



Корреляция параметров акустического анализа храпа и степени тяжести синдрома обструктивного апноэ сна

А.Ю. Мельников, А.А. Мессерле

Адрес для переписки: Александр Юзефович Мельников, nosnore@yandex.ru

Для цитирования: Мельников А.Ю., Мессерле А.А. Корреляция параметров акустического анализа храпа и степени тяжести синдрома обструктивного апноэ сна // Эффективная фармакотерапия. 2019. Т. 15. № 44. С. 62–66.

DOI 10.33978/2307-3586-2019-15-44-62-66

Разработаны и апробированы в клинических условиях расширенная авторская программа и методика акустического анализа храпа. Были обследованы 198 пациентов (150 мужчин и 48 женщин) с храпом и предполагаемым синдромом обструктивного апноэ сна. Проведена запись аудиофайлов, которая синхронизировалась по времени со стандартной полисомнограммой под наблюдением персонала в условиях сомнологического центра. Получены расчетные показатели для сравнительного анализа. Выявлены параметры акустического анализа храпа с высокой корреляцией с индексом апноэ – гипопноэ по данным полисомнографии. С помощью математического анализа разработан интегральный показатель – индекс значимости храпа, имеющий наибольшую корреляцию со степенью тяжести синдрома обструктивного апноэ сна. Метод акустического анализа храпа можно как использовать самостоятельно для скрининга синдрома обструктивного апноэ сна и прогнозирования степени его тяжести, так и интегрировать его в существующие системы для полисомнографической или респираторной полиграфической диагностики нарушений дыхания во сне.

Ключевые слова: храп, синдром обструктивного апноэ сна (СОАС), акустический анализ храпа, скрининг синдрома обструктивного апноэ сна

Введение

Храп – звуковой феномен, связанный с вибрацией структур глотки, практически всегда наблюдается при синдроме обструктивного апноэ сна (СОАС) и является одним из критериев диагностики

этого патологического состояния [1]. Показано, что у подавляющего большинства пациентов с постоянным (три ночи в неделю или чаще) храпом при сомнологическом обследовании обнаруживается СОАС той или иной степени

тяжести, а случаи так называемого неосложненного (изолированного) храпа, не сопровождающегося СОАС, встречаются редко [2, 3]. Обсуждается связь между теми или иными характеристиками храпа (интенсивностью, громкостью, продолжительностью в течение ночного сна и т.п.) и вероятностью диагноза СОАС, а также степенью его тяжести, причем результаты противоречивы и зависят от определенных акустических характеристик храпа, рассматриваемых в качестве возможных критериев тяжести [4, 5]. Существующие полисомнографические и респираторные полиграфические системы дают ограниченную информацию об акустических характеристиках храпа. Нередко для записи храпа в них используются пьезоэлектрические датчики или преобразователи давления дыхательного потока (носовые канюли), имеющие недостаточную частотную чувствительность и набор отслеживаемых параметров [6]. Анализ записи храпа при помощи акустических сенсоров (микрофонов) не предусматривает возможности удаления артефактов. Кроме того, такой метод позволяет оценить ограниченное число характеристик. Как правило, это количество (индекс) отдельных событий храпа за время исследования или



сна и общая продолжительность храпа. Громкость храпа при измерении в децибелах определяется расстоянием от микрофона до источника звука и не несет полезной информации.

Ранее мы показали, что внедрение систем акустического анализа храпа может значительно расширить возможности как скрининга СОАС, так и оценки степени его тяжести [7]. Исходя из этой предпосылки, была разработана и апробирована в клинических условиях расширенная программа акустического анализа храпа, результаты использования которой представлены в настоящей статье.

Материал и методы

Нами разработано специализированное программное обеспечение «Анализ храпа v. 6.0», предназначенное для исследования аудиозаписей ночного храпа пациентов. Оно позволяет изучить аудиофайл как целиком, так и по частям с целью выявления пауз/апноэ (продолжительностью 10–120 секунд), гиппноэ (снижение и фиксация амплитуды аудиосигнала ниже определенных

уровней) и акустического анализа непосредственно звуков храпа с удалением артефактов (кашля, звуков работы оборудования, речи и др.). Запись обрабатывается с возможностью экспортирования количественных параметров. Программа совместима с операционными системами Windows x64 или Linux/Mac OS, ее графический интерфейс представлен на рис. 1. Были обследованы 198 пациентов (150 мужчин и 48 женщин) с постоянным (три раза в неделю и чаще, по данным опроса) храпом и предполагаемым СОАС, средний возраст – $44,6 \pm 11,1$ года (от 13 до 78 лет).

