

Содержание

Участники издания	5
Предисловие	6
От авторов	7
Список сокращений	9
1. История изучения показателей внешнего дыхания	10
2. Основы физиологии и патофизиологии внешнего дыхания. Обструктивный и рестриктивный синдромы	14
2.1. Строение органов дыхания	14
2.2. Механизмы газообмена в легких	18
2.3. Дыхательная недостаточность	19
3. Легочные объемы и емкости. Оценка функциональной остаточной емкости легких	23
4. Показатели легочной вентиляции: ЧД, МОД, МАВ, пробы ФЖЕЛ, МВЛ. Понятие о поглощении кислорода и эффективности вентиляции	30
4.1. Понятие мертвого пространства	31
4.2. Проба ФЖЕЛ	33
4.3. Проба максимальной вентиляции легких	36
4.4. Потребление кислорода и оценка эффективности вентиляции .	36
5. Кривая поток–объем форсированного выдоха, основные показатели	38
6. Тест с форсированным вдохом. Подходы к выявлению обструкции верхних дыхательных путей	42
7. Технические аспекты спирометрии	46
7.1. Основные типы спирометров	46
7.2. Требования к спирометрам	49
7.3. Калибровка	51
7.4. Коррекция результатов измерений	52
8. Подготовка к исследованиям, обслуживание аппаратуры	54
9. Методика проведения спирометрии. Маневры ЖЕЛ и ФЖЕЛ	57

10. Должные величины	65
11. Оценка спирометрических показателей	70
12. Критерии качества и дефекты исследования	75
13. Бронходилатационные тесты	86
14. Бронхопровокационные тесты	89
15. Проведение спирометрии у детей	95
16. Примеры заключений спирометрических исследований	100
А. Обозначения основных параметров ВД	114
Б. Сопоставление изменения спирометрических показателей по z -оценке и в процентах к должной величине	116
В. Техника проведения спирометрии	118
Г. Калькулятор должных величин спирометрии	123
Литература	124

Предисловие

Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики приветствует выход в свет уже пятого издания практического руководства по спирометрии. Исследование внешнего дыхания многогранно, но современное спирометрическое исследование является наиболее массовым и востребованным методом функциональной диагностики болезней органов дыхания. Тем важнее публикация краткого современного руководства, ориентированного на практическую работу. Быстро разошедшиеся издания 2015, 2018, 2020 и 2023 г. выявили большой интерес к ним читателей и побудили авторов к подготовке пятого, переработанного и дополненного издания.

Книга содержит краткие сведения по клинической физиологии дыхания, подробное изложение спирометрических показателей, описание методики спирометрии, ошибок при проведении и контроле качества исследования, технических аспектов, методику проведения бронходилатационных и бронхоконстрикторных тестов, особенности спирометрии у детей, примеры заключений. Особое внимание уделяется стандартизации подходов к проведению исследования, оценке результатов и формулированию заключений. Учтены новые международные стандарты 2019 и 2022 г. Рассмотрены примеры использования разных систем должных величин и способов оценки результатов. Книга имеет небольшой объем, но краткость изложения не нарушила его цельности и всестороннего описания методики спирометрии. Значительное количество иллюстраций делает руководство максимально наглядным и удобным для практической деятельности.

Работа написана известными специалистами в области функциональной диагностики внешнего дыхания: профессором П.В. Стручковым, канд. мед. наук Д.В. Дроздовым — специалистом в области технических аспектов функциональной диагностики, д-ром мед. наук М.Ю. Каменевой — одним из ведущих в нашей стране специалистов в области функциональной диагностики дыхания, профессором О.Ф. Лукиной — ведущим в стране специалистом в области функциональной диагностики болезней органов дыхания у детей.

Книга может быть рекомендована в качестве руководства для врачей функциональной диагностики, пульмонологов, терапевтов, педиатров, может также использоваться в качестве учебного пособия для постдипломного образования.

*Президент РАСФД,
доктор медицинских наук, профессор
Наталья Фёдоровна Берестень*

От авторов

Главный мотив авторов книги — помочь врачам, которые в повседневной работе сталкиваются с проведением спирометрии и оценкой ее результатов. Несмотря на наличие обширной литературы по клинической физиологии дыхания и функциональной диагностике заболеваний дыхательной системы, судя по нашему опыту общения со специалистами, ощущается явный дефицит изданий, адресованных именно *практикующим* врачам. По этой причине мы сочли целесообразным предложить читателям книгу, максимально ориентированную на *практику выполнения рутинных исследований*.

