

Ewa Niebudek-Bogusz<sup>1</sup>Marcin Just<sup>2</sup>Michał Tyc<sup>2</sup>Justyna Wiktorowicz<sup>3</sup>Joanna Morawska<sup>1</sup>Mariola Śliwińska-Kowalska<sup>1</sup>

## ZASTOSOWANIE KRÓTKOOKRESOWEJ ANALIZY WYDOLNOŚCIOWEJ W DIAGNOZOWANIU ZABURZEŃ GŁOSU O PODŁOŻU ZAWODOWYM

### THE APPLICATION OF SHORT-TERM EFFICIENCY ANALYSIS IN DIAGNOSING OCCUPATIONAL VOICE DISORDERS

<sup>1</sup> Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland  
Klinika Audiologii i Foniatrii / Department of Audiology and Phoniatrics

<sup>2</sup> DiagNova Technologies, Wrocław, Poland

<sup>3</sup> Uniwersytet Łódzki / University of Lodz, Łódź, Poland

Katedra Statystyki Ekonomicznej i Społecznej / Department of Economic and Social Statistics

#### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Obiektywne określenie wydolności narządu głosu to problem trudny diagnostycznie. Celem pracy była ocena możliwości zastosowania krótkookresowej akustycznej analizy wydolnościowej w diagnozowaniu zawodowych zaburzeń głosu. **Materiał i metody:** Grupę badaną stanowiło 98 osób z dysfonią zawodową (87 kobiet, 11 mężczyzn), wybranych na podstawie badania wideostroboskopowego. Grupę porównawczą stanowiło 100 osób z głosem prawidłowym (81 kobiet, 19 mężczyzn). Porównano wyniki krótkoterminowej analizy akustycznej wykonanej za pomocą programu DiagnoScope z uwzględnieniem parametrów klasycznych (grupy Jittera, Shimmera i oceny stopnia szumów NHR) oraz nowych parametrów wydolnościowych wyznaczanych w krótkim odcinku czasowym w trakcie maksymalnie przedłużonej fonacji głoski „a”. **Wyniki:** Wartości wszystkich badanych parametrów klasycznych były istotnie wyższe w grupie badanej z głosem patologicznym niż w grupie porównawczej z głosem prawidłowym ( $p = 0,00$ ). Parametr aerodynamiczny – maksymalny czas fonacji – był krótszy o ponad 5 s w grupie badanej niż porównawczej. Większość akustycznych parametrów wydolnościowych była także istotnie gorsza w grupie osób z dysfonią zawodową niż w porównawczej ( $p = 0,00$ ). Ponadto korelacje parametrów wydolnościowych z większością akustycznych parametrów klasycznych w grupie badanej wskazują, że dla głosów z patologią zawodową zmniejszona wydolność aparatu głosowego znajduje odzwierciedlenie w strukturze akustycznej głosu. **Wnioski:** Parametry wydolnościowe wyznaczone podczas krótkoterminowej analizy akustycznej mogą być obiektywnym wskaźnikiem obniżonej efektywności funkcji fonacyjnej krtani, przydatnym w diagnozowaniu patologii narządu głosu o podłożu zawodowym. Med. Pr. 2015;66(2):225–234

**Słowa kluczowe:** zaburzenia głosu, dysfonia zawodowa, zmęczenie głosu, wydolność głosowa, parametry akustyczne

#### ABSTRACT

**Background:** An objective determination of the range of vocal efficiency is rather difficult. The aim of the study was to assess the possibility of application of short-term acoustic efficiency analysis in diagnosing occupational voice disorders. **Material and Methods:** The study covered 98 people (87 women and 11 men) diagnosed with occupational dysphonia through videostroboscopic examination. The control group comprised 100 people (81 women and 19 men) with normal voices. The short-term acoustic analysis was carried out by means of DiagnoScope software, including classical parameters (Jitter group, Shimmer group and the assessment of noise degree NHR), as well as new short-term efficiency parameters determined in a short time period during sustained phonation of the vowel “a.” The results were then compared. **Results:** The values of all the examined classical parameters were considerably higher in the study group of pathological voices than in the control group of normal voices ( $p = 0.00$ ). The aerodynamic parameter, maximum phonation time, was significantly shorter by over 0.5 s in the study group than in the control group. The majority of the acoustic efficiency parameters were also considerably worse in the study group of subjects with occupational dysphonia than in the control group ( $p = 0.00$ ). Moreover, the correlation between the efficiency parameters and most of the

classical acoustic parameters in the study group implies that for the voices with occupational pathology the decreased efficiency of the vocal apparatus is reflected in the acoustic voice structure. **Conclusions:** Efficiency parameters determined during short-term acoustic analysis can be an objective indicator of the decreased phonatory function of the larynx, useful in diagnosing occupational vocal pathology. *Med Pr* 2015;66(2):225–234

**Key words:** voice disorders, occupational dysphonia, vocal fatigue, vocal efficiency, acoustic parameters

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Ewa Niebudek-Bogusz, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Klinika Audiologii i Foniatrii, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: ebogusz@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 7 listopada 2014, zatwierdzono: 23 marca 2015

## WSTĘP

Wraz z nadejściem „epoki informacji” zwiększyła się liczba ludzi pracujących głosem. Dla nauczycieli, dziennikarzy, aktorów, wokalistów, spikerów i trenerów głos jest podstawowym narzędziem pracy. Pojawiają się też nowe zawody, których wykonywanie wymaga obciążania narządu głosu [1,2]. Najdynamiczniej rosnącą grupą obciążającą głos zawodowo są pracownicy „call centers”. W USA stanowią 5% populacji pracującej, w Unii Europejskiej – 2%, a w Indiach liczebność tej grupy zawodowej zwiększa się o 40% rocznie [3].

