

## PRACE ORYGINALNE

Ewa Niebudek-Bogusz

Mariola Śliwińska-Kowalska

### OCENA PRZYDATNOŚCI ANALIZY AKUSTYCZNEJ Z ZASTOSOWANIEM PRÓBY OBCIĄŻENIOWEJ W DIAGNOSTYCE CHOROÓB ZAWODOWYCH NARZĄDU GŁOSU\*

APPLICABILITY OF VOICE ACOUSTIC ANALYSIS WITH VOCAL LOADING TEST TO DIAGNOSTICS  
OF OCCUPATIONAL VOICE DISEASES

Klinika Audiologii i Foniatrii, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź

#### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Ocena stanu narządu głosu w procedurze orzeczniczej powinna być przeprowadzona niezwykle obiektywnie i rzetelnie. Z tego powodu coraz większym zainteresowaniem cieszy się metoda obiektywna badania głosu, jakim jest analiza akustyczna. Celem pracy jest ocena wartości analizy akustycznej z zastosowaniem próby obciążeniowej głosu w diagnostyce zawodowych chorób narządu głosu. **Materiał i metody.** Porównano wyniki analizy akustycznej wykonanej za pomocą programu IRIS dla Foniatrii przed i po 30-minutowej próbie obciążeniowej u 35 nauczycielek ze zdiagnozowanymi chorobami zawodowymi narządu głosu (grupa I) oraz w grupie kontrolnej (II), składającej się z 31 nauczycielek z dysfoniami czynnościowymi. **Wyniki.** Obciążenie wysiłkiem głosowym spowodowało istotne statystycznie zmiany w analizie akustycznej w grupie I nauczycielek z chorobami zawodowymi narządu głosu w porównaniu z grupą II – kontrolną. W grupie I nauczycielek istotnie więcej osób demonstrowało pogorszenie parametrów analizy akustycznej po próbie obciążeniowej. Po wysiłku głosowym w tej grupie zaobserwowano również znamienne statystycznie podwyższenie średniej częstotliwości podstawowej (Fo) o ponad 11 Hz oraz pogorszenie wartości parametrów akustycznych, zwłaszcza shimmera, jittera i NHR. **Wnioski.** Wykorzystanie analizy akustycznej głosu wykonywanej przed i po próbie obciążeniowej umożliwia obiektywne potwierdzenie obecności nieodwracalnych zaburzeń głosu u nauczycielek ze zmianami patologicznymi krtani o podłożu zawodowym, co jest niezwykle istotne w procesie orzekania o chorobach zawodowych narządu głosu. Med. Pr., 2006;57(6):497–506

Słowa kluczowe: choroby zawodowe narządu głosu, analiza akustyczna, próba obciążeniowa głosu

#### ABSTRACT

**Background:** An assessment of the vocal system, as a part of the medical certification of occupational diseases, should be objective and reliable. Therefore, interest in the method of acoustic voice analysis enabling objective assessment of voice parameters is still growing. The aim of the present study was to evaluate the applicability of acoustic analysis with vocal loading test to the diagnostics of occupational voice disorders. **Material and Methods:** The results of acoustic voice analysis were compared using IRIS software for phoniatrics, before and after a 30-min vocal loading test in 35 female teachers with diagnosed occupational voice disorders (group I) and in 31 female teachers with functional dysphonia (group II). **Results:** In group I, vocal effort produced significant abnormalities in voice acoustic parameters, compared to group II. These included significantly increased mean fundamental frequency (Fo) value (by 11 Hz) and worsened jitter, shimmer and NHR parameters. Also, the percentage of subjects showing abnormalities in voice acoustic analysis was higher in this group. **Conclusions:** Conducting voice acoustic analysis before and after the vocal loading test makes it possible to objectively confirm irreversible voice impairments in persons with work-related pathologies of the larynx, which is essential for medical certification of occupational voice diseases. Med Pr 2006;57(6):497–506

Key words: occupational voice diseases, acoustic analysis, vocal loading test

Adres autorów: św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: ebogusz@imp.lodz.pl

Nadesłano: 21.08.2006

Zatwierdzono: 13.10.2006

#### WSTĘP

Zawody w zależności od wymagań stawianych narządowi głosu, według komisji ekspertów Unii Europejskich Foniatorów, można podzielić na następujące grupy:

\* Praca wykonana w ramach zadania finansowanego z dotacji na działalność statutową nr IMP 18.3/04 pt. „Opracowanie norm dla wybranych parametrów analizy akustycznej głosu w diagnostyce chorób zawodowych narządu głosu”. Kierownik zadania: prof. dr hab. M. Śliwińska-Kowalska.

