

УДК 577.95:[612.2+612.67]

О. А. Шугуров, О. О. Шугуров, Ю. В. Різник

Дніпропетровський національний університет

ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМІВ, УТВОРЕНИХ ГОРЛЯНКОЮ ЛЮДИНИ У НОРМІ ТА ПРИ ХВОРОБИ

Досліджено шуми горлянки при спробах створити “білий шум” у нормі та при патології. Для отримання частотного спектра зареєстровані звуки піддавали перетворенню Фур’є. Показано, що спектр такого шуму представлений піками, що відображають індивідуальні особливості горлянки людини. Як правило, у чоловіків кількість піків більша (2–8), ніж у жінок (2–6), вони мають нижчу частоту. Захворювання горлянки призводять до зміни амплітуди піків, зсуву їх максимумів (збільшення або зменшення частоти), їх “розмивання” за спектром або навіть повного зникнення. Дані свідчать про те, що можна ідентифікувати людину за спектром шумів горлянки або об’єктивно діагностувати хворобу чи процес одужання.

O. A. Shugurov, O. O. Shugurov, Y. V. Riznyk

Dnipropetrovsk National University

FREQUENCY CHARACTERISTICS OF HUMAN PHARYNX HUMS IN NORMAL AND DISEASED STATE

The hums of a pharynx, which were originated in the attempt to make "a white noise", were explored in health and disease. To obtain the frequency spectrum the registered sounds were subjected to Fourier's transformation. It has been shown that the noise spectrum was submitted by peaks reflecting the individual singularities of a human pharynx. On the average men have low-frequency 2–8 peaks, which is more than women (2–6 peaks of higher frequency). Diseases of the throat change peaks' amplitude, alter its maximums (increasing or decreasing of frequency). It has been also observed the "spreading" of peaks on a spectrum or even complete depressing. The data argue for the possibility to identify a person by a spectrum of hums of the throat or to diagnose illness or process of convalescence objectively.

Вступ

Стінки глотки складаються зі слизистої, фіброзної та зовнішньої сполучнотканинної оболонки. Порожнина глотки разом із порожниною носа та придатковими пазухами є резонатором звуку, посилює його та надає індивідуального звучання, тембру [3]. При наявності у носоглотці різних патологічних процесів, які утруднюють проходження повітря, голос помітно змінюється. Тести на звучність мають велике клінічне значення та можуть використовуватися у фоніатричній практиці в комплексі з акустичним аналізом голосу [4].

Порушення голосу (дисфонія) можуть проявлятися у вигляді захриплення різного ступеня до повної відсутності голосу (афонія), а також у вигляді змін тембру. До порушення голосу можуть призводити всі захворювання горлянки та порожнини рота, носа та його придаткових порожнин, легенів, бронхів і трахеї [2]. Перевтомлення голосового апарату, паління, вживання міцних алкогольних напоїв, гострої, дуже

гарячої або холодної їжі та напоїв також можуть бути причиною стійкого порушення голосу. Нині комплексний акустичний аналіз голосу є динамічно розвинутою галуззю клінічних досліджень людей із розладами фонаторної функції гортані [8; 9]. У таких дослідженнях виміри проводили одним із двох методів: вивченням функцій мовчазних періодів тону або методом “провалів” голосу (за тривалістю часу між періодами тону). Акустичний тембр голосу виявляється у його спектрі. Найвищий результат отримують при усередненні даних спектрального аналізу відрізків спонтанної мови [5]. З іншого боку, відомо, що гортань здорової людини не здатна відновити абсолютно стійку частоту звука. Ступінь амплітудної нестабільності вібрації голосових складок (shimmer) оцінюють у дБ, тривалість життя, зміни у складках і порушення іннервації горлянки суттєво впливають на цей параметр [7].

Відомо, що так званий “білий шум” характеризується рівномірною спектральною щільністю потужності в усьому діапазоні можливих частот [1]. Якщо у генерованих звуках присутні деякі основні частоти та їх гармоніки, то після Фур’є-аналізу ці частоти можна буде розпізнати за максимумами такого спектра. Патологія горлянки здатна змінити рівень її резонаторних характеристик, а активна фонація може “нав’язати” максимуми спектра, що відповідають звуку, який генерується не глоткою, а голосовими щільностями. Тому метою дослідження стало вивчення за допомогою Фур’є-перетворення спектра щільності звуку, що виходить із горлянки при генерації глоткою “білого шуму” у режимі виходу повітря за принципом шепотіння.