Najczęściej jednak zaburzenia głosu występują wśród nauczycieli. Dotyczy to nie tylko Polski, ale wielu innych krajów, o czym świadczą publikacje w m.in. USA, Holandii, Finlandii, Hiszpanii i Brazylii [4]. W Polsce choroby narządu głosu u nauczycieli od wielu lat zajmują pierwsze miejsca na liście najczęściej występujących chorób zawodowych [5]. W ostatniej dekadzie liczba rejestrowanych przypadków chorób zawodowych narządu głosu znacząco spadła, co można wiązać z wprowadzeniem wielu medycznych działań profilaktycznych i przyczynami społeczno-ekonomicznymi dotyczącymi tej grupy zawodowej [6]. Problem zaburzeń głosu o podłożu zawodowym, zwłaszcza w odniesieniu do nowych grup profesjonalistów narażonych w pracy na wysiłek głosowy, jest jednak nadal aktualny. Stawia to szczególne wyzwania przed lekarzami medycyny pracy, laryngologami i foniatrami sprawującymi opiekę nad przedstawicielami zawodów, które wymagają obciążania narządu głosu [7].

W ocenie przydatności do ww. zawodów istotna jest obiektywna ocena wpływu wysiłku głosowego na funkcjonowanie krtani [8]. Podstawowym badaniem specjalistycznym pozwalającym precyzyjnie ocenić stan narządu głosu jest wideolaryngostroboskopia, która jest badaniem instrumentalnym i jakościowym.

Stosowane obecnie metody analizy akustycznej pozwalają na obiektywną i ilościową ocenę różnych cech głosu, ocenianych dotąd jedynie subiektywnie z wyko-

rzystaniem metody odsłuchowej. Jedną z metod oceny sprawności narządu głosu jest zastosowanie w analizie akustycznej próby obciążeniowej [9]. Wyniki analizy akustycznej głosu wykonywanej przed próbą obciążeniową i po próbie umożliwiają potwierdzenie niewydolności narządu głosu o podłożu zawodowym, co jest istotne np. w procedurze orzeczniczej [10]. Inną metodą akustycznej oceny stopnia sprawności aparatu głosowego jest zastosowanie nowych parametrów wydolnościowych według oprogramowania DiagnoScope.

Celem niniejszej pracy była ocena możliwości aplikacji krótkookresowej analizy akustycznej z wykorzystaniem parametrów wydolnościowych do diagnostyki zaburzeń głosu o podłożu zawodowym.

## MATERIAŁ I METODY

Ze 120 nauczycieli czynnych zawodowo, leczonych w Klinice Audiologii i Foniatrii Instytutu Medycyny Pracy im. Nofera w Łodzi z powodu zaburzeń głosu, wyłoniono grupę badaną obejmującą osoby z dysfoniami o podłożu zawodowym, bez innych czynników ryzyka chorób krtani. Do grupy badanej zakwalifikowano 98 osób, w tym 87 kobiet w wieku 19–75 lat (średnia: 49 lat) i 11 mężczyzn w wieku 38–70 lat (średnia: 53 lata). U wszystkich osób z grupy badanej wykonano wideolaryngostroboskopię.

Grupę porównawczą stanowiło 100 osób z głosem prawidłowym (ocenianym percepcyjnie), nieobciążających aparatu głosowego zawodowo. Badaniem w ramach tej grupy objęto 81 kobiet w wieku 22–63 lata (średnia: 45 lat) i 19 mężczyzn w wieku 22–65 lat (średnia: 39 lat).

Nagranie głosu do analizy akustycznej odbywało się w wyciszonym pomieszczeniu o przeciętnym poziomie hałasu 30 dB. Nagrań dokonywano z wykorzystaniem programu do analizy akustycznej głosu DiagnoScope (prod. Diagona Technologies, Polska) i mikrofonu studyjnego T.Bone model SC 440 (prod. Thomann,

Niemcy) z wbudowanym interfejsem cyfrowym USB w zestawie z komputerem wyposażonym w kartę dźwiękową do odsłuchu. Badania krótkoterminowej analizy akustycznej przeprowadzono z wykorzystaniem 2 modułów programu DiagnoScope:

- modułu do analizy wieloparametrycznej – nagrywając 2-krotnie samogłoskę „a” w trakcie krótkiej fonacji,
- modułu do analizy wydolnościowej narządu głosu – nagrywając ponownie samogłoskę „a”, ale podczas maksymalnie przedłużonej fonacji.

W module do analizy wieloparametrycznej oceniano następujące parametry akustyczne:

- F0 – średnia częstotliwość podstawowa, jej dolna (F\_min) i górna (F\_max) granica oraz odchylenie standardowe (F\_dev) częstotliwości dla fonacji krótkoterminowej,
- parametry oceniające względną zmianę częstotliwości (grupa Jittera) – Jitter, Relative Average Perturbation (RAP) i Pitch Period Perturbation Quotient (PPQ),
- parametry oceniające względną zmianę amplitudy (grupa Shimmera) – Shimmer i Amplitude Perturbation Quotient (APQ),
- parametry oceny struktury harmonicznego głosu – Residual to Harmonic (R2H) i Unharmonic to Harmonic (U2H),
- parametry względnych pomiarów szumów (składowych nieharmonicznych) – Noise to Harmonic Rate (NHR), graniczna częstotliwość (Q), powyżej której składowe nieharmoniczne są porównywalne z harmonicznymi, oraz parametr stopnia chrypki (Yg) – współczynnik uwzględniający zakres komponentu szumowego głosu i jego wpływ na ukształtowanie składowych harmonicznych.

