

Респираторные звуки, механизмы их возникновения и анализ

Н.А. Геппе

При исследовании органов дыхания используют четыре классические техники обследования: осмотр, пальпацию, перкуссию и аускультацию. Три последних зависят от генерации звуков в респираторном тракте. Почти 200 лет назад Рене Лаэннек (рис. 1) стал изучать шумы, возникающие при движении воздуха в легких человека, и предложил метод аускультации (1819). Дыхательные шумы, слышимые при тесном контакте со стенкой грудной клетки, Лаэннек описал как “определенный шум, соответствующий притоку воздуха к воздушным клеткам и выходу из них”. В последние годы интерес к акустическим параметрам дыхания возрос, что связано с появлением новых возможностей для их изучения с использованием компьютерных технологий.

Легочные звуки представляют собой слышимую вибрацию, возникающую в легких и дыхательных путях. Ассоциированные с дыханием звуки, выслушиваемые у здорового человека на грудной клетке, называются **нормальными легочными звуками**. Вначале диагностика основывалась главным образом на ослаблении или отсутствии дыхательных звуков (например, при ателектазе или наличии экссудата в плевральной полости). Нормальные дыхательные шумы называли “везикулярным дыханием”. Этот термин широко используется, но является дискуссионным, так как в альвеолах воздушный поток отсутствует и неспособен генерировать дыхательные шумы. Нормальные дыхательные шумы имеют акустически мягкий характер, их инспираторная фаза длиннее экспираторной (соотношение вдоха и выдоха примерно 2 : 1), а экспираторная фаза почти не слышна.

Необходимо учитывать следующие физические основы аускультации:

- распространение звука происходит волнообразно;
- эластичность бронхов определяет высокую способность их стенок к колебаниям;
- воздушный столб в бронхах проводит звук и играет роль резонатора;
- чем больше сужение и чем выше скорость потока воздуха, тем сильнее возникающий шум.

Номенклатура легочных звуков

Изменения дыхательных шумов (хрипы) возникают при различных патологических состояниях и имеют важное

диагностическое значение. Хрипы подразделяются на сухие и влажные.

Механизм генерации хрипов при хроническом бронхите и эмфиземе не полностью понят, но предполагается, что их источником являются крупные дыхательные пути. “Пробулькивание” воздуха через секрет – один из возможных механизмов, но он имеет место не у всех больных с такими хрипами. Хрипы у больных с легочным фиброзом обычно нежные, в конце вдоха, тогда как при эмфиземе и бронхоэктазах – грубые и наблюдаются в начале вдоха. Количество хрипов на единицу дыхания коррелирует с тяжестью нарушений при интерстициальных легочных заболеваниях.

Сухие свистящие хрипы часто отмечаются у больных обструктивными заболеваниями легких, особенно при острых эпизодах бронхиальной астмы. При этом степень бронхиальной обструкции сравнима с пропорцией респираторного цикла, занятого хрипами. Таким образом, мониторингирование сухих хрипов обеспечивает информацией о степени обструктивных изменений в дыхательных путях, хотя взаимосвязь между хрипами и легочной функцией вариабельна. Появление и качество хрипов также следует учитывать при оценке бронхиальной гиперреактивности в бронхопровокационном тесте.

Хрипы могут исчезать или уменьшаться после откашливания. При сердечной недостаточности хрипы наблюдаются от середины до поздней фазы инспираторного цикла и могут иметь грубый характер. Математическое моделирование и эксперименты позволяют предположить, что хрипы, образующиеся в мелких дыхательных путях, короче по длительности (нежного характера), а в крупных дыхательных путях – более грубые.

Иногда у больных с интерстициальными заболеваниями легких могут обнаруживаться короткие инспираторные “музыкальные” хрипы. Эти хрипы короче по длительности и выше по частоте, чем другие сухие хрипы, их длительность редко превышает 400 мс. Эти звуки происходят вследствие осцилляций мелких дыхательных путей после резкого их открытия, а их продолжительность зависит от транспульмонального давления.