Матеріал і методи дослідження

Дослідження проведені на людях (обох статей) у здоровому стані (35 осіб) та деяких із них при хворобі горлянки (7). Попередньо випробуваням давали прослухати шум, що створював спеціальний генератор шуму Г2-47. Його діапазон генерації шуму – 20–20000 Гц, тобто звуковий діапазон вуха людини. Після цього випробуваням пропонували щільно зіптити зуби (різці) і відтворити аналогічний шум шляхом видихання повітря. Звуки генерованого таким чином шуму реєстрували за допомогою якісного мікрофона МКЕ-4М. Для усунення перехідного процесу запис проводили через 1–2 с після початку генерації шуму. Підсилений сигнал із мікрофона подавали на аналогово-цифровий перетворювач (модуль 712 крейта КАМАК), із частотою дискретизації 14 кГц. Цифрові дані обробляли за допомогою методу дискретного Фур’є-аналізу [6]. На кожній людині проводили по 10 дослідів за декілька днів. Спектри щільності потужності склали та знаходили середні дані. Аналогічним чином вивчали спектри при аналізі звуків, що генерувала хвора на горло (ларингіт, ангіна) людина.

Результати дослідження

Спектри щільності потужності (СЩП) звуків, які генерували досліджені, імітуючи “білий шум”, реально не відповідають характеристикам, притаманним істинному “білому шуму”. У багатьох випадках спектри мають від 2 до 8 максимумів. На рисунку 1 подано типовий спектр частот, що реєструється при генерації шуму чоловіком (одним із 7 досліджених). На рисунку 1а бачимо, що спектр має 7 досить виражених максимумів. Три з них доволі низькочастотні (до 1000 Гц), ще три максимуми лежать у середніх (1–5 кГц) та один локальний максимум – на відносно високих частотах (> 5 кГц). Абсолютний максимум амплітуди знаходиться на частоті 1,5 кГц. Дослідження шумів горлянки жінок (14 досліджених) також має подібну картину (рис. 1б), але, як правило, кількість максимумів спектра у таких дослідіах менша (2–6). На рисунку 1б можна бачити СЩП із шістьма максимумами, причому головні припадають на середні (2–4 кГц) частоти.

Побудовані за даними дослідів гістограми частоти для чоловіків та жінок мають наступний вигляд (рис. 2). У чоловіків головні максимуми знаходяться на частоті 1–2 кГц, далі інтенсивність шумів швидко спадає і на частотах вище 6,5 кГц вони вже дуже рідкісні. Швидкий спад кількості максимумів від частоти свідчить про головну присутність низькочастотних шумів, і значно меншу – середньо- та високочастотних. У той же час у жінок найбільша кількість спектральних максимумів була зафіксована на частотах від 1 до 2 кГц і дещо менша – на частотах від 0 до 1 кГц. Останні максимуми знаходилися на частотах не вище 7,5 кГц. Привертає увагу той факт, що спад кількості максимумів на середніх частотах у даному випадку повільніший до частоти 4 кГц, далі максимуми для жінок також поодинокі.

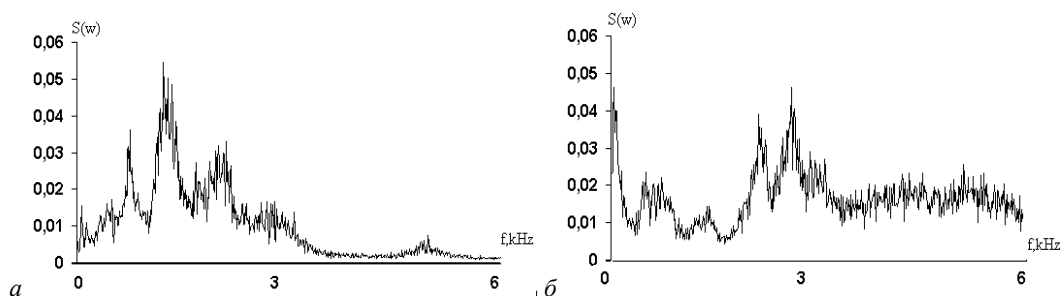


Рис. 1. Типовий спектр звуків із горлянки людини при імітуванні “білого шуму”:
за віссю Y – реальна частина Фур’є-перетворення шумів з горлянки чоловіка (а) та жінки (б),
за віссю X – частота сигналу (кГц).