Во всех случаях аудиофайл записывался при помощи цифрового диктофона с акустическим датчиком типа Edic-mini или его аналогом, расположенным на расстоянии 60 см от источника храпа (головы пациента). Отслеживалась максимальная и средняя громкость храпа за все периоды. При этом громкость храпа измерялась в единицах LUFS (стандарт измерения громкости звука Союза европейских вещателей, предназначенный для нормализации уровня звука при передаче телевизионно-

го и другого видео), что по сравнению с измерением в децибелах лучше отражает восприятие храпа наблюдателями и не требует калибровки уровня звука [8]. Запись синхронизировалась по времени с проведением стандартной полной полисомнографии (ПСГ) под наблюдением персонала в условиях сомнологического центра. По каждому аудиофайлу оценивались 28 основных и 34 дополнительных показателя. Были получены расчетные показатели для сравнительного анализа.

Средний индекс апноэ – гиппноэ по данным ПСГ (ИАГ-ПСГ) составил $38,8 \pm 29,3$ в час. По результатам ПСГ, тяжелая степень СОАС (ИАГ-ПСГ от 30,0 и выше) наблюдалась у 103 (52,0%) пациентов, средняя степень тяжести (ИАГ-ПСГ от 15,0 до 29,9) – у 42 (21,2%), легкая (ИАГ-ПСГ от 5,0 до 14,9) – у 48 (24,2%), отсутствие СОАС (ИАГ-ПСГ менее 5,0) – у 5 (2,5%). ИАГ-ПСГ рассматривался как основной показатель степени тяжести СОАС. Храп с частотой три и более раз в неделю отмечался в анамнезе у всех пациентов, но у семи (3,5%) из них во время ПСГ зафиксирован не был.

