

Акустичний аналіз голосу при хронічному ларингіті

П.М. Ковальчук, Т.А. Шидловська

ДУ „Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка НАМН України”; Київ;
e-mail: lorprof3@ukr.net

Мета нашої роботи – акустичний аналіз голосового сигналу у 40 хворих на хронічний ларингіт на фоні впливу хімічних чинників. Обстеженими були працівники хімічних виробництв: 20 осіб з катаральною (1-ша група) та 20 з субатрофічною (2-га група) формою хронічного ларингіту. До контрольної групи взято 15 осіб, яким проведено акустичне дослідження голосового сигналу за допомогою програмного забезпечення «Praat V 4.2.1». Аналізували показники: Jitter – відображує стабільність звуку за частотою, Shimmer – коливання звуку за амплітудою, NHR (noise-to-harmonics ratio) – ступінь захриплості, «зашумлення» голосового сигналу. Виявлено достовірні відмінності середньостатистичних значень параметрів Jitter та Shimmer, а також показника відношення негармонічного (шумового) та гармонічного компоненту в спектрі (NHR) у пацієнтів з хронічними ларингітами (групи 1-ша і 2-га) порівняно з контролем. Значення акустичних показників у разі хронічного катарального ларингіту становили: Jitter – $0,92 \pm 0,1\%$, Shimmer – $5,31 \pm 0,5\%$, NHR – $0,078 \pm 0,004$, у разі хронічного субатрофічного ларингіту – $0,67 \pm 0,05\%$, $6,57 \pm 0,7\%$, $0,028 \pm 0,003$ відповідно. Отримані результати свідчать про виражену нестабільність основного тону голосу за частотою та амплітудою, значну частку шумового компоненту в спектрі голосового сигналу у обстежених пацієнтів, особливо у хворих 1-ї групи. Кількісні показники спектрального аналізу голосового сигналу Jitter, Shimmer, NHR можуть бути цінними об'єктивними критеріями для визначення ступеня порушення голосоутворення та контролю ефективності реабілітаційних заходів.

Ключові слова: акустичний аналіз голосу; Jitter; Shimmer; NHR; ларингіт.

ВСТУП

Порушення голосу можуть бути зумовлені цілою низкою етіологічних чинників, серед яких головну роль відіграють запальні захворювання гортані. Хронічний ларингіт займає одне з провідних місць у структурі патології голосового апарату [1, 2, 4]. Хронічні запальні захворювання гортані призводять до порушення дихальної і голосової функції, появи низки неприємних і навіть виснажливих симптомів, як то кашель, парестезії і навіть ларингоспазм. В етіології хронічних ларингітів, серед іншого, важливе значення має вплив професійних чинників, в т.ч. хімічних факторів [3, 4]. Захворювання органів дихання від впливу промислових аерозолів посідають провідні позиції в структурі професійних захворювань і лишаються проблемою медицини праці, у зв'язку з чим

© П.М. Ковальчук, Т.А. Шидловська

їх профілактика є важливою медичною, соціальною та економічною задачею [5].

Зважаючи на значну, часом – визначальну роль голосової функції у здійсненні комунікативних зв'язків та соціалізації людини у сучасному світі, не викликає сумніву важливість оцінки якості голосу та ефективного його відновлення. Для об'єктивної оцінки фонації використовуються методики інструментального акустичного дослідження голосового сигналу за допомогою спеціальних приладів та відповідного програмного забезпечення з можливістю поглибленого аналізу [4, 6, 9–11, 13, 14]. Багато досліджень присвячено акустичному, в т.ч. спектральному аналізу голосу з використанням комп'ютерної техніки (апаратно-програмних засобів). Останнім часом значного поширення набуло дослідження акустичних показників Jitter та Shimmer

[7, 8, 12, 13], оскільки вони є інформативними, що дає змогу оцінити фонаторну функцію гортані при різних патологіях голосового апарату.