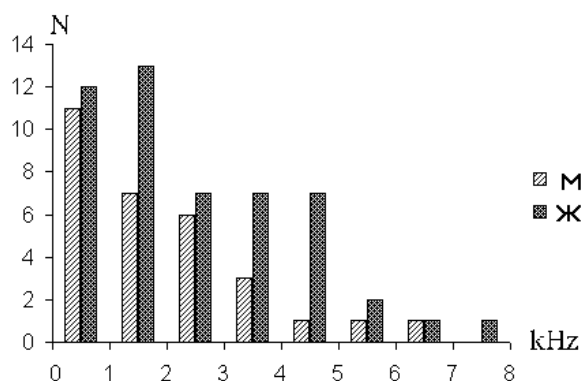


Рис. 2. Кількість локальних максимумів частотного спектра для всієї групи досліджених чоловіків (М) та жінок (Ж):
за віссю Y – кількість випадків (N), за віссю X – частота звуку (кГц).

При випадках захворювання горлянки (ангіна, фарингіт) спостерігається зміна у формі максимумів СЦП (рис. 3). По-перше, дуже часто це проявляється невеликим зсувом максимумів у той чи інший бік частотного діапазону. У наведеному випадку (рис. 3а) другий максимум, який був на частоті 1,23 кГц, змістився вгору на 80 ± 5 Гц, четвертий максимум також змістився вгору на 142 ± 17 Гц. У жінки (приклад – рис. 3б) зсув головного максимуму сягав 283 ± 32 Гц. По-друге, дуже часто змінювалась амплітуда шуму в максимумах і проміжних значеннях. Так (із прикладу, наведеного на рис. 3а), можна бачити, що в умовах захворювання п’ятий максимум підвищився на 200 % відносно контролю. Це відбувалося на фоні зростання амплітуди сигналу у діапазоні 3,0–

6,5 кГц. У другому випадку (рис. 3б) в умовах захворювання горлянки суттєво виросли низькочастотні піки, включаючи перший, та дещо знизився третій.

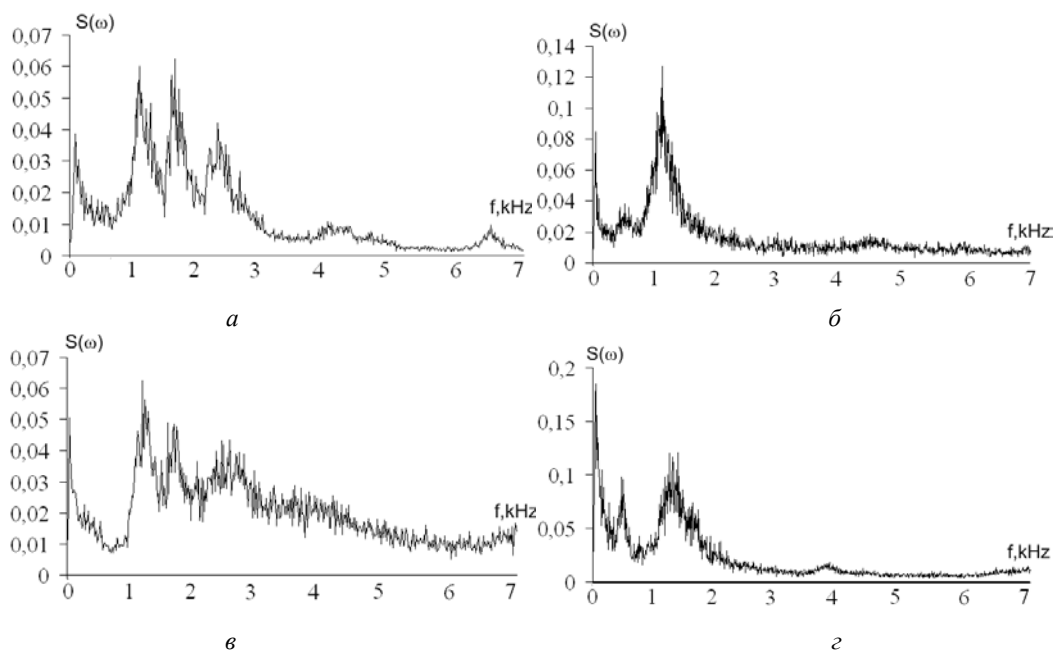


Рис. 3. Типові зміни спектра звукового сигналу у здоровому стані (верхні криві) та у випадках захворювання (нижні криві) для чоловіка (а, в) та жінки (б, г).