W module do krótkoterminowej akustycznej analizy wydolnościowej (który daje możliwość automatycznego dokładnego pomiaru aerodynamicznego parametru – maksymalnego czasu fonacji – bez potrzeby używania stopera) wyznaczono następujące parametry:

- maksymalny czas fonacji – czas od rozpoczęcia do zakończenia fonacji najdłuższej dla badanego (podczas pełnego wydechu swobodnie wydłużone fonowanie głoski „a” przy zachowaniu indywidualnie komfortowej wysokości i natężenia głosu),
- odchylenie standardowe F0 – odchylenie standardowe częstotliwości podstawowej dla długoterminowej (przedłużonej maksymalnie) fonacji,
- odchylenie standardowe E – odchylenie standardowe względnej energii akustycznej dla wszystkich okresów podstawowych należących do fonacji,

- modulacja F0 – głębokość modulacji częstotliwości podstawowej, czyli amplituda największej składowej widma parametru F0 w niskich częstotliwościach, wyznaczona z całej fonacji,
- modulacja E – amplituda największej składowej widma parametru E w zakresie niskich częstotliwości, wyznaczona z całej fonacji,
- współczynnik wydolności – zbiorczy parametr opisujący wydolność krótkoczasową, tj. zdolność narządu głosu do wykonania jednorazowo określonego wysiłku głosowego (maksymalnie wydłużonej fonacji głoski „a”) przy ocenianej jakości, a nie natężeniu głosu,
- współczynnik jakości – zbiorczy parametr opisujący średnią chwilową jakość głosu, wyznaczany jako stosunek wydolności do rzeczywistego czasu fonacji.

### Analiza statystyczna

Porównanie klasycznych parametrów wieloparametrycznej analizy akustycznej i parametrów analizy wydolnościowej w grupie badanej i porównawczej przeprowadzono za pomocą testu t-Studenta lub testu U Manna-Whitneya. Dotyczy to głównie mężczyzn, w których przypadku rozkład niektórych z badanych parametrów nie był zbliżony z normalnym, co przy tak małej liczbie próby rzutowało negatywnie na poprawność wnioskowania z wykorzystaniem testu t-Studenta.

Dodatkowo obraz wzajemnych relacji między wybranymi parametrami analizy wydolnościowej przedstawiono, wykorzystując wykresy rozrzutu korelacyjnego – na zbiorczych wykresach uwzględniono histogramy dla każdej z analizowanych tu zmiennych. Ponadto dokonano oceny zależności między klasycznymi parametrami akustycznymi a parametrami analizy wydolnościowej w grupie badanej i porównawczej kobiet. Do tego celu zastosowano współczynnik rho Spearmana, dokonując oceny jego istotności testem t. Zależność między zmiennymi i różnice między grupami uznano za istotne statystycznie, kiedy  $p < 0,05$ . Obliczenia wykonano w IBM SPSS Statistics 21.0.

### WYNIKI

Na podstawie badania laryngowideostroboskopowego przeprowadzonego w grupie badanej u 56 osób zdiagnozowano dysfonię czynnościową przeważnie o typie hiperfunkcyjnym, a w 42 przypadkach rozpoznano dysfonię organiczną uwarunkowaną zawodowo, w tym niewielkie zmiany polipowo-przerostowe głośni u 22 osób i guzki głosowe u 20 badanych.

Przeprowadzono analizę klasycznych parametrów akustycznych i nowych parametrów wydolnościowych, porównując ich wyniki w grupie badanej i porównawczej. Ze względu na różnicę wartości parametrów akustycznych (głównie częstotliwości podstawowej F0 dla kobiet i mężczyzn) grupę badaną i porównawczą podzielono ze względu na płeć.

Tabela 1. przedstawia średnią wysokość głosu, czyli częstotliwość podstawową F0, jej średnią wartość minimalną i maksymalną oraz odchylenie standardowe. Analizując F0 w grupie badanej kobiet z głosem patologicznym, zaobserwowano istotne ( $p = 0,000$ ) obniżenie głosu w porównaniu z grupą porównawczą kobiet. Z kolei mężczyźni z grupy badanej mieli średnio głos wyższy niż w grupie porównawczej, ale nie dla wszystkich ww. parametrów była to różnica istotna statystycznie.

Porównując parametry oceniające względną zmianę częstotliwości (grupa Jittera) i parametry oceniające względną zmianę amplitudy (grupa Shimmera), stwierdzono, że w grupie badanej kobiet z głosem patologicznym wszystkie te parametry były istotnie gorsze ( $p = 0,00$ ) niż w grupie porównawczej kobiet z głosem prawidłowym (tab. 2). Także dla głosów męskich wartości parametrów grupy Jittera i Shimmera różniły się istotnie w grupie badanej i porównawczej ( $p < 0,05$ ). Analizując parametry oceniające strukturę formantową i harmoniczną głosu, poziom szumów i stopień chrypki (tab. 3), głosy z grupy badanej były istotnie gorsze niż z grupy porównawczej. U kobiet wszystkie parametry z tej grupy różniły się istotnie u pacjentek w porównaniu z grupą porównawczą, u mężczyzn parametry R2H, U2H i Q były istotnie gorsze u pacjentów w porównaniu z grupą porównawczą.

Z kolei większość parametrów opisujących wydolność narządu głosu (tab. 4) różniła się istotnie między grupą badaną a porównawczą zarówno dla mężczyzn, jak i kobiet. Maksymalny czas fonacji był gorszy u pacjentów z zaburzeniami głosu o podłożu zawodowym w porównaniu z grupą porównawczą. U kobiet z dysfoniami zawodowymi był średnio o 5 s krótszy niż w grupie kobiet z głosem prawidłowym, natomiast u mężczyzn różnica między grupami wynosiła średnio ponad 6 s.

