

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ АКУСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ГОЛОСУ У ЗДОРОВИХ МЕШКАНЦІВ УКРАЇНИ

¹Укр. наук.-практ. центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України (дир. – докт. мед. наук О.А. Товкай);

²Каф. оториноларингології (зав. – проф. Ю.В. Дєєва) Нац. мед. ун-ту імені О.О. Богомольця (ректор – чл.-кор. НАМН України, проф. Ю.Л. Кучин;

³ДУ “Нац. ін-ут фтизіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України” (дир. – акад. НАМН України, проф. Ю.І. Феценко)

Голос – це складний фізіологічний процес, який є основним засобом спілкування та грає важливу роль у повсякденному житті людини [1]. Голос передає інформацію про саму людину, яка говорить, та є основним інструментом, за допомогою якого людина проектує свої психологічні, фізичні та соціальні якості на світ [2]. Реалії сучасного життя викликають додаткові навантаження на голосовий апарат, особливо у людей голосомовних професій, що сприяє підвищенню вимог до голосу, вивченню та покращенню методів його дослідження [3].

Якість голосу вивчається достатньо давно, є предметом багатьох наукових публікацій та дискусій. Для того, щоб оцінити якість голосу, існують суб’єктивні та об’єктивні методи дослідження. Суб’єктивна оцінка якості голосу за допомогою шкал GRBAS та Janagihara є достатньо трудомісткою та не достатньо точною, тому на даний час набувають широкого застосування об’єктивні методи оцінки якості голосу, одним з яких є його акустичний аналіз [4]. Цей метод представляє собою великий інтерес для фонетики, фоніатрії та фонопедії. В зв’язку з його відносно низькою вартістю, простотою застосування, неінвазивністю він також широко використовується в клінічній практиці для диференціації нормального голосу та голосу з патологічними змінами, для визначення тактики лікування та подальшого динамічного спостереження пацієн-

та, а також оцінки проведеного лікування [5, 6].

На теперішній час завдяки технологічним і науковим досягненням в області дослідження голосу, існує безліч комп’ютерних програм для його оцінки, кожна з яких має свої переваги та недоліки [7]. У різних програмах аналізу голосу використовуються схожі показники, але значення цих показників в різних програмах можуть дуже відрізнятися [8]. Однією із цих програм є Praat (doing phonetics by computer) – це комп’ютерна програма для об’єктивної оцінки голосу, яка була розроблена в Інституті фонетичних досліджень Амстердамського університету професором Девідом Вининком та Полом Боерсма у 2009 р. Вона дозволяє провести спектральний аналіз голосу та оцінити його якість, дослідити акустичні характеристики голосу, проаналізувати його форманти, дає можливість редагувати звукові сегменти та роздрукувати спектрограму. Програма Praat не надає порогові значення показників спектрального аналізу голосу, що вимагає встановлення норми для кожного показника. Враховуючи те, що на голос впливають не тільки стать та вік, час доби, деякі захворювання, шкідливі звички, професійні чинники та емоції людини, але і місцевість проживання, то загальні показники норми для параметрів акустичного аналізу голосу можуть не відповідати місцевому населенню та його демографічним

особливостям [9, 10]. Це потребує вивчення та встановлення показників норми для мешканців України. В останні роки для оцінки лабораторних та інструментальних досліджень замість звичного терміну «норма» рекомендується застосовувати поняття «референтного інтервалу» (PI). Таке трактування є менш жорстким і враховує певною мірою відносний характер тих цифр, які пропонуються як верхня або нижня межа того чи іншого показника.

Мета дослідження

Дослідити акустичні параметри голосу дорослого населення України в залежності від віку та статі. Оцінити гендерні та вікові відмінності та виконати розрахунок референтних інтервалів (PI) для цих показників.

Матеріали та методи дослідження

Обстежено 150 здорових мешканців України віком від 18 до 70 років, середній вік склав $42,2 \pm 12,5$ років. Серед них чоловіків було 32 (21,3 %), середній вік – $43,5 \pm 11,6$ років, жінок – 118 (78,7%), середній вік – $41,8 \pm 12,7$ років. Таким чином, жінок було достовірно більше ($p < 0,01$). Враховуючи багато повідомлень про вікові зміни голосу, осіб старше 75 років до дослідження не включали [11, 12].

