 лет. *Пульмонология.* 1994; (2): 17–21. Доступно на: <https://journal.pulmonology.ru/pulm/article/view/3578/2946>
- Каменева М.Ю., Тишков А.В., Быхова А.В. и др. Анализ согласованности некоторых референсных систем при интерпретации результатов спирометрии. *Российский семейный врач.* 2012; 16 (2): 23–28. DOI: 10.17816/RFD2012223-28.
- Quanjer P.H., Stanojevic S., Cole T.J. et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur. Respir. J.* 2012; 40 (6): 1324–1343. DOI: 10.1183/09031936.00080312.
- Стручков П.В., Кирюхина Л.Д., Дроздов Д.В. и др. Должные величины при исследовании функции внешнего дыхания. Разные должные – разные заключения? *Медицинский алфавит.* 2021; (15): 22–26. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-15-22-26.
- Hansen J.E. Lower limit of normal is better than 70% or 80%. *Chest.* 2011; 139 (1): 6–8. DOI: 10.1378/chest.10-1117.
- Miller M.R., Quanjer P.H., Swanne M.P. et al. Interpreting lung function data using 80% predicted and fixed thresholds misclassifies more than 20% of patients. *Chest.* 2011; 139 (1): 52–59. DOI: 10.1378/chest.10-0189.
- Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
- Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2022; 60 (1): 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499-2021.
- Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю. и др. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. *Пульмонология.* 2014; (6): 11–24. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24.
- Miller R.D., Hyatt R.E. Evaluation of obstructing lesions of the trachea and larynx by flow-volume loops. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1973; 108 (3): 475–481. DOI: 10.1164/arrd.1973.108.3.475.
- Nafisa S., Messer B., Downie B. et al. A retrospective cohort study of idiopathic diaphragmatic palsy: a diagnostic triad, natural history and prognosis. *ERJ Open Res.* 2021; 7 (3): 00953-2020. DOI: 10.1183/23120541.00953-2020.
- Quanjer P.H., Ruppel G.L., Langhammer A. et al. Bronchodilator response in FVC is larger and more relevant than in FEV1 in severe airflow obstruction. *Chest.* 2017; 151 (5): 1088–1098. DOI: 10.1016/j.chest.2016.12.017.
- Vilozni D., Hakim F., Livnat G. et al. Assessment of airway bronchodilation by spirometry compared to airway obstruction in young children with asthma. *Can. Respir. J.* 2016; 2016: 5394876. DOI: 10.1155/2016/5394876.
- Tan W.C., Vollmer W.M., Lamprecht B. et al. Worldwide patterns of bronchodilator responsiveness: results from the Burden of Obstructive Lung Disease study. *Thorax.* 2012; 67 (8): 718–726. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2011-201445.
- Cerveri I., Pellegrino R., Dore R. et al. Mechanisms for isolated volume response to a bronchodilator in patients with COPD. *J. Appl. Physiol. (1985).* 2000; 88 (6): 1989–1995. DOI: 10.1152/jap.2000.88.6.1989.
- Levy M.L., Quanjer P.H., Booker R. et al. Diagnostic spirometry in primary care: Proposed standards for general practice compliant with American Thoracic Society and European Respiratory Society recommendations. *Prim. Care Resp. J.* 2009; 18 (3): 130–147. DOI: 10.4104/pcrj.2009.00054.
- Borrego L.M., Stocks J., Almeida I. et al. Bronchodilator responsiveness using spirometry in healthy and asthmatic preschool children. *Arch. Dis. Child.* 2013; 98 (2): 112–117. DOI: 10.1136/archdischild-2012-301819.
- Burty E.F., Pereira C.A., Jones M.H. et al. Bronchodilator response cut-off points and FEV 0.75 reference values for spirometry in preschoolers. *J. Bras. Pneumol.* 2016; 42 (5): 326–332. DOI: 10.1590/S1806-37562015000000216.
- Айсанов З.Р., Черняк А.В., ред. Функциональная диагностика в пульмонологии: Практическое руководство. М.: АТМО; 2016.

