

# Современные требования к проведению спирометрии у детей

С. Э. Дьякова

НИКИ педиатрии имени академика Ю. Е. Вельтищева ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н. И. Пирогова» Минздрава России

## РЕЗЮМЕ

С учетом современных согласительных документов в данной статье обобщена информация, касающаяся особенностей проведения спирометрии в детском возрасте; акцентировано внимание на условиях проведения, особенностях подготовки, выполнения и анализа результатов спирометрии у детей в целях получения достоверных, воспроизводимых и сопоставимых в различных лабораториях результатов; данная информация предназначена для врачей-педиатров, пульмонологов, врачей и среднего медицинского персонала кабинетов функциональной диагностики.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** спирометрия, дети, стандарты проведения спирометрии, функциональная диагностика органов дыхания.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы статьи сообщают о возможном конфликте интересов.

## Modern requirements for spirometry in children

S. E. Dyakova

Scientific Research Institute of Pediatrics named after academician Yu. Veltischev FGAOU VO RNIMU them. N. I. Pirogov, Ministry of Health of Russia

## SUMMARY

This article summarizes modern information concerning the aspects of spirometry in children; focuses on the conditions, features of preparation, implementation and analysis of spirometry results in children in order to obtain reliable, reproducible and comparable results in various laboratories; this information is intended for pediatricians, pulmonologists, doctors and secondary medical personnel of functional diagnostics offices.

**KEY WORDS:** spirometry, children, standards for spirometry, functional diagnostics of the respiratory system.

**CONFLICT OF INTEREST.** The authors of the article report a possible conflict of interest.

В современных условиях на фоне постоянного совершенствования измерительной аппаратуры и соответствующего программного обеспечения все более актуальным становится вопрос стандартизации проведения диагностических процедур для получения достоверных сравнительных данных. Разработка международных согласительных документов по качественному проведению спирометрии, одного из основополагающих методов оценки функции внешнего дыхания, является тому примером [1–5].

Спирометрия, как измерение только жизненной емкости легких (ЖЕЛ), была введена в медицинскую практику Джоном Хатчинсоном более 170 лет назад. В конце 1940-х годов Робертом Тиффно и Андре Пинелли разработана модификация спирометрии, которая заключалась в добавлении элемента дыхательного усилия и измерении объема выдыхаемого воздуха во времени, что привело к исследованию форсированного выдоха. По настоящий день спирометрия является основным диагностическим тестом не только при оценке функции легких у пациентов с хроническими респираторными заболеваниями, но и в целях профилактики и оценки рисков различных респираторных нарушений [6–8].

На сегодняшний день под спирометрией понимается физиологический тест, который измеряет максимальный объем воздуха, который человек может вдохнуть и выдохнуть как в спокойном состоянии, так и с максимальным усилием [1, 5, 9]. Первичный сигнал, измеряемый спирометрией, — это либо объем, либо поток как функция времени.

С 80-х гг. XX века, когда стали популярными спирометры на основе пневмотахометрии (расчет объема на основе

интегрированного со временем измерения потока), ведутся работы по стандартизации этой процедуры, чтобы можно было сопоставлять результаты исследований, проведенных в различных местах и на разном оборудовании.

Основные Рекомендации к проведению спирометрии были опубликованы в совместном согласительном документе Американского торакального и Европейского респираторного обществ (ATS/ERS) в 1993 г., дополнены в 2005-м, а в 2019 г. был проведен очередной его пересмотр [1, 5, 9–11]. Для обновления данных рекомендаций потребовалась обработка информационной базы MEDLINE (с использованием PubMed), содержащей публикации с 2004 по 2018 г., относящиеся к спирометрии (всего учтено 23 368 ссылок). Помимо этого, основные производители спирометрического оборудования прошли анкетирование по поводу технических характеристик спирометров, а Европейским фондом легких (European Lung Foundation) был проведен международный опрос пациентов для выяснения их опыта в проведении спирометрических тестов.

Согласно этим рекомендациям, основными показаниями к проведению спирометрии является как первичная диагностика при подозрении на респираторное заболевание (на основании клинических симптомов и при выявлении отклонений в результатах других исследований), так и оценка тяжести состояния, мониторинг степени прогрессирования и ответа на лечение или реабилитацию. Кроме того, с помощью спирометрии возможна предоперационная оценка риска, а также скрининговое обследование лиц с высокой вероятностью формирования респираторной патологии вследствие воздействия вредных агентов и потенциально опасных физических нагрузок.

В той или иной мере весь спектр показаний к проведению спирометрии может быть задействован и в педиатрической практике [12–22].

Вне зависимости от возраста спирометрия обычно хорошо переносится пациентами и довольно редко вызывает значительные побочные эффекты: наиболее часто возникают кратковременные потери сознания (обмороки) и аритмии, которые сами проходят и не требуют специального лечения. По результатам проведенных 186 000 рутинных спирометрий за последние 20 лет риск побочных реакций составляет около 5 случаев на 10 000 тестов [23–24]. По мнению международных экспертов, на сегодняшний день все противопоказания к проведению спирометрии считаются относительными, а пациенты с высоким риском осложнений при необходимости должны обследоваться более опытным персоналом в специализированных респираторных центрах [9–11].

Тем не менее следует помнить, что данное исследование все-таки носит нагрузочный характер, поскольку во время спирометрических маневров (особенно при форсированном выдохе) отмечаются значительные колебания внутригрудного, внутричерепного и внутрибрюшного давления, что может негативно влиять на венозный возврат и системное артериальное давление [1, 5, 9–11].

