

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТИЗОВАННЫХ ПО ПОТОКУ ОСНОВНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ШУМОВ

В. И. КОРЕНБАУМ^{1,2}, Е. В. МАЛИНИНА³, М. А. САФРОНОВА¹, Ю. В. КУЛАКОВ³

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

³*Тихоокеанский государственный медицинский университет, Владивосток*

Выполнены записи стандартизованных по потоку основных дыхательных шумов здорового человека. Предложен способ оценки спектральных характеристик шумов вдоха. Анализируются особенности этих характеристик у здоровых лиц.

ВВЕДЕНИЕ

Объективизация основных дыхательных шумов (ОДШ), регистрируемых на поверхности грудной клетки, важна для оценки состояния дыхательной системы человека. Измерения объективных характеристик ОДШ вдоха, представляющих основную компоненту так называемых везикулярных звуков, производились многими исследователями. Однако при этом использовались акустические датчики разных типов, обладающие своими частотными особенностями, и различные методы обработки акустических сигналов и оценки их параметров, что затрудняет сравнение полученных результатов (см., например, [1-5]). В результате, имеющиеся к настоящему времени данные не полны и противоречивы.

Цель настоящей работы – уточнение объективных характеристик ОДШ вдоха у здоровых лиц при наиболее близком к используемому при традиционной аускультации легких целевом потоке 1 л/с.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Запись шумов производилась конденсаторным микрофоном МК102 (RFT), снабженным стетоскопической насадкой, подключенным через шумомер, типа 00023 (RFT) к компьютерной лаборатории PowerLab (ADInstruments). В тракте шумомера использована дополнительная фильтрация в режиме «А». Целевая скорость потока контролировалась спирометром, снабженным трубкой Лилли. Одновременно на кончике пальца фиксировался пульс. Обследовано 36 здоровых мужчин в возрасте от 19 до 80 лет. Записи выполнены по передней поверхности (ПП) грудной клетки: ПП₁ – правая надключичная область, ПП₂ – левая надключичная область, ПП₃ – правая подключичная область во II межреберье по правой срединно-ключичной линии, ПП₄ – левая подключичная область во II межреберье по левой срединно-ключичной линии, ПП₅ – правая передняя подмышечная область в V межреберье по передней подмышечной линии, ПП₆ – левая передняя подмышечная область в V межреберье по передней подмышечной линии. По боковой поверхности (БП) грудной клетки: БП₇ – правая средняя подмышечная линия в VI межреберье, БП₈ – левая средняя подмышечная линия в VI межреберье. По задней поверхности (ЗП) грудной клетки: ЗП₉ – правая задняя подмышечная линия в VII межреберье, ЗП₁₀ – левая задняя подмышечная линия в VII межреберье, ЗП₁₁ – правая надлопаточная область, ЗП₁₂ – левая надлопаточная область, ЗП₁₃ – правая межлопаточная область на уровне III грудных позвонков по

околопозвоночной линии, ЗП₁₄ – левая межлопаточная область на уровне III грудных позвонков по околопозвоночной линии, ЗП₁₅ – правая межлопаточная область на уровне VI грудного позвонка по околопозвоночной линии, ЗП₁₆ – левая межлопаточная область на уровне VI грудного позвонка по околопозвоночной линии, ЗП₁₇ – правая подлопаточная область, ЗП₁₈ – левая подлопаточная область. В записях выделены фрагменты ОДШ вдоха при скорости близкой к целевой. Исключены участки записи с импульсными помехами, в том числе связанными с пульсом. Для выделенных участков ОДШ вдоха в программе SpectraLab (SoundTech Inc.) рассчитаны усредненные спектры мощности (логарифмический масштаб по амплитуде, число отсчетов 1024, перекрытие 50%, окно Хэннинга).