Поступила: 02.03.23
Принята к печати: 20.04.23

References

- GOST R ISO 13731-2016. [Ergonomics of the thermal environment. Terms, definitions and designations]. Input. November 26, 2016. Moscow: Standartinform; 2016. Available at: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205386> (in Russian).
- GOST R ISO 26782-2016. [Spirometers designed to measure the parameters of a person's forced exhalation]. Input. July 20, 2016. Moscow: Standartinform; 2016. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200137304/titles> (in Russian).
- Graham B.L., Steenbruggen L., Miller M.R. et al. Standardization of spirometry 2019. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 200 (8): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
- Gauld L.M., Kappers J., Carlin J.B., Robertson C.F. Height prediction from ulna length. *Dev. Med. Child. Neurol.* 2004; 46 (7): 475–480. DOI: 10.1017/s0012162204000787.
- Quanjer P.H., Capderou A., Mazzioglu M.M. et al. All-age relationship between arm span and height in different ethnic groups. *Eur. Respir. J.* 2014; 44 (4): 905–912. DOI: 10.1183/09031936.00054014.
- Gagnon P., Guenette J., Langer D. et al. Pathogenesis of hyperinflation in chronic obstructive pulmonary disease. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2014; 9 (1): 187–201. DOI: 10.2147/COPD.S38934.
- Aisanov Z.R., Kalmanova E.N. [Bronchial obstruction and lung hyperinflation in chronic obstructive pulmonary disease]. *Prakticheskaya pul'monologiya*. 2016; (2): 9–17. Available at: https://atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp_2_2016_9.pdf (in Russian).
- Wanger J.S., Ikle D.N., Cherniack R.M. The effect of inspiratory maneuvers on expiratory flow rates in health and asthma: influence of lung elastic recoil. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1996; 153 (4, Pt 1): 1302–1308. DOI: 10.1164/ajrcm.153.4.8616558.
- D'Angelo E., Prandi E., Milic-Emili J. Dependence of maximal flow-volume curves on time course of preceding inspiration. *J. Appl. Physiol.* 1993; 75 (3): 1155–1159. DOI: 10.1152/jap-1993.75.3.1155.
- Hankinson J.L., Crapo O.R. Standard flow-time waveforms for testing of PEF meters. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1995; 152 (2): 696–701. DOI: 10.1164/ajrcm.152.2.7633728.
- Miller M.R., Pedersen O.F., Quanjer P.H. The rise and dwell time for peak expiratory flow in patients with and without airflow limitation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1998; 158 (1): 23–27. DOI: 10.1164/ajrcm.158.1.9708128.
- Enright P.L., Beck K.C., Sherrill D.L. Repeatability of spirometry in 18,000 adult patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004; 169 (2): 235–238. DOI: 10.1164/rccm.200204-347OC.
- Enright P., Vollmer W.M., Lamproch B. et al. Quality of spirometry tests performed by 9893 adults in 14 countries: the BOLD Study. *Respir. Med.* 2011; 105 (10): 1507–1515. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.04.008.
- Enright P.L., Lebowitz M.D., Cockcroft D.W. Physiologic measures: pulmonary function tests: asthma outcome. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1994; 149 (2, Pt 2): S9–18. DOI: 10.1164/ajrcm/149.2_Pt_2.S9.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for Prevention, Diagnosis and Management of COPD. 2023 Report. Available at: https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2023/03/GOLD-2023-ver-1.3-17Feb2023_WMV.pdf
- Crenesse D., Berlioz M., Bourrier T., Albertini M. Spirometry in children aged 3 to 5 years: reliability of forced expiratory maneuvers. *Pediatr. Pulmonol.* 2001; 32 (1): 56–61. DOI: 10.1002/ppul.1089.
- Piccioni P., Borraccino A., Forneris M.P. et al. Reference values of forced expiratory volumes and pulmonary flows in 3–6 year children: a cross-sectional study. *Respir. Res.* 2007; 8 (1): 14. DOI: 10.1186/1465-9921-8-14.
- Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E. et al. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur. Respir. J. Suppl.* 1993; 6 (Suppl. 16): 5–40. DOI: 10.1183/09041950.005s1693.