К наиболее распространенным рискам при проведении спирометрии, как у взрослых, так и у детей, следует отнести тяжелые аритмогенные нарушения, неконтролируемую тяжелую артериальную гипер(гипо)тензию, декомпенсированную сердечную недостаточность, тяжелую легочную гипертензию, обмороки в анамнезе, связанные с форсированным выдохом/ кашлем, недавние нейрохирургические операции (в последние 4 недели) и сотрясение мозга с сохраняющимися симптомами, недавние офтальмологические операции, операции или инфекции околоносовых пазух или среднего уха в течение последней недели; пневмоторакс в анамнезе, торакоабдоминальные операции в последние 4 недели, активное инфекционное заболевание, кровохарканье, острые воспалительные изменения в ротовой полости и преддверии носа.

В любом случае исследование следует немедленно прекратить, если пациент сообщит о боли в грудной клетке или других тревожных симптомах (выраженном головокружении, слабости и т. д.), так как риск побочных эффектов для конкретного больного всегда следует рассматривать в контексте потенциальных преимуществ проведения спирометрии [23–24].

В детской практике обязательно следует учитывать, что результаты спирометрии бывают значительно хуже у пациентов, которые по разным причинам не могут оптимально взаимодействовать во время исследования (негативны к самому исследованию, испуганы, напряжены, не концентрируют внимание, не способны понимать обращенную речь, плохо слышат, не могут принять требуемую позу и правильно удерживать за губник и т. д.) [9–11].

При направлении пациента любого возраста на спирометрию следует объективно оценить возможность ее проведения, а также дать наиболее точную инструкцию о том, как подготовиться к исследованию. Согласно результатам опроса Европейского легочного фонда, 1760 пациентов из 52 стран сообщили о необходимости получения более подробной информации по этому вопросу [9–11].

Если взрослых пациентов перед проведением спирометрии просят воздержаться от курения (в том числе электронных сигарет) и приема психоактивных веществ за несколько часов до исследования, то при обследовании детей на первый план выходит исключение интенсивной физической нагрузки как минимум за 1 час до исследования (во избежание риска развития бронхоспазма), а также ограничения приема больших объемов жидкости и пищи в течение 2 часов до исследования и ношения стягивающей грудь и живот одежды.

В зависимости от задач, стоящих перед исследователем, вопрос о прекращении приема ингаляционных препаратов перед спирометрией должен решаться индивидуально [9–11].

Если спирометрия выполняется с целью первичной диагностики, то необходимо рекомендовать прекратить прием ингаляционных лекарств перед исследованием с учетом их фармакокинетических особенностей (табл. 1), поскольку в такой ситуации целесообразно проводить бронхолитический тест.

Важно отметить, что перед проведением спирометрии нет необходимости отменять прием ингаляционных глюкокортикоидов и антилейкотриеновых препаратов, что особенно актуально в педиатрической практике.

Если же целью проведения спирометрии является проведение провокационной пробы, то время отмены лекарственного средства (ЛС) целесообразно увеличить примерно наполовину, поскольку эффект предотвращения бронхоспазма сохраняется дольше, чем бронходилатационный эффект.

**Таблица 1**  
**Время отмены ингаляционных лекарственных средств перед выполнением спирометрии**

Лекарственное средство (ЛС)	Время отмены
$\beta_2$ -агонисты короткого действия (напр., сальбутамол)	4–6 ч
антихолинергические ЛС короткого действия (ипратропия бромид)	12 ч
$\beta_2$ -агонисты длительного действия (формотерол, сальметерол)	24 ч
$\beta_2$ -агонисты очень длительного действия (индакатерол, вилантерол, олодатерол)	36 ч
антихолинергические ЛС длительного действия (тиотропий, умеклидиний, аклидиний, гликопирроний)	36–48 ч

В то же время если исследование необходимо для контроля заболевания или оценки реакции на лечение, то нет необходимости прекращать прием ингаляционных ЛС перед проведением спирометрии, при этом режим приема и дозы использованных ЛС должны быть указаны оператором в комментариях к данному исследованию.

В современных условиях особое внимание должно быть уделено неукоснительному соблюдению гигиенических мероприятий во избежание предотвращения передачи инфекции пациентам и персоналу во время проведения спирометрии [9–11, 25–26].

Перед работой с каждым новым пациентом оператор должен вымыть руки или использовать утвержденное дезинфицирующее средство для рук, то же самое он должен сделать сразу после непосредственного контакта с мундштуками, трубками, дыхательными клапанами или внутренними

поверхностями спирометра. Считается, что использование одноразовых перчаток не исключает необходимости мытья рук или дезинфекции, а для обследования каждого нового пациента требуется отдельная пара перчаток; ношение перчаток оператором также обязательно при наличии у него открытых ран и участков раздражения на руках.

Каждому ребенку перед исследованием также необходимо продезинфицировать руки.

Во время проведения спирометрии целесообразно использование одноразовых фильтров, мундштуков для спирометров и зажимов для носа. Все одноразовые предметы, включая фильтры, мундштуки, зажимы для носа и перчатки, должны быть утилизированы сразу после окончания сеанса тестирования, а оборудование должно подвергаться регламентированному производителем методам очистки и дезинфекции.

Дополнительные меры предосторожности необходимо предпринимать при проведении спирометрии у детей с муковисцидозом, туберкулезом и другими инфекционными заболеваниями, кровохарканьем, поражениями ротовой полости: с этой целью целесообразно резервирование отдельного оборудования для тестирования инфицированных пациентов или проведение тестирования таких больных в конце рабочего дня; по возможности рекомендуется обследование этих пациентов в их собственных палатах с соответствующей вентиляцией и дополнительной защитой оператора [9, 25, 26].