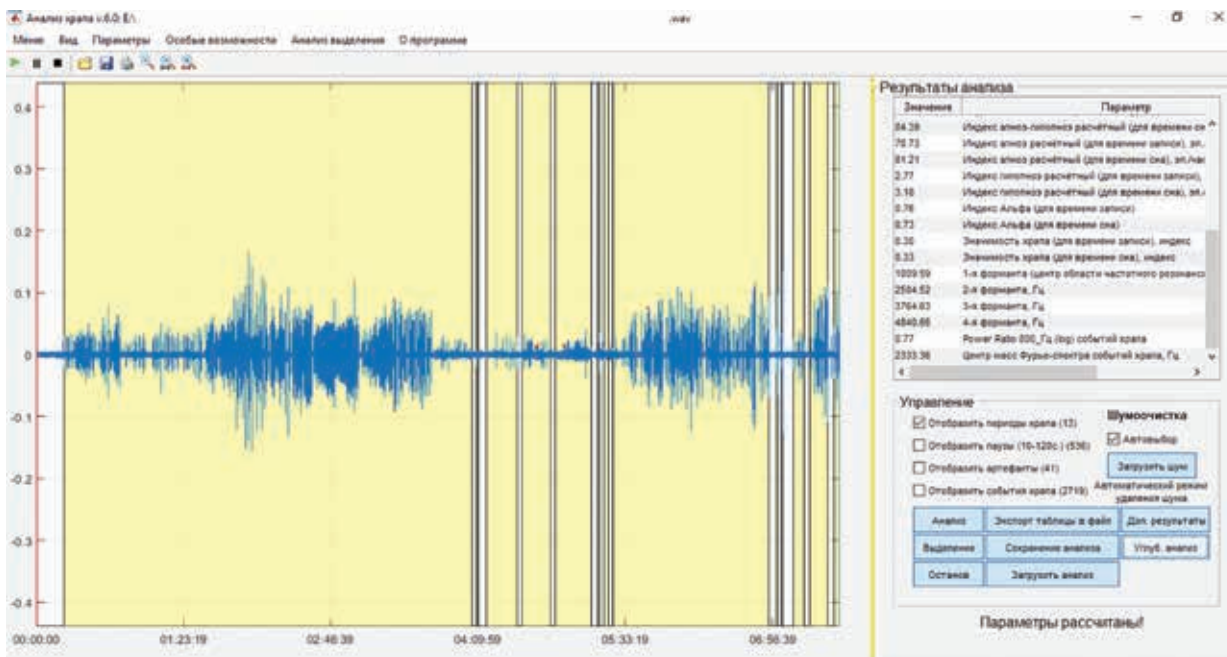


Рис. 1. Графический интерфейс программы «Акустический анализ храпа v. 6.0» с результатами обработки аудиозаписи храпа пациента Р. в течение одной ночи

Неврология



На основании результатов корреляционного анализа расчетных показателей программы «Анализ храпа v. 6.0» и ИАГ-ПСГ вычислялись производные показатели, в максимальной степени обладающие предсказательной ценностью для определения степени тяжести СОАС при акустическом анализе храпа.

Результаты

Рассмотрена корреляция степени тяжести СОАС по ИАГ-ПСГ с основными показателями акустического анализа храпа, полученными при помощи использованного программного обеспечения, и их производными.

Установлена высокая степень корреляции ИАГ-ПСГ (коэффициент корреляции (КК) > 0,70) со следующими показателями:

- индекс апноэ по неравномерности храпа расчетный (ИАР) за время записи и за время сна – КК = 0,85/0,85;
- средний динамический диапазон изменения громкости события храпа от средней до максимальной сглаженный (СДД-С) – КК = 0,80;
- индекс продолжительности храпа (ИПХ) за время записи и за время сна – КК = 0,75/0,71.

Корреляция средней силы ИАГ-ПСГ получена с индексом апноэ – гипопноэ по неравномерности храпа за время записи и за время сна (КК = 0,64/0,62), а также с общим количеством событий храпа – индексом интенсивности храпа (КК = 0,51).

С максимальной громкостью храпа корреляция ИАГ-ПСГ была слабой (КК = 0,38), а со средней громкостью – очень слабой (КК = 0,22).

Отсутствовала корреляция ИАГ-ПСГ с индексом гипопноэ по неравномерности храпа (ИГР) за время записи и за время сна – КК = 0,09/0,07. Кроме того, не было значимой корреляции между степенью тяжести СОАС и спектральными характеристиками храпа.

В качестве возможных компонентов интегрального показателя, имеющего наибольшую корреляцию со степенью тяжести СОАС (ИАГ-ПСГ), рассматривались ИАР и ИПХ за время записи и за время сна, а также СДД-С. Для удобства представления результатов в конечной формуле расчета индекса значимости храпа (ИЗХ) вместо ИАР использовался производный показатель «индекс-альфа» с абсолютной величиной от 0 до 1. Наибольшая корреляция выявлена между ИАГ-ПСГ и ИЗХ, рас-

считанным как произведение индекса-альфа на СДД-С, – КК = 0,87 (рис. 2). Данная формула была зафиксирована как формула ИЗХ. Добавление в формулу показателей продолжительности храпа снижало корреляцию с ИАГ-ПСГ. Высокой степени корреляции ИЗХ и ИАГ-ПСГ соответствовала высокая положительная предсказательная ценность (ППЦ) ИЗХ для разного уровня ИАГ-ПСГ, соответствующего различной степени тяжести СОАС:

- $ИЗХ \geq 0,08$ – ППЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≥ 5 ;
- $ИЗХ \geq 0,13$ – ППЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≥ 15 ;
- $ИЗХ \geq 0,21$ – ППЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≥ 30 ;
- $ИЗХ \geq 0,26$ – ППЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≥ 60 .

Выявлена высокая отрицательная предсказательная ценность (ОПЦ):

- $ИЗХ \leq 0,02$ – ОПЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≤ 5 ;
- $ИЗХ \leq 0,10$ – ОПЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≤ 30 ;
- $ИЗХ \leq 0,19$ – ОПЦ = 1,0 для ИАГ-ПСГ ≤ 60 .

