

УДК 616-057/616.24-008.4:616-071:001.5

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Басанец А. В.¹, Ермакова О. В.¹, Макаренкова А. А.², Макаренко А. П.²

¹ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев

²Институт гидромеханики НАН Украины, г. Киев

Вступление. Первоочередной задачей при обследовании больных, страдающих профессиональными заболеваниями, является объективизация диагноза, которая позволяет врачу выбирать наиболее оптимальные схемы лечения. *Цель исследования.* Апробация метода акустического компьютерного мониторинга состояния бронхолегочной системы до и после медикаментозного лечения с помощью компьютерного фonoспирографического комплекса у больных пневмокониозом (ПК) и хроническим обструктивным заболеванием легких (ХОЗЛ).

Материалы и методы исследования. Исследование выполнено в условиях клиники профессиональных заболеваний ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» с помощью разработанного и созданного в Институте гидромеханики НАН Украины компьютерного многоканального фonoспирографического комплекса «КоРА-03М1».

Результаты. Компьютерная обработка, полихромная визуализация и последующий анализ более 80 звуковых образов пациентов позволили объективизировать состояние их бронхолегочной системы до и после лечения. Объективизация данных на основании мониторинга спектральных, спектрально-временных и корреляционных функций звуков дыхания выявила качественные и количественные изменения в процессе лечения. Результаты исследований указывают на эффективность метода акустического мониторинга, который дополняет традиционные клинические методы контроля состояния бронхолегочной системы больных профессиональными заболеваниями в процессе лечения.

Ключевые слова: ХОЗЛ, звуки дыхания, мониторинг, компьютерная аускультация, фonoспирографический комплекс

Введение

Первоочередной задачей при обследовании больных, страдающих профессиональными заболеваниями, является объективизация диагноза, которая позволяет врачу выбирать наиболее оптимальные схемы лечения. В последние годы значительно расширилась область инструментальных методов диагностики пациентов с использованием современных компьютерных информационных технологий, которые оптимизируют процесс лечения больных [1]. Одним из таких новых акустических методов диагностики состояния бронхолегочной системы человека, в разработке которого принимали участие авторы статьи, является компьютерная многоканальная фonoспирография — электронная, неинвазивная, экологически безопасная аускультация звуков дыхания.

Особый интерес вызывают работы по клинко-биорадикальному мониторингу течения ХОЗЛ. Однако, приводимые в них данные малочисленны и противоречивы [2]. В предыдущих работах авторов

статьи [3, 4] описаны результаты исследований звуков дыхания больных пневмокониозом и хроническим обструктивным заболеванием легких. Исследованиями установлена возможность с достоверностью не менее 96 % классифицировать состояние бронхолегочной системы больных ПК и ХОЗЛ с помощью временных, спектральных, спектрально-временных и корреляционных функций звуков дыхания и реализованного в фonoспирографическом комплексе «КоРА-03М1» адаптивного алгоритма. Попытка акустического мониторинга течения заболевания пневмонией у больных описана в статье [5], где было выявлено положительное действие лечения. Однако о действии лечения авторы судят только по изменению фonoспирограмм без анализа характерных аускультативных признаков, присущих данному заболеванию.

Цель исследования — апробация метода акустического компьютерного мониторинга состояния бронхолегочной системы до и после медикаментозного лечения с помощью компьютерного фonoспирографического комплекса у больных ПК и ХОЗЛ.

Материалы и методы исследования

Пневмокониоз — общее название группы профессиональных заболеваний, вызванных действием производственной пыли, приводящее к развитию склеротических изменений в тканях паренхимы легких [6].

Согласно Глобальной инициативе по хроническому обструктивному заболеванию легких (GOLD), которая является совместным проектом Института сердца, легких и крови США и ВОЗ [7], ХОЗЛ — это «заболевание, характеризующееся частично необратимым ограничением воздушного потока, которое, как правило, имеет неуклонно прогрессирующий характер и вызвано аномальной воспалительной реакцией легочной ткани на раздражение различными патогенными частицами и газами».

Наиболее частой причиной возникновения ХОЗЛ является курение. Кроме этого, заболевание может быть обусловлено воздействием промышленных раздражителей (пыль, химические поллютанты, пары химических веществ и т. д.), которые действуют на организм работающего в процессе производственной деятельности. Таким образом, ХОЗЛ профессиональной этиологии может встречаться у шахтеров угольных шахт, где при добыче угля в воздухе рабочей зоны сконцентрировано большое количество угольной пыли, содержащей в своем составе диоксид кремния. Основными проявлениями ХОЗЛ являются кашель, часто с выделением мокроты, прогрессирующая одышка при физической нагрузке, нарушение общего самочувствия, снижение качества жизни и т. д.