Мета нашого дослідження – провести акустичний аналіз голосового сигналу у хворих на хронічний ларингіт на фоні впливу хімічних чинників та визначити їх інформативність.

МЕТОДИКА

Обстежено 40 хворих на хронічний ларингіт на фоні впливу хімічних чинників – працівників хімічних виробництв (Черкасиазот, ПАТ “Черкаське хімволокно”, Фармацевтична корпорація “Юрія-фарм”): 20 осіб з катаральною (1-ша група) та 20 з субатрофічною (2-га група) формою хронічного ларингіту. До контрольної групи ввійшло 15 осіб без патологічних змін у голосовому апараті. Всім обстежуваним проводили акустичне дослідження голосового сигналу з використанням комп’ютерної цифрової акустичної обробки голосового сигналу за допомогою програмного забезпечення «Praat V 4.2.1». Голосовий сигнал записували в положенні сидячи, мікрофон розташовували на відстані 20 см від обстежуваного. Пацієнта просили здійснювати фонацію звука «а» з максимальною тривалістю на зручній для нього висоті тону. Аналізували такі показники:

Jitter – міра варіабельності частоти основного тону у межах ділянки звукового сигналу, що підлягає аналізу. Jitter дорівнює середній різниці між періодами, поділений на середній період. Відображає ступінь частотної нестабільності голосу, вимірюється у відсотках.

Shimmer – міра варіабельності амплітуди коливань ділянки звукового сигналу, що аналізується. Shimmer дорівнює середній різниці між амплітудами, поділений на середню амплітуду. Відображає ступінь амплітудної нестабільності голосу, вимірюється у відсотках.

NHR (noise-to-harmonics ratio) – показник, що характеризує відношення негармонічного (шумового) та гармонічного компонентів у спектрі голосного звуку в діапазоні 70–4200 Гц.

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали за загальноприйнятими методами математичної варіаційної статистики на персональному комп’ютері за допомогою ліцензійного програмного пакету IBM SPSS Statistics 26.0.0 (Subscription ID: 07553533) та Microsoft Excel (Microsoft Office 365 subscription ID: 1003BFFDA6372E60). Вірогідність змін і відмінностей між порівнюваними величинами оцінювали за критерієм достовірності різниці t Стьюдента. Відповідність результатів нормальному розподілу проводили за критерієм Шапіро–Уїлка.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При аналізі клінічної картини пацієнтів з хронічним ларингітом на фоні впливу хімічних чинників в основному спостерігалася атрофічна або катаральна форма ларингіту. Тому нами було відібрано дві групи по 20 хворих у кожній з обома цими формами. При оториноларингічному огляді у пацієнтів з катаральним ларингітом при непрямій ларингоскопії відмічалася гіперемія слизової оболонки гортані, набряк, голосові складки мали колір від рожевого до червоного. Часто спостерігалася застійна гіперемія голосових складок. Тонус останніх, як правило, був знижений, але у частини хворих відмічався гіпертонус, особливо вестибулярного відділу гортані. Змикання голосових складок при фонації було неповним, з утворенням щілини, частіше трикутної у задніх відділах, рідше прямокутної або овальної. У деяких хворих була певна кількість в’язкого мокротиння на голосових складках. Досить часто відмічалася гіперемія і судинний малюнок підскладкового простору та видимої частини трахеї.

Ларингоскопічна картина пацієнтів з атрофічною та субатрофічною формою

ларингіту характеризувалася витонченням слизової оболонки гортані, особливо голосових складок. Останні були блідо-рожевими часто з витонченням медіального краю. Змикання при фонації було неповне, в основному у формі овалу в середньому відділі гортанної щілини. Досить часто у таких хворих зустрічався компенсаторний гіпертонус вестибулярних складок. Час максимальної фонації (тривалість фонування звуку) становив від 15 до 21 с і його середньостатистичні показники не відрізнялися достовірно у групах між собою.