Применен единый алгоритм оценки спектральных характеристик. Из спектральных значений ОДШ вдоха отнимали спектральное значение фона. Для разностного спектра находили нижнее и верхнее значения частот, на которых наблюдается превышение исследуемых ОДШ вдоха над фоном на 10 дБ. От уровня основного спектра ОДШ вдоха, на нижней частоте 10 дБ превышения разностного спектра над фоном откладывали уровень -3 дБ и таким образом находили частоту среза $f_{-3дБ}$. В диапазоне от нижней частоты 10 дБ превышения исследуемого спектра над фоном до частоты среза $f_{-3дБ}$ по основному спектру определяли среднее значение уровня амплитуды ОДШ - А. От среднего значения амплитуды откладывали уровень -20 дБ и таким образом находили частоту среза $f_{-20дБ}$. При этом критическое требование к разности сигнал/фон для последнего параметра было в некоторых случаях снижено до 6 дБ. Точки обследования, где это условие не выполнялось, были исключены из дальнейшего анализа. Кроме того, вычисляли с помощью линейного регрессионного анализа наклон b (дБ/Гц) спектральной кривой между точками среза «-3 дБ» и «-20 дБ». При этом учитывали только значения, для которых значимость критерия Фишера составляла $p < 0.05$, а коэффициент детерминации $R^2 > 0.7$. Полученные медианные значения наклона спектральной кривой дополнительно пересчитаны в размерность дБ/октава для сравнения результатов с данными [1].

Для вычисления скомпенсированного по потоку значения уровня амплитуды ОДШ A_{adj} нормировали среднее значение скорости потока к 1 л/с и находили поправку в дБ, соответствующую полученному отношению. Эту поправку прибавляли к фактическому среднему уровню амплитуды шумов А, если значение скорости была меньше 1 л/с, и отнимали, если значение скорости было больше 1 л/с.

Таким образом, для описания спектров ОДШ вдоха было предложено вычислять 4 спектральных параметра: A_{adj} , $f_{-3дБ}$, $f_{-20дБ}$, b .

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Спектральные параметры основных дыхательных шумов вдоха исследуемых, соответствующие скорости потока 0.89 ± 0.18 л/с приведены в табл. 1.

Для оценки симметрии ОДШ вдоха выполнено сравнение исследуемых акустических параметров в симметричных точках справа и слева. Также выполнена оценка значимости различий параметров ОДШ вдоха, регистрируемых в точках аускультации над задней поверхностью грудной клетки. Из всех анализируемых параметров различия по частотам среза спектра $f_{-3дБ}$, $f_{-20дБ}$ оказались статистически значимыми, причем и справа, и слева. Для этих параметров построены диаграммы, иллюстрирующие их изменение по мере перехода из верхних в нижние отделы правого легкого (рис. 1). Зависимости для левого легкого аналогичны.

Табл. 1

Точки аускультации	A_{adj} , дБ	$f_{здБ}$, Гц	$f_{20дБ}$, Гц	b , дБ/Гц
ПП ₁	-56.7; (-58.5; -55.3)	341.8; (308.6; 390.6)	582.0; (572.3; 634.8)	-0.056; (-0.067; -0.045)
ПП ₂	-56.8; (-61.6; -54.8)	316.4; (273.4; 359.4)	574.2; (546.9; 648.4)	-0.050; (-0.060; -0.044)
ПП ₃	-58.1; (-60.3; -55.1)	343.8; (283.2; 396.5)	582.0; (566.4; 623.0)	-0.055; (-0.071; -0.046)
ПП ₄	-56.5; (-59.1; -53.2)	283.2; (216.8; 359.4)	550.8; (525.4; 621.1)	-0.061; (-0.070; -0.047)
ПП ₅	-63.3; (-65.2; -57.8)	332.0; (265.6; 390.6)	621.1; (552.7; 662.1)	-0.061; (-0.074; -0.037)
ПП ₆	-62.5; (-65.5; -56.7)	355.5; (250.0; 414.1)	585.9; (539.1; 660.2)	-0.058; (-0.076; -0.047)
БП ₇	-62.9; (-66.7; -57.3)	347.7; (253.9; 390.6)	601.6; (570.3; 648.4)	-0.053; (-0.072; -0.041)
БП ₈	-60.7; (-64.8; -58.4)	339.8; (289.1; 394.5)	574.2; (539.1; 621.1)	-0.060; (-0.074; -0.044)
ЗП ₉	-62.5; (-67.4; -59.5)	351.6; (320.3; 388.7)	601.6; (568.4; 664.1)	-0.056; (-0.090; -0.047)
ЗП ₁₀	-60.4; (-62.6; -54.6)	359.4; (296.9; 449.2)	580.1; (527.3; 617.2)	-0.066; (-0.089; -0.048)
ЗП ₁₁	-60.3; (-62.2; -59.1)	308.6; (269.5; 355.5)	562.5; (519.5; 578.1)	-0.065; (-0.081; -0.048)
ЗП ₁₂	-61.1; (-63.4; -58.0)	289.1; (253.9; 324.2)	543.0; (507.8; 550.8)	-0.071; (-0.082; -0.062)
ЗП ₁₃	-60.5; (-62.2; -58.1)	275.4; (253.9; 308.6)	513.7; (486.3; 537.1)	-0.076; (-0.082; -0.062)
ЗП ₁₄	-60.4; (-61.9; -58.0)	304.7; (273.4; 335.9)	533.2; (492.2; 558.6)	-0.077; (-0.090; -0.064)
ЗП ₁₅	-63.0; (-65.6; -59.8)	300.8; (250.0; 355.5)	570.3; (554.7; 593.8)	-0.064; (-0.071; -0.055)
ЗП ₁₆	-60.4; (-62.6; -55.4)	269.5; (238.3; 320.3)	531.3; (511.7; 558.6)	-0.069; (-0.078; -0.062)
ЗП ₁₇	-61.5; (-63.9; -58.8)	343.8; (296.9; 390.6)	546.9; (535.2; 603.5)	-0.073; (-0.083; -0.054)
ЗП ₁₈	-60.0; (-63.3; -55.7)	318.4; (273.4; 371.1)	546.9; (539.1; 585.9)	-0.076; (-0.084; -0.063)