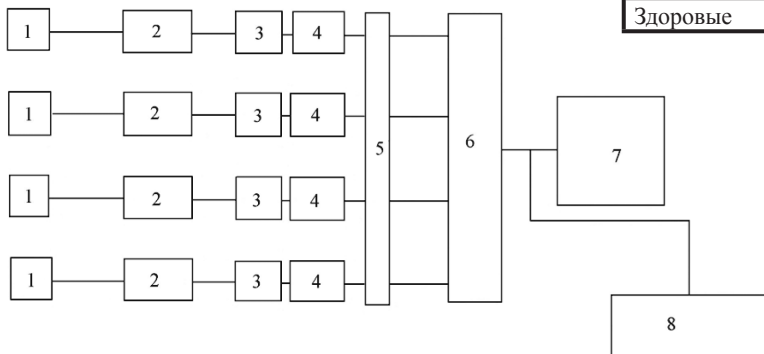


Рис. 1. Упрощенная блок-схема комплекса «КоРА-03М1»

1 — акселерометры; 2 — электронные усилители; 3 — фильтры ФНЧ; 4 — фильтры ФВН; 5 — 4-канальный АЦП; 6 — системный блок ПК; 7 — монитор; 8 — полихромный принтер.

Исследования состояния бронхолегочной системы больных пневмокониозом и хроническим обструктивным заболеванием легких у шахтеров угольных шахт были выполнены в клинике ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» в 2010—2013 годах. Критериями оценки состояния бронхолегочной системы пациентов было сопоставление акустических характеристик временных, спектрально-временных и корреляционных функций звуков дыхания, которые зарегистрированы, проанализированы и объективизированы в 4 точках грудной клетки с помощью компьютерного фonoспирографического комплекса «КоРА-03М1» до и после курса десятидневной базисной терапии (бронхолитики, муколитики и противовоспалительные средства). Исследования звуков дыхания были проведены в группе больных ПК и ХОЗЛ, группе здоровых людей и контрольной группе (таблица) по методу, разработанному авторами [3].

Комплекс «КоРА-03М1» сертифицирован в Укртестметрстандарте Украины и допущен Министерством здравоохранения Украины к использованию в медицинских учреждениях [7].

Для более полного понимания принципа функционирования комплекса кратко укажем его характеристики. Блок-схема комплекса приведена на рисунке 1. Как следует из рисунка, звуки дыхания одно-

Таблица

Исследование звуков дыхания по методу, разработанному авторами [3]

Группа обследуемых	Количество пациентов	Возраст	Стаж работы
Пневмокониозы	72	38,6 ± 1,5	20,2 ± 0,5
ХОЗЛ	60	53,2 ± 3,0	23,7 ± 1,5
Контроль	35	47,3 ± 3,4	19,8 ± 3,2
Здоровые	35	50,2 ± 2,1	21,5 ± 1,8

временно регистрируются четырьмя высокочувствительными малогабаритными пьезокерамическими сенсорами колебательного ускорения в диапазоне звуковых частот 20–2000 Гц с чувствительностью 15 мВс²/м. Масса сенсора составляет 12 г, что не нарушает виброакустическое поле поверхности тела, обусловленное звуками дыхания пациента, в месте их установки. Кроме того, с этой же целью крепление сенсоров осуществляется тонким двусторонним лейкопластырем фирмы «ЗМ».

Сенсоры преобразуют колебательное ускорение поверхности тела в переменное электрическое напряжение, которое усиливается, фильтруется в заданном частотном диапазоне, оцифровывается с помощью АЦП и подается на вход компьютерного процессора по оптоэлектронным преобразователям. В процессоре производится цифровая обработка сигналов (во временном, спектральном, спектрально-временном и корреляционном пространстве), после чего полученные характеристики визуализируются на мониторе компьютера, а при необходимости распечатываются на полихромном принтере в виде жестких копий. Звуковые образы звуков дыхания, зарегистрированные в 4 точках грудной клетки, хранятся в памяти компьютера комплекса и при необходимости могут прослушиваться через звуковые колонки многократно, без искажений.

Таким образом, комплекс обеспечивает преобразование звуков дыхания в оптически отображаемые временные, спектральные, спектрально-временные, корреляционные характеристики, объективизацию которых выполняет врач-диагност. Подобный принцип выделения характерных диагностических признаков реализован так же в ряде зарубежных диагностических комплексов (STG, HELSA и другие) [9, 10]. Отличия комплекса «КоРА-03М» состоит в типе сенсоров, полосе анализируемых частот звуков дыхания и программном продукте, применяемом для обработки информации.

В результате проведенных исследований было установлено, что наиболее информативными акустическими характеристиками, позволяющими успешно объективизировать диагностические признаки звуков дыхания, являются временная функция, спектр мощности, 3D «мгновенный» спектр — фоноспирограмма и функция когерентности [11].