Рис. 1. Рене Лаэннек.

Наталья Анатольевна Геппе – зав. кафедрой детских болезней 1-го Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова.

Сухие свистящие хрипы (англ. wheezes) – продолжительные дополнительные звуки, возникающие в легких и накладывающиеся на нормальные дыхательные шумы. Сухие хрипы громче, чем соответствующие дыхательные шумы, и часто слышны на расстоянии при открытом рте или при аускультации гортани. Они могут быть монофоническими, когда слышна только одна частота, или полифоническими, когда суммируются множественные частоты.

С учетом участия различных отделов респираторного тракта предлагается разделить респираторные звуки на звуки дыхания и побочные звуки (рис. 2). Современные названия легочных звуков отличаются от предложенных Лаэннеком (таблица). Эти названия отражают представления о механизмах их возникновения (влажные или сухие хрипы) или характере самих звуков (нежные, грубые, свистящие). Каждый из этих терминов может быть описан акустически и не зависит от генерирующего механизма.

Дыхательные шумы с высокой частотой и интенсивностью, продолжительные и громкие в экспираторной фазе, типичны для многих заболеваний с обструкцией дыхательных путей. Продолжительные звуки (длительностью >250 мс) могут быть высокочастотными (wheezes) или низкочастотными (rhonchi). Частота сухих хрипов может широко варьировать (от 80 до 1600 Гц).

Интенсивность респираторных звуков зависит от амплитуды вибрации, ее источника, дистанции и среды, через которую проходят звуковые волны. Существуют региональные вариации в интенсивности звука над легкими: над верхушками звук при вдохе менее интенсивный, а над базальными отделами звук менее интенсивный в начале вдоха, затем его интенсивность увеличивается и достигает максимума на уровне 50% жизненной емкости легких.

Нет единственной характеристики, точно разделяющей крепитацию и хрипы. Крепитация может иногда наблюдаться и у здоровых людей во время глубокого вдоха как результат сегментарного повторного “открытия” отдельных участков легкого. При кардиореспираторных нарушениях часто наблюдаются непостоянные дополнительные легочные звуки транзиторного характера, связанные с патологическим закрытием мелких дыхательных путей. Это может быть результатом снижения эластичности (легочный фиброз) или уплотнения мелких дыхательных путей, вызванного накоплением экссудата (при сердечной недостаточности) или инфильтративными изменениями (альвеолит, пневмонит). Два типа этих хрипов определяются как грубые и нежные. Тот факт, что нежные и грубые хрипы имеют тенденцию появляться в различное время инспираторного цикла, помогает в их дифференциации.

Свистящие хрипы наблюдаются в широком диапазоне частот. Выделение низких легочных звуков может быть полезно для отработки комплексной структуры звуков, которые имеют тональный, храпоподобный характер и, вероятно, связаны с наличием секрета в дыхательных путях.

Преходящие легочные звуки

Длительность	Акустическая характеристика	Номенклатура ATS/ACCP*	Терминология Лаэннека
Непостоянные	Громкие низкочастотные Мягкие, частота <300 Гц	Грубые влажные Нежные влажные Крепитация	Булькающие Влажные Крепитация
Постоянные	Высокочастотные (преимущественная частота около 400 Гц) Низкочастотные	Wheezes Rhonchi	Свистящие сухие Сухие храпящие

*Американское торакальное общество/Американская коллегия пульмонологов.

Аускультация с помощью стетоскопа

Трудно представить себе врача без такого атрибута, как стетоскоп. Это изобретение Лаэннека является до настоящего времени наиболее распространенным приспособлением для аускультации. С момента изобретения стетоскопа аускультация позволила существенно продвинуть диагностические возможности респираторной медицины. Однако аускультация стетоскопом имеет много ограничений. Это субъективный процесс, зависящий от индивидуальных слуховых возможностей, опыта и способности дифференцировать различные звуки.

