

УДК 534.7+621.391.8

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ У БОЛЬНЫХ ПНЕВМОКОНИОЗОМ

А. А. МАКАРЕНКОВА

*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев**Получено 01.02.2008*

Сформированная в клинических условиях электронная база звуков дыхания верифицированных здоровых и больных пневмокониозом пациентов позволила выявить и объективизировать аускультативные признаки, характерные для этого заболевания дыхательной системы человека.

Сформована у клінічних умовах електронна база звуків дихання верифікованих здорових і хворих на пневмокониоз пацієнтів дозволила виявити та об'єктивізувати аускультативні ознаки, характерні для цього захворювання дихальної системи людини.

A clinically formed electronic base of breath sounds in verified healthy persons and patients ill with pneumoconiosis has allowed revealing and objectification of the auscultation attributes characteristic of this disease of human respiratory system.

ВВЕДЕНИЕ

Успехи в развитии нового направления физической акустики – электронной аускультации – позволили успешно решить вопросы регистрации и обработки звуков жизнедеятельности человека. Благодаря этому возросли возможности объективизации аускультативных признаков, т. е. количественной оценки соответствия зарегистрированных звуков с функциональным состоянием систем организма. Следует отметить, что установление такого соответствия, по сути, является основной задачей, которую должен решать диагност-исследователь, так что указанный вопрос остается актуальным со времен древней Греции до наших дней [1].

В работах [2, 3] сделана попытка выявления связей между субъективными вербальными моделями звуков дыхания и объективными акустическими характеристиками, полученными с помощью спектрально-временного анализа. Сопоставление звуков дыхания здоровых субъектов и пациентов с бронхиальными патологиями позволило зафиксировать различия в осредненных спектрах и, следовательно, обнаружить некоторые аускультативные признаки. В последующих исследованиях [4–8] установлены диапазоны частот, характерные для тех или иных аускультативных признаков. При этом оказалось, что при ряде заболеваний дыхательной системы указанные частотные полосы частично или полностью перекрываются.

К настоящему времени разработан ряд алгоритмов классификации звуков дыхания, которые с определенной степенью вероятности различают

ярко выраженные акустические феномены (хрипы, свисты, трески), характерные для данного вида заболевания [9–12]. Вместе с тем, в слабых сигналах дыхания также содержится не менее ценная информация о функциональном состоянии респираторной системы. Это указывает на необходимость более детального и обстоятельного исследования акустических характеристик звуков дыхания.

Цель данной работы состоит в изучении акустических характеристик звуков дыхания у больных пневмокониозом, выявлении и объективизации аускультативных признаков, а также разработке физических гипотез, объясняющих их генерацию. Отметим, что пневмокониоз является наиболее распространенным в Украине профессиональным заболеванием дыхательной системы шахтеров, а важность и актуальность таких исследований подтверждена программой Всемирной организации здравоохранения [13].

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пневмокониоз (по-гречески “*pneumon*” – легкие и “*conion*” – пыль) – общее название группы профессиональных заболеваний, вызванных действием производственной пыли [14]. В основе патогенеза при нем лежит процесс накопления чужеродных пылевидных частиц в легочной ткани. При вдохе запыленного воздуха частички пыли размером 5 мкм и меньше проникают в паренхиму легких вплоть до альвеол, через стенки которых происходит газообмен. В альвеолах ча-

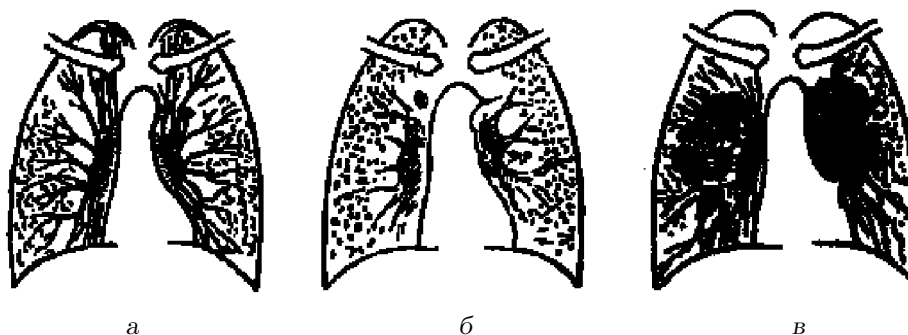


Рис. 1. К классификации форм пневмокониоза (по данным рентгенограмм легких):
а – интерстициальная, б – узелковая, в – узловая

Табл 1. Состав групп обследованных субъектов

№ п/п	Группа	Кол-во пациентов	Возраст	Стаж работы
1	Пневмокониозная	72	38.6 ± 1.5	20.2 ± 0.5
2	Контрольная	30	47.3 ± 3.4	19.7 ± 3.2
3	Здоровая	30	50.3 ± 2.1	21.5 ± 1.8

стицы пыли поглощаются иммунокомпетентными клетками (макрофагами) внутренней слизистой оболочкой. Наличие частиц пыли на слизистой оболочке, в состав которой входят поверхностно-активные вещества, приводит к перерождению альвеолярной ткани в более жесткую (фиброзная стадия пневмокониоза) или к слиянию и укрупнению альвеол (эмфиземная стадия).