Дослідження проводилось за допомогою конденсаторного мікрофону Behringer C1U та програми Praat (версія 5.1.12.). Досліджувались такі акустичні характеристики голосу: частота основного тону гортані (ЧОТ, F0) в Гц, час максимальної фонації (ЧМФ) в секундах, співвідношення гармоніка-шум (СГШ) в дБ, Jitter (%), Shimmer (%). Всі особи були оглянуті лікарем оториноларингологом та терапевтом. Критеріями виключення були: патологія ЛОР органів, захворювання дихальних шляхів, рефлюксна хвороба, паління, синдром компресії та деформації трахеї, ендокринні та неврологічні розлади. Також до групи дослідження не включались особи, в анамнезі яких була інтубація. Всі обстежені не мали вокально-хорових навичок.

Дослідження проводилось в шумоізоляційній кабіні, досліджуваний сидів перед мікрофоном, відстань між мікрофоном та

його губами складала 30 см. Кожне завдання, яке повинен був зробити досліджуваний, спочатку демонструвалось дослідником для отримання найбільш точних результатів. В першу чергу вимірювався час максимальної фонації (ЧМФ), обстежуваний максимально довго вимовляв у мікрофон фонему «і» в комфортній для нього тональності та гучності після максимального вдиху. Час максимальної фонації вимірювався від початку фонації до переходу звуку в шепіт. Далі обстежуваний звичним для себе голосом протяжно вимовляв голосний «і» протягом декількох секунд, в цей час вимірювались: частота основного тону (ЧОТ), показники нестабільності голосу по частоті та амплітуді (Jitter, Shimmer), співвідношення гармоніка/шум (СГШ), після цього проводилась комп'ютерна обробка та спектральний аналіз голосу із записом профілю голосу.

Накопичення даних та їх первинне опрацювання здійснювалось у програмі MS Excel 2013. Статистична обробка отриманих результатів проводилась з використанням непараметричних і параметричних методів за допомогою спеціалізованої статистичної програми StatPlus 7 [13]. Вибір класу статистичних методів визначався видом розподілу і типом досліджуваних даних. Аналіз відповідності виду розподілу ознаки закону нормального розподілу виконувався із застосуванням критеріїв Шапіро-Уїлка та Шапіро-Франція. Кількісні ознаки залежно від виду розподілу представлені у вигляді $M \pm SD$ (середнє значення \pm стандартне відхилення) або Me (Q1;Q3) (медіана, 1-й та 3-й квартиль). Для аналізу кількісних ознак, що мають нормальний розподіл, застосовувались параметричні методи (t-критерій Ст'юдента, кореляція Пірсона). Для ознак, які не підпорядковувались нормальному закону, застосовували непараметричні методи (критерій Манна-Уїтні, кореляція Спірмена). Результати розрахунку часток (відсотків) подавали у вигляді $M \pm m$, % (частка у відсотках \pm стандартна похибка частки). Порівняння часток виконували із застосуванням точного критерію Фішера. Статистично значущими вважались результати при рівні статистичної значущості $p < 0,05$. Для аналізу співвідношень показників у різних підгрупах та виявлення так званих «вики-

дів» використовувались діаграми типу «ящик з вусами» (англ. box-plot); викиди визначались за методом Тьюкі. Для розрахунку референтних інтервалів використовували програму Reference Value Advisor v.2.1, яка реалізована як додаток до програми MS Excel [14] і дозволяє використовувати такі засоби, як робастний метод, метод бутспреп, перетворення Бокса-Кокса (Box-Cox).

Результати та їх обговорення

Існують підтверджені дані про відмінність акустичних параметрів голосу чоловіків і жінок [10, 11]. Враховуючи це, досліджуваних було розподілено за статтю. За віком всіх було поділено на категорії у відповідності до класифікації Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВО-ОЗ): 18-44 років – молодий вік, 45-59 ро-

ків – середній вік, 60-74 років – похилий вік, вік 75-90 років відноситься до критеріїв виключення.

В табл. 1 показано, що жінок молодого та середнього віку було більше, ніж чоловіків, статистично значущих відмінностей між групами жінок і чоловіків не виявлено ($p > 0,05$). Враховуючи невелику кількість осіб в групі похилого віку (жінок – 16, чоловіків – 3), цих пацієнтів на цьому етапі в групі порівняння також не включали, але продовжували набір таких пацієнтів та вивчення параметрів акустичного аналізу голосу для подальшого дослідження. Таким чином, для розгляду було сформовано 4 підгрупи: 1а – жінки молодого віку (18-44 років); 2а – чоловіки молодого віку (18-44 років); 1б – жінки середнього віку (45-59 років); 2б – чоловіки середнього віку (45-59 років). Всього – 131 особа (табл.1).

