

П.В. СТРУЧКОВ, Д.В. ДРОЗДОВ, О.Ф. ЛУКИНА

СПИРОМЕТРИЯ

РУКОВОДСТВО ДЛЯ ВРАЧЕЙ

4-е издание,
переработанное и дополненное



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2024

Содержание

Предисловие	5
От авторов	6
1. История изучения показателей внешнего дыхания	9
2. Основы физиологии и патофизиологии внешнего дыхания. Обструктивный и рестриктивный синдромы	13
2.1. Строение органов дыхания	13
2.2. Механизмы газообмена в легких	17
2.3. Дыхательная недостаточность	18
3. Легочные объемы и емкости. Оценка ФОЕ методами разведения гелия и вымывания азота	22
4. Показатели легочной вентиляции: ЧД, МОД, МАВ, проба ФЖЕЛ, МВЛ. Понятие о поглощении кислорода и эффективности вентиляции	29
4.1. Понятие мертвого пространства	30
4.2. Проба ФЖЕЛ	32
4.3. Проба максимальной вентиляции легких	35
4.4. Потребление кислорода и оценка эффективности вентиляции .	35
5. Кривая поток–объем форсированного выдоха, основные показатели	37
6. Тест с форсированным вдохом. Подходы к выявлению обструкции верхних дыхательных путей	41
7. Технические аспекты спирометрии	44
7.1. Основные типы спирометров	44
7.2. Требования к спирометрам	47
7.3. Калибровка	49
7.4. Коррекция результатов измерений	50
8. Подготовка к исследованиям, обслуживание аппаратуры	52
9. Методика проведения спирометрии. Маневры ЖЕЛ и ФЖЕЛ	55
10. Должные величины	62
11. Оценка спирометрических показателей	66

12. Критерии качества и дефекты исследования	70
13. Бронходилатационные тесты	80
14. Бронхопровокационные тесты	83
15. Проведение спирометрии у детей	89
16. Примеры заключений спирометрических исследований	94
А. Обозначения основных параметров ФВД	107
Литература	109

1. История изучения показателей внешнего дыхания

До середины XIX века медики не имели достаточно точных и удобных инструментов для измерения параметров дыхания в условиях рутинного исследования пациентов. В 1846 г. британский врач Дж. Хатчинсон (J. Hutchinson) [20] опубликовал сообщение об изобретенном им приборе для измерения объемов выдыхаемого воздуха — спирометре, с использованием которого Хатчинсон сделал ряд актуальных и по настоящее время наблюдений: определена структура *ЖЕЛ* как сумма дыхательного и резервных объемов вдоха и выдоха, сделаны ценные наблюдения изменения окружности грудной клетки при исследовании *ЖЕЛ* и *ДО*, сформулированы основные принципы методики клинического измерения *ЖЕЛ*, проведены исследования биомеханики межреберной мускулатуры. На основе измерений *ЖЕЛ* у нескольких тысяч здоровых лиц с разными антропометрическими данными Хатчинсон экспериментально выявил линейную корреляцию между ростом и *ЖЕЛ* и не обнаружил связи *ЖЕЛ* с массой тела, фактически заложив основу оценки параметров легочной вентиляции сравнением с *ДВ* (см. стр. 62).

Можно считать, что именно с этой даты берет начало история объективного исследования функции внешнего дыхания, хотя и до Хатчинсона были публикации о приборах, позволявших измерить дыхательные объемы или экскурсию грудной клетки.

Спирометр Хатчинсона представлял собой воздушный колокол, в который пациент производил максимальный выдох (на рис. 1 представлена схема относительно современного прибора такой конструкции). Колокол поднимался пропорционально объему выдохнутого в него воздуха. Это позволяло определить жизненную емкость легких (*ЖЕЛ*) или, при изменении методики, дыхательный объем (*ДО*). Для уменьшения сопротивления дыханию колокол уравнивался системой противовесов, а герметизация осуществлялась водой. Усовершенствования спирометра Хатчинсона, которые производились в течение десятков лет, касались в основном способов уравнивания колокола и графической регистрации результатов измерений. Такие спирометры выпускались вплоть до вытеснения их микропроцессорными системами.

В 1925 г. швейцарский физиолог и инженер А. Флейш (A. Fleisch) [17] ввел в практику прибор для регистрации объемной скорости потока воздуха в процессе дыхания, получивший название «пневмотахограф». Прибор представлял собой трубку с пневмосопротивлением и дифференциальным манометром, измерявшим перепад давления на резистивном элементе. Перепад давления в та-

ком устройстве определяется сопротивлением резистивного элемента и объемной скоростью потока. В последующем был осуществлен ряд усовершенствований конструкции Флейша, однако основной принцип измерения объемной скорости потока оставался неизменным. Удобство конструкции заключается в возможности измерения не только скорости потока, но и его направления, оценивая отдельно вдох и выдох.

Форсированная ЖЕЛ была предложена Б.Е. Вотчалом в 1947 г., примерно в то же время, в 1949 г. Р. Тиффно (R. Tiffeneau) предложил показатель $ОФВ_1$ и индекс $ОФВ_1/ЖЕЛ$.