По-третє, це “розмазування” піків. Якщо в одних випадках піки спектра мають постійну ширину (наприклад піки 1, 2 та 3 на рис. 3а, 1 та 2 на рис. 3б), то в інших – помітне “розширення” діапазону піку при хворобі (пік 4 на рис. 3а та 3 на рис. 3б). Вказані тенденції разом можуть вести до значного пригнічення піків (пік 6 на рис. 3а та 2 на рис. 3б), що особливо помітно на рівні високих частот. При цьому можна підкреслити, що аналогічні тенденції спостерігаються як у чоловіків, так і у жінок.

Обговорення

Закриття голосової щілини відбувається завдяки складній праці м’язів. У ній беруть участь не тільки звужувачі, а й розширювачі голосової щілини, утворюючи опору для черпакуватих хрящів. На противагу до дихальної та захисної функцій, голосотвірна функція обслуговується головним чином третьою рефлекторною зоною та пов’язана з повітрям, що видихається. При шепотінні голосові зв’язки замикаються не по всій довжині; у задньому відділі їх залишається щілина, під час проходження через яку струменя повітря, яке видихається, виникає шум, котрий називається шепітним голосом.

Тон голосу залежить від частоти періодичних коливань голосових зв’язок, та, у свою чергу, пов’язаний з їх довжиною. Тому по мірі росту горлянки змінюється і голос. У період статевого дозрівання (між 11 і 16 роками), коли спостерігається посилений ріст горлянки, відбувається зміна, мутація голосу; він стає більш низьким. Сила голосу залежить від сили видихання. У процесі видиху відіграє велику роль скорочення мускулатури бронхів. Вважається, що тільки завдяки праці м’язів бронхів може бути забезпечена плавність видиху.

Горлянка є не тільки органом генерації періодичної звукової частоти, а й авторегулятором надходження енергії при здійсненні фонації, що виконується механізм

мом приведення голосових зв'язок у зімкнутий стан за допомогою аддукторів. Ця частина механізму вмикається за позитивним нервовим імпульсом у вигляді накопичення підв'язкового тиску. При негативному імпульсі, при виведенні з дії аддукторів, фонація припиняється тому, що при цьому немає умов для накопичення енергії. Приведення голосових зв'язок може бути більшим чи меншим, відповідно і енергія, що накопичується, може бути більшою чи меншою. Отже, гортань не тільки генерує звук, а й модулює його за частотою та силою. Але механізм обох видів квантування розрізняється. Гортань є лише одним із генераторів звуку (голосовим). До іншого (шумового) генератора відносяться також порожнини рота й носа.

Розглядаючи отримані дані, слід мати на увазі, що розміри горла чоловіка більші, ніж у жінки. Оскільки експерименти здійснювали в режимі шепотіння, то звукові коливання, пов'язані з голосовими щілинами, варто виключити з розгляду. Тому на перший план виходять параметри, пов'язані з лінійними розмірами системи, що створює фонацію. Привертає увагу те, що спектр частот у кожного з випробуваних різний. Ми не відзначали ідентичності спектра навіть при зовнішній подібності голосів. Напевно, шуми, що завжди присутні при фонації, маскуються гучнішими основними сигналами мовлення. У режимі шепотіння, коли шум повітря, що проходить по глотці, виходить на перший план, індивідуальні розходження стають найістотнішими. Останнє стосується як чоловіків, так і жінок. Для усієї групи випробуваних (24 людини) не виявлено двох ідентичних СЩП. Це свідчить, що індивідуальні СЩП можна розглядати як унікальний код, що відбиває характеристики будови горла людини.