Таблиця 1

Розподіл обстежуваних осіб за віковими діапазонами

Віковий діапазон, роки	Жінки (n=118)			Чоловіки (n=32)			P
	N	M,%	m,%	n	M,%	m,%	
18-44	74	62,7	4,5	17	53,1	8,8	>0,05
45-59	28	23,7	4,1	12	37,5	8,7	>0,05
60-74	16	13,6	3,2	3	9,4	5,2	>0,05

Для аналізу співвідношень показників у різних підгрупах та виявлення викидів були побудовані діаграми типу «ящик з вусами», викиди визначались за методом Тьюкі. Міжнародні погодження рекомендують не підходити до процесу видалення викидів формально, оскільки таке редагування може суттєво та необґрунтовано звужити межі PI, та при можливості залишати їх у референтних групах [13]. Нами були ретельно проаналізовані всі випадки наявних викидів. Так звані «екстремальні» викиди (англ. extreme outliers), при яких значення спостережень менше величини ($Q_1 - 3 \times IQR$) або більше ($Q_3 + 3 \times IQR$), як правило, із розгляду вилучались (тут IQR – це межквартильний діапазон, який займає «коробка»: нижня частина коробки вказує на 25-й перцентиль Q_1 (перший квартиль), а верхня частина – на 75-й перцентиль Q_3

(третій квартиль)). До «м'яких» викидів, обмежених значеннями ($Q_1 - 1,5 \times IQR$) та ($Q_3 + 1,5 \times IQR$), підходили диференційовано. У зв'язку з цим остаточно кількість спостережень, яка була прийнята до розгляду, у деяких підгрупах для певних показників могла бути меншою, ніж чисельність підгрупи.

На рис. 1 наведено співвідношення показника ЧМФ у різних підгрупах обстежуваних. З метою уникнення повторів примітки про наявність статистично значущих відмінностей між підгрупами наведено тільки у відповідних таблицях. Також з метою більш повної характеристики отриманих результатів у таблицях наведено, незалежно від виду розподілу даних, як середні, так і медіанні значення показників. Після мінімального коригування викидів було отримано такі результати (рис. 1, табл. 2).

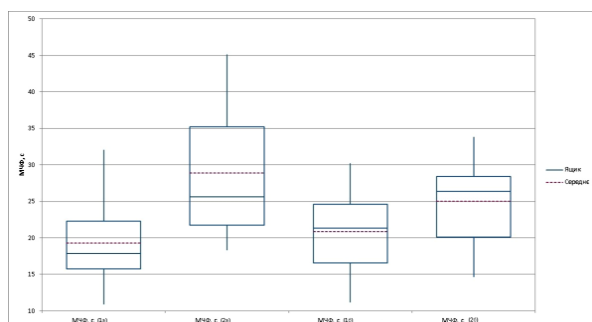


Рис. 1. Діаграма типу «ящик з вусами» для показника ЧМФ після коригування.

Як показано на рис. 1 та у табл. 2, порівняльний аналіз ЧМФ у чоловіків і жінок відповідних вікових категорій показав достовірні відмінності. Так, чоловіки молодого та середнього віку демонстрували достовірно більший ЧМФ, ніж жінки відповідного віку. Значення показника ЧМФ у жінок та чоловіків з віком дещо збільшилось.

Ґрунтуючись на отриманих даних значення ЧМФ, ми створили референтні інтервали (PI) у програмі Reference Value Advisor щодо цього показника, які приведені у табл. 3.

Таблиця 2

Показник ЧМФ у жінок та чоловіків молодого і середнього віку

Показник	Підгрупи			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
M, с	19,26	20,84	28,92 [#]	25,00 [*]
SD, с	4,74	5,35	9,24	5,62
Me, с	17,86	21,32	25,60	26,34
Q ₁ , с	15,74	16,57	21,77	20,11
Q ₃ , с	22,26	24,57	35,23	28,39
Мінімальне значення, с	10,99	11,25	18,42	14,74
Максимальне значення, с	32,03	30,20	45,12	33,78
Відповідність нормальному розподілу	Так	Ні	Ні	Так

Примітки:

статистично значуща відмінність між підгрупами жінок і чоловіків відповідних вікових категорій:

* – p<0,05; # – p<0,001.