В зависимости от степени структурных изменений в легких, в соответствии с Международной классификацией, пневмокониоз подразделяют на три формы: интерстициальную, узелковую и узловую [13]. При интерстициальной форме патологические изменения в паренхиме легких проявляются в виде линейных, сетчатых, тяжистых фиброзных образований (рис. 1, а). Узелковая форма характеризуется наличием по всему объему паренхимы узелков размером от 1 до 10 мм (рис. 1, б). При такой форме пневмокониоза чаще всего возможно эмфиземальное развитие заболевания. Узловая форма – наиболее тяжелая. При ней диаметр узлов достигает 50 мм и более (рис. 1, в).

Классификация пневмокониоза основана на сопоставлении стандартных дигитализированных компьютерных рентгенограмм легких. Даже такое упрощенное представление о формах и видах данного заболевания позволяет утверждать, что при нем должны происходить физические и структурные изменения свойств паренхимы – плотности, жесткости и подвижности ее биотканей. Как след-

ствие, можно прогнозировать возникновение дополнительных звуковых феноменов, появляющихся всегда, когда в системе дыхания человека возникают патологические процессы. Безусловно, по своей интенсивности, частотному диапазону и другим акустическим характеристикам они различаются, что подтверждается результатами ряда работ [5, 8, 10–12, 15–17].

В последние годы начаты исследования, главная задача которых состоит в разработке новых, экологически безопасных, физических методов выявления пневмокониоза, которые послужили бы альтернативой рентгенографии. В этом контексте прежде всего следует упомянуть компьютерную томографию высокого разрешения и компьютерную фоноспирографию (электронную аускультацию звуков дыхания), предложенную академиком НАН Украины В. Т. Гринченко и академиком АМН Украины Ю. И. Кундиевым. Компьютерные фоноспирографические исследования дыхания больных пневмокониозом шахтеров – работников угледобывающих предприятий – проводились в клинике Института медицины труда АМН Украины в период с 2004 по 2007 гг. [18]. В их основу было положено сопоставление акустических характеристик респираторных звуков (спектров, фоноспирограмм, функций когерентности) больных с аналогичными характеристиками здоровых субъектов и пациентов контрольной группы, работавших в шахтах в один и тот же период с

больными пневмокониозом. В табл. 1 указаны статистические данные по составу каждой из групп.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Компьютерная регистрация звуков дыхания проводилась с помощью сертифицированного четырехканального фоноспирографического комплекса “КоРА-03М1” [19]. В качестве электроакустических преобразователей в нем используются специальные акселерометры АД-16 с линейной амплитудно-частотной характеристикой в диапазоне $20 \div 2000$ Гц, чувствительностью $15 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ и массой 12 г, разработанные в Институте гидромеханики НАН Украины. Помещение, в котором проводилась регистрация, находилось в наиболее тихой части клиники (его окна выходили во двор здания). В соседних кабинетах не было электронной аппаратуры и устройств, генерирующих звуковые или электромагнитные помехи. Двери и окна имели достаточно хорошую звукоизоляцию. Звуковой фон помещения был измерен прецизионным шумомером типа 2203 фирмы “Брюль и Кьер” в октавных полосах от 31.5 до 8000 Гц. При аускультации комплексом “КоРА-03М1” превышение полезных сигналов над уровнями помех в общей полосе частот было не менее 26 дБ.

Звуки дыхания записывались синхронно в четырех точках на поверхности грудной клетки: справа и слева на уровне 2-го ребра по среднеподключичной линии (в дальнейшем – в точках 2П и 2Л соответственно), а также справа и слева на уровне 7-го ребра под углом лопатки (точки 7П и 7Л). В связи с тем, что у больных пневмокониозом процесс дыхания затруднен, аускультация проводилась в течение 20 с в режиме “спокойное дыхание”. Данное исследование было выполнено для больных пневмокониозом двух форм – интерстициальной и узелковой.

При записи звуков дыхания особое внимание уделялось посторонним помехам, которые могли бы повлиять на качество записи – внешнему звуковому фону, электромагнитным наводкам, вибрациям – с учетом результатов исследования помех, приведенных в работе [20]. В случае некачественной или неустойчивой регистрации процедура аускультации повторялась. В результате были получены достаточно чистые фонограммы звуков дыхания верифицированных пациентов – более 600 цифровых образов, что обеспечивало статистическую достоверность зарегистрированных сигналов. Электронная цифровая обработка сигналов выполнялась с помощью программного продукта, специально разработанного для данного фоноспи-

рографического комплекса. В качестве основных форм визуального представления звуков дыхания были выбраны спектрально-временные графики (фоноспирограммы), осредненные спектры мощности и функции когерентности.