Обсуждение результатов

Нами разработана не имеющая аналогов система комплексной оценки акустических параметров храпа, включая общие показатели (продолжительность, громкость, интенсивность как количество событий храпа в единицу времени и др.), показатели неравномерности храпа и его спектрального анализа. Начало клинической апробации программы позволило установить ряд интересных закономерностей, касающихся взаимосвязи акустических параметров храпа и степени тяжести СОАС.

Была выявлена высокая степень корреляции ИАГ-ПСГ – основного параметра, определяющего степень тяжести СОАС, с такими акустическими параметрами храпа, как ИПХ и ИАР за время записи и за время сна, а также СДД-С. Корреляция продолжительности храпа и степени тяжести СОАС рассматривалась в нескольких работах с неоднозначными ре-

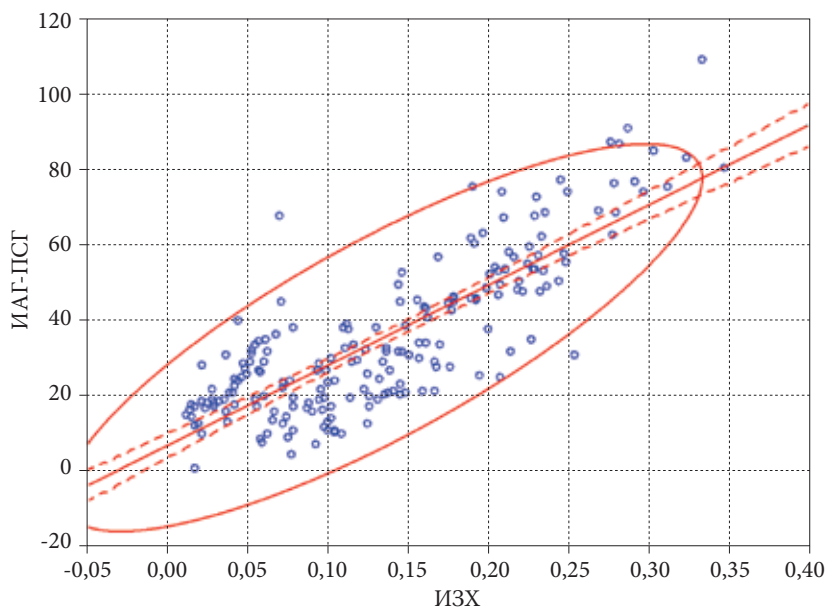


Рис. 2. Диаграмма рассеяния значимости храпа (для времени записи) и ИАГ-ПСГ



зультатами [5, 9, 10, 11]. В нашем исследовании корреляция была высокой, но тем не менее недостаточной для включения показателей ИПХ в интегральный показатель оценки степени тяжести СОАС при акустическом анализе храпа.

Проведен расчет показателей неравномерности амплитуды сигналов храпа как по неравномерности временных интервалов между событиями храпа (при этом пауза между событиями храпа продолжительностью 10 секунд и более рассматривалась как аналог апноэ, ИАР), так и по уменьшению амплитуды сигналов храпа на 30% и более продолжительностью 10 секунд и более (аналог гипопноэ, ИГР). При высокой корреляции ИАГ-ПСГ с ИАР корреляции с ИГР не обнаружено.

Важно отметить, что нами не выявлено значимой корреляции между тяжестью СОАС и громкостью храпа как средней, так и максимальной, что существенно отличается от результатов J. Kim и соавт. [4]. Однако в указанном исследовании степень тяжести СОАС и ИАГ рассчитывалась не по результатам ПСГ, а посредством артериальной тонометрии (WatchPAT), а потому полученные данные не могут считаться достоверными.

Влияние различных акустических параметров храпа на диагностику СОАС рассмотрели в систематическом обзоре H. Jin и соавт. [12]. Во включенных в обзор работах использовались разные параметры акустического анализа храпа. Например, A. Kaganajewa и соавт. применяли регрессионную логистическую модель таких параметров храпа, как частота звуковых вибраций и общая податливость дыхательных путей по алгоритму, основанному на высокоуровневой статистике [13]. J. Mesquita и соавт. изучали регулярность сигналов храпа и вариабельность временных интервалов у пациентов с различным уровнем нарушений дыхания во сне [14]. A. Ng и соавт. для дифференциации СОАС и неосложненного

храпа количественно анализировали формантные частоты F1, F2 и F3 [15]. N. Ben-Israel и соавт. оценивали комплекс производных акустических компонентов: стабильность кепстра (фурье-образа спектра уровней звукового давления) в течение ночи, энергетическую вариабельность сигналов храпа, временные соотношения фазы апноэ, стабильность частоты вибрации ткани [16]. J. Fiz и соавт. анализировали спектральную плотность и интенсивность звуков храпа [17]. S. De Silva и соавт. рассчитывали риск СОАС при храпе с помощью мультивариантной модели, включающей информацию о высоте звука, формантной частоте, структурной периодичности эпизодов, а также об окружности шеи пациентов [18].