В детской практике особенно важно проведение спирометрии в тихой и дружелюбной комфортной обстановке, при достижении ребенком состояния физиологического покоя [9, 12–14]. Желательно, чтобы пациентам была доступна питьевая вода, при продуктивном кашле и гиперсаливации могут понадобиться бумажные салфетки. При выполнении спирометрии не следует извлекать ортодонтические пластинки для создания большей герметичности респираторного контура. Для пациентов, которые не могут использовать мундштук, применяется лицевая маска, что должно быть обязательно отражено в протоколе.

Перед спирометрией необходимо точно зафиксировать возраст, рост и вес ребенка (возраст и рост — с точностью до одного знака после запятой, вес — до ближайших 0,5 кг) [9–11]. Вес и рост пациента должны быть максимально точно измерены (в домашней одежде и без обуви). У пациентов, которые не могут стоять прямо, рост может быть оценен с использованием измерения длины локтевой кости (предпочтительно для детей) или размаха рук; во избежание ошибки длину локтевой кости следует измерять антропометром (табл. 2).

При расчете должных значений очень важно правильно указать пол и принадлежность к этнической группе.

В отличие от пациентов старше 18 лет, при оценке спирометрии которых в России чаще всего используются должные величины, опубликованные Рабочей группой по стандарти-

зации тестов дыхательной функции Европейского сообщества по углю и стали (ECSC) и Европейского респираторного общества (ERS) в 1993 г. [3] и Р. Ф. Клемента (1993) [27], для детей остаются актуальными должные величины, опубликованные А. Zapletal (1977 г., 4–17 лет) [4], R. J. Knudson (1983 г., 6–70 лет) [4] и И. С. Ширяевой (1990 г., 6–16 лет) [12], а для пациентов более младшего возраста рекомендованы должные, опубликованные М. Rosenthal в 1993 г. (4–19 лет) [28] или А. Zapletal в 2003 г. (3–6 лет) [4].

Кроме того, в 2012 г. группой ученых под руководством Р. Н. Quanjer в рамках Глобальной инициативы по изучению функции легких (GLI) были опубликованы должные значения для пациентов 3–95 лет с возможностью более точного учета межэтнических различий и оценки  $ОФВ_{0,75}$  и  $ОФВ_{0,75}/ФЖЕЛ$ , что особенно важно при обследовании детей и молодых пациентов с высокоэластичными легкими и малой продолжительностью форсированного выдоха [29, 30].

Помимо этого, во многих современных спирометрах существует возможность отображения получаемых результатов в виде так называемых Z-шкал (Z-score, англ.) — стандартизированной оценки меры отклонения от средней величины. Z-оценка — это величина относительного разброса измеренного значения, которая показывает, сколько стандартных отклонений составляет его разброс от относительного среднего значения. Z-оценка дает возможность интерпретировать результаты тестов независимо от возраста, роста, пола и этнической группы, и показывает, насколько вероятен результат в пределах результатов из нормальной популяции и насколько далеко он удален от прогнозируемого среднего значения; она полезна для отслеживания изменений в функции легких с ростом или лечением, а также для сравнения результатов функции легких, измеренных с помощью различных методов. К примеру, при нормальном распределении результаты, заключенные между  $Z = -1,96$  и  $Z = +1,96$ , содержат 95% всех случаев, а между  $Z = -2,576$  и  $Z = +2,576$  включают в себя 99% случаев [3, 5].

Во время проведения спирометрии ребенок должен сидеть прямо, слегка отведя плечи назад, с приподнятым подбородком; лучше всего для этого использовать стул с подлокотниками (во избежание падения в случае обморока), без колес, с регулировкой по высоте для обеспечения опоры на пол; для маленьких детей необходим низкий стул или взрослый стул со скамеечкой для ног [9].

Многочисленными исследованиями установлено, что результаты спирометрии, проводимой в положении «стоя», аналогичны тестам в положении «сидя» как для взрослых (в том числе с ожирением), так и для детей [31–35]. Следует учитывать, что для пациентов, не способных сидеть или стоять, спирометрия, выполненная в так называемом положении Фаулера (Fowler's position — с приподнятой головой и туловищем), дает более высокие значения, чем в положении лежа на спине. При этом для всех пациентов обязательно использование носового зажима, но при необходимости можно проводить и ручную окклюзию носа.

Для получения высококачественных данных о функции легких и достижения максимального результата необходимы не только высокоточные приборы [34–35] и пациент, способный выполнять приемлемые и воспроизводимые измерения, но и мотивированный специалист функциональной диагно-

Таблица 2

Формулы для определения роста пациента на основании длины локтевой кости

Пол	Формула для определения роста
Мальчики	Рост (см) = $4,605U^* + 1,308A^* + 28,003$
Девочки	Рост (см) = $4,459U^* + 1,315A^* + 31,485$

\* U — длина локтевой кости; A — возраст в годах.

стики, поскольку именно на него ложится вся ответственность за эффективное взаимодействие с ребенком, что требует сочетания обучения и опыта [36–39]. Задачей оператора также является фиксация в протоколе всех особенностей проведения спирометрии у конкретного пациента.

К основным фазам маневра определения форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) во время спирометрии относятся максимально полный вдох с быстрым достижением «пика», непрерывный полный выдох и повторный вдох до максимального легочного объема.