Верификация функционального состояния дыхательной системы всех пациентов осуществлялась стандартными клиническими методами функциональной диагностики (рентгенографией, спирометрией и др.).

3. ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ У БОЛЬНЫХ ПНЕВМОКОНИОЗОМ

Компьютерная обработка зарегистрированных звуков дыхания выявила существенные межгрупповые отличия в их характере и структуре. Возможности комплекса позволяли с помощью адаптивных алгоритмов автоматически верифицировать функциональное состояние дыхательной системы пациентов по критерию “болен – здоров”. Различия между клинической и автоматической верификацией пациентов не превышали 5 %, что является достаточно высоким показателем объективизации.

Для выявления более тонкой структуры аускультативных признаков, присущих пневмокониозу, использовались фоноспирограммы, наиболее полно отражающие черты акустических сигналов, подобно тому, как это делается в процессе аускультации. Действительно, в процессе выслушивания врач анализирует сигнал в частотной полосе (определяет тональность звука, его высоту) и во временной области (выделяет длительность вдоха, паузу и длительность выдоха и т. п.). Визуализация с помощью фоноспирограмм позволяет в реальном масштабе времени наблюдать динамику мгновенных спектров звуков дыхания.

Сравнение фоноспирограмм, спектров мощности и функций когерентности звуков дыхания позволили установить количественные различия между здоровыми и больными в длительности дыхательного цикла, а также паузы между вдохом и выдохом, интенсивности сигналов и их спектральных составляющих. В табл. 2 представлены осредненные результаты исследований, иллюстрирующие эти отличия.

Установлено, что длительность дыхательного цикла у больных пневмокониозом примерно на 13 % меньше, чем у здоровых людей и у пациентов из контрольной группы. Естественно, при этом возрастает частота дыхательного цикла. Пауза между вдохом и выдохом у больных пневмокониозом на 35 % короче, чем у здоровых людей, и на 30 %

Табл 2. Межгрупповые различия в характеристиках звуков дыхания

Группа	Частотный диапазон звуков дыхания (Гц)	Относительный уровень звуков дыхания*	Относительная пауза между вдохом и выдохом**	Длительность дыхательного цикла (с),
Пневмокониозная	665 ± 20	58.6 ± 8.1	0.65 ± 0.07	3.64 ± 0.4
Контрольная	686 ± 10	86.0 ± 12.3	0.95 ± 0.05	4.49 ± 0.32
Здоровая	731 ± 12	100	1.0	4.52 ± 0.2

*Отношение уровня звуков дыхания больного к уровню звуков дыхания здорового (в общей полосе частот) × 100 %.

** Отношение времени между вдохом и выдохом у больного ко времени между вдохом и выдохом у здорового.

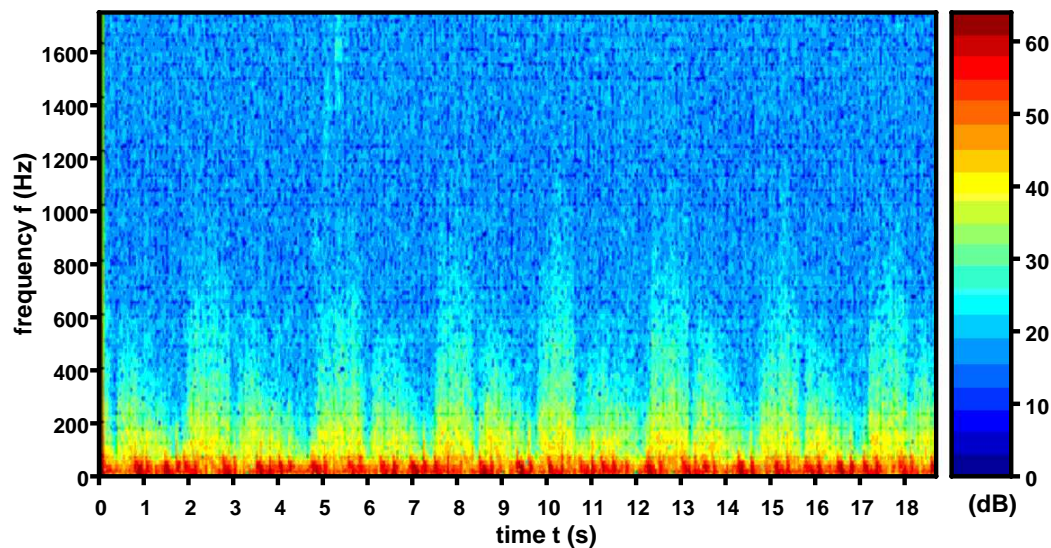


Рис. 2. Фоноспирограмма звуков дыхания больного пневмокониозом интерстициальной формы в точке 2П