- Klement R.F., Lavrushin A.A., Kotegov Yu.M. et al. [Instructions for the use of formulas and tables of due values of the main spirometric indicators]. Leningrad; 1986 (in Russian).
- Klement R.F., Zilber N.A. Methodological features of parameters of the “flow-volume” curve in infants. *Pul'monologiya*. 1994; (2): 17–21 Available at: <https://journal.pulmonology.ru/pulm/article/view/3578/2946> (in Russian).
- Kameneva M.Ju., Tishkov A.V., Byhova A.V. [Consistency analysis of some reference systems in the interpretation of spirometry]. 2012; 16 (2): 23–28. DOI: 10.17816/RFD2012223-28 (in Russian).
- Quanjer P.H., Stanojevic S., Cole T.J. et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur. Respir. J.* 2012; 40 (6): 1324–1343. DOI: 10.1183/09031936.00080312.
- Struchkov P.V., Kirjuhina L.D., Drozdov D.V. [Different predicted values – different conclusions?]. *Meditsinskiy al'favit*. 2021; (15): 22–26. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-15-22-26.
- Hansen J.E. Lower limit of normal is better than 70% or 80%. *Chest*. 2011; 139 (1): 6–8. DOI: 10.1378/chest.10-1117.
- Miller M.R., Quanjer P.H., Swanne M.P. et al. Interpreting lung function data using 80% predicted and fixed thresholds misclassifies more than 20% of patients. *Chest*. 2011; 139 (1): 52–59. DOI: 10.1378/chest.10-0189.
- Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
- Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M.R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2022; 60 (1): 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499-2021.
- Chuchalin A.G., Aisanov Z.R., Chikina S.Yu. et al. [Federal guidelines of Russian Respiratory Society on spirometry]. *Pul'monologiya*. 2014; (6): 11–24. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24 (in Russian).
- Miller R.D., Hyatt R.E. Evaluation of obstructing lesions of the trachea and larynx by flow-volume loops. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1973; 108 (3): 475–481. DOI: 10.1164/arrd.1973.108.3.475.
- Nafisa S., Messer B., Downie B. et al. A retrospective cohort study of idiopathic diaphragmatic palsy: a diagnostic triad, natural history and prognosis. *ERJ Open Res.* 2021; 7 (3): 00953-2020. DOI: 10.1183/23120541.00953-2020.
- Quanjer P.H., Ruppel G.L., Langhammer A. et al. Bronchodilator response in FVC is larger and more relevant than in FEV1 in severe airflow obstruction. *Chest*. 2017; 151 (5): 1088–1098. DOI: 10.1016/j.chest.2016.12.017.
- Vilozni D., Hakim F., Livnat G. et al. Assessment of airway bronchodilation by spirometry compared to airway obstruction in young children with asthma. *Can. Respir. J.* 2016; 2016: 5394876. DOI: 10.1155/2016/5394876.
- Tan W.C., Vollmer W.M., Lamproch B. et al. Worldwide patterns of bronchodilator responsiveness: results from the Burden of Obstructive Lung Disease study. *Thorax*. 2012; 67 (8): 718–726. DOI: 10.1136/thoraxjnl-2011-201445.
- Cerveri I., Pellegrino R., Dore R. et al. Mechanisms for isolated volume response to a bronchodilator in patients with COPD. *J. Appl. Physiol.* (1985). 2000; 88 (6): 1989–1995. DOI: 10.1152/jap.2000.88.6.1989.
- Levy M.L., Quanjer P.H., Booker R. et al. Diagnostic spirometry in primary care: Proposed standards for general practice compliant with American Thoracic Society and European Respiratory Society recommendations. *Prim. Care Resp. J.* 2009; 18 (3): 130–147. DOI: 10.4104/pcrj.2009.00054.
- Borrego L.M., Stocks J., Almeida I. et al. Bronchodilator responsiveness using spirometry in healthy and asthmatic preschool children. *Arch. Dis. Child.* 2013; 98 (2): 112–117. DOI: 10.1136/archdischild-2012-301819.
- Burity E.F., Pereira C.A., Jones M.H. et al. Bronchodilator response cut-off points and FEV0.75 reference values for spirometry in preschoolers. *J. Bras. Pneumol.* 2016; 2 (5): 326–332. DOI: 10.1590/S1806-37562015000000216.
- Aisanov Z.R., Chernyak A.V., eds. [Functional diagnostics in pulmonology: A practical guide]. Moscow: ATMO; 2016 (in Russian).