В 1951 г. Х. Дайман (H. Dayman) [16], используя пневмотахограф, детально описал кривые поток–объем у пациентов с различной легочной и бронхиальной патологией, обосновал удобство графического представления взаимосвязи скорости потока и объема во время форсированного выдоха. Им также были сделаны важные наблюдения о сопротивлении легочной ткани в процессе форсированного выдоха у разных категорий пациентов. Вероятно, это было первое детальное исследование, продемонстрировавшее высокую диагностическую ценность одновременного исследования скорости потока и объемов дыхания.

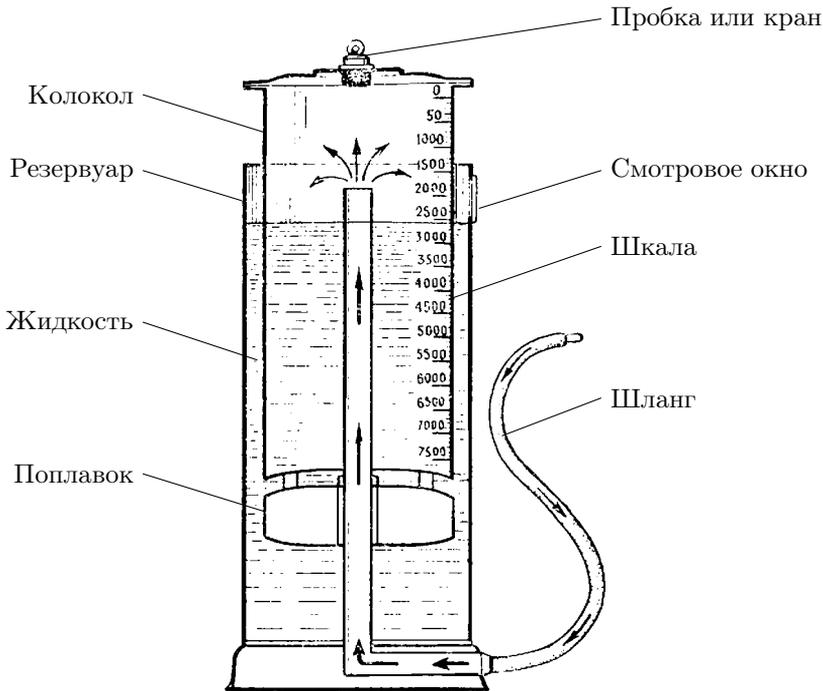


Рис. 1. Схема спирометра с воздушным колоколом
Стрелками показано направление движения воздуха

Важной задачей объективного исследования ФВД была миниатюризация аппаратуры, поскольку все имевшиеся к середине XX века конструкции приборов были достаточно массивными и не позволяли проводить исследования вне специальных лабораторий. Создать по-настоящему портативную конструкцию удалось Б. Райту (B. Wright) [25], который в 1950-х годах разработал и ввел в практику два важнейших для объективного исследования ФВД портативных измерительных прибора: «сухой» спирометр и пикфлоуметр.

Спирометр Райта представляет механический счетчик оборотов турбины, на которую подается выдыхаемый воздух. Число оборотов прямо пропорционально объему прошедшего через направляющую систему спирометра воздуха. Считывание результата измерения ЖЕЛ производится на круговой шкале, проградуированной в единицах объема. После прохождения через спирометр воздух выходит в атмосферу. Сухие спирометры пользовались популярностью в течение полувека, когда их позиции стали теснить микропроцессорные комбинированные приборы.

В 1959 г. Б. Райт и К. МакКерроу (C. McKerrow) [25] описали пикфлоуметр и методику исследования пиковой объемной скорости (ПОС) форсированного выдоха. Выдыхаемый с силой воздух, воздействуя на подвижный подпружиненный элемент конструкции, вызывал его отклонение, которое показывалось на круговой шкале, проградуированной в значениях объемной скорости выдоха (л/мин). Пикфлоуметр с линейной шкалой, также изобретенный Райтом, широко применяется и сегодня для самоконтроля ПОС в домашних условиях. Исследование ПОС, ставшее благодаря этому прибору необременительным, позволило объективно оценивать обструкцию дыхательных путей.

Бодиплетизмография как метод детального исследования дыхательных объемов, включая остаточный объем и общую емкость легких, бронхиального сопротивления была введена в 1969 г. А. Дюбуа (A. DuBois) [15] и соавт. Эта методика без существенных изменений используется сейчас.

С 1980-х годов в спирометрической аппаратуре начинается широкое использование микропроцессоров и цифровых технологий обработки сигналов. Это произошло благодаря высокой точности измерений, надежности приборов, возможности наращивать число параметров путем относительно несложных вычислений. В настоящее время большинство приборов для рутинных исследований являются цифровыми.