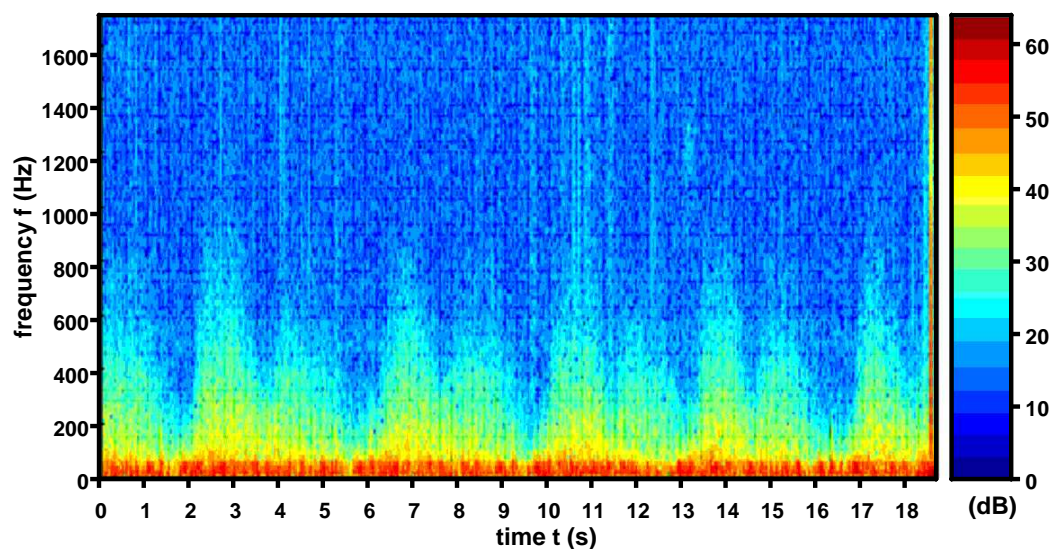


Рис. 3. Фоноспирограмма звуков дыхания больного пневмокониозом узелковой формы в точке 2П

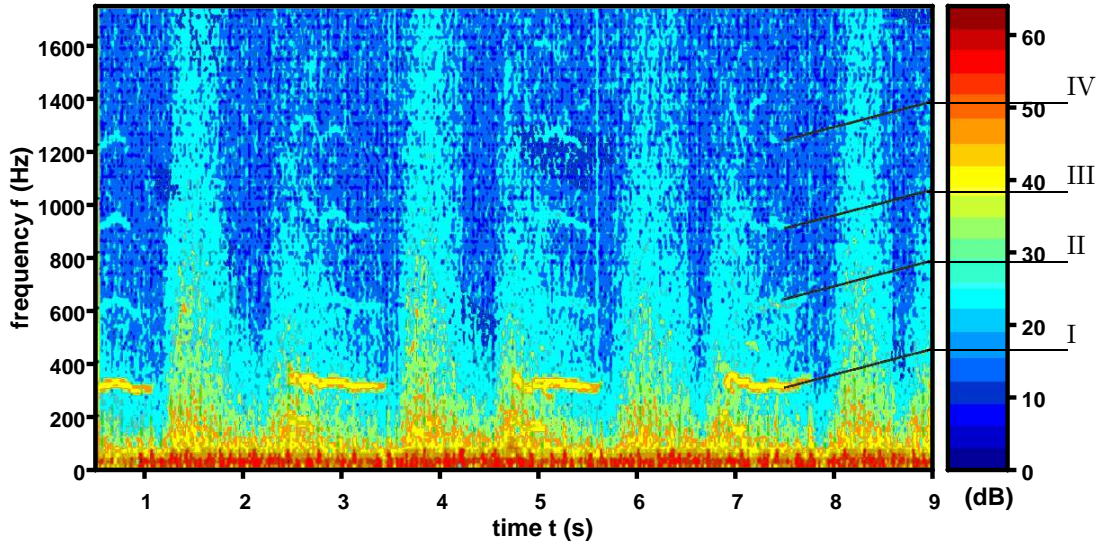
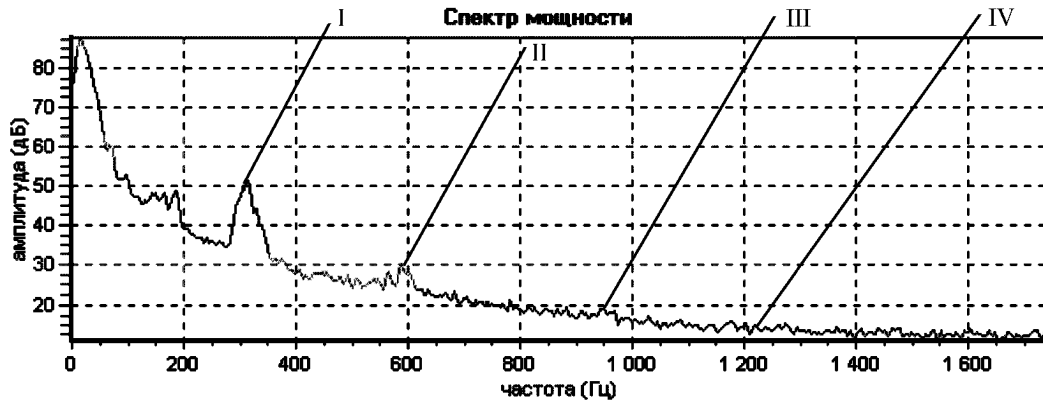
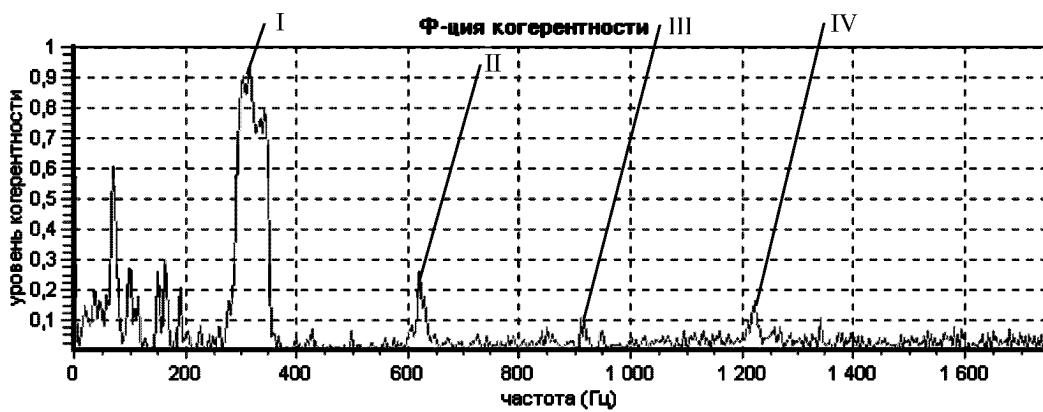