Полученные нами спектры ОДШ вдоха характеризуется сравнительно постоянным по уровню амплитуды низкочастотным участком и участком близкого к линейному спада амплитуды с частотой. Несмотря на различные типы используемых датчиков, этот вид спектра весьма сходен с приводимым в [1]. Однако он не соответствуют виду спектров ОДШ вдоха с максимумом амплитуды в районе 100-150 Гц [2], или постоянным спадом амплитуды, начиная от самых низких частот [3,5]. Наблюдаемые различия, очевидно,

связаны с частотными особенностями используемых датчиков и различными вариантами дополнительной фильтрации сигналов.

Хотя прямое сравнение полученных спектральных параметров ОДШ вдоха с данными предыдущих работ затруднительно вследствие разного набора используемых характеристик, попробуем сопоставить полученные нами результаты (табл. 1) с известными. Сравнивать полученные нами частоты с пиковыми частотами не имеет смысла вследствие оговоренной выше разницы в виде спектров.

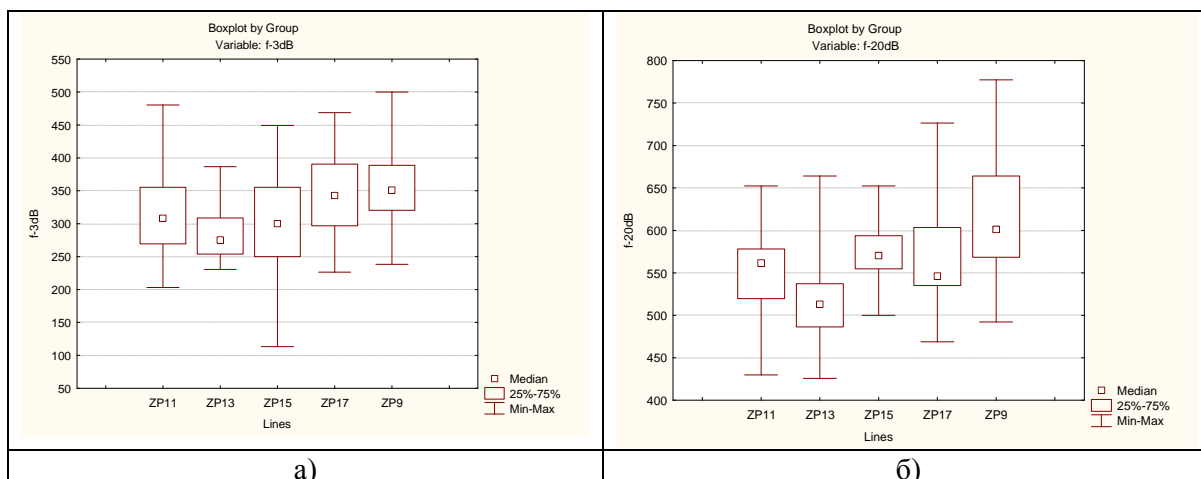


Рис. 1: а) f_{3dB} , б) f_{20dB} .