Временная функция звуков дыхания позволяет идентифицировать только высокоинтенсивные аускультативные признаки: свисты, хрипы, крепитацию, трение плевры. Но с ее помощью невоз-

можно выделять аускультативные признаки низкого уровня, так как последние маскируются на общем фоне звуков дыхания.

Спектр мощности — это представление звуков дыхания в виде осредненных частотно-амплитудных зависимостей.

«Мгновенный» спектр — трехмерное представление сигналов (звуков дыхания) в информационном пространстве время-частота-интенсивность, осредненных за интервал времени, не превышающий 5,0–10,0 % времени дыхательного цикла «вдох-пауза-выдох-пауза».

Функция когерентности γ^2 подобна квадрату коэффициента корреляции ρ_{xy} , характеризующая степень линейной зависимости между звуками дыхания, зарегистрированными двумя сенсорами (когерентный сигнал). С ее помощью можно эффективно выявлять гармонические сигналы (свисты) в звуках дыхания.

Остановимся кратко на визуальном представлении дополнительных звуков дыхания. В практической медицине все основные и дополнительные звуки дыхания обычно характеризуются субъективными, вербальными моделями, отождествляемыми с другими подобными звуковыми образами: хрипы, свисты (мелко-, средне-, крупнопузырчатые), звуки трения, звучные, шелестящие звуки и т. п. Их тональность (частота) и интенсивность (громкость) носят качественные субъективные оценки. В электронной аускультации звуков жизнедеятельности для определения объективных физических акустических параметров используются стандартизированные размерные величины, такие как уровень сигнала (дБ), частота (Гц), время (с), звуковое давление (Па), колебательное ускорение (м/с²), напряжение (В) [12]. Эти физические величины позволяют качественно и количественно оценивать акустические звуковые процессы генерации и распространения звука в теле человека.

Основными условиями настоящего метода, которые выполнялись при электронной аускультации, являлись:

- 1) помещение, где осуществлялась электронная регистрация звуков дыхания, было максимально звукоизолированным, то есть соответствовало требованиям СНиП для кабинетов врачей;
- 2) пациент находился в положении сидя с обнаженной грудной клеткой;
- 3) дыхание пациента было свободным и естественным, разговоры и движение тела пациента не

допускались; при необхідності допускалось кратковременное форсированное дыхание;

- 4) уровни полезных сигналов ~ в 30 раз должны были превышать уровни собственных шумов аппаратуры (30 дБ);
- 5) у всех пациентов электронная регистрация звуков дыхания проводилась в одних и тех же точках грудной клетки.

Регистрация звуков дыхания (с поверхности грудной клетки), компьютерная обработка и последующий анализ выполнены в полосе частот 20–2000 Гц с четырехкратным дублированием каждого измерения.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате временного мониторинга звуков дыхания больных ПК и ХОЗЛ, проведенного с помощью компьютерного фоноспирографического комплекса «КоРА-03М1», до и после медикаментозного лечения на основе сопоставления со звуками дыхания здоровых людей и пациентов контрольной группы, были выявлены существенные изменения характерных акустических диагностических признаков:

- увеличение длительности дыхательного цикла на $18-20 \pm 2 \%$;
- трансформация спектров мощности звуков дыхания, проявляющаяся в постоянстве амплитуды спектральных составляющих в диапазоне низких частот $60-200 \pm 15$ Гц и увеличение их на $6-10$ дБ (в $2,0-3,0$ раза) на частотах от 200 Гц вплоть до 2000 ± 22 Гц. Это подтверждается сравнением осредненных спектров мощности звуков дыхания здоровых пациентов (рис. 2, кривая 1), пациентов, страдающих ПК и ХОЗЛ, до лечения (рис. 2, кривая 2) и после (рис. 2, кривая 3). Детальный анализ фоноспирограмм («мгновен-

ных спектров») позволил выявить и подробно объективизировать качественные и количественные, частотные и энергетические параметры (интенсивность) звуков дыхания на вдохе и выдохе. Обнаружено, что после курса медикаментозного лечения больных ПК и ХОЗЛ происходит уменьшение основных гармонических и субгармонических сигналов (сухие хрипы) на вдохе и выдохе, при этом снижается их интенсивность и частота. Но в тоже время наблюдается возрастание количества интенсивности широкополосных импульсных кратковременных сигналов (влажных хрипов). Такие изменения приводят к повышению амплитуды спектральных составляющих в осредненных спектрах звуков дыхания на частотах от 200 Гц и выше (рис. 2).

Оценивая достоверность полученных спектров, отметим следующее.

