

УДК 534.222

ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ШУМОВ ФОРСИРОВАННОГО ВЫДОХА

© 2011 г.

*А.И. Дьяченко^{1,2}, В.И. Коренбаум³, А.А. Тагильцев³*¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва²Институт медико-биологических проблем РАН, Москва³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток

alexander-dyachenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Впервые измерены абсолютные уровни дыхательных шумов форсированного выдоха. Интенсивность шумов форсированного выдоха увеличивается с ростом плотности дыхательной газовой смеси. По-видимому, основным механизмом генерации шумов является возникновение вихрей внутри или вблизи трахеи.

Ключевые слова: вибростенд, акселерометры, дыхательные шумы, абсолютные уровни, газовые смеси.

Введение

Исследованию диагностической значимости и механизмам генерации дыхательных шумов (ДШ) посвящено много работ. Для регистрации ДШ обычно используются микрофоны со стетоскопическими камерами или контактные акселерометры, измеряющие нормальную компоненту ускорения грудной клетки. Колебания давления в камере зависят от ее характеристик. Поэтому результаты измерения ДШ представляют как отношение сигнала микрофона к произвольно выбранному референтному сигналу. Обычно в качестве такого сигнала используют сигнал того же микрофона на определенной частоте. Сигнал акселерометра зависит от чувствительности датчика, а также от механических свойств нижележащих тканей. Сигнал акселерометра также представляют только в относительных единицах.

Несмотря на многочисленные данные о ДШ в этих относительных единицах, нет каких-либо данных об абсолютных уровнях ДШ в размерных физических единицах, таких как величины колебательного смещения, скорости или ускорения поверхности ткани.

Эти данные необходимы для разработки новых методов регистрации и исследования ДШ. Отсутствие таких данных затрудняет сравнение результатов различных исследований.

Основная цель настоящего исследования – измерение абсолютных уровней ДШ форсированного выдоха (ФВ) над трахеей и подлопаточной областью. В предыдущих исследованиях были измерены трахеальные шумы ФВ в относительных единицах и обнаружено влияние состава дыхательной газовой смеси (ДГС) на шумы. Поэто-

му для уточнения механизмов генерации ДШ измерения абсолютных уровней дыхательных шумов ФВ были выполнены во время дыхания различными ДГС.

Материалы и методы

Использовали контактные акселерометры массой 8 г, разработанные и изготовленные в ТОИ ДВО РАН. Один датчик приклеивали к грудной клетке в подлопаточной области, а другой – к шее в ямке яремной вены. Два акселерометра прокалибровывали на вибростеле на частотах от 8 до 3960 Гц. В диапазоне частот от 100 до 1000 Гц чувствительность акселерометров к ускорению составляла от 16 до 22 дБ по отношению к $1 \text{ мВ}/(\text{м}/\text{с}^2)$, в среднем около $7.5 \text{ мВ}/(\text{м}/\text{с}^2)$. В измерениях ускорения учитывали частотную зависимость чувствительности каждого акселерометра. В исследованиях участвовали 25 здоровых добровольцев. Выполняли по 3 ФВ в каждой из 3-х ДГС: 1) комнатный воздух с 21% O_2 , 2) кислородно-гелиевая ДГС (O_2 -He) с 25% O_2 ; 3) кислородно-криптоновая ДГС (O_2 -Kr) с 21% O_2 . Плотности ДГС при 37 °С составляют 1.136 г/л для воздуха, 0.432 г/л для O_2 -He и 2.866 г/л для O_2 -Kr.

Регистрация шумов ФВ производилась с помощью 8-канальной компьютерной лаборатории PowerLab (ADInstruments). С помощью специализированного матобеспечения ADInstruments выполняли регистрацию сигналов с частотой 10 кГц и анализ сигналов. Выделяли диапазоны: 100–200, 200–400, 400–600, 600–800, 800–1000 Гц. Статистическую значимость различий оценивали по критерию рангов Крускала–Уоллеса для интервалов 100 и 200 Гц в диапазоне от 100 до 1000 Гц.

Результаты

На трахее зарегистрированы и исследованы максимальные и среднеквадратичные (RMS) величины ускорения. Для подлопаточной области изучены только максимальные величины ускорения, так как величины RMS оказались слишком близкими к фоновому шуму. На рис. 1 представлены максимальные величины дыхательных шумов ФВ на уровне нижней доли правого легкого (правая подлопаточная область грудной клетки), (*L*) и на уровне внегрудной трахеи (*T*) в интервалах по 100 и 200 Гц в частотном диапазоне между 100 и 1000 Гц. По оси *X* представлены газовые смеси: *a* – воздух, *h* – O₂-He, *k* – O₂-Kr. По оси *Y* представлено акустическое ускорение: медианы и разброс, показывающий квартили 25 и 75% для группы из *n* = 25 добровольцев.