Таблиця 3

Референтні інтервали показника ЧМФ в залежності від статі та віку

Показник	Підгрупи (кількість спостережень)			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
Нижня межа PI	11,35	14,30	15,55	12,59
– нижня межа 90% ДІ	10,99	11,04	–	–
– верхня межа 90% ДІ	13,84	13,00	–	–
Верхня межа PI	31,28	33,01	39,53	31,90
– нижня межа 90% ДІ	28,22	29,66	–	–
– верхня межа 90% ДІ	32,03	36,40	–	–
Метод розрахунку PI	Непараметричний	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод з трансформацією даних

Примітка: Знак «–» у графах «нижня/верхня межа 90% ДІ» означає, що обраним методом для цієї підгрупи довірчий інтервал для меж PI не визначається, враховуючи невелику кількість осіб у досліджуваній групі.

Отже, як показано у табл. 3, РІ для показника ЧМФ у підгрупі 1а складає 11,35-31,28 с; у підгрупі 2а – 15,55-39,53 с; у підгрупі 1б – 14,30-33,01 с; у підгрупі 2б – 12,59-31,90 с. Але враховуючи невелику кількість обстежуваних у групах та не співмірну їх кількість, розрахунок РІ потребує подальшого вивчення та доопрацювання.

При розрахунку показників ЧОТ було проведено коригування за рахунок вилу-

чення 4 викидів у чоловіків молодого віку (18-44 р).

Як показано у табл. 4, порівняльний аналіз показника ЧОТ у чоловіків та жінок показав достовірні відмінності ($p < 0,001$). Показник ЧОТ жінок молодого та середнього віку статистично більше, ніж у чоловіків тієї ж вікової групи. З віком цей показник дещо у зменшується у жінок та чоловіків.

Таблиця 4

Показник ЧОТ у жінок та чоловіків молодого і середнього віку

Показник	Підгрупа			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
М, Гц	216,2	211,6	116,7	127,3
SD, Гц	60,3	57,4	10,0	20,8
Me, Гц	228,5	222,4	119,5#	116,1#
Q ₁ , Гц	172,9	172,8	109,4	112,1
Q ₃ , Гц	258,8	257,8	120,4	148,5
Мінімальне значення, Гц	102,9	116,9	99,2	105,9
Максимальне значення, Гц	330,3	288,4	133,6	165,5
Відповідність нормальному розподілу	Ні	так	так	Ні

Примітка: # – відмінність між підгрупами жінок і чоловіків відповідних вікових категорій статистично значуща ($p < 0,001$).

Таблиця 5

Референтні інтервали показника ЧОТ в залежності від статі та віку

Показник	Підгрупа (кількість спостережень)			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
Нижня межа РІ	107,0	94,3	94,1	80,3
– нижня межа 90% ДІ	102,9	60,8	–	–
– верхня межа 90% ДІ	113,6	133,3	–	–
Верхня межа РІ	316,5	339,1	139,3	174,3
– нижня межа 90% ДІ	295,4	318,6	–	–
– верхня межа 90% ДІ	330,3	366,2	–	–
Метод розрахунку РІ	Непараметричний метод	Робастний метод без трансформації даних	Стандартний метод без трансформації даних	Стандартний метод без трансформації даних

Примітка. Знак «–» у графах «нижня/верхня межа 90% ДІ» означає, що обраним методом для цієї підгрупи довірчий інтервал для меж РІ не визначається, враховуючи невелику кількість осіб у досліджуваній групі.

Отже, як показано у табл 5, РІ для показника ЧОТ у підгрупі 1а складає 107,0-316,5 Гц; у підгрупі 2а – 94,1-139,3Гц, у

підгрупі 1б – 94,3-339,1 Гц; у підгрупі 2б – 80,3-174,3 Гц. Але, враховуючи невелику кількість обстежуваних у групах та не спів-

мірну їх кількість, розрахунок РІ потребує подальшого вивчення та доопрацювання.

Для розрахунку даних показника СГШ в різних підгрупах, було вилучено єдиного екстремального викиду. Порівня-

льний аналіз показника СГШ у чоловіків молодого та середнього віку не показав достовірних відмінностей. У жінок середнього віку цей показник достовірно більший, ніж у молодих жінок.