Так как для каждого пациента группы измерения осуществлялись в ограниченный период времени (до или после лечения) и дублировались каждый по 4 раза в одних и тех же условиях в четырех точках грудной клетки, они являются графически точными. Количественное тестирование на эквивалентность полученных спектров было выполнено по алгоритму, представленному в монографии [13]. В соответствии с данным алгоритмом

$$X^2 = \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{-1} \sum_{i=0}^k \left[\log \frac{\hat{G}_1(f_i)}{\hat{G}_2(f_i)} \right]^2 \quad (1)$$

X^2 подчиняется χ^2 распределению с k степенями свободы.

$\hat{G}_1(f_i)$ и $\hat{G}_2(f_i)$ – оценки сравнимых осредненных спектров, n_1, n_2 – число усредненных данных оценок. Тогда область принятия гипотезы $G_1(f_i) = G_2(f_i)$ будет $X^2 \leq \chi_{k, \alpha}^2$, $k = K$, где α – это уровень значимости критерия χ .

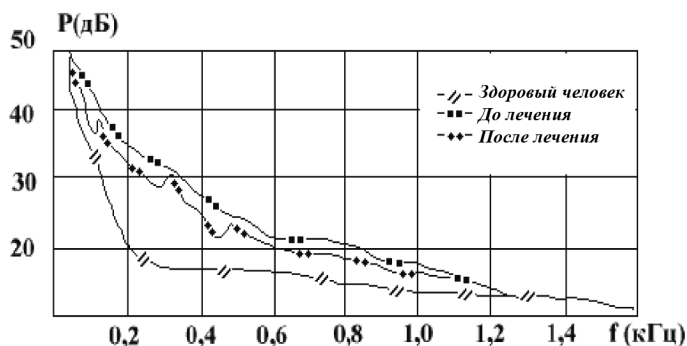


Рис. 2. Спектры звуков дыхания

Подобное изменение функции когерентности вызвано с одной стороны снижением количества и интенсивности сухих хрипов в процессе лечения, а с другой — появлением влажных хрипов (широкополосных, менее интенсивных).

Таким образом, можно утверждать, что применяемая схема лечения больных ПК и ХОЗЛ приводит к существенным изменениям аускультативных диагностических признаков, содержащихся в звуках дыхания, которые успешно выявляются и объективизируются разработанными и запатентованными методами фоноспирографии, аппаратно реализованными в компьютерном комплексе «КоРА-03М1» [14, 15].

Рассмотрим подробно и проанализируем с общefизических позиций результаты настоящих исследований. Как отмечалось выше, после проведения базисной терапии, при которой применялись противовоспалительные препараты, бронхолитики и муколитики, было обнаружено увеличение длительности дыхательного цикла, расширение частотных диапазонов звуков дыхания на вдохе и выдохе, уменьшение количества сухих хрипов, снижение их интенсивности. В то же время происходит возрастание количества широкополосных менее интенсивных хрипов. По нашему мнению, это свидетельствует об уменьшении воспалительного процесса, разжижении вязкого экссудата и повышении эвакуаторной способности мукоцилиарного эпителия. Данные изменения, происходящие в воздухоносных путях легких, приводят к увеличению дополнительных объемов паренхимы, которые вовлекаются в процесс газообмена. С точки зрения аэродинамики бронхиального дерева, воздушный поток испытывает меньшее сопротивление в бронхах и бронхиолах. За счет снижения сопротивления скорость движения в воздухоносных путях возрастает. Как известно, с увеличением скорости потока происходит увеличение интенсивности генерации звуков в степени близкой к двум ($P \sim U^2,0$), при этом расширяется их частотный диапазон [16].

Что касается сухих хрипов, или по определению аэродинамической акустики гармонических и субгармонических звуков (они видны в виде лесенки на фоноспирограммах), то их количество и интенсивность после лечения существенно уменьшается. Как известно, такие сигналы (сухие хрипы) возникают при движении воздуха через стенозированные воспалительными процессами бронхи и бронхиолы, при наличии сгустков экссудата на их стенках

[16]. Такое состояние порождает интенсивные вихревые структуры с высокоэнергетическими пульсациями давления — источниками дополнительных звуков. Сухие хрипы возникают и при нахождении в поперечном сечении воздухоносных путей пленок вязкого секрета, частично перекрывающих проходное сечение бронха или бронхиолы, колеблющихся под действием обтекающего их воздушного потока. В этом случае колебательный процесс сопровождается появлением в воздухе отрывных вихревых систем, сходящих с пленок, которые генерируют гармонические и субгармонические звуки.

Подобные звуки отсутствуют у здорового человека (рис. 4), но они хорошо видны на фоноспирограмме у пациентов, страдающих ПК и ХОЗЛ, до лечения (рис. 5). Звуки дыхания, зарегистрированные у таких пациентов после 10-дневного лечения, показывают существенное изменение этих артефактов, что подтверждает вышеуказанные доводы. Фоноспирограмма звуков дыхания, которая зарегистрирована после лечения (рис. 6), показывает возрастание количества импульсных сигналов (влажных хрипов).