Również współczynnik wydolności i stopień modulacji E (energii akustycznej) były istotnie gorsze w grupie badanej niż porównawczej zarówno u mężczyzn, jak i u kobiet. Z kolei współczynnik przeciętnej jakości był istotnie gorszy u badanych kobiet w porównaniu grupą porównawczą. U mężczyzn różnica średniej wartości tego współczynnika między grupą badaną a porównawczą nie była istotna. Powodem mogło być to, że grupy męskie – badana i porównawcza – były kilkakrotnie mniej liczne niż grupy kobiece.

Z tego powodu do dalszej analizy statystycznej wzięto pod uwagę grupę badaną i porównawczą kobiet. Rycina 1 obrazuje relację między wybranymi parametrami analizy wydolnościowej w ww. grupach. Relacja między czasem fonacji a współczynnikiem wydolności (na rycinach oznaczonym skrótowo jako wydolność) oraz modulacją E (energii akustycznej) ma w zasadzie podobny przebieg w grupie porównawczej i badanej. W przypadku współczynnika średniej jakości w grupie badanej prawidłowość jest wyraźniejsza, obserwuje się słabsze rozproszenie wyników wokół głównej tendencji (choć występują również przypadki nietypowe) (ryc. 1a).

**Tabela 1.** Częstotliwość podstawowa F0 u mężczyzn i kobiet w grupie badanej (osoby z dysfonią zawodową) i porównawczej  
**Table 1.** Fundamental F0 frequency in men and women in the study group (subjects with occupational dysphonia) and the control group

Parametr Parameter	Mężczyźni Males			Kobiety Females		
	grupa badana study group	grupa porównawcza control group	P	grupa badana study group	grupa porównawcza control group	P
F0	119,40	116,71	0,58	199,65	213,68	0,00*
F0_min	108,76	112,35	0,50	190,37	205,74	0,00*
F0_max	141,46	121,78	0,02*	211,32	222,56	0,01*
F0_dev	8,42	2,11	0,02*	4,86	3,83	0,02*

F0 – częstotliwość podstawowa / fundamental frequency, F0\_min – dolna granica F0 / F0 lower threshold, F0\_max – górna granica F0 / F0 upper threshold, F0\_dev – odchylenie standardowe F0 / F0 standard deviation.

\* Różnice istotne statystycznie przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  / Statistically significant differences at  $\alpha = 0.05$ .



**Tabela 2.** Parametry analizy akustycznej głosu oceniające względną zmianę częstotliwości i amplitudy (grupa Jittera, Shimmera) u mężczyzn i kobiet w grupie badanej (osoby z dysfonią zawodową) i porównawczej**Table 2.** Acoustic voice analysis parameters assessing frequency and amplitude perturbation (Jitter and Shimmer group) in men and women in the study group (subjects with occupational dysphonia) and the control group

Parametr Parameter	Mężczyźni Males			Kobiety Females		
	grupa badana study group	grupa porównawcza control group	p	grupa porównawcza control group	grupa badana study group	p
Jitter	1,934	0,691	0,04*	0,639	0,321	0,00*
RAP	1,069	0,376	0,05*	0,349	0,166	0,00*
PPQ	1,334	0,405	0,04*	0,389	0,190	0,00*
Shimmer	10,467	4,277	0,03*	5,863	3,006	0,00*
APQ	8,707	4,230	0,04*	4,268	2,432	0,00*

RAP – iloraz średniej zmiany częstotliwości / relative average perturbation, PPQ – iloraz zmiany okresu częstotliwości / pitch period perturbation quotient,

APQ – względna zmiana amplitudy ze stałym współczynnikiem / amplitude perturbation quotient.

\* Jak w tabeli 1 / As in Table 1.

**Tabela 3.** Parametry analizy akustycznej głosu u mężczyzn i kobiet w grupie badanej (osoby z dysfonią zawodową) i porównawczej**Table 3.** Acoustic voice analysis parameters in men and women in the study group (subjects with occupational dysphonia) and the control group

Parametr Parameter	Mężczyźni Males			Kobiety Females		
	grupa badana study group	grupa porównawcza control group	p	grupa porównawcza control group	grupa badana study group	p
R2H	23,488	15,502	0,04*	18,016	14,552	0,00*
U2H	15,640	6,875	0,03*	5,835	2,670	0,00*
NHR	5,350	3,690	0,16	3,030	1,790	0,00*
Q	494,620	869,950	0,03*	985,050	1949,700	0,00*
Yg	2,260	1,650	0,06	1,490	0,770	0,00*

R2H – pozostałe składowe do nieharmonicznych / residual to harmonic, U2H – składowe nieharmoniczne do harmonicznych / unharmonic to harmonic,

NHR – parametr pomiaru względnych szumów i zakłóceń / noise to harmonic rate, Q – graniczna częstotliwość / threshold frequency, Yg – współczynnik określający nasilenie chrypki wg Yanagihary / Yanagihara factor.

\* Jak w tabeli 1 / As in Table 1.

W grupie badanej wyraźniej zaznaczają się również wzajemne relacje między wydolnością, jakością i modulacją E, w tym zwłaszcza między wydolnością a jakością. Interesującą obserwacją w grupie badanej jest również to, że znaczna część wyników – przy różnych poziomach zmiennych mierzących wydolność, jakość i modulację E – koncentruje się wokół względnie wyższych wartości tych parametrów, świadczących o obniżonej wydolności aparatu głosowego.