Рис. 4. Фоноспирограмма звуков дыхания больного пневмокониозом при наличии тональных хрипов в точке 2П



а



б

Рис. 5. Дыхание больного пневмокониозом при наличии тональных хрипов: а – спектр мощности в точке 2П; б – функция когерентности между точками 2П и 7П

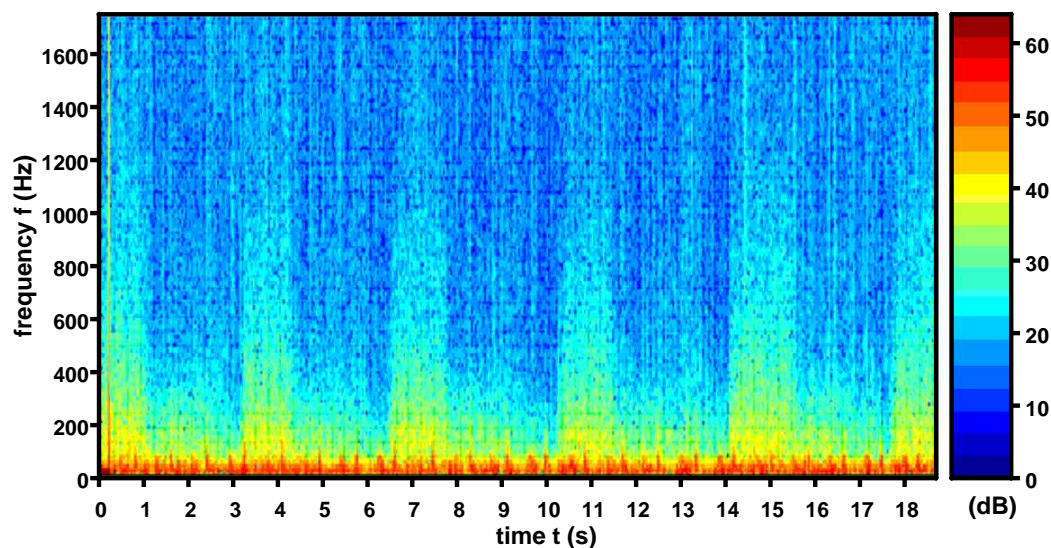


Рис. 6. Фоноспирограмма дыхания больного пневмокониозом при наличии тресков в точке 7П

меньше, чем у пациентов из контрольной группы.

Спектральный анализ выявил, что у больных пневмокониозом диапазон звуков дыхания более узок – на 10 %, по сравнению со здоровыми людьми, и на 7 %, по сравнению с пациентами из контрольной группы.

Интенсивность звуков дыхания у больных пневмокониозом на 5 дБ (в 1.8 раза) ниже, чем у здоровых людей, в то время как осредненная интенсивность звуков дыхания у пациентов контрольной группы снижена всего лишь на 1.5 дБ (в 1.15 раза). У больных пневмокониозом обнаружено учащенное и ослабленное дыхание (рис. 2).

Исследования показали, что звуки дыхания больных интерстициальной и узелковой формами пневмокониоза отличаются. У последних наблюдается более жесткое дыхание, т. е. уровни их спектральных составляющих на вдохе и выдохе близки (рис. 3). Это наиболее заметно при тяжелых формах заболевания. Полученные результаты коррелирует с данными исследований опубликованных в работе [16].