Увеличение широкополосных менее интенсивных хрипов на вдохе и выдохе у пациентов после медикаментозного лечения указывает на снижение вязкости секрета в процессе лечения под действием муколитиков. При этом повышается скорость движения его в бронхах и бронхиолах. Секрет представляет собой двухфазную среду, состоящую из жидкой и газообразной составляющих, при этом газообразная фаза представлена в виде пузырьков. Пульсации давления вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, воздействующего на слизь, находящуюся в бронхах и бронхиолах, вызывает разрушение пузырьков секрета. Еще в 60-е годы прошлого столетия было показано, что разрушение пузырьков сопровождается импульсным взрывным увеличением звуковой энергии, которая по биотканям передается на поверхность грудной клетки, где ее классифицируют по акустической терминологии как широкополосный импульсный сигнал [18].

Критерий состояния бронхолегочной системы, определенный с помощью аппаратно реализованного в комплексе адаптивного алгоритма [4], выявил у больных ПК и ХОЗЛ трансформацию его от оценки «патология» (перед лечением) к оценке «рекомендовано дальнейшее лечение», что указывает на эффективность выбранной методики медикаментозной терапии.

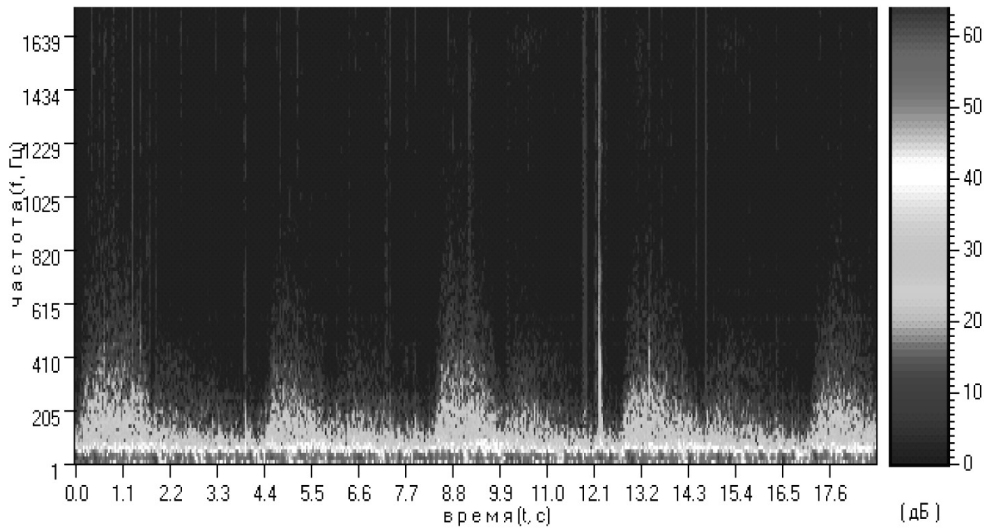


Рис. 4. Фоноспирограмма звуков дыхания здорового человека

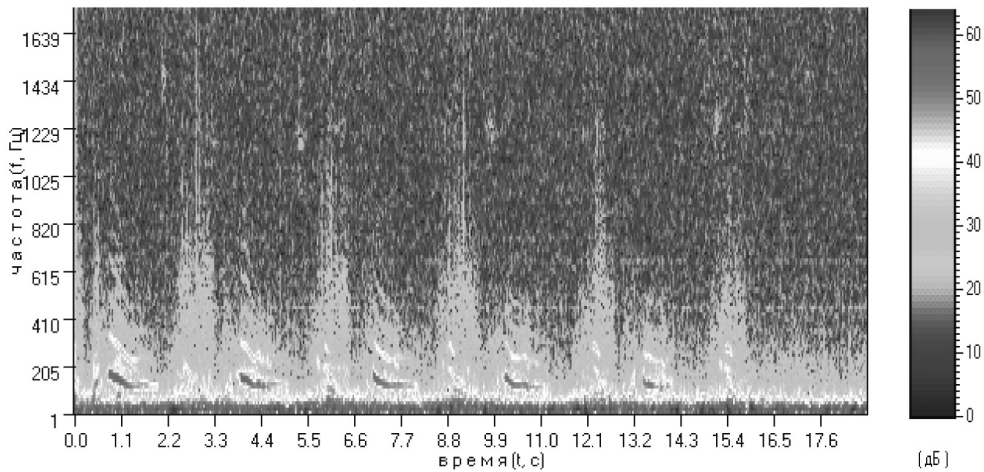


Рис. 5. Фоноспирограмма звуков дыхания пациента до лечения

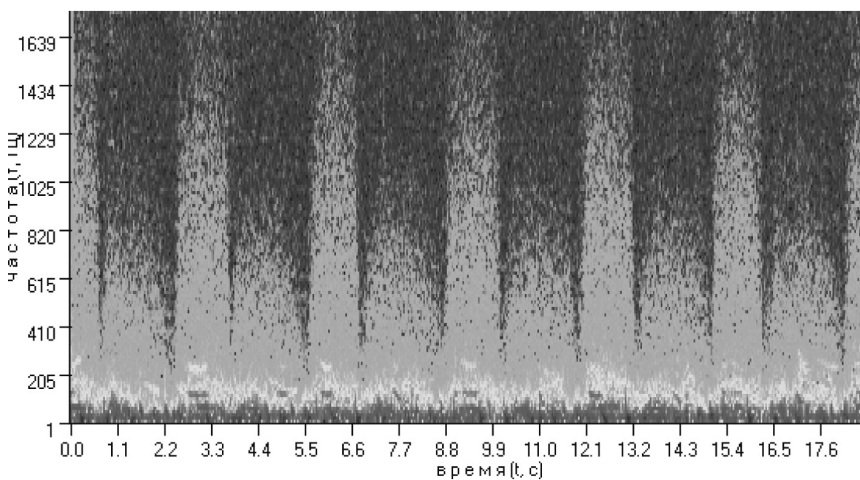


Рис. 6. Фоноспирограмма звуков дыхания пациента после лечения

Фоноспирографический метод диагностики, используемый в данной работе, показал возможность контроля состояния бронхолегочной системы больных ПК и ХОЗЛ в процессе лечения.

Выводы

Результатом проведенных исследований звуков дыхания по определению результативности процесса лечения больных пневмокопниозом и хроническим обструктивным заболеванием легких с помощью фоноспирограмм стали следующие выводы:

1) разработанный и апробированный авторами в клинических условиях неинвазивный экологически безопасный новый метод компьютерной электронной аускультации звуков дыхания с помощью фоноспирографического комплекса «КоРА-03М1» позволил провести мониторинг состояния бронхолегочной системы больных пневмокопниозом и хроническим обструктивным заболеванием легких до и после медикаментозного лечения;