Wyniki analizy korelacji klasycznych parametrów akustycznych i nowych parametrów wydolnościowych dla grupy badanej kobiet z dysfonią zawodową zostały

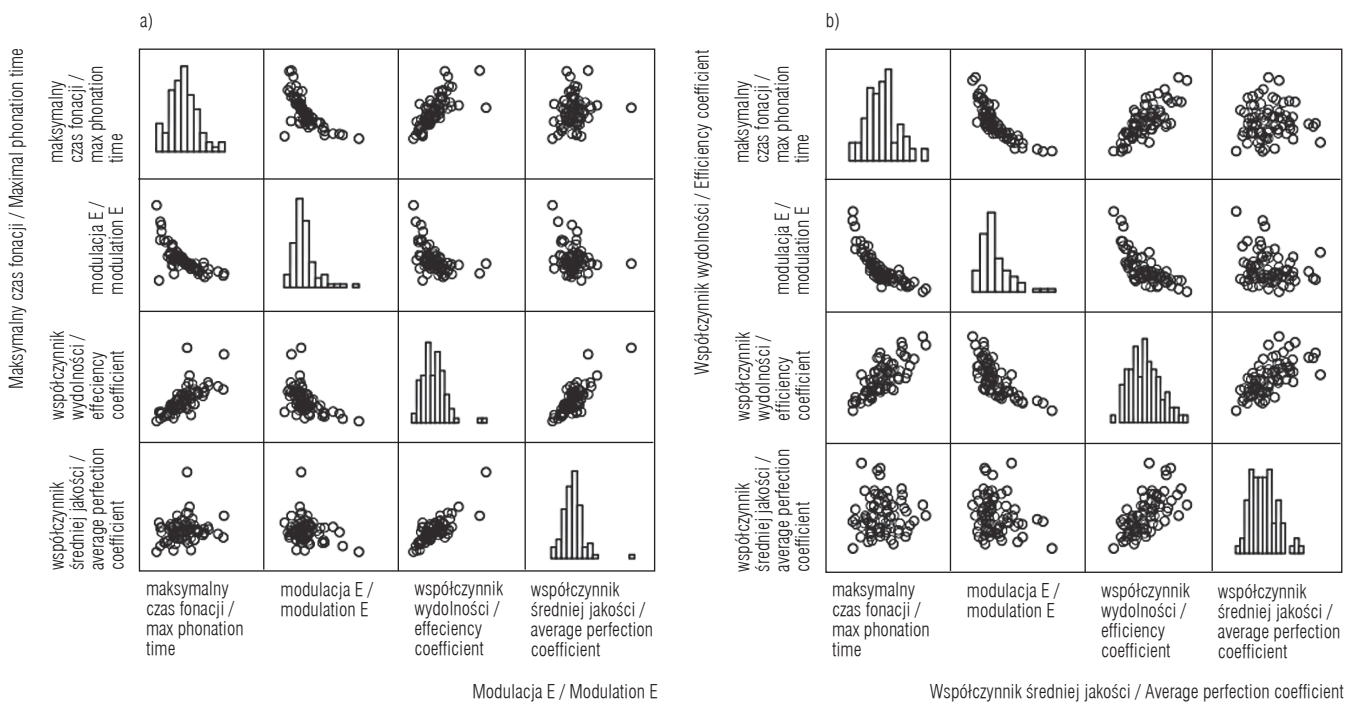
przedstawione w tabeli 5. Należy zwrócić uwagę na zaobserwowaną w tej grupie istotną zależność między współczynnikami wydolności, jakości i modulacji E a prawie wszystkimi parametrami akustycznymi z grupy Jittera, Shimmera, parametrem mierzącym poziom szumu NHR oraz parametrem stopnia chrypki Yg. Wprawdzie wartości współczynnika korelacji rho Spearmana nie są bardzo wysokie, ale dla próby przekrojowej, jaką jest grupa badanych pacjentów, wartości ok. 0,4 można uważać jako określające dość silne zależności. W grupie porównawczej (tab. 6) korelacje są relatywnie słabsze i dotyczą mniejszej liczby parametrów akustycznych.

**Tabela 4.** Parametry wydolnościowe analizy akustycznej głosu u mężczyzn i kobiet w grupie badanej (osoby z dysfonią zawodową) i porównawczej

**Table 4.** Efficiency parameters of the acoustic voice analysis in men and women in the study group (subjects with occupational dysphonia) and the control group

Parametr Parameter	Mężczyźni Males			Kobiety Females		
	grupa badana study group	grupa porównawcza control group	p	grupa porównawcza control group	grupa badana study group	p
Maksymalny czas fonacji / Maximal phonation time	12,75	18,84	0,02*	10,68	15,67	0,00*
Odchylenie standardowe F0 / F0 standard deviation.	3,47	2,16	0,03*	5,59	3,18	0,00*
Odchylenie standardowe E / E standard deviation	1,64	1,84	0,58	1,42	1,74	0,00*
Modulacja F0 / Modulation F0	1,05	1,33	0,26	1,07	1,12	0,20
Modulacja E / Modulation E	0,03	0,02	0,05*	0,03	0,02	0,00*
Współczynnik wydolności / Efficiency coefficient	15,60	9,87	0,04*	19,21	9,54	0,00*
Współczynnik średniej jakości / Average performance coefficient	0,88	0,69	0,26	1,22	0,82	0,00*

\* Jak w tabeli 1 / As in Table 1.



**Ryc. 1.** Jedno- i dwuwymiarowy rozkład wybranych parametrów analizy wydolnościowej głosu u kobiet w grupie a) badanej (z dysfonią zawodową) i b) porównawczej

**Fig 1.** One and two-dimensional layouts of the selected parameters of the vocal efficiency analysis of women in a) the study group (with occupational dysphonia) and b) the control group

## OMÓWIENIE

Celem niniejszej pracy było określenie wartości nowych akustycznych parametrów wydolnościowych w rozpoznawaniu patologii narządu głosu o podłożu zawodowym. Wyniki badanych parametrów wydolnościowych analizowano w grupie osób z zawodowymi zaburzeniami głosu w porównaniu z grupą porównawczą osób z głosem prawidłowym, osobno dla kobiet i mężczyzn.