Grupa I – zawody wymagające specjalnej jakości głosu np. śpiewacy, aktorzy, mówcy radiowi i telewizyjni,

Grupa II – zawody stawiające znaczne wymagania narządowi głosu (nauczyciele, pedagodzy, tłumacze, politycy),

Grupa III – zawody wymagające wydolności głosu ponad przeciętną (prawnicy, wojskowi) (1).



Największą grupą wśród osób pracujących w zawodach wymagających wysiłku głosowego są nauczyciele. Z danych amerykańskich wynika, że około 58% nauczycieli uskarża się w ciągu swego życia zawodowego na dolegliwości z zakresu narządu głosu, wiążąc je z wykonywaną pracą, natomiast 39% z nich musi przerwać pracę w zawodzie z tego powodu (2–4). W wieloośrodkowych badaniach, dotyczących populacji polskich nauczycieli wykazano, że prawdopodobieństwo rozwoju dysfonii w tej grupie zawodowej jest ponad 3-krotnie wyższe niż w grupie kontrolnej (5). Z tego powodu nie budzi wątpliwości fakt, że choroby zawodowe narządu głosu od wielu lat plasują się na pierwszym miejscu spośród innych chorób zawodowych orzekanych corocznie (6). Choroba zawodowa narządu głosu w Polsce jest pojęciem medycznoprawnym, a jej orzeczenie ma określone skutki finansowe w postaci jednorazowego odszkodowania na podstawie wyliczonego uszczerbku na zdrowiu i renty z tytułu choroby zawodowej (7).

W związku z powyższym orzekanie o chorobie zawodowej nauczycieli wywołuje nadal wiele emocji, dlatego też weryfikacja stanu narządu głosu w procedurze orzeczniczej powinna być przeprowadzona niezwykle obiektywnie i rzetelnie. Zakres badań związanych z oceną czynności fonacyjnej krtani jest szeroki i powinien być przeprowadzony przez foniatrę w oparciu o kilka badań laryngowideostroboskopowych, wykonywanych w odstępie czasu. Często jednak nawet i doświadczony foniatra ma trudności z postawieniem precyzyjnej diagnozy. Z tego powodu coraz częściej w celu obiektywizacji postępowania orzeczniczego w chorobach zawodowych narządu głosu stosuje się ilościową metodę oceny zmian funkcji fonacyjnej krtani, jaką jest analiza akustyczna. Jakkolwiek poprzednie badania własne wykazały, że analiza akustyczna, bez stosowania próby obciążeniowej, nie jest przydatna w diagnostyce różnicowej chorób zawodowych narządu głosu (8). Niektórzy autorzy jednak podkreślają rolę próby obciążeniowej w ocenie głosu za pomocą analizy akustycznej, zwłaszcza w ocenie wydolności narządu głosu (9,10).

Zawód nauczyciela wymaga większej niż przeciętna wydolności głosowej. Ostatnio wielu badaczy zajmuje się wpływem obciążenia głosowego na narząd głosu, szczególnie autorzy skandynawscy dość często w swoich pracach podejmują ten temat. Vilkman opisuje różne stadia oddziaływania wysiłku głosowego na narząd głosu (11). W pierwszym stadium, który można nazwać rozgrzewaniem (vocal warm-up), dochodzi do szeregu procesów biomechanicznych, przygotowujących apa-

rat głosowy do wyłożonej pracy, np. zwiększenie siły skurczów mięśni biorących udział w fonacji, poprawa ukrwienia miejscowych tkanek (analogicznie do rozgrzewki u sportowców w trakcie treningu). Wokaliści, śpiewacy operowi przywiązują bardzo dużą wagę do codziennego „rozgrzewania głosu” podczas codziennych tzw. wprawek. Prawdopodobnie jest to jeden z powodów, dla którego rzadko u tych osób dochodzi do zmęczenia głosowego (vocal fatigue). Zmęczenie głosowe jest następnym etapem, opisywanego przez Vilkmana, procesu obciążenia głosowego. W tym stadium dochodzi do redukcji przepływu krwi przez tkanki, kumulacji mleczanów w mięśniach krtani, przesunięcia jonowych oraz wyczerpania zapasów glikogenu (12). Chang i wsp. w swych doniesieniach zwracają uwagę na zwiększoną lepkość tkanek narządu głosu, większe „tarcie” fałdów głosowych oraz wzrost energii cieplnej w trakcie drgań fonacyjnych w stadium zmęczenia głosowego. Podkreślają, że kluczową rolę w wydolności narządu głosu pełni kwas hialuronowy, glikoproteid w przestrzeni międzykomórkowej blaszki właściwej błony śluzowej fałdów głosowych, który reguluje ich lepkość i elastyczność (13). Podają, że zawartość kwasu hialuronowego w tkankach krtani jest mniejsza u kobiet niż u mężczyzn. Może to być jeden z czynników warunkujących częstsze występowanie zaburzeń głosu po wysiłku głosowym u kobiet. Do innych zalicza się dwukrotnie wyższą częstotliwość drgań fonacyjnych ( $F_0$ ), decydujących o wysokości głosu: u kobiet średnia  $F_0$  – 256 Hz, u mężczyzn  $F_0$  – 128 Hz. Zmęczenie głosowe, jako negatywna adaptacja narządu głosu do wzmożonego wysiłku głosowego, daje objawy w postaci subiektywnie odczuwanych dolegliwości, zgłaszanych przez pacjentów w postaci: zaników głosu, okresowej chrypki, suchości w gardle, trudności w utrzymywaniu właściwej wysokości głosu oraz jego natężenia, spadku dynamiki głosu, uczucia napięcia i sztywności mięśni krtani, gardła i szyi, powodującego nawet bolesność tej okolicy. W obrazach wideostroboskopowych krtani osób z objawami zmęczenia głosowego występuje obrzęk i przekrwienie fałdów głosowych oraz ograniczenie przesunięcia brzeźnego czy niedomykalność głośni, często w kształcie wrzecionowatym, na skutek osłabienia napięcia mięśni tarczowo-nalewkowatych (11). Efekty zmęczenia głosowego znajdują również swoje odzwierciedlenie w wynikach analizy akustycznej (14–19).