Received: December 26, 2022

Accepted for publication: April 20, 2023

Информация об авторах / Authors Information

Каменева Марина Юрьевна — д. м. н., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ревматологии и аллергологии Научно-клинического исследовательского центра, врач функциональной диагностики кабинета функциональной диагностики поликлиники с клинико-диагностическим центром клиники Научно-клинического исследовательского центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (812) 338-60-78; e-mail: kmju@mail.ru (SPIN-код: 9810-9636; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>)

Marina Yu. Kameneva, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Research Institute of Rheumatology and Allergology, Scientific and Clinical Research Center; Doctor of Functional Diagnostics in the Functional Diagnostics Room of the polyclinic with the clinical diagnostic center, Clinic of the Scientific and Clinical Research Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Academician I.P.Pavlov First St. Petersburg State Medical University” of the Ministry of Healthcare of Russian Federation; tel.: (812) 338-60-78; e-mail: kmju@mail.ru (SPIN: 9810-9636; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>)

Черняк Александр Владимирович — к. м. н., заведующий лабораторией функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; врач функциональной диагностики отделения функциональной и ультразвуковой диагностики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; тел.: (495) 395-63-93; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN-код: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

Alexander V. Cherniak, Candidate of Medicine, Head of Laboratory of Functional and Ultra-sound Investigations, Federal State Budgetary Institution “Pulmonology Scientific Research Institute” under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; Physician of Functional Diagnostics, Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, State Budgetary Healthcare Institution D.D.Pletnev City Clinical Hospital, Healthcare Department of Moscow; tel.: (495) 395-63-93; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN-код: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

Айсанов Заурбек Рамазанович — д. м. н., профессор кафедры пульмонологии факультета дополнительного профессионального образования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 965-34-66; e-mail: aisanov@mail.ru (SPIN-код: 2723-6685; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4044-674X>)

Zaurbek R. Aisanov, Doctor of Medicine, Professor, Professor, Department of Pulmonology, Faculty of Additional Professional Education, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I.Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation; tel.: (495) 965-34-66; e-mail: aisanov@mail.ru (SPIN-код: 2723-6685; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4044-674X>)

Авдеев Сергей Николаевич — д. м. н., профессор, академик Российской академии наук, проректор по научной и инновационной работе, заведующий кафедрой пульмонологии Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; главный внештатный специалист-пульмонолог Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (499) 246-75-18; e-mail: serg_avdeev@list.ru (SPIN-код: 1645-5524; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5999-2150>)

Sergey N. Avdeev, Doctor of Medicine, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Vice-Rector for Research and Innovation, Head of the Department of Pulmonology, N.V.Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution “Pulmonology Scientific Research Institute” under Federal Medical and Biological Agency of Russian Federation; Chief Freelance Pulmonologist of the Ministry of Health of the Russian Federation; tel.: (499) 246-75-18; e-mail: serg_avdeev@list.ru (SPIN: 1645-5524; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5999-2150>)

Бабак Сергей Львович — д. м. н., профессор кафедры фтизиатрии и пульмонологии лечебного факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И.Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (903) 729-62-33; e-mail: sergababak@mail.ru (SPIN-код: 5213-3620; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-1220>)

Sergey L. Babak, Doctor of Medicine, Professor, Department of Phthysiology and Pulmonology of the Faculty of Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A.I.Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel.: (903) 729-62-33; e-mail: sergababak@mail.ru (SPIN: 5213-3620; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-1220>)

Белевский Андрей Станиславович — д. м. н., профессор, заведующий кафедрой пульмонологии факультета дополнительного профессионального образования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И.Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (495) 963-24-67; e-mail: pulmobas@yandex.ru (SPIN-код: 7313-8885; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-724X>)

Andrey S. Belevskiy, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Pulmonology, Faculty of Additional Professional Education, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I.Pirogov Russian National Research Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation; tel.: (495) 963-24-67; e-mail: pulmobas@yandex.ru (SPIN: 7313-8885; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-724X>)

Берестень Наталья Федоровна — д. м. н., профессор, академик Российской академии естественных наук, профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; ученый секретарь Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф.Владимирского»; председатель Совета Общероссийской общественной организации «Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики»; тел.: (916) 117-94-16; e-mail: nberesten@yandex.ru (SPIN-код: 4547-7137; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-6839>)

Natalya F. Beresten, Doctor of Medicine, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences; Professor, Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics, Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education “Russian Medical Academy of Continuous Professional Education” of the Ministry of Health of Russia; Scientific Secretary, State Budgetary Health Institution of the Moscow Region “Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F.Vladimirovsky”; Chairman of the Council of the All-Russian Public Organization “Russian Association of Functional Diagnostics Specialists”; tel.: (916) 117-94-16; e-mail: nberesten@yandex.ru (SPIN: 4547-7137; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-6839>)