Для аналізу голосового сигналу нами було записано за допомогою програми «Praat V 4.2.1» фонацію пацієнтами звуку «а» з максимально рівномірним за висотою та інтенсивністю звуком. Фонування відбувалося в межах гучності, що відповідає розмовній мові. Потім отримані записи аналізували за допомогою функціоналу програми за визначеними параметрами (рис. 1).

При аналізі отриманих акустичних параметрів голосу в обстежуваних слід відмітити значну і відчутну перцептивно (на слух) частотну розбіжність висоти тону та гучності голосу. Під час виконання фонаційного завдання деякі з пацієнтів відмічали складності при намаганні утримання фонації звуку «а» з постійною висотою та гучністю. У хворих з катаральною формою хронічного ларингіту показник Jitter, що відображає стабільність звуку за частотою, коливався у межах від 0,313 до 1,259%, а Shimmer, що

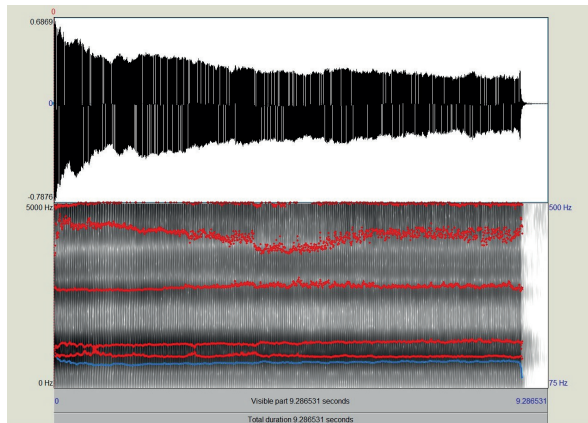


Рис. 1. Приклад запису фонування звуку «а» пацієнтом з хронічним ларингітом

відображає коливання звуку за амплітудою, від 3,506 до 7,012%. У групі з субатрофічною формою хронічного ларингіту відповідні значення становили для Jitter 0,232–0,782%, для Shimmer 1,769–8,842%. Показник NHR, що відображає ступінь захриплості, «зашумлення» голосового сигналу, у 1-й групі коливався від 0,019 до 0,098, в 2-й – у межах 0,005–0,058.

При аналізі отриманих результатів акустичного дослідження звукового сигналу при фонуванні голосного звуку «а» виявлено суттєві (достовірні) відмінності значень Jitter та Shimmer, а також NHR у пацієнтів з хронічними ларингітами (1-ша і 2-га групи) порівняно з контролем (таблиця).

Отримані значення акустичних показників свідчать про виражену варіабельність характеристик основного тону (частоти та

Акустичні показники аналізу голосового сигналу при фонації «а» у пацієнтів з хронічним ларингітом

Групи обстежених	Jitter, %	Shimmer, %	NHR
Контроль (n = 15)	0,26 ± 0,03	1,27 ± 0,08	0,0035 ± 0,001
Катаральна форма (1-ша група n = 20)	0,92 ± 0,1	5,31 ± 0,5	0,078 ± 0,004
Субатрофічна форма (2-га група n = 20)	0,67 ± 0,05	6,57 ± 0,7	0,028 ± 0,003
1–к t/p	6,32	7,98	18,07
	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
2–к t/p	7,03	7,52	7,75
	P < 0,01	P < 0,01	P < 0,01
1–2 t/p	2,24	1,46	10,0
	P < 0,05	P > 0,05	P < 0,01

амплітуди) у хворих як з катаральним, так і з субатрофічним хронічним ларингітом з переважанням нестійкої амплітуди коливань голосових складок та значної вираженості захриплості. Достовірної відмінності між показниками Jitter та Shimmer у пацієнтів цих груп не виявлено ($P > 0,05$).