Таблиця 6

Показник СГШ у жінок та чоловіків молодого і середнього віку

Показник	Підгрупа			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
М, с	20,372	21,673	22,170	21,310
SD, с	3,168	2,605	2,545	3,735
Me, с	20,110	21,992*	21,994	21,997
Q ₁ , с	15,74	19,842	20,494	19,892
Q ₃ , с	18,861	23,507	23,255	23,285
Мінімальне значення, с	10,746	16,442	17,671	11,242
Максимальне значення, с	22,170	26,801	27,943	27,178
Відповідність нормальному розподілу	Ні	так	ні	ні

Примітка. * – відмінність між підгрупами жінок різних вікових категорій статистично значуща (p<0,05).

Таблиця 7

Референтні інтервали показника СГШ в залежності від статі та віку

Показник	Підгрупа (кількість спостережень)			
	1а (n=74) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=16) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
Нижня межа РІ	14,194	15,254	17,328	13,545
– нижня межа 90% ДІ	13,102	13,168	–	–
– верхня межа 90% ДІ	15,317	17,329	–	–
Верхня межа РІ	26,946	26,536	28,675	30,368
– нижня межа 90% ДІ	25,677	25,429	–	–
– верхня межа 90% ДІ	28,124	27,481	–	–
Метод розрахунку РІ	Робастний метод без трансформації даних	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод без трансформації даних

Примітка: Знак «–» у графах «нижня/верхня межа 90% ДІ» означає, що обраним методом для цієї підгрупи довірчий інтервал для меж РІ не визначається, враховуючи невелику кількість осіб у досліджуваній групі.

Таким чином, як показано у табл. 7, РІ для показника СГШ у підгрупі 1а складає 14,194-26,946 dB; у підгрупі 2а – 17,328-28,675 dB, у підгрупі 1б – 15,254-26,536 dB; у підгрупі 2б – 13,545-30,368 dB. Але враховуючи невелику кількість обстежуваних у групах, та не співмірну їх кількість, розра-

хунок РІ потребує подальшого вивчення та доопрацювання.

При розрахунку показників Jitter та Shimmer було вилучено однакову кількість викидів, особливо у групі жінок молодого віку (18-44), тому ці дані представлені в одній таблиці.

Таблиця 8

Характеристика показників Jitter та Shimmer у осіб молодого та середнього віку

Показник	Підгрупа			
	1а (n=60) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=15) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
М, с Jitter/Shimmer	0,248/5,932	0,248/4,415	0,236/5,068	0,290*/4,908
SD, с Jitter/ Shimmer	0,091/2,859	0,101/1,114	0,081/1,947	0,074/2,274
Me, с Jitter/ Shimmer	0,229/5,254	0,238/4,199#	0,224/4,910	0,294/4,251
Q ₁ , с Jitter/ Shimmer	0,179/4,024	0,173/4,045	0,174/3,815	0,249/3,571
Q ₃ , с Jitter/ Shimmer	0,302/7,137	0,310/5,039	0,287/5,608	0,333/5,169

Примітки:

* – відмінність між підгрупами чоловіків різних вікових категорій статистично значуща ($p < 0,05$);# – відмінність між підгрупами жінок різних вікових категорій статистично значуща ($p < 0,001$).

Показник Jitter у чоловіків та жінок молодого віку статистично не відрізняється, з віком у чоловіків цей показник достовірно збільшується, у жінок залишається на тому ж рівні. Порівняльний аналіз показника Shimmer у чоловіків та жінок молодого віку не показав достовірних відмінностей, але у жінок середнього віку цей показник достовірно зменшився у порівнянні з молодими жінками. У чоловіків з віком цей показник не змінився.

Таблиця 9

Референтні інтервали показників Jitter та Shimmer у осіб молодого і середнього віку

Показник Jitter/Shimmer	Підгрупа (кількість спостережень)			
	1а (n=60) жінки, 18-44 р.	1б (n=27) жінки, 45-59 р.	2а (n=15) чоловіки, 18-44 р.	2б (n=12) чоловіки, 45-59 р.
Нижня межа	0,110/1,974	0,094/2,008	0,101/2,592	0,117/2,016
– нижня межа 90% ДІ	0,105/1,921	0,076/1,496	–	–
– верхня межа 90% ДІ	0,119/2,708	0,121/2,666	–	–
Верхня межа РІ	0,436/14,128	0,520/6,788	0,472/12,378	0,460/12,260
– нижня межа 90% ДІ	0,402/10,728	0,421/6,011	–	–
– верхня межа 90% ДІ	0,438/14,924	0,645/7,362	–	–
Метод розрахунку РІ	Непараметричний з методом бутстреп	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса	Робастний метод з перетворенням Бокса-Кокса

Примітка: Знак «–» у графах «нижня/верхня межа 90% ДІ» означає, що обраним методом для цієї підгрупи довірчий інтервал для меж РІ не визначається, враховуючи невелику кількість осіб у досліджуваній групі.