2) установлено, что после десятидневного курса приема больными противовоспалительных препаратов, бронхолитиков и муколитиков были выявлены существенные изменения состояния бронхолегочной системы, которые привели к увеличению длительности дыхательного цикла, расширению частотного диапазона звуков на вдохе и выдохе, уменьшению гармонических и субгармонических звуков, а также увеличению широкополосных менее интенсивных звуков, что является объективным критерием уменьшения интенсивности клинических симптомов, свидетельствующих об улучшении состояния здоровья пациентов;

3) с помощью аппаратно реализованного в фоноспирографическом комплексе адаптивного алгоритма обработки звуков дыхания после курса медикаментозного лечения у больных ПК и ХОЗЛ был выявлен сдвиг оценки состояния бронхолегочной системы от критерия «Патология» к критерию «Рекомендовано дополнительное исследование», что указывает на улучшение состояния дыхательной системы пациентов.

Литература

1. Digital respirosography. New images of lung sounds / Pasterkamp H., Garson C., Daien D., Oh Y. // Chest. – 1989. – V. 96, № 6. – P. 1405–1412.

2. Нанкевич И. Н. Клинико-биорадикальный мониторинг хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) в условиях стационара: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук ; спец. 14.01.04 «Внутренние болезни» / Нанкевич И. Н. – Смоленск, 2012.

3. Басанец А. В. Особливості аускультативної картини у хворих на пневмокопниоз від впливу вугільного пилу при застосуванні респіросонографічного методу / Басанец А. В., Макаренкова А. А. // Український журнал з проблем медицини праці. 2007. – № 2. – С. 62–66.

4. Акустическая объективизация звуков дыхания больных ХОБЛ / Басанец А. В., Ермакова О. В., Макаренкова А. П., Макаренкова А. А. // Український журнал з проблем медицини праці. – 2010. – № 3. – С. 47–55.

5. Изменения акустических характеристик шумов дыхания пневмонийных больных в процессе выздоровления / Вовк И. В., Дахнов С. Л., Крижановский В. В., Олийник В. Н. // Акустический вестник. – 1999. – Т. 2., № 4. – С. 3–12.

6. Басанец А. В. О классификации пневмокопниозов: новая редакция меж-ду-на-род-ной организа-

ции труда 2000 года / Басанец А. В. // Український пульмонологічний жур-нал. 2003. № 4. С. 61–64.

7. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD)/ Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. Updated 2013. Available from <http://www.golodcopd.com/>

8. Свідчення про державну реєстрацію «Комплекс фоноспірографічний комп'ютерний КоРА 03 М1» (№ 5528/2006 р.).

9. Электронный портативный стетоскоп Handheld STG T-Mobile Kit: [Электронный ресурс]. Режим доступа к сайту: <http://stethographics.com/main/store.html>.