Як і передбачалося, частоти шуму, генерованого особами жіночої статі, були дещо вищими, ніж у чоловіків. Зовні ці розходження не настільки помітні, як при розмові, оскільки ми звикли орієнтуватися на деяку "усереднену" висоту голосу для чоловіків і жінок. Проте розподіл піків амплітуди частотних сигналів шуму може досить точно відобразити ситуацію зі станом звукового апарату людини.

Про те, що зазначені шуми пов'язані саме з проходженням повітря через усе горло, свідчать дані СЩП в умовах хвороби людини. В останньому випадку спостерігається ряд характерних змін СЩП, включаючи зсув піків, розмивання, збільшення або зменшення їх, аж до зникнення. Не уявляється можливим зазначити, який пік пов'язаний із конкретною частиною горла (наприклад мигдаликами, стінками, піднебінням, зубами). Проте можна сказати, що місцеві набряки м'яких тканин горла повинні позначатися на їх щільності та, як наслідок, на резонаторній функції глотки. У нашому випадку розмивання максимумів СЩП сильніше виражене на високих частотах і менше – на низьких. Як правило, головні максимуми залишаються на місці або ледве зрушуються. У той же час локальні максимуми часом цілком усуваються. Таким чином, при місцевих трансформаціях структур горла (наприклад унаслідок набрякання) дрібні елементи глотки, відповідальні за високочастотні характеристики шумових ефектів, ніби "розчиняються" в ущільненій тканині, розміщений поруч.

У наших досліджах аналізували різницю шумових ефектів у людей у нормі або в момент максимуму хвороби. Проте зазначені випадки не можна віднести до складних або важких, оскільки випробувані були спроможні прийти до лабораторії. Тому, напевне, важчі випадки змін у горлі повинні супроводжуватися ще більш вираженими змінами СЩП, і навпаки.

Висновки

Індивідуальні особливості будови глотки людини знаходять свій відбиток в унікальній формі характеристик спектра щільності потужності шуму, що видається в режимі шепітного голосу. СЩП, характерний для жінок, зазвичай більш високочастотний (до 8 кГц) порівняно з СЩП чоловіків (до 7 кГц) і, як правило, має менше локальних максимумів амплітуди (2–6, у чоловіків – 2–8). При різноманітних хворобах горла, що супроводжуються такими загальними симптомами як набряк тканин і біль при ковтанні, спостерігається зміна форми СЩП горлового шуму. Зміни полягають у розмиванні головних і локальних максимумів СЩП, їх зсуві у бік нижчих або вищих частот, іноді – у повному зникненні деяких (переважно високочастотних) максимумів. Зміни СЩП можуть служити одним з об'єктивних критеріїв ступеня ушкодження (набряку, деструкції) тканин глотки.

Бібліографічні посилання

1. **Мармарелис П.** Анализ физиологических систем. Метод белого шума / П. Мармарелис, В. Мармарелис. – М.: Мир, 1981. – 480 с.
2. **Перекладова О. Л.** Заболевание органов дыхания у детей. – К.: Здоров'я, 1980. – 472 с.
3. **Самусер Р. П.** Анатомия человека / Р. П. Самусер, Ю. М. Селин. – М.: Высшая школа, 1989. – 544 с.
4. **Чернобельский С. Н.** Применение акустического теста на звучность голоса в фониатриальной практике // Вестник оториноларингологии (Росс.). – 2005. – № 5. – С. 26–27.
5. **Чернобельский С. Н.** Клинико-функциональная оценка результатов лечения больных с односторонним парезом гортани методом многопараметрового акустического анализа голоса // Вестник оториноларингологии (Росс.). – 2005. – № 3. – С. 17–19.
6. **Шрюфер Э.** Обработка сигналов: цифровая обработка дискретных сигналов. – К: Либідь, 1995. – 320 с.
7. **Baken R. J.** Neurologic disorders of the larynx / Ed. A. Blitzer, M. F. Brin / R. J. Baken, R. F. Orlikoff. – Stuttgart–New York, 1992. – P. 124–134.
8. **Shalling F.** Phoniatriatory methods in practical laringology / F. Shalling, J. Hartellus // Fonia Phoniatr. Logopaed. – 2004. – Vol. 56. – P. 367–380.
9. **Sundbery J.** New means to visualise voice acoustics // The professional voice. Proceedings of V Intern. Voice Symp. – Salzburg, 2002.

Надійшла до редколегії 15.02.2007