Do grupy badanej na podstawie badania wideostroboskopowego zakwalifikowano 98 osób z dysfonią zawodową, przeważnie kobiety (90% ogółu badanych) – u 60% osób dysfonia miała charakter czynnościowy, a u 40% organiczny. Taki rozkład płci i typów dysfonii świadczy, że wyłoniona do badań grupa jest reprezentatywna dla schorzeń narządu głosu o podłożu zawodowym. Częstsza zapadalność kobiet na zawodowe choroby narządu głosu potwierdzają dane z innych ośrodków [2,7]. Niektórzy

**Tabela 5.** Ocena zależności między klasycznymi parametrami akustycznymi głosu a parametrami wydolnościowymi u kobiet z grupy badanej (N = 87)<sup>1</sup>

**Table 5.** Correlation between classical acoustic parameters and efficiency parameters in women in the study group (N = 87)<sup>1</sup>

Parametr Parameter	Maksymalny czas fonacji Maximal phonation time	Odchylenie standardowe F0 F0 standard deviation	Odchylenie standardowe E E standard deviation	Modulacja F0 Modulation F0	Modulacja E Modulation E	Współczynnik wydolności Efficiency coefficient	Współczynnik średniej jakości Average perfection coefficient
Jitter	-0,202	<b>0,230</b> ↑	0,132	0,044	<b>0,320</b> ↑	<b>-0,399</b> ↓	<b>-0,499</b> ↓
RAP	<b>-0,218</b> ↓	0,205	0,140	0,052	<b>0,319</b> ↑	<b>-0,415</b> ↓	<b>-0,501</b> ↓
PPQ	<b>-0,225</b> ↓	<b>0,220</b> ↑	0,149	0,037	<b>0,331</b> ↑	<b>-0,411</b> ↓	<b>-0,485</b> ↓
Shimmer	<b>-0,357</b> ↓	<b>0,257</b> ↑	0,172	-0,016	<b>0,379</b> ↑	<b>-0,373</b> ↓	<b>-0,288</b> ↓
APQ	<b>-0,342</b> ↓	<b>0,225</b> ↑	0,124	-0,047	<b>0,393</b> ↑	<b>-0,355</b> ↓	<b>-0,296</b> ↓
R2H	-0,177	0,039	0,062	0,167	0,121	<b>-0,242</b> ↓	<b>-0,283</b> ↓
NHR	<b>-0,229</b> ↓	0,069	0,056	0,142	0,202	<b>-0,397</b> ↓	<b>-0,469</b> ↓
Yg	-0,211	<b>0,254</b> ↑	0,176	0,100	<b>0,281</b> ↑	<b>-0,422</b> ↓	<b>-0,468</b> ↓

Skróty jak w tabeli 2 i 3 / Abbreviations as in Tables 2 and 3.

<sup>1</sup> Zastosowano współczynnik korelacji rho Spearmana / Rho correlation coefficient was used.

Pogrubiona czcionka – zależność statystycznie istotna / Bold – statistically significant correlation.

↑ – korelacja dodatnia / positive correlation, ↓ – korelacja ujemna / negative correlation.

**Tabela 6.** Ocena zależności między wybranymi parametrami głosu u kobiet z grupy porównawczej (N = 81)<sup>1</sup>

**Table 6.** Correlation between classical acoustic parameters and efficiency parameters in women in the control group (N = 81)<sup>1</sup>

Parametr Parameter	Maksymalny czas fonacji Maximal phonation time	Odchylenie standardowe F0 F0 standard deviation	Odchylenie standardowe E E standard deviation	Modulacja F0 Modulation F0	Modulacja E Modulation E	Współczynnik wydolności Efficiency coefficient	Współczynnik średniej jakości Average perfection coefficient
Jitter	-0,029	0,161	0,205	<b>-0,232</b> ↓	0,173	<b>-0,230</b> ↓	<b>-0,305</b> ↓
RAP	-0,013	0,110	0,210	-0,106	0,121	-0,179	<b>-0,244</b> ↓
PPQ	-0,016	0,085	<b>0,240</b> ↑	-0,143	0,143	-0,198	<b>-0,271</b> ↓
Shimmer	-0,072	0,012	<b>0,244</b> ↑	<b>-0,219</b> ↓	0,193	<b>-0,245</b> ↓	<b>-0,274</b> ↓
APQ	-0,032	0,088	0,201	<b>-0,222</b> ↓	0,136	<b>-0,240</b> ↓	<b>-0,314</b> ↓
R2H	-0,005	0,081	0,059	0,057	0,053	-0,182	<b>-0,250</b> ↓
NHR	-0,089	0,058	0,123	0,045	0,173	<b>-0,404</b> ↓	<b>-0,521</b> ↓
Yg	0,096	0,082	0,134	0,051	0,001	-0,103	<b>-0,283</b> ↓

Skróty i objaśnienia jak w tabeli 2, 3 i 5 / Abbreviations and explanations as in Tables 2, 3 and 5.

autorzy zwracają natomiast uwagę na częstsze występowanie dysfonii czynnościowych niż organicznych wśród chorób zawodowych narządu głosu [11].

Wartości analizowanych parametrów wydolnościowych w grupie osób z zawodowymi zaburzeniami głosu były istotnie gorsze niż w grupie porównawczej, zarówno dla kobiet, jak i mężczyzn ( $p = 0,00$ ). Podobnie porównanie klasycznych parametrów akustycznych wykazało istotnie wyższe ich wartości w grupie badanej niż w porównawczej ( $p = 0,00$ ). Wyniki te potwierdziły obiektywnie obniżenie wydolności narządu głosu w zmianach patologicznych krtani zdiagnozowanych podczas wideostroboskopii. Należy podkreślić, że z wykorzystaniem nowych akustycznych parametrów wydolnościowych udało się zróżnicować głosy patologiczne zarówno w badanej populacji kobiecej ( $N = 87$ ), jak i mniej licznej męskiej ( $N = 11$ ).