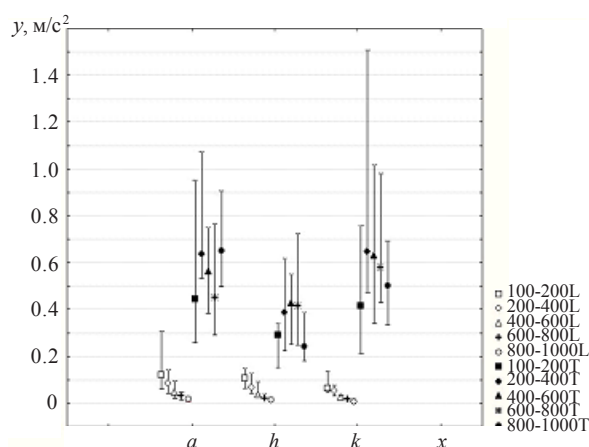


Рис. 1

Как RMS, так и максимальные величины ускорений шумов ФВ над трахеей были меньше при дыхании смесью O₂-He по сравнению с дыханием воздухом и смесью O₂-Kr. Это различие значимо ($P < 0.05$) в некоторых частотных интервалах и незначимо в других интервалах. Нет никаких статистически значимых различий максимальных амплитуд звуков в подлопаточной области при дыхании различными газовыми смесями.

Обсуждение

В настоящем исследовании впервые представлены абсолютные уровни дыхательных шумов ФВ. Эти результаты важны для развития метода аускультации легких, т.е. диагностики легочных заболеваний на основе регистрации и анализа дыхательных шумов. Они важны также для раз-

вития метода перкуссии, т.е. оценки состояния легких на основе анализа акустической реакции грудной клетки на импульсные воздействия в виде постукивания.

Исследованный нами диапазон частот содержит большую часть дыхательных шумов. Известно, что механическое взаимодействие мягких тканей поверхности тела и акселерометра искажает данные измерений ускорения. Точность измерений ускорения не менее 10% [1] на частоте ниже

$$f_0 = 3/2\pi(K_T / M_S)^{1/2}.$$

Здесь K_T – упругость ткани под акселерометром, M_S – его масса. На основе модели вдавливания цилиндрического штампа диаметром d в упругую среду получено аналитическое выражение $K_T = 4dG$ [2], где G – динамический модуль упругости мягкой ткани. Полагая $G = 20$ кПа, $d = 3$ см, $M_S = 8$ г, получаем $f_0 = 245$ Гц, т.е. на частотах 100–200 Гц значения ускорения не искажены.

Согласно литературе, возможные механизмы генерации ДШ включают: шум вихревого движения в областях динамического сужения трахеи и бифуркаций бронхиального дерева, турбулентный шум (т.е. шум турбулентных вихрей), звук динамического флаттера дыхательных путей. Зависимость интенсивности шумов ФВ от плотности ДГС поддерживает концепцию, что основным механизмом генерации шумов ФВ является возникновение вихрей внутри или вблизи трахеи.

Заключение

На внегрудной трахее измерены как максимальные, так и среднеквадратичные (RMS) величины акустического ускорения шумов ФВ. Максимальные величины акустического ускорения шумов ФВ измерены в подлопаточной области. Как RMS, так и максимальные величины шумов ФВ над трахеей меньше при дыхании смесью O₂-He по сравнению с дыханием воздухом и смесью O₂-Kr. Это поддерживает концепцию, что основным механизмом генерации шумов ФВ является возникновение вихрей внутри или вблизи трахеи.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №10-07-00486.

Список литературы

1. Бухман Е.В., Гершман С.Г., Яковенко Г.Н. // Акустический журнал. 1995. Т. 41, №1. С. 50–58.
2. Тиманин Е.М. Автореф. дисс. ... д.т.н. / ИПФ РАН, Н.Новгород. 2007. 28 с.

MEASURING THE INTENSITY OF THE NOISES OF A FORCED EXHALATION*A.I. Dyachenko, V.I. Korenbaum, A.A. Tagil'tsev*

The first report on the measurement of absolute levels of the forced exhalation noises is presented. The intensity of forced exhalation noises increases with the density of the respiratory gas mixture. This supports the view that generation of vortices inside or close to the trachea is the main mechanism of sound generation.

Keywords: shaker, accelerometers, lung sounds, absolute levels, gas mixtures for breathing.