Обнаружено, что и при интерстициальной, и при узелковой форме заболевания интенсивность звуков дыхания правого легкого всегда выше, чем левого. У отдельных тяжело больных выявлены моно- и полифонические хрипы – продолжительные дополнительные звуки, сосредоточенные в узкой полосе частот, или ансамбль, состоящий из основной гармоник и кратных ей обертонов. На рис. 4 хорошо видны четыре гармоник. Этот вид аускультативных признаков наблюдается только в

диапазоне частот 100 ÷ 1000 Гц. При этом интенсивность характерных спектральных составляющих достаточно высока. Это наглядно продемонстрировано рис. 4 и 5, на которых приведены соответственно фоноспирограмма, спектры мощности и функция когерентности для больного пневмокониозом. Очевидно, что такие признаки более целесообразно выявлять с помощью фоноспирограмм и функции когерентности.

Кроме того, звуки дыхания на вдохе и выдохе, даже у больных с легкой формой пневмокониоза, сопровождаются тресками – короткими широкополосными звуковыми импульсами (рис. 6). Подобные явления обнаружены у 86 % больных и полностью отсутствуют в звуках дыхания здоровых людей. У пациентов из контрольной группы, этот аускультативный признак выявлен только у 2 человек из 30. Согласно принятой международной терминологии, на фоноспирограмме зафиксирована совокупность коротких тресков (*fine crackles*) и длинных тресков (*coarse crackles*).

В качестве иллюстрации на рис. 7 приведена фоноспирограмма одного короткого треска при большом временном разрешении. Его уровень превышает уровень полезного сигнала на 30 дБ (в 30 раз), а длительность двух периодов звукового импульса, по которой классифицируют вид сигнала, составляет 10 мкс, что соответствует короткому треску. Очевидно, что появление тресков в звуках дыхания может служить одним из характерных аускультативных признаков на ранних стадиях пневмокониоза.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ ГИПОТЕЗЫ МЕХАНИЗМОВ ГЕНЕРАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ У БОЛЬНЫХ ПНЕВМОКОНИОЗОМ

Для уяснения физической природы процессов генерации дополнительных звуков дыхания (аускультативных признаков) в респираторной системе больных пневмокониозом кратко рассмотрим морфологические изменения, происходящие при этом заболевании.

Первичной структурной единицей паренхимы легкого является ацинус, который состоит из терминальной бронхиолы, отходящих от нее к альвеолам региональных бронхиол и самих альвеол. В паренхиме легких человека содержится около 700 миллионов альвеол – пузырьковидных образований, оплетенных сетью капилляров. Через стенки альвеол происходит основной газообмен организма. Открытое состояние бронхиол поддерживается соединительным и сосудистым каркасом, и внутриальвеолярным давлением [14].

В процессе вдыхания запыленного воздуха частицы пыли по воздухопроводным путям попадают на внутреннюю поверхность альвеол, где они абсорбируются. Накопление на альвеолярной поверхности веществ, обладающих поверхностно-активными свойствами, приводит к уменьшению внутриальвеолярного давления, сужению региональных и терминальных бронхиол и их коллапсу на выдохе. Вследствие этого нарушается бронхиальная проходимость по клапанному механизму, что приводит к увеличению остаточного объема воздуха в легких, снижению их жизненного объема и нарушению газообмена [21].

Интерстициальная форма пневмокониоза характеризуется появлением диффузной сетчатости в нижних и средних долях легкого, представляющую собой разрастающуюся соединительную ткань, армирующую паренхиму легких и ухудшающую ее подвижность (эластичность). С прогрессированием заболевания в интерстициальной форме наблюдается не только перерождение тканей из эластичных в жесткие соединительные, но и развитие эмфизематозных процессов (слияние альвеол) [22]. Как указано в работе [23], происходит “необратимое увеличение воздушного пространства дистальнее терминальных бронхиол, сопровождаемое деструкцией стенок ацинуса”. Все это приводит к сокращению общей площади газообмена (рис. 8). Как следствие, для обеспечения необходимого организму человека кислорода организм вынужден повышать частоту дыхания. При слиянии альвеол и увеличении их размеров внутриаль-

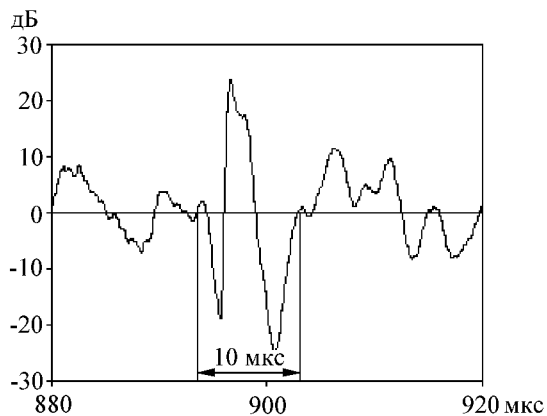


Рис. 7. Фонограмма звука при треске

веолярное давление уменьшается согласно закону Юнга – Лапласа: $P = 2\delta/R$, где δ – поверхностное натяжение альвеолы; R – ее радиус.