Стетоскоп позволяет оценить звуки на поверхности тела. Состояние легочной паренхимы и стенка грудной клетки существенно влияют на звук, выслушиваемый на поверхности груди. Гетерогенные составляющие грудной стенки (кости, мышцы, кожа и другие ткани) способны изменять передачу звуковых волн к поверхности, приводя к снижению их амплитуды и значительным изменениям формы волны, особенно в отдельных областях (например, над лопатками). Более того, при использовании стетоскопа ослабляется важная для легочных звуков частота 120 Гц.

Изменения в структуре легких также влияют на амплитуду и время передачи звука от дыхательных путей к по-



Рис. 2. Классификация респираторных звуков (Sovijarvi A. et al., 2000).

верхности грудной клетки. У больных с эмфиземой легких наблюдается снижение и большая вариабельность передаваемой амплитуды низких частот, что соответствует снижению интенсивности обычных звуков. Напротив, кардиогенный отек легких ведет к увеличению амплитуды звуков, передаваемых к грудной стенке.

Для лучшего взаимопонимания между специалистами нередко используются описательные характеристики шумов дыхания и дополнительных шумов (тем не менее очень субъективные). Так, везикулярное дыхание напоминает звук, который получается, если придать губам положение, необходимое для произношения буквы “ф”, и втягивать воздух. Влажные хрипы напоминают звук лопающихся пузырьков, которые возникают при вдувании воздуха через трубочку в воду. Крепитация возникает в конце вдоха и похожа на звук, который издает разминаемый пальцами вале уха пучок волос.

Звук, приходящий из крупных дыхательных путей, имеет широкий частотный спектр. Он передается к коже после фильтрации легкими и стенкой грудной клетки, которая действует акустически как пропускающий фильтр низких частот. Дыхательные шумы, записываемые над легкими, имеют основную частоту 200–250 Гц. К сожалению, этот частотный спектр также содержит компоненты от респираторных мышц и сердца. На частоту спектра также влияют более высокие трахеальные резонансные частоты (850–1000 Гц). Все типы дыхательных шумов зависят от турбулентности воздушного потока вызываемой частоты. В результате форма волны нормального дыхания дезорганизована (содержит много различных частот).

Амплитуда низких частот над правым легким значительно больше, чем измеряемая над аналогичным участком левого легкого. Это связано с предпочтительной передачей звука в правое легкое из-за массивного средостения, которое смещает в левую сторону главные дыхательные пути. Асимметрия легочных звуков может также отражать различия в региональной турбулентности воздушного потока при образовании звуков.

Несмотря на высокую стоимость многих современных стетоскопов, они остаются лишь проводником для звука между поверхностью тела и ухом. Стетоскопы редко тестируются или сравниваются. Сегодня существуют стетоскопы, которые могут обеспечить количественные измерения и запись исследования, однако они используются в основном для научных и образовательных целей.

Механизмы образования звуков в респираторном тракте

Природа звуков, генерируемых при дыхании, полностью не ясна. Легкие сами не могут генерировать звуки, если отсутствует поток воздуха. Дыхательные звуки вызываются, возможно, турбулентным потоком воздуха на уровне долевых или сегментарных бронхов. В небольших бронхах скорость потока снижается и становится меньше, чем критическая скорость, необходимая для образования

турбулентности, поэтому поток становится ламинарным и “немым”.

Разветвление дыхательных путей в грудной клетке моделируется исследователями для оценки структурных детерминант в отражении и передаче звука. Респираторный тракт рассматривается как единая неригидная трубка, которая открывается дистально в относительно большой дыхательный объем с многочисленными мелкими дыхательными путями и альвеолами. Концепция подобной трубки предполагает, что вибрация стенки вызывает резонанс дыхательных путей с частотой около 650 Гц в подсвязочном пространстве. Стенки крупных дыхательных путей вибрируют в ответ на звук внутри просвета трубки и позволяют значительной энергии звука передаваться в окружающую паренхиму. Легочная паренхима, состоящая из альвеол, мелких дыхательных путей, капилляров и поддерживающих тканей, моделируется как мелкопузырчатая субстанция, которая является смесью воздуха и жидкостноподобных тканей.