Как установлено, большая часть вариабельности результатов спирометрии связана с неадекватным и непостоянным вдохом до достижения уровня общей емкости легких (ОЕЛ), преждевременным прекращением выдоха и непостоянным усилием [9–11]. Поэтому так важно не только объяснить, но и показать ребенку выполнение правильного спирометрического маневра!

Перед спирометрией необходимо сообщить пациенту, что дыхание с максимальной амплитудой не является естественным, но оно необходимо для правильного исследования и требует значительных дополнительных усилий для достижения качественного и достоверного результата [9–11].

После определения уровня «нулевого потока» на дисплее спирометра по команде оператора ребенок должен обхватить мундштук и спокойно дышать через него. После этого оператор проверяет правильность осанки пациента, положение носового зажима и прилегание губ к мундштуку.

Оператор должен иметь возможность видеть пациента и дисплей тестового устройства во время проведения спирометрии и использовать активное словесное принуждение к максимально глубокому вдоху и максимально полному выдоху, а также доступные анимационные программы, облегчающие понимание поставленной перед ребенком задачи. Помимо этого, во время исследования необходимо следить за отсутствием кашля, преждевременного закрытия голосовой щели, утечки воздуха из носа или рта, а также обтурации мундштука.

Во время проведения спирометрии вдох должен быть быстрым, а пауза перед началом выдоха была минимальной (не более 2 секунд!), так как медленный вдох или задержка дыхания на 4–6 сек. на высоте общей емкости легких (ОЕЛ) перед выдохом значительно снижает пиковую скорость выдоха (ПСВ) и объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФV<sub>1</sub>).

Начало спирометрического теста (нулевая точка, от которой начинается измерение всех временных параметров спирометрии) определяется так называемым методом обратной экстраполяции. Согласно этому методу нулевая точка — это точка пересечения касательной линии к кривой «объем–время» до горизонтальной оси (рис. 1) [2, 5, 9–11].

Считается, что объем обратной экстраполяции ( $V_{O_3}$ ) не должен превышать 5% от форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) или 100 мл, так как увеличение  $V_{O_3}$  происходит при медленном начале маневра форсированного выдоха [5, 9–11]. Известно, что пациенты с обструкцией верхних дыхательных путей и нейромышечными заболеваниями часто не могут начать быстрый выдох, и  $V_{O_3}$  при этом может превышать этот лимит, о чем оператор должен сделать пометку в протоколе.

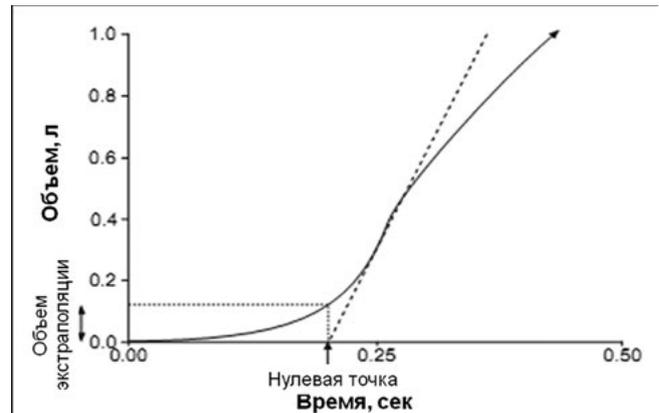


Рисунок 1. Вычисление объема обратной экстраполяции ( $V_{O_3}$ ) при проведении спирометрии

Для правильного измерения форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) необходимо корректное распознавание конца форсированного выдоха. Чаще всего прибор с помощью подсказок на графике «объем–время» или с помощью специальных анимационных программ сигнализирует о достижении конца форсированного выдоха при появлении так называемой фазы плато, когда скорость измеряемого потока воздуха становится менее 25 мл/сек., или при превышении времени форсированного выдоха более 15 секунд, что характерно для пациентов с выраженной обструкцией и пожилых людей.

Однако зачастую дети и подростки, у которых легкие высоко эластичны, а также пациенты с рестриктивными заболеваниями не могут удерживать «плато» выдоха даже в течение 1 секунды вследствие быстрого опорожнения легких, что можно распознать по выпуклому характеру графика «поток — объем» в отличие от раннего прекращения выдоха. При этом считается, что конец форсированного выдоха достигнут, если фиксируется одинаковая ФЖЕЛ в разных тестах согласно критериям воспроизводимости попыток [9–11].

При возникновении тревожных симптомов (одышка, цианоз или нарушение сознания — обморок и т.д.) исследование следует немедленно прекратить!

На сегодняшний день установлено, что при соответствующем обучении дети старше 2,5 лет с нормальными когнитивными и нейромоторными функциями уже могут выполнять приемлемую спирометрию [9–11]. Однако операторы, участвующие в тестировании функции легких у маленьких детей, должны быть специально обучены и компетентны для этой работы с использованием дружественной среды, поощрений, простых понятных инструкций и анимационных программ.

В целом задачей спирометрии является получение не менее трех приемлемых результатов ОФV<sub>1</sub> и ФЖЕЛ, причем эти результаты могут быть получены в разных попытках. Достижение воспроизводимости результатов — это надежный индикатор максимальных усилий пациента при выполнении спирометрии!

В целях получения качественных результатов спирометрии необходимо предоставлять достаточно времени между попытками для восстановления сил ребенка; к примеру, пациентам с выраженной мышечной слабостью рекомендуется отдыхать не менее 1 минуты перед каждым маневром форсированного выдоха.

Воспроизводимость ФЖЕЛ считается достигнутой, если разница между наибольшим и наименьшим результатами составляет для пациентов старше 6 лет менее 150 мл, или менее 10%, а для детей до 6 лет — менее 100 мл, или менее 10% (в зависимости от того, какой из этих параметров больше).