Абсолютные уровни амплитуды спектра зависят от чувствительности датчиков и коэффициента усиления измерительных трактов и потому сравнены быть не могут в принципе. Разброс медианных уровней амплитуды A_{adj} между разными точками поверхности грудной клетки в нашем исследовании достигает почти 7 дБ (более 2 раз), несмотря на потоко-компенсированную методику регистрации (табл. 1). Это наблюдение согласуется с данными о высокой вариабельности амплитудных параметров ОДШ вдоха по поверхности грудной клетки [1,5].

Медианы частоты среза спектра f_{3dB} лежат в пределах 269.5 – 359.4 Гц. В то же время полученные нами значения f_{3dB} , характеризующие перегиб спектральной кривой, оказались почти вдвое выше выполняющей ту же функцию частоты пересечения регрессионных линий [1]. Важно отметить, что разброс между медианными значениями f_{3dB} в нашем исследовании составляет 1.33 раза. Это свидетельствует о заметно меньшей вариабельности данного частотного параметра по поверхности грудной клетки, чем амплитуды спектра A_{adj} . Медианы частоты среза спектра f_{20dB} лежат в пределах 531.3 – 621.1 Гц (1.17 раз). Вариабельность этого частотного параметра по поверхности грудной клетки также весьма низка. Сами полученные значения f_{20dB} явно ниже, чем максимальные частоты спектра, оцененные по методу [1], однако неплохо согласуются с верхними частотами спектра, выделяемыми другими авторами.

Медианные значения регрессионного коэффициента находятся в пределах -15.82 – -25.1 дБ/октава, что характеризует существенно большую крутизну спада спектра в высокочастотную область по сравнению с данными [1], и, скорее всего, объясняется различными частотными характеристиками используемых датчиков [6].

Сравнительный анализ, данных полученных справа и слева, показывает, высокую степень билатеральной симметрии параметров ОДШ вдоха, согласующуюся с [3,5]. Значимые отклонения от билатеральной симметрии редки и встречаются в трех парах точек БП₇ – БП₈ ($f_{20дБ}$), ЗП₉ – ЗП₁₀ (A_{adj}), ЗП₁₅ – ЗП₁₆ (A_{adj} , $f_{20дБ}$). Отклонения от симметрии между парами точек БП₇ – БП₈ и ЗП₉ – ЗП₁₀ могут быть связаны с анатомическими особенностями указанных областей. Так, можно предположить, что наблюдаемая асимметрия здесь обусловлена справа – наличием печени, а слева – газовым пузырем желудка. Асимметрия полученных значений в паре точек ЗП₁₅ – ЗП₁₆ (медиана амплитуды шумов A_{adj} больше слева) согласуется с наблюдениями [1,3] и, может быть связана с различным делением на доли и сегменты в левом и правом легких. Действительно, легкие имеют справа 3 доли и слева - 2. В левом легком между передней и нижней частями нижней доли располагается язычковый сегмент, который и может, в принципе, приводить к разнице спектральных характеристик в этих точках обследования. Отдельного рассмотрения заслуживает значимое (по тесту Краскела-Уоллиса) изменение акустических параметров A_{adj} (справа), $f_{3дБ}$, $f_{20дБ}$ (и справа, и слева) по задней поверхности легких сверху - вниз (рис. 1). Что касается амплитудного параметра A_{adj} (справа), то этот эффект имеет сходство с известным ранее. В отношении частот среза спектра $f_{3дБ}$, $f_{20дБ}$ из рис. 1 следует тенденция к росту величин этих параметров по ходу от межлопаточной области, представляющей проекцию центральных отделов бронхиального дерева (ЗП₁₃, ЗП₁₄), к верхушкам (ЗП₁₁, ЗП₁₂) и к базальным отделам легких (ЗП₁₅, ЗП₁₇, ЗП₉ и ЗП₁₆, ЗП₁₈, ЗП₁₀). Эта тенденция свидетельствует о расширении спектра ОДШ вдоха в высокочастотную область при удалении от проекции центральных отделов бронхиального дерева и с акустических позиций может быть истолкована в пользу преимущественной генерации ОДШ вдоха не в центральных отделах бронхиального дерева, а ближе к периферическим. Данный вывод согласуется с представлениями, изложенными в [2,4,5]. Однако если это так, то объективные параметры, отражающие данную тенденцию, видимо, являются наиболее чувствительными с точки зрения диагностики состояния вентиляции периферических отделов легких. Кроме того, именно эти параметры и наименее вариабельны по различным участкам грудной клетки, и отличаются наибольшей билатеральной симметрией. Более того, будучи относительными, эти частотные характеристики менее чем амплитудный параметр A_{adj} чувствительны к отклонениям маневра от целевой скорости потока.