Następnym etapem po zmęczeniu głosowym, przedstawianym w schemacie obciążenia głosu wg Vilkmana, jest odpoczynek głosowy (voice rest), w którym procesy



biomechaniczne w narządzie głosu wracają do stanu fizjologicznego, subiektywne zaburzenia głosu ustępują, a wyniki specjalistycznych badań obiektywnych oscylują w granicach normy. Jakkolwiek w nieodwracalnych zmianach patologicznych, jakimi są między innymi choroby zawodowe narządu głosu, wysiłek głosowy nasila jego dysfunkcję (dysfonię) i nawet długi odpoczynek głosowy nie daje szans na poprawę czy powrót do stanu fizjologicznego.

Z tego powodu podczas procedury orzecznictwej w ocenie patologii narządu głosu u pedagogów w okresie okołoemerytalnym niezwykle istotne jest określenie wpływu wysiłku głosowego na wydolność aparatu głosowego. Celem pracy jest ocena wartości analizy akustycznej (program IRIS dla Foniatrii) z zastosowaniem próby obciążeniowej głosu w diagnostyce zawodowych chorób narządu głosu. Porównanie wyników analizy akustycznej przed i po próbie wysiłkowej może ułatwić ocenę stopnia wydolności narządu głosu.

## MATERIAŁ I METODY

### Badani

W badaniach uczestniczyło 66 nauczycielek w wieku okołoemerytalnym, ubiegających się o uznanie choroby zawodowej narządu głosu, konsultowanych w Klinice Audiologii i Foniatrii Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi. Wiek pacjentek wahał się od 40 do 64 lat (średnia 53,5), a ich staż zawodowy od 20 do 41 lat pracy (średnio 31 lat). Na podstawie badania laryngologiczno-foniatrycznego z laryngowideostroboskopią nauczycielki zostały podzielone na dwie grupy (tab. 1):

I grupa – 35 osób z chorobami zawodowymi narządu głosu, wymienionymi w ustawie o chorobach zawodowych (20), w tym: 54% z niedowładem mięśni fałdów głosowych, 23% z guzkami twardymi i 23% z wtórnymi zmianami przerostowym fałdów głosowych,

II grupa (kontrolna) – 31 osób, u których stwierdzono dysfonię (zaburzenia głosu) czynnościowe, w tym

**Tabela 1.** Ogólna charakterystyka grup badanych  
**Table 1.** The general characteristic of the investigated groups

| Grupy badane<br>Groups | N  | Charakterystyka<br>Characteristic                                                                                     |
|------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grupa I<br>Group I     | 35 | nauczycielki ze zdiagnozowaną chorobą zawodową n. głosu<br>Female teachers with diagnosed occupational voice diseases |
| Grupa II<br>Group II   | 31 | nauczycielki z dysfoniami czynnościowymi<br>Female teachers with functional dysphonia                                 |
| Razem<br>Total         | 66 |                                                                                                                       |

61% z dysfonią hyperfunkcjonalną bez zmian organicznych, 19% niewielkimi zmianami czynnościowymi głosi, 13% – z guzkami głosowymi miękkimi oraz 7% z przemijającymi zmianami obrzękowymi fałdów głosowych.

Nie wykazano różnic istotnie statystycznych pod względem wieku i stażu pracy między wymienionymi grupami.

### Badanie laryngologiczno-foniatryczne z laryngowideostroboskopią (LWSS)

Badanie wykonywano w sposób rutynowy wg obowiązujących w orzecznictwie zasad (21). W badaniach LWSS oceniano zmiany patologiczne, w tym organiczne, krtani, szczególnie dotyczące fałdów głosowych oraz parametry charakteryzujące drgania fałdów głosowych: ich regularność, amplitudę, przesunięcie brzeżne i zwarcie fonacyjne (w skali binarnej: 0 – prawidłowe, 1 – nieprawidłowe).