Правильное объяснение данных, полученных с помощью спектрального анализа звуков, порождаемых легкими, требует точного знания механизмов образования этих дыхательных звуков. В Langley Research Center (США, 1979) был изучен механизм, посредством которого звук может генерироваться в легких человека. По мнению авторов, именно этот механизм является основным источником дыхательных звуков в легких и по нему можно определить участки в бронхиальном дереве, где образуются отдельные звуки при определенной мгновенной суммарной скорости воздушного потока. Из теории аэродинамического шума известно, что звук легко генерируется турбулентным потоком. Однако в легких человека поток в основном ламинарный, и он становится турбулентным только в трахее и в крупных бронхах, главным образом в местах бифуркаций (даже во время форсированного выдоха). Поэтому авторы не считают турбулентность основной причиной таких звуков.

Механизмы, посредством которых звук может генерироваться ламинарным потоком, очень трудно визуализировать. Возможно, наиболее общим является механизм, который обусловлен нестационарным движением вихрей, служащих причиной звуков типа звуков золотой арфы. Существование такого механизма в легком предполагается исходя из того факта, что завихрения, направленные по потоку, генерируются ламинарным потоком жидкости в искривленной трубе.

Важность образования вихрей в генерации звука впервые была признана А. Powell (1964). Впоследствии эта теория получила дальнейшее развитие в работах J.C. Hardin и J.P. Mason (1977). Чтобы использовать эту теорию применительно к генерации звука в дыхательных путях у человека, авторы приняли предположение, что бронхи представляют собой жесткие цилиндры бесконечной длины, по которым проходит установившийся асимметричный поток. Очевидно, что эти предположения не отражают фактическое поведение потока в легком, когда пульсирующий поток проходит через бронхи конечной длины, которые имеют

эластичные стенки меняющейся формы. Однако по данным R.C. Schroter и M.F. Sudlow (1969), вихревые явления устойчивы в течение коротких промежутков времени, и звук может генерироваться при нестационарном движении вихрей внутри потока. Частоты звука, порождаемого этими вихрями, находятся в диапазоне, наблюдаемом при спектральном анализе легочных звуков. Кроме того, частота звука, порождаемого каждым вихрем, связана со скоростью потока и диаметром трубки, в которой обнаружен вихрь.

Механизм образования сухих хрипов объясняют две теории: теория “вибрирующего язычка” – взаимодействие стенки дыхательных путей (при сужении почти до момента закрытия) с газом, протекающим через них (Forgacs P., 1978), и теория динамического флаттера – трепетание стенки дыхательных путей, когда скорость воздуха достигает критической (Grotberg J., 1989). Эта модель показывает, что для появления сухих хрипов не всегда необходимо ограничение потока.

Компьютерные технологии анализа респираторных звуков

За последние 30 лет компьютеризированные методы записи и анализа респираторных звуков позволили преодолеть многие ограничения простой аускультации. Акустический анализ позволяет количественно оценить изменения легочных звуков, что наряду с записью измерений и представлением их в графическом виде помогает в диагностике и лечении легочных больных. Использование компьютерных технологий обеспечивает новые возможности в изучении акустических механизмов и оценке клинических проявлений. Европейским респираторным обществом предложен проект CORSA (Computerized Respiratory Sound Analysis) для стандартизации компьютерного анализа респираторных звуков, направленный на вовлечение специалистов из разных стран, работающих в этом направлении. Более 60% всех публикаций по компьютерной обработке акустических параметров дыхания касаются храпа, кашля и стридора. Анализ обструкции (свистящих хрипов) составил четвертую часть от общего количества статей, а остальные посвящены изменениям голоса.