Воспроизводимость ОФВ<sub>1</sub> также считается достигнутой, если для пациентов старше 6 лет разница между наибольшим и наименьшим результатами составляет менее 150 мл, или менее 10%, а для детей до 6 лет — менее 100 мл, или менее 10% (в зависимости от того, какой из этих параметров больше) (табл. 3). Также при оценке спирометрии у детей младше 6 лет допустимо использование приемлемых или пригодных результатов измерения объема форсированного выдоха за первые 0,75 сек. — ОФВ<sub>0,75</sub> [9–11].

Если ребенок выполняет технически правильные попытки, то они считаются приемлемыми для составления спирометрического заключения ('acceptable maneuver' (англ.) — приемлемый маневр) [9, 40–41]. Однако некоторые пациенты в силу разных причин не могут выполнить технически правильно форсированный выдох; тогда лучшие выполненные маневры при определенных условиях могут считаться клинически полезными и пригодными к использованию ('usable maneuver' (англ.) — пригодный маневр).

Соотношение технически приемлемых и пригодных попыток лежит в основе оценки воспроизводимости маневров форсированного выдоха, которая в целом отражает качество проведенной спирометрической сессии (табл. 4), что должно быть отражено при формировании заключения [9–1, 40–41].

Задачей оператора является получение максимально качественного результата спирометрии для каждого конкретного пациента с учетом его индивидуальных особенностей. Если критерии оптимальной воспроизводимости не достигнуты в трех попытках, то можно провести дополнительные попытки. При этом взрослым пациентам рекомендуется проводить не более восьми измерений подряд, а вот количество повторных маневров у детей может быть и большим, но важно помнить, что снижение ОФВ<sub>1</sub> менее 80% от исходной требует немедленного прекращения дальнейших попыток!

Некоторые пациенты при многочисленных попытках не могут достигнуть воспроизводимости результатов спирометрии категории «А» (к примеру, из-за высокого кашлевого рефлекса или выраженной мышечной слабости), но и результаты спирометрии более низкого качества могут иметь клиническую значимость.

Маневры, которые не соответствуют ни одному из критериев воспроизводимости, не могут быть использованы для достоверного суждения о ФЖЕЛ, однако приемлемое измерение ОФВ<sub>1</sub> может быть получено с помощью маневра с ранним завершением через 1 секунду, а для детей в возрасте до 6 лет приемлемый объем форсированного выдоха в первые 0,75 сек. (ОФВ<sub>0,75</sub>) может быть получен с помощью маневра с ранним завершением через 0,75 секунды форсированного выдоха [9–11].

При проведении спирометрии у ребенка желательно зафиксировать хотя бы две приемлемые кривые «поток–объем», в которых ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> отличаются не более чем на 100 мл, или на 10% от максимальных значений [15]. Но даже при получении единственной кривой, удовлетворяющей техни-

Таблица 3  
Критерии качества спирометрического исследования

Параметры	Критерии приемлемости попыток		Критерии пригодности попыток	
	ОФВ <sub>1</sub>	ФЖЕЛ	ОФВ <sub>1</sub>	ФЖЕЛ
V <sub>0,75</sub> < 5% ФЖЕЛ, или < 100 мл (в зависимости от того, какой из этих параметров больше)	да	да	да	да
Без кашля в первую секунду выдоха*	да	нет	да	нет
Без закрытия голосовой щели в первую секунду выдоха*	да	да	да	да
Соответствие хотя бы одному критерию окончания форсированного выдоха: — «плато» (V выдоха < 25 мл/сек.); — время выдоха ≥ 15 сек.; — ФЖЕЛ соответствует критериям воспроизводимости или превышает ранее определенную ФЖЕЛ в текущем тестировании	нет	да	нет	нет
— без признаков обтурации мундштука или спирометра	да	да	нет	нет
— без признаков утечки воздуха	да	да	нет	нет
— если после форсированного выдоха ФЖЕЛ вдоха превышает ФЖЕЛ выдоха более чем на 100 мл, или 5% ФЖЕЛ (в зависимости от того, что больше)	да	да	нет	нет

\*Для детей в возрасте до 6 лет возможно использовать приемлемое или пригодное измерение ОФВ<sub>0,75</sub> без закрытия голосовой щели или кашля.  
**Критерии воспроизводимости:** разница между наибольшими ФЖЕЛ и между двумя наибольшими ОФВ<sub>1</sub> ≤ 150 мл, или ≤ 10% (до 6 лет — ≤ 100 мл, или ≤ 10% — в зависимости от того, какой из этих параметров больше).  
V<sub>0,75</sub> — объем обратной экстраполяции, ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких, ОФВ<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за 1 сек.; ОФВ<sub>0,75</sub> — объем форсированного выдоха за первые 0,75 сек.

Таблица 4  
Критерии оценки воспроизводимости форсированного выдоха при спирометрии (ОФВ<sub>1</sub> и ФЖЕЛ оцениваются раздельно)

Категория качества	Количество маневров	Воспроизводимость (> 6 лет)	Воспроизводимость (< 6 лет)
A	≥ 3 приемл.	≤ 0,15 л	≤ 0,1 л, или 10% max знач.*
B	2 приемл.	≤ 0,15 л	≤ 0,1 л, или 10% max знач.*
C	≥ 2 приемл.	≤ 0,2 л	≤ 0,15 л, или 10% max знач.*
D	≥ 2 приемл.	≤ 0,25 л	≤ 0,2 л, или 10% max знач.*
E	≥ 2 приемл. или 1 приемл.	> 0,25 л не касается	> 0,2 л, или 10% max знач.* не касается
U	0 приемл. и ≥ 1 пригодных	—	—
F	0 приемл. и 0 пригодных	—	—

\* В зависимости от того, что больше.  
ОФВ<sub>1</sub> — объем форсированного выдоха за 1 секунду,  
ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких.