Следует отметить, что упомянутые работы рассматривали в основном чувствительность, специфичность и предсказательную ценность параметров храпа и их комбинаций в отношении диагноза СОАС, а не степени его тяжести. При этом критерии установления диагноза различались, и в некоторых случаях речь шла о выраженной степени СОАС. По нашему мнению, пациенты с постоянным храпом образуют единую когорту, в которой нет необходимости выделять группу без нарушений дыхания во сне («неосложненного храпа»), поскольку та или иная степень обструкции верхних дыхательных путей наблюдается при храпе во всех случаях. В этой связи методологически правильнее рассматривать акустические параметры храпа для определения степени тяжести СОАС, а не для его скрининга.

Разработанная нами программа акустического анализа храпа позволяет оценить большинство параметров, которые изучали и другие исследователи. На основании корреляционного анализа удалось определить значимость каждого из них для уточнения степени тяжести СОАС и рассчитать интегральный показатель – ИЗХ,

который обладает наибольшей корреляцией с ИАГ-ПСГ. Расчет ИЗХ дает возможность использовать метод в алгоритмах диагностики и выбора тактики лечения СОАС.

Анализ спектральных характеристик храпа, таких как формантные частоты, Power Ratio 800 Гц (log) и центр масс фурье-спектра, не выявил значимой связи со степенью тяжести СОАС. Однако эти параметры могут рассматриваться как перспективные для оценки уровня обструкции верхних дыхательных путей, а также их анатомических и функциональных особенностей [19].

Выводы

Разработанная программа акустического анализа храпа дает возможность в короткие сроки получить широкий спектр характеристик не только для его оценки в качестве звукового феномена, но и с целью прогнозирования степени тяжести СОАС.

Выявлены параметры акустического анализа храпа (ИАР, СДД-С, ИПХ) с высокой корреляцией с ИАГ-ПСГ.

С помощью математического анализа разработан интегральный показатель, имеющий наибольшую корреляцию со степенью тяжести СОАС, – ИЗХ.

Метод акустического анализа храпа может как использоваться самостоятельно для скрининга СОАС и прогнозирования степени его тяжести, так и быть интегрирован в существующие системы для полисомнографической или респираторной полиграфической диагностики нарушений дыхания во сне. *

Работа выполнена в рамках прикладной научно-исследовательской работы по теме «Акустический анализ храпа как способ диагностического скрининга синдрома обструктивного апноэ сна и прогнозирования уровня обструкции верхних дыхательных путей», ФМБА России, 2018–2019 гг.