Отже, як показано у табл. 9, РІ для показника Jitter у підгрупі 1а складає 0,110-0,436 %, у підгрупі 2а – 0,101-0,472 %, у підгрупі 1б – 0,094-0,520 %, та у підгрупі 2б – 0,117-0,460 %. РІ для показника Shimmer у підгрупі 1а складає 1,974-14,128 %, у підгрупі 2а – 2,592-12,378 %, у підгрупі 1б – 2,008-6,788 %, у підгрупі 2б – 2,016-12,260%. Але враховуючи невелику

кількість обстежуваних у групах, та не співмірну їх кількість, розрахунок РІ потребує подальшого вивчення та доопрацювання.

Висновки

1. Показники спектрального аналізу голосу у жінок та чоловіків молодого і середнього віку є відносно стабільними та суттєво не змінюються у даний часовий проміжок.

2. Розрахунок РІ показників спектрального аналізу голосу безпосередньо для українських жінок та чоловіків молодого і середнього віку має клінічне значення для

комплексної діагностики голосової функції гортані, та дозволяє поліпшити результати лікування за рахунок його постійного моніторингу.

Література

1. Zhang Z. Mechanics of human voice production and control. *J Acoust Soc Am*. 2016; 140(4): 2614-35. doi: 10.1121/1.4964509.
2. Laver J. The phonetic description of voice quality. *Journal of the International Phonetic Association*. 1981;11(2):78-84. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025100300002292>.
3. Folomeeva NA. [Methodology for the protection and hygiene of the voice of students-vocalists of pedagogical universities]. *Young Scientist*. 2016; 11.1 (38.1). [In Ukrainian].
4. Omori K. Diagnosis of Voice Disorders. *JMAJ*. 2011;54(4):248-53.
5. Hillenbrand JM. Acoustic Analysis of Voice. *American Speech-Language-Hearing Association*. 2011;21(2):31-43. doi.org/10.1044/ssod21.2.31.
6. 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. doi:10.1016/j.jvoice.2009.07.002.
7. Finger LS, Cielo CA, Schwarz K. Acoustic vocal measures in women without voice complaints and with normal larynx. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. 2009;5(3):432-40. [https://doi.org/10.1016/S1808-8694\(15\)30663-7](https://doi.org/10.1016/S1808-8694(15)30663-7).
8. Kiliç MA, Oguz H, Şafak MA. Comparison of results in two acoustic analysis programs: Praat and MDVP. *Turkish Journal of Medical Sciences*. 2011;41:835-41. DOI: 10.3906/sag-0909-290.
9. Bonzi EV, Grad GB, Maggi AM, Munoz MR. Study of the characteristic parameters of normal voices of Argentinian speakers. *Papers in Physics*. 2014;6, 060002. <https://doi.org/10.4279/pip.060002>.
10. Gorris C, Maccarini AR, Vanoni F, Poggioli M, Vaschetto R, Garzaro M, Aluffi P. Analysis of Normal Voice Patterns in Italian Adults by Using Praat. *Journal of Voice*. 2020;6(11):961.e9-961.e18. doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.04.016.
11. Catherine L, Thibeault M, Matthieu JG, Tremblay P. Effects of age on the amplitude, frequency and perceived quality of voice. 2015;37(6):117. doi: 10.1007/s11357-015-9854-1.
12. Rumyantseva VV, Bestolkova OS. [Acoustic indicators of the voice in different age periods in adults and their prediction]. *Russian otorhinolaryngology*. 2015;1(74):118-23. [In Russian].
13. Tukey JW. *Exploratory Data Analysis*. London, Amsterdam. Addison-Wesley Publishing Company. 1977. 688 s. <https://doi.org/10.1002/bimj.4710230408>.
14. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). *Defining, Establishing, and Verifying Reference Intervals in the Clinical Laboratory – Approved Guideline – Third Edition – CLSI Document EP28-A3c*. Clinical and Laboratory Standards Institute, 940 West Valley Road, Suite 1400, Wayne, PA, 19087-1898, USA, 2010.