Obiektywne określenie wpływu wysiłku głosowego na funkcję fonacyjną krtani, czyli ocena stopnia wydolności narządu głosu, powoduje wiele trudności [12,13]. Vilkman [8] na podstawie cyklu badań laboratoryjnych stwierdził, że czułym wskaźnikiem hiperfunkcji narządu głosu, będącej następstwem wysiłku głosowego, jest podwyższenie  $F_0$ , czyli wzrost liczby drgań fałdów głosowych w jednostce czasu. Z kolei Södersten i wsp. [14] wykazali, że u kobiet statystycznie częściej niż u mężczyzn obciążanie narządu głosu pogarsza parametry akustyczne i nasila subiektywnie odczuwane dolegliwości. W warunkach wymagających wzmożonej pracy aparatu głosowego natężenie głosu (sound pressure level – SPL) kobiet jest niższe średnio o 4 dB w porównaniu z mężczyznami.

Laukkanen i wsp. [15] uważają, że ilościowe określenie zmęczenia głosowego (vocal fatigue) występującego po nadmiernym wysiłku głosowym jest niezwykle trudne, ponieważ odczuwanie intensywności tego symptomu zależy od wielu indywidualnych uwarunkowań. Opracowana przez pierwszego autora niniejszej pracy metoda analizy akustycznej głosu z próbą obciążeniową, która obiektywizuje ocenę wpływu wysiłku głosowego na funkcję fonacyjną krtani, znalazła zastosowanie w diagnostyce chorób zawodowych narządu głosu i w monitorowaniu efektów ich leczenia [10]. Jest to jednak metoda czasochłonna, nie zawsze możliwa do zastosowania w codziennej praktyce klinicznej.

Przedstawiane w niniejszej pracy parametry krótkookresowej akustycznej analizy wydolnościowej głosu dają możliwość prześledzenia dynamiki zmian po krótkookresowym wysiłku głosowym, tj. przedłużonej fonacji głoski „a”. Metoda polegająca na automatycznym pomiarze czasu maksymalnie wydłużonej fonacji służy

także do wyznaczenia ważnego parametru aerodynamicznego, jakim jest maksymalny czas fonacji (maximum phonation time – MPT). Zgodnie z wytycznymi Komitetu Foniatrii przy Europejskim Towarzystwie Laryngologicznym (European Laryngological Society – ELS) w sprawie oceny patologii głosu parametry aerodynamiczne, w tym MPT, są najlepszymi wskaźnikami wydolności narządu głosu [16]. Proste wyznaczenie MPT (średnia obliczana na podstawie 3-krotnego pomiaru za pomocą stopera) sprawia, że jest to metoda używana powszechnie, szeroko stosowana w praktyce klinicznej, zarówno w diagnostyce chorób narządu głosu, jak i ocenie efektów leczenia fonochirurgicznego i zachowawczego [17,18].

Należy podkreślić, że przedstawiane nowe parametry wydolnościowe krótkookresowej analizy akustycznej są skonstruowane w oparciu o automatyczne wyznaczenie maksymalnego czasu fonacji. W badanej grupie osób z patologią zawodową narządu głosu widoczna jest korelacja ww. parametrów, szczególnie współczynnika wydolności i modulacji E z czasem fonacji. Warte podkreślenia jest również istotnie gorsza średnia wartość maksymalnego czasu fonacji w grupie badanej niż porównawczej, co według ww. przytaczanych zaleceń ELS świadczy o obniżonej wydolności narządu głosu u badanych osób z dysfonią zawodową.

W ostatnich latach ukazało się kilka publikacji, w których jako pierwsze akustyczne oznaki zmęczenia głosowego (vocal fatigue) opisano tzw. parametry drżenia w głosie ( $F_0$  tremor), określające niestabilność – jego wysokość i natężenie podczas jednostajnego wysiłku głosowego [19–22].

Badania autorów niniejszego artykułu potwierdzają te spostrzeżenia, ponieważ z analizowanych parametrów wydolnościowych istotnie między grupami różniły się także współczynniki odchylenia standardowego  $F_0$  i modulacji E, określające niestabilność częstotliwości podstawowej i natężenia głosu podczas maksymalnie przedłużonej fonacji głoski „a”. Ponadto w grupie badanej zaobserwowano istotne korelacje parametrów wydolnościowych z klasycznymi parametrami akustycznymi z grupy Jittera, Shimmera czy oceniającymi strukturę harmoniczną i stopień szumów w głosie. Pozwala to sądzić, że powyżej pewnego poziomu patologia głosu ma wpływ na mniej efektywną pracę całego aparatu głosowego i obniża jego wydolność.