В 2015 г. такая книга была выпущена издательством «ГЭОТАР-Медиа». Она была отлично встречена читателями и быстро разошлась. Для того чтобы книга сохраняла свою актуальность, во втором издании 2018 г. была переработана часть материала книги. Основные изменения коснулись глав 10 и 11, в которые были добавлены материалы по новой системе должных величин GLL-2012. Было существенно увеличено количество клинических примеров в главе 16, в том числе приведены примеры исследования у спортсменов. В третьем издании учтены требования стандартов ATS/ERS 2019 г. В четвертом издании уточнены и расширены рекомендации по оценке качества спирометрического исследования и правильной интерпретации результатов. В настоящем, пятом издании приведены последние международные рекомендации по интерпретации функциональных легочных тестов 2022 г., рассмотрены варианты построения заключений по результатам спирометрии.

В основе руководства лежит лекционный материал кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики Академии постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России (ректор — профессор А.В. Троицкий). Но эта книга — не учебник, а в значительной степени систематическое изложение развернутых ответов на типичные или наиболее сложные вопросы слушателей кафедры.

Основная цель публикации книги — *повысить качество* проведения спирометрии, уменьшить количество ошибок при проведении исследований и интерпретации результатов. Для этого потребовалось кратко изложить сведения по клинической физиологии дыхания и истории изучения легочных функций, а также некоторые технические аспекты.

Важно подчеркнуть, что приводимые в книге рекомендации не привязаны к конкретному спирометрическому оборудованию и могут использоваться в качестве ориентира при работе с любыми приборами.

Мы надеемся, что обновленное руководство по спирометрии окажется полезным практикующим врачам функциональной диагностики, пульмонологам, терапевтам и другим медицинским специалистам, имеющим отношение к этому методу. Материал может быть использован студентами медицинских специальностей и специалистами по обслуживанию медицинской техники.

Авторы с благодарностью примут отзывы, замечания и пожелания по улучшению книги.

П.В. Стручков, Д.В. Дроздов, М.Ю. Каменева, О.Ф. Лукина
Москва, март 2025 г.

10. Должные величины

Должные величины (ДВ) — статистически наиболее вероятные результаты спирометрии у здорового человека. Эти показатели коррелируют с данными обследованных лиц: расой, полом, ростом и возрастом, однако практически не зависят от других факторов [27].

ДВ могут приводиться в виде таблиц или номограмм, но могут быть рассчитаны, если известны данные пациента. Для этого в большинстве «традиционных» систем ДВ применяют формулы линейной регрессии:

$$ДВ = k_1 Рост + k_2 Возраст + k_3,$$

где $k_{1,2,3}$ — коэффициенты для каждого отдельного параметра (*ЖЕЛ*, *ФЖЕЛ*, *ОФВ₁* и т. п.), которые зависят от популяции, на которой они были получены, и пола обследуемого. Поскольку с возрастом объемные и скоростные показатели ВД претерпевают динамику (см. рис. 9), увеличиваясь приблизительно до 25 лет, а затем плавно снижаясь, то для разных возрастных групп k_2 будет иметь разное значение и отрицательную величину для возраста старше приблизительно 25 лет.

Как правило, для каждого показателя у взрослых приводятся четыре группы коэффициентов: по две для мужчин и для женщин в возрастных группах старше и моложе 25 лет.

У детей ДВ в наибольшей степени зависят от роста и меньше — от возраста и пола. Это учитывается в соответствующих уравнениях.

В системе ДВ GII-2012 используется более сложное уравнение:

$$ДВ = e^a \cdot H^b \cdot A^c \cdot e^{d \cdot group} \cdot e^{spline},$$

где e — основание натурального логарифма; H — рост, см; A — возраст, годы, с точностью до десятых; a, b, c, d — коэффициенты; $group$ — этническая группа, 1 или 0; $spline$ — поправка для наилучшего сглаживания кривой в зависимости от возраста [31].