Запись звуков из респираторной системы осуществляется с помощью микрофона или контактных сенсоров, располагающихся обычно около рта или на груди. Другие физиологические сигналы (поток воздуха, изменения легочных объемов, внутригрудного давления, сатурация гемоглобина кислородом) обычно записываются параллельно звукам. Чаще использовали один канал для записи звука (с грудной стенки), но в ряде работ – два или больше каналов. Звуки со стороны верхних дыхательных путей (чихание или кашель) часто записывались при помощи микрофона, расположенного вблизи рта.

В России для оценки функции внешнего дыхания был создан прибор, в основе работы которого лежит компьютерный анализ паттерна дыхания (Малышев В.С. и др.,

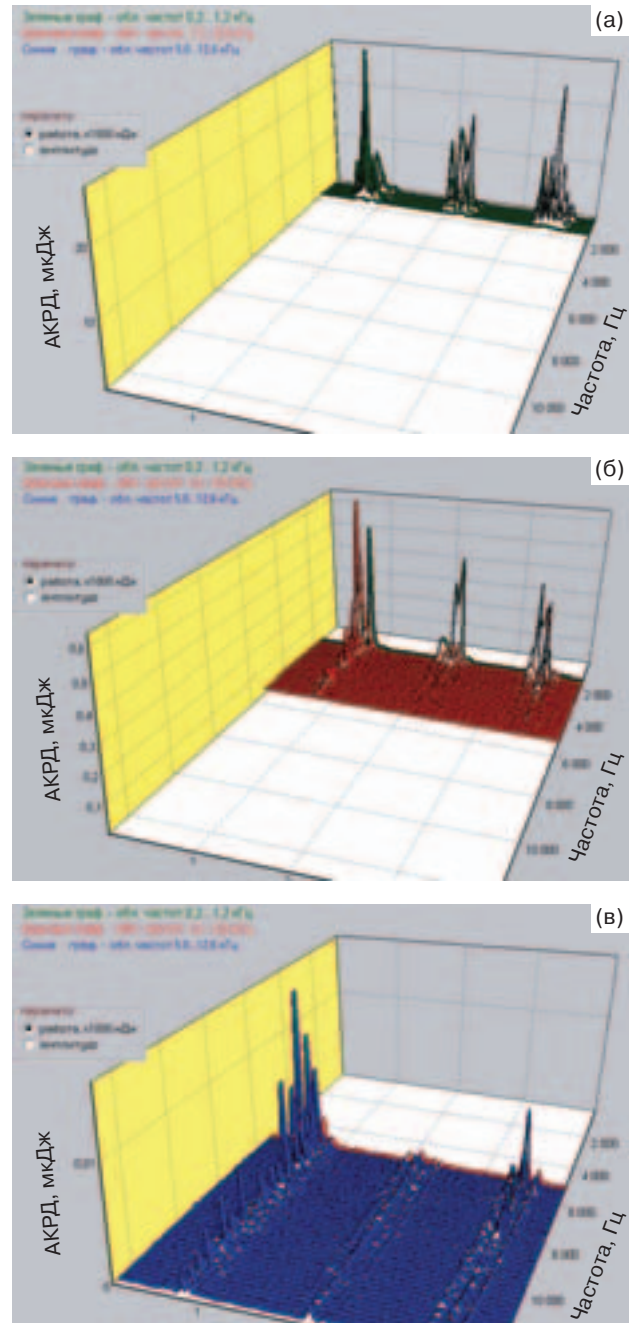


Рис. 3. Компьютерная бронхофонография. Акустическая работа дыхания в низкочастотном (а), среднечастотном (б) и высокочастотном (в) диапазоне.

1976). В 1981 г. были инициированы клинические исследования акустических характеристик дыхательных шумов при бронхолегочной патологии, положившие начало развитию метода **компьютерной бронхофонографии**.