## WNIOSKI

1. Parametry wydolnościowe wyznaczone podczas krótkookresowej analizy akustycznej mogą być



- obiektywnym wskaźnikiem potwierdzającym patologię zawodową narządu głosu.
2. Pierwszymi oznakami wadliwej adaptacji krtani do wysiłku głosowego są głównie parametry pozwalające na ocenę niestabilności częstotliwości podstawowej (grupa Jittera) i natężenia głosu (grupa Shimmera).
  3. Krótkookresowa analiza wydolnościowa umożliwia ocenę funkcji fonacyjnej głośni i ułatwia wczesną diagnostykę dysfonii zawodowych, w tym o podłożu czynnościowym.
- ## PIŚMIENNICTWO
1. Roy N., Merrill R.M., Thibeault S., Gray S.D., Smith E.M.: Voice disorders in teachers and the general population: Effect on work performance, attendance, and future career choices. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 2004;47(2):281–293, [http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/023\)](http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2004/023))
  2. De Jong F.I.: An introduction to the teacher's voice in a biopsychosocial perspective. *Folia Phoniatr. Logop.* 2010;62: 5–8, <http://dx.doi.org/10.1159/000239058>
  3. Rubin J.S., Sataloff R.T., Korovin G.S. [red.]: *Diagnosis and treatment of voice disorders.* Plural Publishing Inc. 2014
  4. Ziegler A., Gillespie A.I., Verdolini Abbott K.: Behavioral treatment of voice disorders in teachers. *Folia Phoniatr. Logop.* 2010;62:9–23, <http://dx.doi.org/10.1159/000239059>
  5. Śliwińska-Kowalska M., Niebudek-Bogusz E., Fiszer M., Łoś-Spychalska T., Kotyło P., Sznurowska-Przygocka B. i wsp.: The prevalence and risk factors for occupational voice disorders in teachers. *Folia Phoniatr. Logop.* 2005;326:1–17
  6. Niebudek-Bogusz E., Śliwińska-Kowalska M.: On overview of occupational voice disorders in Poland. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2013;26(5):659–669, <http://dx.doi.org/10.2478/s13382-013-0146-7>
  7. Calcinoni O., Niebudek-Bogusz E.: Occupational voice. W: Rubin J.S., Sataloff R.T., Korovin G.S. [red.]. *Diagnosis and treatment of voice disorders.* Plural Publishing Inc, San Diego 2014, ss. 735–762
  8. Vilkman E.: Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr. Logop.* 2004; 56(4):220–253, <http://dx.doi.org/10.1159/000078344>
  9. Remacle A., Morsomme D., Finck C.: Comparison of vocal loading parameters in kindergarten and elementary school teachers. *J. Speech Lang. Hear. Res.* 2014;57:406–415, [http://dx.doi.org/10.1044/2013\\_JSLHR-S-12-0351](http://dx.doi.org/10.1044/2013_JSLHR-S-12-0351)
  10. Niebudek-Bogusz E., Kotyło P., Politański P., Śliwińska-Kowalska M.: Acoustic analysis with vocal loading test in occupational voice disorders: outcomes before and after voice therapy. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2008;21(4):301–308, <http://dx.doi.org/10.2478/v10001-008-0033-9>
  11. Maniecka-Aleksandrowicz B., Domeracka-Kołodziej A.: Medyczne aspekty emisji głosu nauczycieli. W: Przybysz-Piwko M. [red.]. *Emisja głosu nauczyciela.* Centralny Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli, Warszawa 2006, ss. 7–30
  12. Welham N.V., Maclagan M.A.: Vocal fatigue: Current knowledge and future directions. *J. Voice* 2003;17(1): 21–30, [http://dx.doi.org/10.1016/S0892-1997\(03\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0892-1997(03)00033-X)
  13. Werth K., Voigt D., Döllinger M., Eysholdt U., Lohscheller J.: Clinical value of acoustic voice measures: A retrospective study. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2010;267: 1261–1271, <http://dx.doi.org/10.1007/s00405-010-1214-2>
  14. Södersten M., Ternström S., Bohman M.: Loud speech in environmental noise: Phonetogram data, perceptual voice quality, subjective ratings, and gender differences in healthy speakers. *J. Voice* 2005;19(1):29–46, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2004.05.002>
  15. Laukkanen A.M., Järvinen K., Artkoski M., Waaramaa-Mäki-Kumala T., Kankare E., Sippola S. i wsp.: Changes in voice and subjective sensations during a 45-min vocal loading test in female subjects with vocal training. *Folia Phoniatr. Logop.* 2004;56:335–346, <http://dx.doi.org/10.1159/000081081>
  16. Dejonckere P.H., Bradley P., Clemente P., Cornut G., Crevier-Buchman L., Friedrich G.: A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. Guideline elaborated by the Committee on Phoniatics of the European Laryngological Society (ELS). *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2001;258:77–82, <http://dx.doi.org/10.1007/s004050000299>
  17. Morrow S.L., Connor N.P.: Comparison of voice-use profiles between elementary classroom and music teachers. *J. Voice* 2011;25(3):367–372, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2009.11.006>
  18. Gillespie A.I., Dastolfo C., Magid N., Gartner-Schmidt J.: Acoustic analysis of four common voice diagnoses: Moving toward disorder-specific assessment. *J. Voice* 2014;28(5): 582–588, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.02.002>
  19. Wiskirska-Woźnica B., Pruszczyk A., Obrębski A., Świdziński P.: Korelacja między oceną subiektywną i obiektywną w schorzeniach organicznych i czynnościowych krtani. *Otolaryngol. Pol.* 2003;57(4):537–548
  20. Yamauchi A., Yokonishi H., Imagawa H., Sakakibara K., Nito T., Tayama N. i wsp.: Age- and gender-related difference of vocal fold vibration and glottal configuration in normal speakers: Analysis with glottal area waveform.

- J. Voice 2014;28(5):525–531, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.01.016>
21. Zielińska-Bliźniewska H., Sułkowski W.J., Pietkiewicz P., Miłośński J., Mazurek A., Olszewski J.: Evaluation of vocal acoustic and efficiency analysis parameters in medical students and academic teachers with use of iris and diatoscope specialist software. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2012;25(3):236–241, <http://dx.doi.org/10.2478/s13382-012-0030-x>
22. Boucher V.J., Ayad T.: Physiological attributes of vocal fatigue and their acoustic effects: A synthesis of findings for a criterion-based prevention of acquired voice disorders. *J. Voice* 2010;24(3):324–336, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2008.10.001>