Это уравнение лучше отражает возрастную динамику показателей ВД и не имеет перелома, характерного для линейной аппроксимации должной величины (рис. 23). Несмотря на относительную сложность формулы, расчеты автоматически выполняются спирометрами или специальными калькуляторами. Также имеются средства для вычисления ДВ по GII-2012 для персональных компьютеров [22], которые можно использовать для любого прибора. При разработке системы ДВ GII-2012 были использованы современные статистические методы, учитывающие гетерогенность изменчивости параметров ВД в зависимости от пола, возраста, расы обследованных лиц.

Разработка систем ДВ — длительный и трудоемкий процесс, требующий обследования больших репрезентативных выборок практически здоровых некурящих лиц в широком диапазоне возрастов и скрупулезного статистического анализа полученных данных. Так, при разработке системы ДВ GLI-2012 были обработаны данные более 160 тыс. практически здоровых некурящих лиц, которые наблюдались в 33 странах в 72 медицинских центрах [31]. Были обследованы лица европеоидной (кавказской, белой) расы, афроамериканцы, представители северной и юго-восточной азиатской расы в возрасте от 3 до 95 лет.

Разработаны несколько десятков систем ДВ [27], однако не все из них широко используются и применимы к популяции жителей России. Наиболее известными и применяемыми в нашей стране являются системы нормативов Р.Ф. Клемента и соавт. (Санкт-Петербург) [6] с модификациями для детей [11], R.J. Knudson, Европейского сообщества стали и угля (ECSC) [27].

При работе со спирометрами зарубежного производства необходимо уточнить, какая система ДВ в них используется и возможен ли выбор одной из указанных выше систем. Особенно это важно для спирометров, произведенных в Азии (Япония, Корея, Китай, другие страны), поскольку ДВ для представителей азиатских народов значительно отличаются от европейских.

Известно, что различия одной и той же величины, например ЖЕЛ или ФЖЕЛ, между разными системами ДВ могут превышать 15% (физиологическую вариабельность параметров ВД) [27, 29]. Это необходимо учитывать при оценке динамики спирометрических показателей. Оценки результатов спирометрии в разных системах ДВ вполне могут оказаться различными, что может

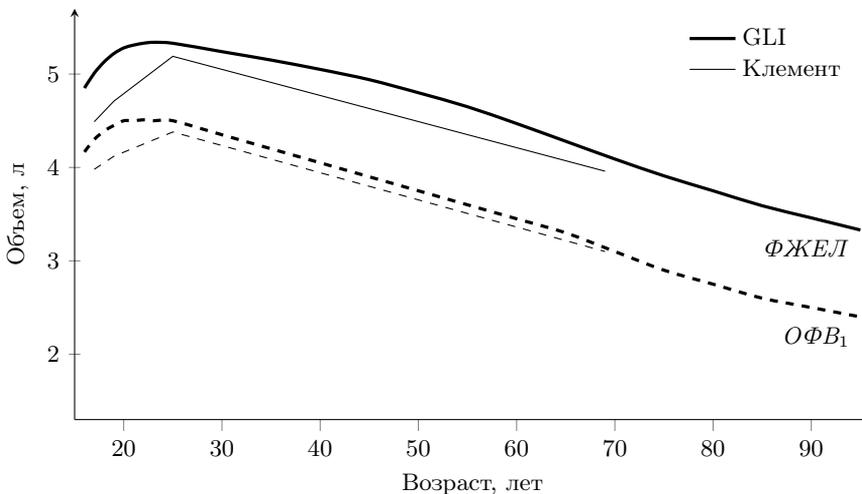


Рис. 23. Сопоставление должных величин GLI-2012 и Р.Ф. Клемента и соавт. Зависимость ФЖЕЛ и ОФВ₁ от возраста для мужчины европеоидной расы с ростом 175 см.

Таблица 4. Допустимые диапазоны возраста и роста пациентов в некоторых системах ДВ показателей ВД

Система	Пол	Допустимый диапазон	
		Возраст, лет	Рост, см
Клемент Р.Ф. и соавт., 1986	Мужчины	6–17	100–199
		18–70	150–196
	Женщины	6–17	100–199
		18–70	140–186
ECSC-1993	Мужчины	18–70	155–195
	Женщины	18–70	145–180
Knudson	Мужчины	6–11	110–155
		12–25	138–200
		26–85	151–200
	Женщины	6–10	105–148
		11–20	130–185
		21–85	144–180
GLI-2012	Мужчины	3–95	До 225
	Женщины	3–95	—

привести к заблуждениям относительно динамики состояния пациента и диагностическим ошибкам.