Неврология



Литература

1. International classification of sleep disorders. 3rd ed. Darien, IL: American Academy of Sleep Medicine, 2014. P. 53–62.
2. Maimon N., Hanly P.J. Does snoring intensity correlate with the severity of obstructive sleep apnea? // J. Clin. Sleep Med. 2010. Vol. 6. № 5. P. 475–478.
3. Rich J., Raviv A., Raviv N., Brietzke S.E. An epidemiologic study of snoring and all-cause mortality // Otolaryngol. Head Neck Surg. 2011. Vol. 145. № 2. P. 341–346.
4. Kim J.W., Lee C.H., Rhee C.S., Mo J.H. Relationship between snoring intensity and severity of obstructive sleep apnea // Clin. Exp. Otorhinolaryngol. 2015. Vol. 8. № 4. P. 376–380.
5. Hong S.N., Yoo J., Song I.S. et al. Does snoring time always reflect the severity of obstructive sleep apnea? // Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. 2017. Vol. 126. № 10. P. 693–696.
6. Arnardottir E.S., Isleifsson B., Agustsson J.S. et al. How to measure snoring? A comparison of the microphone, cannula and piezoelectric sensor // J. Sleep Res. 2016. Vol. 25. № 2. P. 158–168.
7. Мельников А.Ю., Бормина С.О. К вопросу оценки истинной распространенности и последствий для здоровья так называемого неосложненного храпа // Эффективная фармакотерапия. 2017. № 35. С. 44–47.
8. Recommendation ITU-R BS.1770 Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level, 2006 // www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1770-0-200607-S!!PDF-E.pdf.
9. Kim S.U., Kang T.W., Yoon B.K. et al. Clinical implications of snoring time (%) in patients with obstructive sleep apnea // Korean J. Otorhinolaryngol. Head Neck Surg. 2016. Vol. 59. № 9. P. 649–654.
10. Li H.Y., Lee L.A., Yu J.F. et al. Changes of snoring sound after relocation pharyngoplasty for obstructive sleep apnoea: the surgery reduces mean intensity in snoring which correlates well with apnoea-hypopnoea index // Clin. Otolaryngol. 2015. Vol. 40. № 2. P. 98–105.
11. Alakuijala A., Salmi T. Predicting obstructive sleep apnea with periodic snoring sound recorded at home // J. Clin. Sleep Med. 2016. Vol. 12. № 7. P. 953–958.
12. Jin H., Lee L.A., Song L. et al. Acoustic analysis of snoring in the diagnosis of obstructive sleep apnea syndrome: a call for more rigorous studies // J. Clin. Sleep Med. 2015. Vol. 11. № 7. P. 765–771.
13. Karunajeewa A.S., Abeyratne U.R., Hukins C. Silence-breathing-snore classification from snore-related sounds // Physiol. Meas. 2008. Vol. 29. № 2. P. 227–243.
14. Mesquita J., Solà-Soler J., Fiz J.A. et al. All night analysis of time interval between snores in subjects with sleep apnea hypopnea syndrome // Med. Biol. Eng. Comput. 2012. Vol. 50. № 4. P. 373–381.
15. Ng A.K., Koh T.S., Abeyratne U.R., Puvanendran K. Investigation of obstructive sleep apnea using non-linear mode interactions in nonstationary snore signals // Ann. Biomed. Eng. 2009. Vol. 37. № 9. P. 1796–1806.
16. Ben-Israel N., Tarasiuk A., Zigel Y. Obstructive apnea hypopnea index estimation by analysis of nocturnal snoring signals in adults // Sleep. 2012. Vol. 35. № 9. P. 1299–1305C.
17. Fiz J.A., Jané R., Solà-Soler J. et al. Continuous analysis and monitoring of snores and their relationship to the apnea-hypopnea index // Laryngoscope. 2010. Vol. 120. № 4. P. 854–862.
18. De Silva S., Abeyratne U.R., Hukins C. A method to screen obstructive sleep apnea using multi-variable non-intrusive measurements // Physiol. Meas. 2011. Vol. 32. № 4. P. 445–465.
19. Pevernagie D., Aarts R.M., De Meyer M. The acoustics of snoring // Sleep Med. Rev. 2010. Vol. 14. № 2. P. 131–144.

Correlation of Acoustic Analysis of Snoring Parameters and Severity of Obstructive Sleep Apnea Syndrome

A.Yu. Melnikov, A.A. Messerle

Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology, Moscow

Contact person: Alexandr Yu. Melnikov, nosnore@yandex.ru

An expanded author's program and methods for acoustic analysis of snoring have been developed and tested under clinical conditions. 198 patients with snoring and suspected obstructive sleep apnea were included (150 men and 48 women). Audio files were recorded simultaneously with the standard attended polysomnography in the sleep center for comparative analysis. The acoustic parameters of snoring with a high correlation with the apnea-hypopnea index by polysomnography were identified. An integral indicator has been developed through mathematical analysis with the greatest correlation with the severity of obstructive sleep apnea syndrome – the significance of snoring. The method of acoustic analysis of snoring can be used both independently for screening for obstructive sleep apnea and predicting its severity, and can be integrated into existing polysomnography or respiratory polygraphy systems for sleep disorders.

Key words: snoring, obstructive sleep apnea (OSA), acoustic analysis of snoring, obstructive sleep apnea screening