Схема (рис. 2) цифрового спирометра с незначительными вариациями повторяется в приборах разных производителей. Первичный измеритель (см. рис. 19 на с. 45) формирует цифровой сигнал, который пропорционален либо скорости проходящего воздуха, либо его объему. Эти данные вместе с сигналами, позволяющими точно измерить время, подаются в микропроцессорное устройство, которое обрабатывает их, формирует необходимые графики и производит вычисление числовых значений. Полученные данные могут быть выведены на дисплей или принтер. Цифровые технологии существенно упростили использование приборов для измерения параметров ФВД, сделали приборы портативными, способствовали заметному повышению точности измерений.

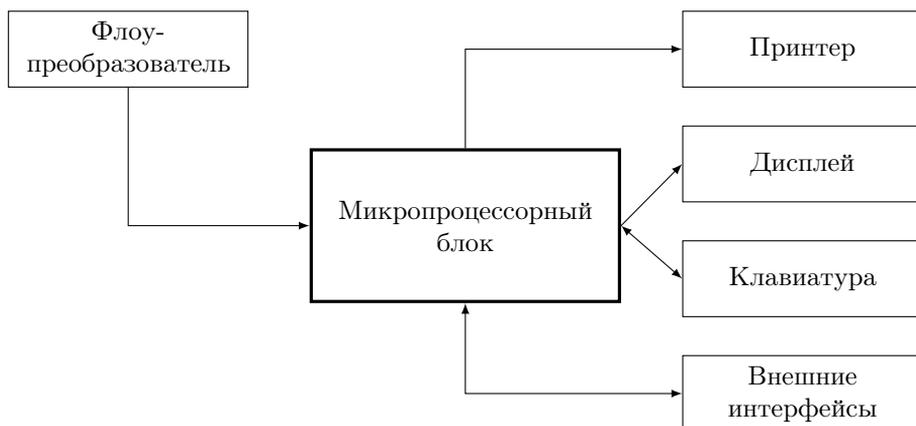


Рис. 2. Типовая схема современного прибора для исследования ФВД

Цифровые спирометры позволили существенно упростить процедуру интерпретации результатов исследований, поскольку имеют возможность автоматического сравнения полученных результатов с ДВ без применения таблиц, номограмм, трудоемких расчетов. В некоторых приборах имеются вывод автоматического заключения, обработка результатов бронходилатационных проб, выбор лучшей попытки для анализа, стимулирующие программы для пациентов. Последние выводят на дисплей понятные пациенту зрительные образы, которые можно улучшить, правильно выполнив дыхательный маневр. Ряд приборов оснащены программой контроля качества дыхательного маневра.

Развитие цифровых технологий привело к появлению компьютерных спирометров. В компактном устройстве объединяются флоупреобразователь и часть цифровых блоков. Устройство подключается по стандартному интерфейсу к компьютеру с установленным специализированным программным обеспечением. Это позволяет максимально задействовать вычислительные возможности компьютера, легко организовывать базы данных исследований и взаимодействие с информационными системами (электронной историей болезни). Масса, габариты и мобильность такого решения определяются параметрами компьютера и принтера. Для стационарной аппаратуры экспертного класса такое решение постепенно становится доминирующим.

2. Основы физиологии и патофизиологии внешнего дыхания. Обструктивный и рестриктивный синдромы

Дыхание — это совокупность процессов, обеспечивающих поглощение кислорода организмом, его использование в окислении органических веществ и выведение избытка углекислого газа. У человека в обычных условиях основной источник энергии клеток — аэробный обмен, связанный с потреблением кислорода.

Процесс дыхания у человека можно разделить на три этапа.

Первый этап — внешнее, или легочное, дыхание. Это совокупность процессов, проходящих в легких и включающих в себя вентиляцию и легочный газообмен. Вентиляция представляет собой обмен газов между атмосферой и альвеолярным пространством. Легочный газообмен — обмен газов через альвеолярно-капиллярную мембрану. Этот процесс происходит по законам диффузии по градиенту концентрации (парциального давления) газов: кислород из альвеолярного пространства поступает в кровь легочных капилляров (в альвеолах парциальное давление кислорода около 100 мм рт. ст., в притекающей крови легочных капилляров — около 46 мм рт. ст. По градиенту парциального давления кислород идет из альвеол в кровь). В обратном направлении углекислый газ выходит из крови легочных капилляров (где его давление в притекающей крови составляет около 46 мм рт. ст.) в альвеолярное пространство, где его давление около 40 мм рт. ст.). В итоге притекающая к альвеолам венозная кровь становится артериальной. Таким образом, итогом внешнего (легочного) дыхания является артериализация крови.

Второй этап дыхания представляет собой транспорт газов (кислорода и углекислого газа) кровью от легких ко всем органам организма.

Третий этап — тканевое дыхание — совокупность процессов поглощения кислорода клеткой и выделение CO_2 .

2.1. Строение органов дыхания

Верхние дыхательные пути включают носовую полость, носоглотку, глотку и гортань. Основное назначение верхних дыхательных путей — подготовка воздуха к газообмену в альвеолах. Здесь происходят очистка воздуха от крупных взвешенных в воздухе примесей, согревание, увлажнение возду-