Надійшла до редакції 03.09.2021

© Н.В. Соломеннікова, Ю.В. Дєєва, В.О. Паламарчук, В.В. Куц, 2021

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ АКУСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ГОЛОСУ У ЗДОРОВИХ МЕШКАНЦІВ УКРАЇНИ

^{1,2}Соломеннікова НВ, ²Дєєва ЮВ, ¹Паламарчук ВО, ³Куц ВВ

¹Укр. наук.-практ. центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України;

²Каф. оториноларингології Нац. мед. ун-ту імені О.О. Богомольця;

³ДУ "Нац. ін-т фтизіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України"

А н о т а ц і я

Акустичний аналіз голосу – це метод об'єктивної оцінки його якості, який має відносно низьку вартість, достатньо простий у застосуванні, та є неінвазивним. Однією із програм спектрального аналізу голосу є програма Praat, яка дозволяє дослідити його акустичні характеристики, проаналізувати безпосередньо форманти, дає можливість редагування звукових сегментів та роздрукувати спектрограму.

Мета дослідження: Дослідити акустичні параметри голосу дорослогоукраїнського населення різного за віком та статтю, та виконати розрахунок референтних інтервалів (PI) для цих показників.

Матеріали та методи дослідження: Обстежено 150 здорових жителів України віком від 18 до 70 років. Дослідження проводилось за допомогою конденсаторного мікрофону Behringer C1U та програми Praat (версія 5.1.12.). Досліджувались такі акустичні характеристики голосу: частота основного тону гортані (ЧОТ, F0) в Гц, час максимальної фонації (ЧМФ) в секундах, співвідношення гармоніка-шум (СГШ) в дБ, Jitter (%), Shimmer (%). Для дослідження було сформовано 4 підгрупи: 1а – жінки молодого віку (18-44 років); 2а – чоловіки молодого віку (18-44 років); 1б – жінки середнього віку (45-59 років); 2б – чоловіки середнього віку (45-59 років), загалом – 131 особа.

Результати та їх обговорення: Чоловіки молодого та середнього віку продемонстрували достовірно більший ЧМФ, ніж жінки відповідного віку. Середнє значення показника ЧМФ у жінок з віком дещо збільшується, у чоловіків – дещо зменшується. PI для показника ЧМФ у підгрупі 1а складає 11,35-31,28 с; у підгрупі 2а – 15,55-39,53 с; у підгрупі 1б – 14,30-33,01 с; у підгрупі 2б – 12,59-31,90 с.

Показник ЧОТ у жінок молодого та середнього віку статистично достовірно більше, ніж у чоловіків тієї ж вікової групи ($p < 0,001$). З віком цей показник дещо у зменшується у жінок та у чоловіків. PI для показника ЧОТ у підгрупі 1а складає 107,0-316,5 Гц; у підгрупі 2а – 94,1-139,3 Гц, у підгрупі 1б – 94,3-339,1 Гц; у підгрупі 2б – 80,3-174,3 Гц.

Порівняльний аналіз показника СГШ у чоловіків молодого та середнього віку не показав достовірних відмінностей. У жінок середнього віку цей показник достовірно більший, ніж у молодих жінок. PI для показника СГШ у підгрупі 1а склав 14,194-26,946 dB; у підгрупі 2а – 17,328-28,675 dB, у підгрупі 1б – 15,254-26,536 dB; у підгрупі 2б – 13,545-30,368 dB.

Показник Jitter у чоловіків та жінок молодого віку статистично не відрізняється, з віком у чоловіків цей показник достовірно збільшується, у жінок залишається на тому ж рівні. PI для показника Jitter у підгрупі 1а складає 0,110-0,436%, у підгрупі 2а – 0,101-0,472%, у підгрупі 1б – 0,094-0,520%; у підгрупі 2б – 0,117-0,460%.

Порівняльний аналіз показника Shimmer у чоловіків та жінок молодого віку не показав достовірних відмінностей, але у жінок середнього віку цей показник статистично зменшився у порівнянні з молодими жінками. У чоловіків з віком цей показник не змінився. PI для показника Shimmer у підгрупі 1а складає 1,974-14,128%; 2а – 2,592-12,378%; 1б – 2,008-6,788%; 2б – 2,016-12,260%.