Как видно из рис. 24, ДВ индекса $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, равная 0,7 (70%), значения ниже которой обычно принимаются как признак бронхиальной обструкции (Клинические рекомендации по ХОБЛ, 2023 г.), пересекает кривую нижней границы индекса в возрасте около 40 лет. Это означает, что для лиц моложе 40 лет индекс $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ в норме имеет значения больше 0,7, в то время как у более старших становится меньше 0,7. Поэтому использование единого порогового значения индекса $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, равного 0,7, как признака бронхиальной обструкции приводит к гиподиагностике у относительно молодых и к гипердиагностике у лиц старше 40 лет. Учет возрастной динамики НГН индекса $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ необходим для правильной диагностики бронхиальной обструкции у лиц разного возраста. Это учитывается в современных подходах к анализу спирометрических показателей по z-оценке.

Системы ДВ могут различаться по числу параметров, для которых в ней приведены нормативы. В большинстве систем имеются ДВ для $ЖЕЛ$, $ФЖЕЛ$, $ОФВ_1$, индексов $ОФВ_1/ЖЕЛ$ или $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, $ПОС$, $МОС_{25}$, $МОС_{50}$, $МОС_{75}$, в некоторых системах дополнительно $СОС_{25-75}$. Сопоставления именно этих параметров с ДВ достаточно для клинической интерпретации результатов рутинных исследований ВД.

ДВ GLI-2012 включают нормативы для $ФЖЕЛ$, $ОФВ_1$, $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, $СОС_{25-75}$, $МОС_{75}$; для детей в возрасте до 6 лет дополнительно имеются нормативы для $ОФВ_{0,75}$ (объем форсированного выдоха за первые 0,75 с) и $ОФВ_{0,75}/ФЖЕЛ$.

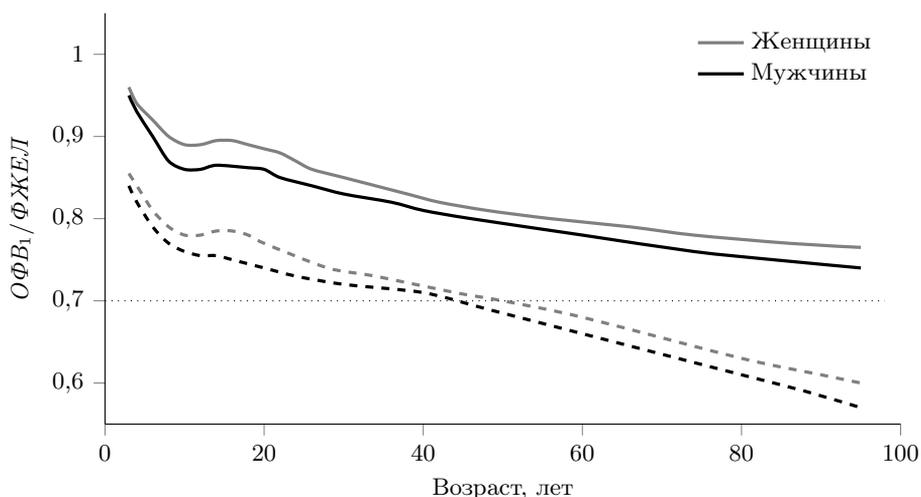


Рис. 24. Изменение должного значения индекса $OФВ_1/ФЖЕЛ$ с возрастом. Черным выделены кривые у мужчин, более светлые — у женщин. Сверху — средние значения индекса в зависимости от возраста, снизу — НГН этого индекса. Горизонтальная пунктирная линия соответствует значению индекса, равному 0,7 (70%) [30].

Системы ДВ могут включать разное число показателей. Поэтому результаты обследования пациента могут различаться в терминах «процентов от должных» при переключении системы ДВ.