10. A new versatile PC based lung sound analyzer with automatic crackle analysis (HelSa) / Sovijarvi, K. Kallio, E. Paajanen [et al.] // Abstr. of the 21 st Int. Conf. of lung sounds. International Lung Sounds Association. Chester. 1996. P. 22.

11. Макаренкова А. А. Акустические характеристики звуков дыхания, методы их регистрации и обработки: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук ; спец. 01.04.06 «Акустика» / Макаренкова А. А.; Институт гидромеханики НАН Украины. – Киев, 2008. – 20 с.

12. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара / ред. Клюева В. В. М.: Машиностроение, 1978. – 447 с. – (Измерительная техника).

13. Бендат Д. Прикладной анализ случайных данных / Д. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989. – 540 с.

14. Патент на корисну модель «Спосіб акустичної діагностики пневмокопіза» / Басанец А. В., Журківська Н. В., Грінченко В. Т., Макаренков А. П., Макаренкова А. А., № 52355 від 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.

15. Патент на корисну модель «Спосіб акустичної діагностики хронічного обструктивного захворювання легень» / Басанец А. В., Єрмакова О. В., Грінченко В. Т., Макаренков А. П., Макаренкова А. А., № 52247 від 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.

References

1. Pasterkamp, H., Garson, C., Daien, D., Oh Y. 1989. Digital respirosography. New images of lung sounds, *Chest*. Vol. 96, no. 6, pp. 1405-1412.

2. Nankevich, I. N. 2012. Clinical and bioradical monitoring of the chronic respiratory lung disease (COLD) in the stationary. Dissert., Cand. Med. Sci., specialty 14.01.04 – Inner diseases, Smolensk, Russian Federation (in Russian).

3. Basanets, A. V., Makarenkova A. A. 2007. «Peculiarities of auscultative picture in patients with pneumoconiosis exposed to coal dust, using a respirosographic method», *Ukrainian J Occup Health*, no. 2, pp. 62-66 (in Ukrainian).

4. Basanets, A. V., Yermakova, O. V., Makarenkov, A. P., Makarenkova, A. A. 2010. «Acoustic objectivization of sounds in patients with COLD», *Ukrainian J Occup Health*, no. 3, pp. 47-55 (in Ukrainian).

5. Vovk, I. V., Dakhnov, S. L., Kryzhanovsky, V. V., Oliynyk, V. N. 1999. «Changes of acoustic characteristics of respiration noises in patients with pneumoconiosis in the process of recovery», *Akustychny vestnik*, Vol. 2., no. 4, pp. 3-12 (in Russian).

6. Basanets, A. V. 2003. «On the classification of pneumoconiosis: a new edition 2000 of the International Labour Organization», *Ukrainian pulmonology J.*, no. 4, pp. 61-64 (in Russian).

7. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD)/ Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease. Updated 2013. Available from <http://www.golodcopd.com/>

8. Certificate on the state registration of «Computer phonospirographic complex KoRA 03 M1» (№ 5528/2006) (in Ukrainian).

9. Electronic portative stethoscope Handheld STG T Mobile Kit: Available from <http://stethographics.com/main/store.html>.

16. Петровский В. С. Гидродинамические проблемы турбулентного шума / В. С. Петровский. – Л. : Судостроение, 1966. – 252 с. – (Гидродинамическая акустика).

17. Вовк И. В. Автоматическое обнаружение и распознавание сухих хрипов на основе анализа их автокорреляционной функции / И. В. Вовк, В. Ю. Семенов // *Акустичний вісник*. – 2005. – Т. 8, № 3. – С. 17-23.

18. Grighton D. G. Sound generation by turbulent two-phase flow / Grighton D. G. and J. E. Ffowcs Williams // *J. of Fluid Mechanics*. – 1969. – V. 36. – P. 3.

10. Sovijarvi, K. Kallio, E. Paajanen, P. Malmberg, P. Helisto, P. Lipponen 1996. «A new versatile PC based lung sound analyzer with automatic crackle analysis (HelSa)», *Abstr. of the 21 st Int. Conf. of lung sounds*. International Lung Sounds Association. Chester, p. 22.

11. Makarenkova, A. A. 2008. Acoustic characteristics of respiration sounds, methods of their recording and processing: thesis, Cand. med. sci., physics and mathematics sciences, specialty 01.04.06 – Acoustics, Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kiev, 20 p. (in Russian).

12. Devices and systems for measuring vibration, noise and knocks (ed. Klyuyev V. V. 1978, Moscow: Mashinostroyeniye, 447 p. – Instrumentation technology (in Russian).

13. Bendat, D., Pirsol, A. 1989. Applied analysis of randomized data. Moscow : Mir, 540 p. (in Russian).

14. Basanets, A. V., Zhurakhivska, N. V., Grinchenko, V. T., Makarenko, A. P., Makarenkova, A. A. 2010. Useful model patent for «Method of acoustic diagnostics of pneumoconiosis», № 52355 of 25.08.2010, *Bul. № 16* (in Russian).