Все эти изменения в паренхиме легких сопровождаются снижением скорости воздушного потока в терминальных и региональных бронхиолах, что приводит к понижению уровня и частоты генерируемых звуков. Подтверждением данной гипотезы служат обнаруженные аускультативные признаки, характеризующие звуки дыхания больных пневмокониозом (табл. 2).

При узелковом пневмокониозе появляется множество образований круглой формы размером от 1 до 3 мм. На начальных стадиях болезни они концентрируются в прикорневых отделах, а в дальнейшем интенсивно покрывают все поле средних и нижних долей легких. Причиной преимущественного поражения средних и нижних долей легкого является гравитация, вынуждающая оседать частицы пыли в них. Слияние же и укрупнение альвеол паренхимы приводит к росту звукопоглощения, ухудшению акустической проводимости, и как следствие, к уменьшению уровня звуков дыхания [24].

Источниками моно- и полифонических хрипов или свистов (см. рис. 4) оказываются обструктивные явления в бронхах и бронхиолах, возникающие из-за стенозов воздухопроводных путей. Причиной последних становятся воспалительные процессы, повышенное выделение вязкого экссудата и последующая экстрадиция его наружу, в процессе которой в бронхах и бронхиолах формируются достаточно прочные нити и пленки. При их обтекании воздушным потоком излучаются интенсивные сухие хрипы (на одной частоте или на ансамбле частот).

Наличие тресков в звуках дыхания больных

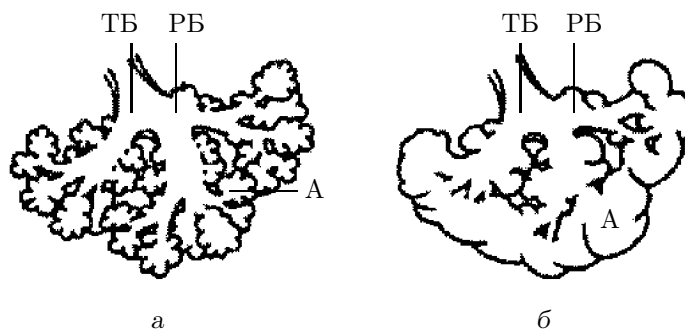


Рис. 8. Развитие эмфизематозных процессов:

ТБ – терминальная бронхиола; РБ – региональная бронхиола; А – альвеола

пневмокониозом можно объяснить нарушением бронхиальной проходимости, когда из-за низкого внутриальвеолярного давления на вдохе и выдохе происходит короткое по времени закрытие и открытие бронхиол [23]. Оно порождает высокоинтенсивные импульсные звуковые сигналы (трески), длительность которых от 5 до 20 мкс.

Таким образом, морфологические изменения в дыхательной системе при пневмокониозе вызывает появление звуковых феноменов, которые могут быть зарегистрированы и объективизированы при диагностике функционального состояния легких. Фоноспирографические компьютерные устройства позволяют акустическим неинвазивным, экологически безопасным методом выявлять эти аускультативные признаки на ранних стадиях заболевания респираторного тракта человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью сертифицированного фоноспирографического комплекса «КоРА-03М1» в клинических условиях сформирована компьютерная электронная база звуков дыхания верифицированных больных пневмокониозом, пациентов контрольной группы и здоровых обследуемых (всего 600 звуковых образов). Выполнена объективизация аускультативных признаков у больных пневмокониозом. Обнаружено существенное различие в длительности дыхательного цикла, интенсивности и частоте их спектральных составляющих здоровых и больных субъектов. С помощью фоноспирограмм, спектров мощности и функций когерентности у последних выявлены моно- и полифонические дополнительные звуки, трески и хрипы, интенсивность которых возрастает с тяжестью болезни. Предложены физические гипотезы механизмов

генерации дополнительных звуков дыхания для интерстициальной и узелковой форм пневмокониоза, которые нашли качественное экспериментальное подтверждение и коррелируют с результатами стандартных клинических исследований. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых экологически безопасных методов мониторинга и диагностики данного заболевания.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую благодарность академику НАН Украины проф. В. Т. Гринченко за постановку задачи и постоянный интерес к данной работе, а также докт. мед. наук А. В. Басанец, без помощи которой вряд ли удалось бы выполнить это исследование.