Більш наочно ці дані представлені на рис. 2. Високі значення коефіцієнтів Jitter та Shimmer певною мірою кількісно відображають вираженість порушень вібраторного циклу голосових складок за частотою та амплітудою. У хворих з хронічним ларингітом як з катаральною, так і з субатрофічною формою такий асинхронізм зумовлюється, зокрема, запальними та дистрофічними змінами слизової оболонки, структур голосового апарату. Значення показника NHR у цих групах відображає наявність та вираженість додаткових нерегулярних частотних проявів (шумів) звукового сигналу при фонуванні звуку «а», що клінічно підтверджується перцептивно вираженою захриплістю у таких хворих. Висока частотна розбіжність висоти тону звукового сигналу у пацієнтів з хронічним ларингітом свідчить про складнощі втримання постійного та чистого звуку при фонації. При цьому найвищі

значення показників варіабельності за частотою (Jitter) та амплітудою (Shimmer), а також коефіцієнта NHR були отримані у 1-й групі хворих з катаральною формою хронічного ларингіту на фоні дій хімічних чинників. Отримані результати говорять про виражену нестабільність голосу за частотою та амплітудою, значну частку шумового компоненту в спектрі голосового сигналу у пацієнтів із хронічним ларингітом.

Зауважимо, що NHR, Jitter та Shimmer – це універсальні показники, які не залежать від діагнозу та статі, а лише від функціонального стану голосового апарату. Jitter та Shimmer при цьому навіть не залежать суттєво від тренуваності голосового апарату. Власне, ці показники і розроблялися для того, щоб мати можливість порівнювати критерій у пацієнтів із зовсім різними віком, порушеннями стану голосового апарату, рівнем володіння голосовим апаратом. NHR та співвідношення гармоніки/шум теж універсальні показники, але вони дещо залежать від тренуваності голосового апарату.

Застосування Jitter та Shimmer дає можливість вирішити питання складності порівняння показників пацієнтів з різноманітними характеристиками голосу, різною трено-

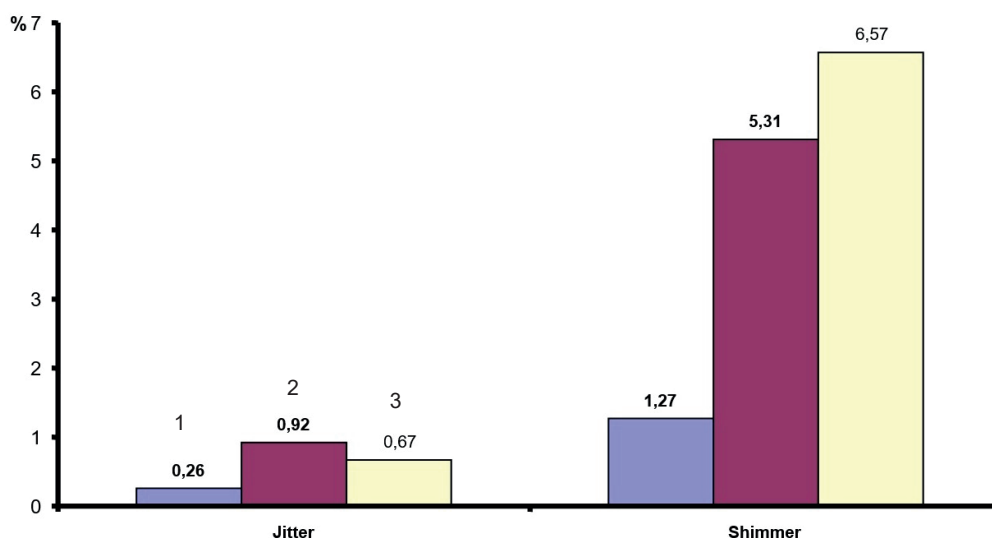


Рис. 2. Акустичні показники голосового сигналу Jitter та Shimmer при фонації звуку «а» у пацієнтів з хронічним ларингітом: 1 – контроль, 2 – катаральна форма, 3 – субатрофічна форма