Каждая система ДВ характеризуется диапазонами возраста и роста пациентов, к которым она применима (табл. 4). Это существенно, поскольку при выходе роста или возраста пациента за пределы этих диапазонов ДВ либо не будет рассчитана, либо полученное значение, корректное с математической точки зрения, может иметь значительную ошибку. Причина ошибки заключается в том, что расчеты по уравнениям регрессии статистически корректны лишь в пределах изменения независимых факторов (возраст, рост) в группах пациентов, обследованных при разработке системы ДВ.

При обследовании пациентов старше, чем предельный возраст, для которого имеются ДВ, в качестве исключения допускается использование должных для самого старшего возраста в системе. Это обстоятельство обязательно необходимо указать в протоколе исследования или использовать ДВ GLI-2012.

Сравнение спирометрических заключений с использованием различных систем должных величин

Ниже рассматривается сравнение трех систем ДВ (Р.Ф. Клемент и соавт., ESCS и R.J. Knudson) с системой GLI-2012. Как было сказано выше, система GLI-2012 имеет наиболее широкий диапазон значений возраста пациентов (от 3 до 95 лет) и роста (до 225 см). Это позволяет использовать систему GLI-2012

у лиц старшего возраста (старше 70 лет, что лимитируется тремя первыми системами) и большего роста (более 200 см). Сравнение ДВ, рассчитываемых с использованием этих систем, показало следующее [13].

1. За счет более высоких значений ДВ *ФЖЕЛ* и *ОФВ₁* система GLI-2012 более «жесткая» по сравнению с остальными, однако она же имеет и более широкий диапазон допустимой нормы.
2. Наоборот, должные скоростных показателей в GLI-2012 меньше, чем в трех других.
3. Нижняя граница нормы *ОФВ₁/ФЖЕЛ* нередко принимается как 70% для взрослых и пожилых и около 80% для молодых лиц, без индивидуального учета возраста пациента. И хотя в трех системах приводятся формулы расчета этого показателя с учетом возраста, но это врачами не всегда учитывается. Система GLI-2012 дает индивидуальный нижний предел для этого показателя, например для молодых людей ориентировочно 75–90%, а для лиц старше 60 лет — 60–80%. Следует отметить, что значения верхней и нижней границ этого «коридора» индивидуальны. Поэтому оценка степени отклонений показателя *ОФВ₁/ФЖЕЛ* по GLI-2012 более объективна.
4. Клиническая оценка спирометрических показателей с использованием должных по Р.Ф. Клементу и соавт., R.J. Knudson, ECSC-1993 и по GLI-2012 может приводить к разной интерпретации результатов исследования, что может привести к разным клиническим заключениям. По-видимому, наиболее часто это возможно вблизи границы смежных диапазонов. Например, обструктивные нарушения, не выявляемые тремя первыми системами у молодых людей, могут быть выявлены системой GLI-2012. Наоборот, обструктивные нарушения по трем первым системам у пожилых людей могут соответствовать норме по GLI-2012.

Таким образом, при описании спирометрического исследования необходимо обязательно указывать систему должных величин, на основании которой делается заключение. Использование разных систем должных в разное время у одного пациента может привести к демонстрации ложной динамики состояния функции вентилиации. Расчет должных значений по системе GLI-2012 возможен, например, с помощью специального калькулятора, устанавливаемого на компьютер с сайта Европейского респираторного общества [18].

Расчет должных значений по системе GLI-2012 возможен с помощью специальных калькуляторов, устанавливаемых на компьютер или смартфон. Такие приложения можно найти в сети Интернет, например [18]. Удобным калькулятором может служить разработанный под руководством М. Ю. Каменевой калькулятор, имеющийся в сети Интернет: <http://spirolan.ru/spirocalc/> [3]. Его преимуществом является одновременное представление трех систем ДВ: у взрослых — Р. Ф. Клемент, ECSC 1993 г. и GLI-2012, а у лиц моложе 18 лет — Р. Ф. Клемент–Н. А. Зильбер, И. С. Ширяева и соавт. и GLI-2012. Кроме того, могут быть получены должные значения показателей для разных систем, нижняя граница должных и z-оценка (см. главу 11). Детально возможности калькулятора и ссылки для пользования онлайн-сервисом и установки приложения описаны в приложении Г.