ческим требованиям, она может использоваться для анализа, однако в протоколе исследования должны быть отражены число технически удовлетворительных маневров и степень воспроизводимости результатов [40–41].

Считается, что впервые проводимое спирометрическое исследование у каждого пациента с целью диагностики всегда должно включать в себя пробу с бронхолитиком, а объем последующих исследований зависит от клинической ситуации [9–11].

Бронходилатационный тест — это оценка степени улучшения проходимости дыхательных путей в ответ на введение бронходилататора, определяемой по изменениям  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ.

Принцип бронхолитической пробы заключается в сравнении спирометрических показателей до и после ингаляции бронхолитика. У детей рекомендуется использовать ингаляции  $\beta_2$ -агониста короткого действия (сальбутамол или фенотерол в дозированном аэрозольном ингаляторе (ДАИ), 100 мкг в 1 дозе) через спейсер (у маленьких детей — через спейсер с маской) с оценкой бронходилатационного ответа через 15 минут; разовая доза препарата выбирается в зависимости от возраста ребенка: до 7 лет — 1 доза, 8–12 лет — 2 отдельные дозы с интервалом в 30 секунд, в возрасте 12–15 лет — 3 отдельные дозы, у подростков старше 15 лет, как и у взрослых, используются 4 отдельные дозы короткодействующего  $\beta_2$ -адреномиметика [9–11, 12–15].

При наличии противопоказаний к приему  $\beta_2$ -агонистов короткого действия (плохая переносимость в анамнезе, сопутствующая сердечная недостаточность и т. д.) показано использование антихолинергических препаратов (к примеру, ипратропия бромид в дозированном аэрозольном ингаляторе (ДАИ), 20 мкг в 1 дозе) через спейсер (по показаниям — с маской) с оценкой бронходилатационного ответа через 45 мин.; у детей до 7 лет используется 1 доза, 8–12 лет — 2 отдельные дозы, пациентам 12–15 лет — 3 дозы, лицам старше 15 лет — 4 дозы М-холинолитика. Использование разных бронхолитических препаратов проводится в разные дни.

В ходе бронхолитической пробы проводится сравнительная оценка  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ до и после теста. Тест рассматривается как положительный в случае прироста  $ОФВ_1$  и/или ФЖЕЛ не менее чем на 12% и/или на 200 мл по сравнению с исходным значением [9–11].

Проба с бронхолитиком считается технически правильной, если будет получено не менее трех технически правильных измерений  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ до и после ингаляции лекарственного препарата, при этом максимальные значения  $ОФВ_1$  и ФЖЕЛ могут быть взяты из разных приемлемых попыток.

Изолированная оценка жизненной емкости легких (ЖЕЛ) выполняется сравнительно редко из-за ограниченной диагностической значимости и отсутствия обновленных должных значений [9–11, 42–43]. Однако она может быть весьма информативна у детей с выраженной мышечной слабостью и значимыми деформациями грудной клетки.

Базовая (т.н. медленная) спирометрия должна выполняться перед исследованием форсированного выдоха из-за потенциально большей утомляемости после выполнения форсированного выдоха и явления «воздушной ловушки», которое может возникнуть у пациентов с тяжелой обструкцией [9–11, 42–43].

Жизненную емкость легких (ЖЕЛ) можно измерить во время спокойного глубокого вдоха или спокойного глубокого выдоха (рис. 2). В целом измерение ЖЕЛ является нефорсированным исследованием, за исключением момента, когда достигается уровень остаточного объема легких (ООЛ), что требует дополнительных усилий исследуемого и достижения так называемого плато, когда скорость выдоха составляет менее 25 мл/сек., как и в маневре форсированного выдоха [9–11, 42–43].

Во время проведения оценки ЖЕЛ также необходимо следить за отсутствием утечки воздуха из носа или рта и обтурации мундштука, достаточностью скорости вдоха, отсутствием преждевременного закрытия голосовой щели, а также стремиться к получению не менее трех удовлетворительных измерений ЖЕЛ, при которых разница между наибольшими значениями ЖЕЛ не должна превышать 150 мл, или 10% (в зависимости от того, что меньше), а для детей младше 6 лет — не более 100 мл, или  $\leq 10\%$ . (табл. 5).

При проведении спокойной спирометрии у детей также полезно определять емкость вдоха ( $E_{вд}$ ) — количество воздуха, которое можно набрать в легкие с уровня конца выдоха при спокойном дыхании, то есть с уровня функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ), до пика вдоха (уровень ОЕЛ) (рис. 2); емкость вдоха также представляет собой сумму дыхательного объема (ДО) и резервного объема вдоха ( $PO_{вд}$ ).  $E_{вд}$  анализируется как среднее значение из удовлетворительных маневров определения ЖЕЛ. В целом по величине  $E_{вд}$  можно косвенно судить о величине легочной гиперинфляции в покое, что может использоваться при оценке изменения ФОЕ на фоне проводимого лечения или реабилитации [9–11, 42–43].