Для визначення 95% PI незалежно від виду розподілу (згідно вимогам Reference Value Advisor v.2.1), в кожній досліджуваній групі потрібно не менше 120 осіб, у випадку менших вибірок вирішення цієї задачі можливо за умов використання спеціальних статистичних методів і перетворень, які використовувались в дослідженні. Але, враховуючи різну кількість осіб у групах дослідження, розрахунок PI потребує подальшого вивчення та доопрацювання.

Висновки

Показники спектрального аналізу голосу у жінок та чоловіків молодого і середнього віку є відносно стабільними та суттєво не змінюються у певний часовий проміжок.

Розрахунок PI показників спектрального аналізу голосу безпосередньо для жінок та чоловіків молодого і середнього віку, мешканців України, має клінічне значення для комплексної діагностики голосової функції гортані, а також дозволяє поліпшити результати лікування за рахунок його постійного моніторингу.

Ключові слова: спектральний аналіз голосу, щитоподібна залоза, час максимальної фонації, співвідношення гармоніка-шум, частота основного тону, Jitter, Shimmer, кореляційний аналіз, референтний інтервал.

SURVEY OF ACOUSTIC ANALYSIS OF VOICE IN HEALTHY RESIDENTS OF UKRAINE

^{1,2}Solomennikova NV, ²Deyeva YuV, ¹Palamarchuk VO, ³Kuts VV

¹Ukrainian Center of Endocrine Surgery, Endocrine Organs and Tissue Transplantation

²Bogomolets National Medical University

³National institute of phthisiology and pulmonology named after F.G. Yanovsky NAMS of Ukraine

Abstract

Introduction: Acoustic analysis of voice is a method for assessing its quality, which has a relatively low cost. It is quite simple to use, and is non-invasive. One of the programs of spectral analysis of voice is the program Praat, which allows to explore its acoustic characteristics and analyze the forms, also it allows to edit sound segments and print the spectrogram.

The purpose: Investigate the acoustic parameters of the voice of Ukrainians of different ages and genders and perform the calculation of reference intervals (RI) for these indicators.

Material and methods: We had examined 150 healthy Ukrainians aged 18 to 70. The study was performed using a Behringer C1U condenser microphone and Praat software (version 5.1.12.). The following acoustic characteristics of the voice were studied: the fundamental frequency of voice (F0) in Hz, the maximum phonation time (MPT) in seconds, the Harmonic to Noise Ratio (HNR) in dB, Jitter in%, Shimmer in%. Four groups were formed for the study: 1a – young women (18-44 years); 2a – young men (18-44 years); 1b – middle-aged women (45-59 years); 2b – middle-aged men (45-59 years).

Results: Young and middle-aged men showed significantly higher MPT than women of relevant age. The value of MPT in women with age increased slightly, in men decreased slightly. RI for the indicator of MPT, in 1a group is 11,35-31,28 s, in 2a group – 15,55-39,53 s, in 1b group – 14,30-33,01 s, and in 2b group – 12,59-31,90 s. The value of F0 in young and middle-aged women is statistically higher than in men of the same age group ($p < 0.001$). With age, this figure decreases slightly in women and men. RI for the indicator F0, in 1a group is 107,0-316,5 Hz, in 2a group – 94,1-139,3 Hz, in 1b group – 94,3-339,1 Hz, and in 2b group – 80,3-174,3 Hz. A comparative analysis of the HNR in young and middle-aged men didn't show significant differences. In middle-aged women this value is significantly higher than in young women. RI for the HNR in group 1a is 14,194-26,946 dB; in group 2a – 17,328-28,675 dB; in group 1b – 15,254-26,536 dB, and in group 2b – 13,545-30,368 dB. The Jitter index in men and young women does not differ statistically. This figure increases statistically in men with age, in women this rate is the same level. RI for the Jitter in 1a group – 0,110-0,436%; in 2a group – 0,101-0,472%; in 1b group – 0,094-0,520% and in 2b group – 0,117-0,460%.

A comparative analysis of Shimmer in men and young women didn't show significant differences, but in middle-aged women this figure decreased statistically compared to young women. In men, this figure has not changed with age. The RI for the Shimmer index is 1,974-14,128% in group 1a; 2,592-12,378% in group 2a; 2,008-6,788% in group 1b; 2,016-12,260% – In group 2b.

Conclusions: Indicators of spectral analysis of voice in young and middle-aged women and men are relatively stable and do not change significantly in this time period.

Key words: spectral analysis of voice, thyroid gland, maximum phonation time, Harmonic to Noise Ratio, Jitter, Shimmer, correlation analysis, reference interval.