ваністю та патологією голосового апарату. Цінність цих показників полягає у їх «відносності». Вони характеризують не сам по собі рівень частоти та амплітуди звукових хвиль, а отже висоти і сили голосу, а їх зміни в процесі фонації. Це дає змогу оцінити стабільність фонування кожного пацієнта, а також створює можливості коректного порівняння голосових даних у різних пацієнтів чи групах пацієнтів з різною висотою чи силою голосу при різноманітній патології голосоутворення. Також важливим відносним акустичним показником є співвідношення гармоніка/шум (чистий тон та гармонічний тон до шуму, нерегулярних коливань), за допомогою якого можна кількісно оцінити захриплість. Акустично остання характеризується неупорядкованою, аперіодичною мінливістю частоти основного тону, наявністю шумових компонентів, пов'язаних з варіабельністю частоти [6].

На нашу думку, значення акустичних показників Jitter та Shimmer, що відображають ступінь варіабельності основного тону за частотою та амплітудою, а також NHR як відображення ступеня захриплості, можуть бути об'єктивними критеріями оцінки функціонального стану голосового апарату та визначення важкості порушень функції голосоутворення при хронічних ларингітах на фоні впливу хімічних чинників. Методика неінвазивна, доступна, об'єктивна і інформативна. Зважаючи на те, що кількісні показники спектрального аналізу голосового сигналу є об'єктивними даними, вони можуть бути цінними критеріями для визначення ступеня порушення голосоутворення, визначення якості життя пацієнтів з хронічними ларингітами, а також ефективності реабілітаційних заходів у разі їх проведення.

ВИСНОВКИ

1. У пацієнтів з хронічними ларингітами на фоні впливу хімічних чинників гортані спостерігаються виражені порушення голо-

соутворення, які об'єктивно підтверджуються даними акустичного аналізу. Отримані результати свідчать про значну частотну та амплітудну нестабільність, а також негармонічність голосу пацієнтів.

2. Найвищі значення показників варіабельності за частотою (Jitter) та амплітудою (Shimmer), а також коефіцієнта NHR були отримані у хворих з катаральною формою хронічного ларингіту на фоні дій хімічних чинників, що говорить про виражену нестабільність голосу за частотою та амплітудою, значну частку шумового компонента в спектрі голосового сигналу.

3. Дослідження акустичних показників Jitter, Shimmer, NHR у пацієнтів з хронічним ларингітом є об'єктивними інформативними методиками, що дають можливість кількісно оцінити нестійкість основного тону за частотою та амплітудою, а також вираженість захриплості. Їх можна використовувати як критерії визначення ступеня порушень голосової функції у цієї категорії хворих.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

P.M. Kovalchuk, T.A. Shydlovska

ACOUSTIC ANALYSIS OF VOICE MEASURES IN CHRONIC LARYNGITIS PATIENTS

Kolomiychenko Institute of Otolaryngology NAMS of Ukraine", Kyiv; e-mail: lorprof3@ukr.net

We aimed to analyse voice signals in 40 patients with chronic laryngitis elicited by exposure to chemical factors. We examined 20 people with catarrhal chronic laryngitis (group 1), 20 people with subatrophic chronic laryngitis (group 2) and 15 healthy volunteers as controls. All subjects underwent acoustic examination of the voice signal using the software Praat V 4.2.1. We studied acoustic measures as follows: Jitter, Shimmer and NHR (noise-to-harmonics ratio). The analysis of the obtained data revealed statistically significant differences in the average values of Jitter and Shimmer measures,