Калманова Елена Николаевна — к. м. н., заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; тел.: (495) 965-34-66; e-mail: kalmanova@mail.ru (SPIN-код: 7286-1538; Author ID: 581036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8681-7569>)

Elena N. Kalmanova, Candidate of Medicine, Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics, State Budgetary Healthcare Institution D.D.Pletnev City Clinical Hospital, Healthcare Department of Moscow; tel.: (495) 965-34-66; e-mail: kalmanova@mail.ru (SPIN: 7286-1538; Author ID: 581036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8681-7569>)

Маливин Андрей Георгиевич — д. м. н., профессор кафедры фтизиатрии и пульмонологии лечебного факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И.Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (916) 547-83-73; e-mail: maliavin@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6128-5914>)

Andrey G. Maliavin, Doctor of Medicine, Professor, Department of Phthysiology and Pulmonology, Medical Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of the Higher Education “A.I.Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel.: (916) 547-83-73; e-mail: maliavin@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6128-5914>)

Перельман Юлий Михайлович — д. м. н., профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель директора по научной работе, руководитель лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; тел.: (4162) 77-28-01; e-mail: jperelman@mail.ru (SPIN-код: 5043-7214; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9411-7474>)

Juliy M. Perelman, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, Head of the Laboratory of Functional Methods for the Study of the Respiratory System, Federal State Budgetary Scientific Institution "Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration"; tel.: (4162) 77-28-01; e-mail: jperelman@mail.ru (SPIN: 5043-7214; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9411-7474>)

Приходько Анна Григорьевна – д. м. н., главный научный сотрудник лаборатории функциональных методов исследования дыхательной системы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; тел.: (962) 284-43-90; e-mail: dncfpd@dncfpd.ru (SPIN: 5732-4063; Author ID: 189495; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-7380>)

Anna G. Prikhodko, Doctor of Medicine, Chief Researcher, Laboratory of Functional Methods for the Study of the Respiratory System, Federal State Budgetary Scientific Institution "Far Eastern Research Center for Physiology and Pathology of Respiration"; tel.: (962) 284-43-90; e-mail: dncfpd@dncfpd.ru (SPIN: 5732-4063; Author ID: 189495; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-7380>)

Стручков Петр Владимирович – д. м. н., профессор, заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики Академии постдипломного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства России»; заместитель руководителя диагностической службы Федерального государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Клиническая больница № 85» Федерального медико-биологического агентства России; тел.: (499) 324-45-83; e-mail: struchkov57@mail.ru (SPIN-код: 6093-0782; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>)

Petr V. Struchkov, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics, Academy of Postgraduate

Education, Federal State Budgetary Institution of Health Care "Clinical Hospital" No.85 of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; Deputy Head of Diagnostic Service, Federal State Budgetary Institution of Healthcare Clinical Hospital No. 85 of the Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (499) 324-45-83; e-mail: struchkov57@mail.ru (SPIN-код: 6093-0782; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>)

Чикина Светлана Юрьевна – к. м. н., ассистент кафедры пульмонологии Института клинической медицины имени Н.В.Склифосовского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Первый московский государственный медицинский университет имени И.М.Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); тел.: (495) 662-99-24; e-mail: svch@list.ru (SPIN code: 4463-8203; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5536-9388>)

Svetlana Yu. Chikina, Candidate of Medicine, Assistant of the Department of Pulmonology, N.V.Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M.Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); tel.: (495) 662-99-24; e-mail: svch@list.ru (SPIN code: 4463-8203; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5536-9388>)

Чушкин Михаил Иванович – д. м. н., ведущий научный сотрудник Центра диагностики и реабилитации заболевания органов дыхания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Центральный научно-исследовательский институт туберкулеза»; тел.: (499)-785-90-48; e-mail: mchushkin@yandex.ru (SPIN-код: 2568-6781; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8263-8240>)

Mikhail I. Chushkin, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Center for Diagnosis and Rehabilitation of Respiratory Diseases, Federal State Budgetary Scientific Institution "Central Research Institute of Tuberculosis"; tel.: (499)-785-90-48; e-mail: mchushkin@yandex.ru (SPIN-код: 2568-6781; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8263-8240>)