15. Basanets, A. V., Yermakova, O. V., Grinchenko, O. V., Makarenkov, A. P., Makarenkova, A. A. 2010. Useful model patent «Method for acoustic diagnostics of chronic obstructive lung diseases» № 52247 of 25.08.2010, *Bul. № 16* (in Russian).

16. Petrovsky, V. S. 1966. Hydrodynamic problems of turbulent noise. Leningrad : Sudostroyeniye, 252 p. – (Hydrodynamic acoustics) (in Russian).

17. Vovk, I. V., Semenov, V. Y. 2005. «Automatic detection and recognition of dry rales, based on the analysis of their autocorrelation function», *Akustychny visnyk*, Vol. 8, no. 3, pp. 17-23 (in Russian).

18. Grighton, D. G. and J. E. Ffowcs Williams. 1969. «Sound generation by turbulent two-phase flow», *J. of Fluid Mechanics.*, Vol. 36, p. 3.

Басанеш А. В.¹, Єрмакова О. В.¹, Макаренкова А. А.², Макаренков А. П.²

АКУСТИЧНИЙ МЕТОД МОНІТОРИНГУ СТАНУ БРОНХОЛЕГЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ХВОРИХ ПРОФЕСІЙНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ

¹ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», м. Київ

²Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ

Вступ. Першочерговим завданням при обстеженні хворих на професійні захворювання є об'єктивізація діагнозу, яка дозволяє лікарю обирати найоптимальніші схеми лікування.

Мета дослідження. Апробація методу акустичного комп'ютерного моніторингу стану бронхолегеневої системи до та після медикаментозного лікування за допомогою комп'ютерного фonoспірографічного комплексу у хворих на пневмоконіоз (ПК) та хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ).

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконано в умовах клініки професійних захворювань ДУ «Інститут медицини праці НАМН України» за допомогою розробленого й створеного в Інституті гідромеханіки НАН України комп'ютерного багатоканального фonoспірографічного комплексу «КоРа – 03М1».

Результати. Комп'ютерна обробка, поліхромна візуалізація й подальший аналіз більше 80 звукових образів пацієнтів дозволили об'єктивізувати стан їхньої бронхолегеневої системи до і після лікування. Об'єктивізація даних на підставі моніторингу спектральних, спектрально-часових і кореляційних функцій звуків дихання виявила якісні та кількісні зміни в процесі лікування. Результати досліджень вказують на ефективність методу акустичного моніторингу, який доповнює традиційні клінічні методи контролю стану бронхолегеневої системи хворих професійними захворюваннями в процесі лікування.

Ключові слова: ХОЗЛ, звуки дихання, моніторинг, комп'ютерна аускультация, фonoспірографічний комплекс

Basanets A. V.¹, Yermakova O. V.¹, Makarenkova A. A.², Makarenkov A. P.²

ACOUSTIC METHOD FOR MONITORING THE STATE OF THE BRONCHOPULMONARY SYSTEM IN PATIENTS WITH OCCUPATIONAL DISEASES

¹SI «Institute for Occupational Health of NAMS of Ukraine», Kiev

²Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine, Kiev

Background. The primary task in examination of patients with occupational diseases is objectivization of the diagnosis, allowing a physician to choose optimal schemes for treatment.

The purpose of the study was approbation of the method of acoustic computer monitoring of the state of the bronchopulmonary system before and after drug treatment, using a computer phonospirographic equipment in patients with pneumoconiosis (PC) and chronic obstructive lung diseases (COLD).

Materials and methods. The studies were performed in the clinic for occupational patients of State Institution «Institute for Occupational Health of NAMS of Ukraine», using a computer multichannel phonospirograph complex «KoRA-03M1», developed and designed in the Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine.

Results. The computer processing, polychromatic imaging and the subsequent analysis of more than 80 sound images of patients allowed to objectify the state of their respiratory system before and after treatment. The objectification of the data, based on monitoring of spectral, temporal and correlation functions of the respiratory sounds, revealed qualitative and quantitative changes in the treatment process. The research results indicate the effectiveness of the acoustic monitoring method, which complete traditional clinical methods in monitoring the state of patients with occupational bronchopulmonary diseases in the treatment process.

Key words: chronic obstructive lung diseases (COLD), breathing sounds, monitoring, computer auscultation, phonospirograph complex

Поступила: 01.04.2014 г.

Контактное лицо: Макаренкова Анастасия Анатольевна, старший научный сотрудник, отдел гидродинамической акустики, Институт гидромеханики НАН Украины, д. 8/4, ул. Желябова, г. Киев, 03057. Тел.: + 38 0 44 453 26 55. Электронная почта: maa@mail.ru