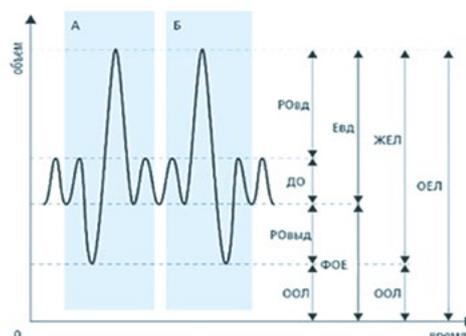


Рисунок 2. Емкости и объемы легких. (А — измерение ЖЕЛ вдоха, Б — измерение ЖЕЛ выдоха). ДО — дыхательный объем,  $PO_{вд}$  — резервный объем вдоха,  $PO_{выд}$  — резервный объем выдоха, ООЛ — остаточный объем легких, ФОЕ — функциональная остаточная емкость,  $E_{вд}$  — емкость вдоха, ЖЕЛ — жизненная емкость легких, ОЕЛ — общая емкость легких

Таблица 5  
Критерии оценки качества измерения жизненной емкости легких (ЖЕЛ)

Критерии правильности	Критерии воспроизводимости
— нет утечки воздуха на уровне рта/носа	$\geq 3$ удовлетворительных измерений ЖЕЛ
— нет обтурации мундштука во время исследования	— разница между двумя самыми большими значениями ЖЕЛ $\leq 150$ мл, или $\leq 10\%$ (в зависимости от того, что меньше) (для детей <6 лет: $\leq 100$ мл, или $\leq 10\%$ )
— достаточная скорость вдоха	
— нет преждевременного закрытия голосовой щели	

ЖЕЛ — жизненная емкость легких.

При формировании спирометрического заключения необходимо с большим вниманием относиться к индивидуальным особенностям выполнения спирометрических процедур, учитывая возрастные особенности детей и возможность постепенного формирования навыков качественного выполнения спирометрии при повторных попытках в ходе динамического наблюдения [44].

Необходимо подчеркнуть, что спирометрия в детском возрасте остается очень востребованной методикой и является высокоинформативной, быстровыполнимой, надежной и безопасной процедурой только при условии использования высокоточного оборудования, неукоснительного соблюдения рекомендованных условий проведения и требований безопасности, а также специальной подготовки мотивированных медицинских сотрудников.

**Список литературы / Reference**

1. American Thoracic Society. Standardization of spirometry, 1994 update. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;152:1107–1136.
2. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V. et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005;26:319–338.
3. Miller M.R., Crapo R., Hankinson J., Brusasco V., Burgos F., Casaburi R. et al.; ATS/ERS Task Force. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J* 2005;26:153–161.
4. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:948–968.
5. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю., Черняк А.В., Калманова Е.Н. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. *Пульмонология*. 2014;6:11–24.
6. Чучалин А.Г. (ред.) Функциональная диагностика в пульмонологии. — М.: Атмосфера, 2009. 183 с.
7. Стручков П.В., Дроздов Д.В., Лукина О.Ф. Спирометрия: руководство для врачей / 2-е изд., испр. и доп. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 112 с.
8. Савушкина О.И., Черняк А.В. Легочные функциональные тесты: от теории к практике. Руководство для врачей. — М.: ООО «Фирма СТРОМ», 2017. 192 с.
9. 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):70–88.
10. Кирюхина Л.Д., Стручков П.В. Стандартизация спирометрии: что нового в обновлении 2019 года. Часть 1. Медицинский алфавит. Серия «Современная функциональная диагностика». 2020;9(423):9–14.
11. Кирюхина Л.Д., Стручков П.В. Стандартизация спирометрии: что нового в обновлении 2019 года. Часть 2. Медицинский алфавит. 2020;(14):10–18.
12. Савельев Б.П., Ширяева И.С. Функциональные параметры системы дыхания у детей и подростков. Руководство для врачей. — М.: «Медицина», 2001. 231 с.
13. Лукина О.Ф. Особенности исследования функции внешнего дыхания у детей и подростков. *Практическая пульмонология*. 2017;4:39–44.
14. Мизерницкий Ю.А., Цыпенкова С.Э., Мельникова И.М. Современные методы оценки функционального состояния бронхолегочной системы у детей. — М.: Медпрактика-М, 2012. 176 с.
15. Beydon N., Davis S.D., Lombardi E. et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175(12):1304–1345.
16. Kozłowska W.J., Aurora P. Spirometry in the pre-school age group. *Paediatr Respir Rev* 2005;6:267–272.
17. Seed L., Wilson D., Coates A.L. Children should not be treated like little adults in the PFT lab. *Respir Care* 2012;57:61–70.
18. American Thoracic Society; European Respiratory Society. ATS/ERS statement: raised volume forced expirations in infants: guidelines for current practice. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:1463–1471.