Бронхофонографический диагностический автоматизированный комплекс регистрирует специфические акустические феномены, возникающие при дыхании, с помощью датчика, обладающего высокой чувствительностью в широком диапазоне частот (включая частоты, которые не выявляются при аускультации, но имеют важное диагнос-

тическое значение). Сканирование респираторного цикла производится в частотном диапазоне от 200 до 12600 Гц. Выделяются три зоны частотного спектра (рис. 3): 200–1200 Гц (низкие частоты), 1200–5000 Гц (средние частоты) и >5000 Гц (высокие частоты). С помощью комплекса оценивается **акустический компонент работы дыхания** (АКРД), связанный с усилением турбулентности воздушных потоков по респираторному тракту и измеряемый в микроджоулях. С помощью компьютерной программы АКРД рассчитывается как площадь под кривыми, отображающими дыхательные шумы. Исследование проводится при спокойном дыхании пациента, и записывается от 4 до 10 респираторных циклов.

В проведенных исследованиях доказано, что значимые изменения АКРД при обструктивных заболеваниях легких выявляются в высокочастотном диапазоне (Каганов С.Ю. и др., 1981). Сформированы референсные значения (верхняя и нижняя границы) нормальных показателей в высокочастотном диапазоне. Показаны возможности бронхофонографии в исследовании функции легких у детей начиная с периода новорожденности, обосновано применение метода для диагностики у детей с обструктивными нарушениями и для мониторингирования функции дыхания при бронхиальной астме.

Бронхиальная обструкция вызывает увеличение доли высокочастотных компонентов звукового спектра как при наличии свистящих хрипов, так и в их отсутствие. В результате бронходилатации спектр звуковых волн сдвигается вновь к низким частотам. Найдена достоверная корреляция между уровнем бронхоконстрикции, оцениваемым при спирометрии, и медианой частоты дыхательных шумов. Даже у больных с нормальной вентиляционной функцией медиана частоты дыхательных шумов может быть повышена. Таким образом, не исключено, что аллергическое воспаление в дыхательных путях при бронхиальной астме может вызывать изменения в слизистой оболочке и подслизистом слое бронхов, влияющие на динамику воздушного потока, в том числе с возникновением турбулентности.

Итак, респираторные звуки предоставляют значительно больше информации для клинического использования, чем можно получить при обычной аускультации. Использование акустических методов позволяет получить новые данные, интерпретация которых приводит к пересмотру ряда традиционных концепций. Это стимулирует проведение исследований акустических свойств респираторной системы с целью улучшения диагностики, скрининга и мониторингирования легочных заболеваний. ●

ЛАДОГАНЕБ

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД
К ДОМАШНЕМУ ЛЕЧЕНИЮ

ЛАДОГАНЕБ – компрессорный ингалятор с небулайзером ПАРИ ЛЦ для распыления лечебных растворов, предназначенных для небулайзерной терапии, и физиологического раствора поваренной соли для увлажнения слизистой оболочки дыхательных путей при лечении:

- ✓ РИНИТОВ
- ✓ ФАРИНГИТОВ
- ✓ БРОНХИТОВ
- ✓ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ
- ✓ РИНОСИНУСИТОВ
- ✓ ПНЕВМОНИИ
- ✓ СЕЗОННЫХ АЛЛЕРГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ
- ✓ В ПЕРИОД ОТКАЗА ОТ КУРЕНИЯ

Ваш домашний ингалятор

Производитель: INQUA GmbH, Германия
Представитель и импортер в РФ:
ООО «ПАРИ синергия в медицине»
117418, г. Москва, а/я 16,
тел./факс: +7 (495) 981 88 60
ladoganeb@mail.ru, pari-synergy@mail.ru

Гарантия на компрессор 24 месяца
Рекомендованная цена 4280 рублей



ПРОВЕДЕНИЕ ИНГАЛЯЦИЙ
ЧЕРЕЗ МУНДШТУК, МАСКУ ИЛИ
МУНДШТУК С НОСОВОЙ НАСАДКОЙ

Аптекаам заказ через ЦВ ПРОТЕК



Ингалятор ЛАДОГАНЕБ
(номер заказа 21209)



Небулайзер ПАРИ ЛЦ ПЛЮС
(номер заказа 21969)