1. *Аритей Аускультация*. БСЭ. Том 3.– М.: Сов. энцикл, 1950.– 483 с.
2. *McKusick V. A., Jenkins J. T., Web G.* The acoustic basis of the chest examination: Studies by means of sound spectrography // *Amer. Rev. Tuberc.*– 1955.– **72**.– P. 12–34.
3. *Зислин Д. М., Розенблат В. В., Лихачева Е. И.* Объективное исследование дыхательных шумов с помощью частотного анализа // *Терапевт. архив.*– 1969.– **41**, N 11.– С. 108–112.
4. *Mori M., Kinoshita K., Morinari H., Shiraishi T., Koike S., Murao S.* Waveform and spectral analysis of crackles // *Thorax.*– 1980.– **35**.– P. 843–850.
5. *Fenton R. T., Pasterkamp H., Tal A., Chernik V.* Automated spectral characterization of wheezing in asthmatic children // *IEEE Trans. Biomed. Engng.*– 1985.– **32**.– P. 50–55.
6. *Kanga J. F., Kraman S. S.* Comparison of the lung sound frequency spectra of infants and adults // *Pediatr. Pulmonol.*– 1986.– **2**.– P. 292–295.

7. *Dedreczeni L. A., Korpas J., Salat D.* Spectral analysis of cough sounds recorded with and without a nose clip // *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.*– 1987.– **10**.– P. 57–61.
8. *Sovijarvi A. R., Malmberg L. P., Paaajanen E., Piirila P., Kallio K., Katila T* Averaged and time gated spectral analysis of respiratory sounds. Repeatability of spectral parameters in healthy men and in patients with fibrosing alveolitis // *Chest.*– 1996.– **109**.– P. 1283–1290.
9. *Вовк И. В., Гринченко В. Т., Дахнов С. Л., Крижановский В. В., Олийнык В. Н.* Изменение акустических характеристик шумов дыхания пневмонийных больных в процессе выздоровления // *Акуст. вісн.*– 1999.– **2**, N 4.– С. 3–12.
10. *Oud M., Maarsingh E. J.* Spirometry and forced oscillometry assisted optimal frequency band determination for the computerized analysis of tracheal lung sounds in asthma // *Physiol. Meas.*– 2004.– **25**, N 3.– P. 595–606.
11. *Murphy R.L., Vyshedskiy A., Power-Charnitsky V. A., Bana D. S., Marinelli P. M., Wong-Tse A., Paciej R.* Automated lung sound analysis in patients with pneumonia // *Respir. Care.*– 2004.– **49**, N 12.– P. 1490–1497.
12. *Vyshedskiy A., Bezares F., Paciej R., Ebril M., Shane J., Murphy R.* Transmission of crackles in patients with interstitial pulmonary fibrosis, congestive heart failure, and pneumonia // *Chest.*– 2005.– **128**, N 3.– P. 1468–1474.
13. *Басанец А. В.* О классификации пневмокониозов: Новая редакция Международной организации труда 2000 года // *Укр. пульмонолог. ж.*– 2003.– N 4.– С. 61–64.
14. *Артамонова В. Г., Шаталов Н. Н.* Профессиональные болезни.– М.: Медицина, 1988.– 416 с.
15. *Piirila P., Lehtola H., Zitting A., Kivisaari L., Koskinen H., Luukkonen R., Salo S. P., Vehmas T., Nordman H., Sovijarvi A. R.* Lung sounds in asbestos induced pulmonary disorders // *Eur. Respir. J.*– 2000.– **16**, N 5.– P. 901–908.
16. *Piirila P., Sovijarvi A. R., Lehtola H.* Lung sounds in asbestos induced pulmonary disorders // *Eur. Respir. J.*– 2000.– **16**.– P. 901–908.
17. *Басанец А. В., Макаренкова А. А.* Особливості аускультативної картини у хворих на пневмокониоз від впливу вугільного пилу при застосуванні ре-спросонографічного методу // *Укр. ж. з проблем медицини праці.*– 2007.– N 2.– С. 62–66.
18. *Комплекс фоноспирографический компьютерный “КоРА 03М1”.* Технические условия.– ТУ У33.1 05417354 001:2006.
19. *Свідоцтво про державну реєстрацію “Комплекс фоноспирографічний комп’ютерний КоРА 03 М1”.*– N 5528/2006 р.
20. *Вовк И. В., Макаренкова А. А.* Экспериментальное исследование помех, возникающих при регистрации дыхательных шумов электронными стетофонендоскопами // *Акуст. вісн.*– 2007.– **10**, N 4.– С. 26–34.
21. *Christine A. Glady, Shawn D. Aaron, Lunau Mary, Clinch J., Dales E.* A spirometry-based algorithm to direct lung function testing in the pulmonary function laboratory // *Chest.*– 2003.– N 123.– P. 1939–1946.
22. *Аверьянов А. В.* Эмфизема легких: современный взгляд // *Журнал доказательной медицины для практикующих врачей.*– 2006.– **8**, N 10.– С. 17–28.
23. *Антонюк С. В.* Некоторые аспекты пато- и мофогенеза экспериментального пневмокониоза. Роль системы сурфактанта легких // *Укр. терапевт. ж.*– 2004.– N 3.– С. 13–17.
24. *Pohlman A., Sehati S., Young D.* Effect of changes in lung volume on acoustic transmission through the human respiratory system // *Physiol. Meas.*– 2001.– N 22.– P. 233–243.