19. Kirby J., Welsh L., Lum S., Fawke J., Rowell V., Thomas S. et al.; EPICure Study Group. The EPICure study: comparison of pediatric spirometry in community and laboratory settings. *Pediatr Pulmonol* 2008;43:1233–1241.
20. Gochicoa-Rangel L., Vargas-Dominguez C., Garcia-Mujica M.E., Bautista-Bernal A., Salas-Escamilla I., Perez-Padilla R. et al. Quality of spirometry in 5-to-8-year-old children. *Pediatr Pulmonol* 2013;48:1231–1236.
21. Crenesse D., Berlioz M., Bourrier T., Albertini M. Spirometry in children aged 3 to 5 years: reliability of forced expiratory maneuvers. *Pediatr Pulmonol* 2001;32:56–61.
22. Piccioni P., Borraccino A., Forneris M.P., Migliore E., Carena C., Bignamini E. et al. Reference values of forced expiratory volumes and pulmonary flows in 3–6 year children: a cross-sectional study. *Respir Res* 2007; 8:14.
23. Roberts C., Ward S., Walsted E., Hull J.H. Safety of pulmonary function testing: data from 20 years. *Thorax* 2018;73:385–387.
24. Cooper B.G. An update on contraindications for lung function testing. *Thorax* 2011;66:714–723.
25. Kendrick A.H., Johns D.P., Leeming J.P. Infection control of lung function equipment: a practical approach. *Respir Med* 2003;97:1163–1179.
26. Pittet D., Allegranzi B., Boyce J. World Health Organization World Alliance for Patient Safety First Global Patient Safety Challenge Core Group of Experts. The World Health Organization guidelines on hand hygiene in health care and their consensus recommendations. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2009; 30:611–622.
27. Клемент П.Ф., Зильбер Н.А. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии: метод. рек. — СПб., 1993. 47 с.
28. Rosenthal M., Bain S.H., Cramer D., Helms P., Denison D., Bush A., Warner J.O. Lung function in white children aged 4 to 19 years: I-Spirometry. — *Thorax*, 1993, Aug; 48(8):794–802.
29. Quanjer P.H., Hall G.L., Stanojevic S., Cole T.J., Stocks J. Global Lungs Initiative. Age- and height-based prediction bias in spirometry reference equations. *Eur Respir J* 2012;40:190–197.
30. Quanjer P.H., Stanojevic S., Cole T.J., Baur X., Hall G.L., Culver B.H. et al. ERS Global Lung Function Initiative. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the Global Lung Function 2012 equations. *Eur Respir J* 2012;40:1324–1343.
31. Gauld L.M., Kappers J., Carlin J.B., Robertson C.F. Height prediction from ulna length. *Dev Med Child Neurol* 2004;46:475–480.
32. Braun L., Wolfgang M., Dickersin K. Defining race/ethnicity and explaining difference in research studies on lung function. *Eur Respir J* 2013;41:1362–1370.
33. Swamy K., Irsoff C., Mhanna M.J., Chouksey A.K. Effect of sitting vs standing posture on spirometry in children. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2016;117:94–96.
34. Pal A.K., Tiwari S., Verma D.K. Effect of recumbent body positions on dynamic lung function parameters in healthy young subjects. *J Clin Diagn Res* 2017; 11: CC08–CC10.
35. Katz S., Arish N., Rokach A., Zaltzman Y., Marcus E.L. The effect of body position on pulmonary function: a systematic review. *BMC Pulm Med* 2018;18:159.
36. Redlich C.A., Tarlo S.M., Hankinson J.L., Townsend M.C., Eschenbacher W.L., Von Essen S.G., et al. American Thoracic Society Committee on Spirometry in the Occupational Setting. Official American Thoracic Society technical standards: spirometry in the occupational setting. *Am J Respir Crit Care Med* 2014;189:983–993.
37. Wanger J., Mottram C. ATS pulmonary function laboratory management and procedure manual, 3rd ed. New York: American Thoracic Society; 2016: 244.
38. Haynes J.M. Quality assurance of the pulmonary function technologist. *Respir Care* 2012;57:114–122.
39. Stoller J.K., McCarthy K. Benefits of a modified spirometry technique. *Eur Respir J* 2007;30:813–814.
40. Haynes J.M., Kaminsky D.A. The American Thoracic Society/European Respiratory Society acceptability criteria for spirometry: asking too much or not enough? — *Respir Care* 2015; 60: e113–e114.
41. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Spirometry quality assurance: common errors and their impact on test results. Washington, DC: NIOSH; 2012 [accessed 2019 May 5] DHHS (NIOSH) Publication No 2012–116. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-116/pdfs/2012-116.pdf>
42. Wanger J., Clausen J.L., Coates A., Pedersen O.F., Brusasco V., Burgos F. et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J* 2005; 26:511–522.
43. Weiner D.J., Fomo E., Sullivan L., Weiner G.A., Kurland G. Subjective and objective assessments of flow-volume curve configuration in children and young adults. *Ann Am Thorac Soc* 2016; 13:1089–1095.
44. Culver B.H., Graham B.L., Coates A.L., Wanger J., Berry C.E., Clarke P.K. et al. ATS Committee on Proficiency Standards for Pulmonary Function Laboratories. Recommendations for a standardized pulmonary function report: an Official American Thoracic Society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 196:1463–1472.

Статья поступила / Received 05.02.21  
 Получена после рецензирования / Revised 09.02.21  
 Принята к публикации / Accepted 15.03.21

**Сведения об авторах**

**Дьякова Светлана Эвальдовна**, к.м.н., врач функциональной диагностики, <https://orcid.org/0000-0002-3445-4903>  
 НИКИ педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева ФГАОУ ВО «РНМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России  
**Автор для переписки:** Дьякова Светлана Эвальдовна.  
 E-mail: svetlanadjak@rambler.ru

**About authors**

**S. E. Dyakova**, <https://orcid.org/0000-0002-3445-4903>  
 Scientific Research Institute of Pediatrics named after academician Yu. Veltitshev FGAOU VO RNIMU them. N.I. Pirogov, Ministry of Health of Russia  
**Corresponding author:** Dyakova S. E.  
 E-mail: svetlanadjak@rambler.ru

**Для цитирования:** Дьякова С.Э. Современные требования к проведению спирометрии у детей. *Медицинский алфавит*. 2021; (5):50–56. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-5-50-56>

**For citation:** Dyakova S. E. Modern requirements for spirometry in children. *Medical alphabet*. 2021; (5):50–56. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-5-50-56>