Заметим, что в отличие от предыдущих работ полученные в данном исследовании оценки объективных спектральных характеристик ОДШ вдоха сопоставимы со слуховым восприятием врача. Вследствие применения акустического датчика, сходного со стетоскопом, и использования дополнительной фильтрации в режиме «А» именно такие спектры ОДШ воспринимает врач на слух. Таким образом, представляется возможным подвести объективную базу под слышимые врачом звуки ОДШ вдоха. Действительно, расширение спектра ОДШ вдоха в высокочастотную область по задней поверхности грудной клетки согласно [1] должно вызывать у врача субъективное ощущение увеличения громкости шумов. В нашем исследовании при субъективной аускультации везикулярное дыхание оценено как более громкое в точках ЗП₁₃ и ЗП₁₅. У части обследованных лиц аускультативно выявлялось увеличение громкости везикулярного дыхания в точке ЗП₁₈. Однако указанные изменения аускультативных характеристик ОДШ, как правило, врачом не анализируются и воспринимаются как индивидуальная норма. Поэтому выделенные объективные спектральные характеристики ОДШ вдоха, вероятно, позволят обеспечить более тонкую оценку аускультативных особенностей

пациента. С другой стороны эти объективные спектральные характеристики ОДШ вдоха, как, по крайней мере, частично отражающие субъективное восприятие врача, можно полагать более обоснованными для диагностики с позиций многолетней клинической практики аускультации легких.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ 13-08-00010-а.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При скорости потока 0.89 ± 0.18 л/с медианы спектральных характеристик основных дыхательных шумов вдоха по поверхности грудной клетки лежат в следующих диапазонах: уровень амплитуды – -63.3 – -56.5 дБ, частота среза по уровню -3 дБ – 269.5 – 359.4 Гц, частота среза по уровню -20 дБ – 531.3 – 621.1 Гц, крутизна спада спектра между частотами среза – 0.077 – 0.050 дБ/Гц.
2. Значимые отклонения от билатеральной симметрии спектральных характеристик основных дыхательных шумов вдоха редки и встречаются только в: VI межреберье средне-подмышечной линии (частота среза по уровню -20 дБ), VII межреберье задне-подмышечной линии (уровень амплитуды), межлопаточной области на уровне VI грудного позвонка (уровень амплитуды, частота среза по уровню -20 дБ).
3. Имеется значимая тенденция к росту частот среза на уровнях -3 дБ и -20 дБ по ходу от межлопаточной области к верхушкам и к базальным отделам легких, свидетельствующая о расширении в высокочастотную область спектра основных дыхательных шумов вдоха.
4. Привлечение для описания акустической картины в легких объективных спектральных характеристик в виде частот среза по уровням -3 дБ и -20 дБ может позволить стандартизировать технологию аускультации легких и избежать ошибок, связанных с неполной оценкой особенностей основных дыхательных шумов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gavriely N., Nissan M., Rubin E. A. et al.* Spectral characteristics of chest wall breath sounds in normal subjects // *Thorax*. – 1995. – **50**. – P.1292–1300.
2. *Коренбаум В. И., Тагильцев А. А., Кулаков Ю. В.* Особенности акустических явлений, наблюдаемых при аускультации легких // *Акуст. журн.* – 2003. – **49**(3). – С.376-388.
3. *Fiz J. A., Kraman S. S., Wodicka G., Pasterkamp H.* Effect of body position on lungs in healthy young men // *Chest*. – 2008. – **133**. – P.729-736.
4. *Вовк И.В., Гринченко В.Т., Мацыпура В.Т.* Природа шумов дыхания и их мультифрактальные свойства // *Акуст. журн.* – 2013. – **59**(4). – С.636–647.
5. *Kraman S. S.* Effect of lung volume and airflow on the frequency spectrum of vesicular lung sounds // *Respiration Physiology*. – 1986. – **66**. – P.1–9.
6. *Коренбаум В. И., Тагильцев А. А., Дьяченко А. И., Костив А. Е.* Сравнение характеристик акустических датчиков различных типов при регистрации дыхательных звуков на поверхности грудной клетки человека // *Акуст. журн.* 2013. – **59**(4). – С.530–538.