as well as in the ratio of nonharmonic (noise) and harmonic component in the spectrum (NHR) in patients with chronic laryngitis (groups 1 and 2) compared with controls. In group 1 (chronic catarrhal laryngitis), the average values of acoustic measures such as Jitter, Shimmer and NHR were as follows: Jitter - $0.92 \pm 0.1\%$, Shimmer - $5.31 \pm 0.5\%$, NHR - 0.078 ± 0.04 . In group 2 (subatrophic laryngitis), the average values of acoustic measures were: Jitter - $0.67 \pm 0.6\%$, Shimmer - $6.57 \pm 0.7\%$ and NHR - 0.028 ± 0.003 . The obtained data indicate a pronounced instability of the voice in frequency and amplitude, a significant proportion of the noise component in the spectrum of the voice signal in the examined patients with chronic laryngitis exposed to chemical factors. The most pronounced alterations were found in patients with catarrhal chronic laryngitis. We conclude that the quantitative values of spectral analysis of the voice signal Jitter, Shimmer, NHR may serve as valuable criteria of the degree of voice impairment. This may be helpful in determining the effectiveness of rehabilitation measures.

Key words: acoustic analysis of voice, Jitter, Shimmer, NHR, laryngitis.

REFERENCES

1. Karpov AA. The state of thioldisulfide system of patients with chronic diseases of upper respiratory tract with concomitant coeliac disease. *Russ Otorhinolaryngol.* 2018;2;53-7. [Russian].
2. Kolesnikova OM, Malkova ME. An integrated approach to the treatment of chronic laryngitis. "Pharmateka". 2017; 22-5. [Russian].
3. Pankova VB. Modern problems of diagnostics and examination of occupational diseases of the upper respiratory tract. *J Vest Otorinolaringol.* 2015; 2;14-8. [Russian].
4. Shydlovska TA. Functional voice disorders. Shidlovska TA. Kyiv. "Logos". 2011. [Ukrainian].
5. Andrushchenko TA, Goncharov SV, Dosenko VE. Genetic predisposition to broncopulmonary pathology in workers of harmful and hazardous industries. *Fiziol Zh.* 2018; 64 (4):12-9. [Ukrainian].
6. Shydlovska TA, Volkova TV, Cymbaljuk JeM. Formants F1 and F2 characteristics according to voice signal spectral analysis in patients with functional and organic diseases of the vocal apparatus. *Zh UNGB.* 2016;4;32-48. [Ukrainian].
7. Shydlovska TA, Yaremchuk SE, Zemliak NB. Acoustic jitter and shimmer measures in patients with motor disorders of the larynx. *J ENT Dis.* 2017. Issue 5:51-9. [Ukrainian].
8. Brockmann M, Drinnan MJ, Storck C. Reliable jitter and shimmer measurements in voice clinics: the relevance of vowel, gender, vocal intensity, and fundamental frequency effects in a typical clinical task. *J Voice.* 2011; 25(1):44-53.
9. Echternach M, Nusseck M, Dippold S, et al. Fundamental frequency, sound pressure level and vocal dose of a vocal loading test in comparison to a real teaching situation. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2014;271(12); 3263-8.
10. Gorris C, Maccarini AR, Vanoni F, Poggioli M, Vaschetto R, Garzaro M, and Aluffi P. Analysis of normal voice patterns in italian adults by using praat. 2020. *J Voice:* (11):961.e9-961.e18.
11. Halawa WE., Freiré AR F, Muñoz IV, et al. Assessment of effectiveness of acoustic analysis of voice for monitoring the evolution of vocal nodules after vocal treatment. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2014; 271;749-56.
12. Naufel de Felipe A, Marotti Martelletti M, Grechi Thans H. Standardization of acoustic measures for normal voice patterns: *Rev Bras Otorrinolaringol* 2006;72(5):659-64.
13. Seidner Wolfram. *Nawka Tadeus. Aids to Voice Diagnostics.* Wolfram Seidner XION GmbH. 2014
14. Zhaoyan Zhan. Mechanics of human voice production and control. *J Acoust Soc Am.* 2016; 140(4): 2614-35.

*Матеріал надійшов
до редакції 12.10.2021*