### Analiza akustyczna głosu (program IRIS)

Do analizy akustycznej głosu zastosowano program IRIS dla Foniatrii. Nagrywanie próbek głosu dokonywano wg poprzednio opisanych zasad (8). W programie IRIS w krótkoterminowej analizie wieloparametrycznej tonu krtaniowego głoski „a”: oceniano 17 następujących parametrów akustycznych głosu (ryc. 1 i 2):

Fo śr. (basic mean frequency) – średnia częstotliwość podstawowa,

Fo stdev (standard deviation basic mean frequency) – odchylenie standardowe średniej częstotliwości podstawowej.

Parametry oceniające względną zmianę częstotliwości:

Jitter (evaluation index of relative basic frequency variation) – parametr określa procentowo względne zmiany częstotliwości podstawowej z okresu na okres w obrębie analizowanej próbki głosu,

RAP – (Relative Average Perturbation) – względna zmiana Fo ze współczynnikiem wygładzania 3 okresów,

PPQ – (Pitch Period Perturbation Quotient) – względna zmiana Fo ze współczynnikiem wygładzania 5 okresów.

Parametry oceniające względną zmianę amplitudy:

Shimmer (parameter for assessing amplitude modulation) – określa względne zmiany amplitudy z okresu na okres (dokładniej amplitudy składowej harmonicznej o częstotliwości równej częstotliwości podstawowej),

APQ – (Amplitude Perturbation Quotient) – względna zmiana amplitudy ze stałym współczynnikiem wygładzania 11 kolejnych okresów.



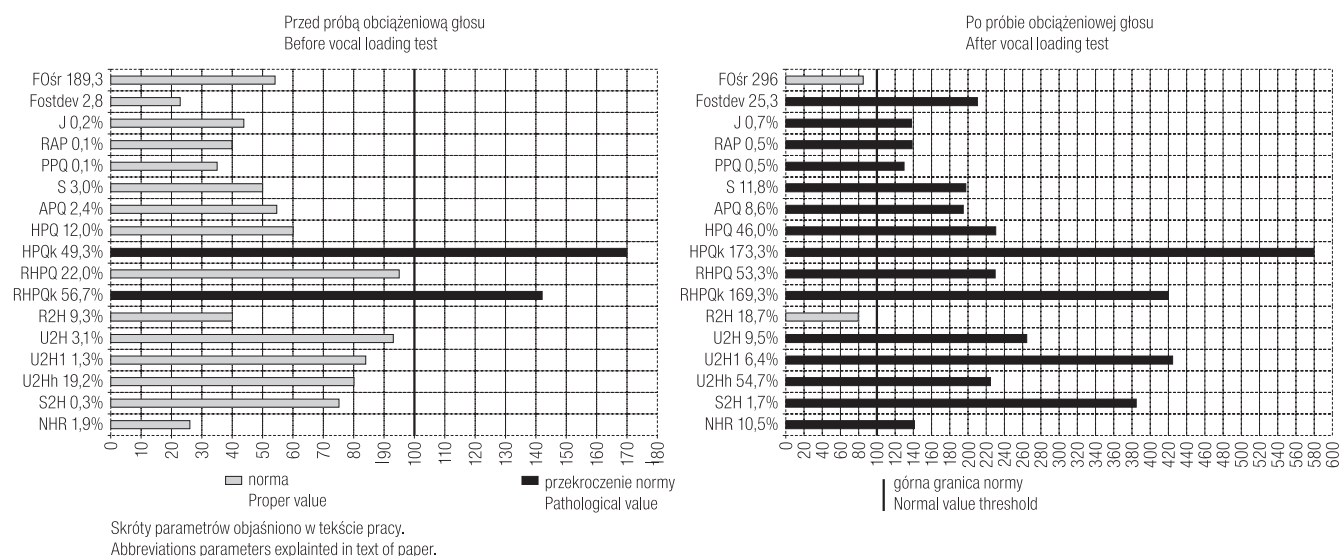
Parametry oceny struktury harmonicznego głosu: HPQ (Harmonic Perturbation Quotient), HPQh (Harmonic Perturbation Quotient high), RHPQ (Residual Harmonic Perturbation Quotient), RHPQh (Residual Harmonic Perturbation Quotient high).

Parametry te określają zaburzenia struktury harmonicznego głosu (zniekształcenia formantów); wyznaczają różnice składowych harmonicznym pomiędzy poszczególnymi okresami. HPQh i RHPQh uczulone

zostały na ww. zmiany w zakresie wyższych częstotliwości ( $f > 1200$  Hz).

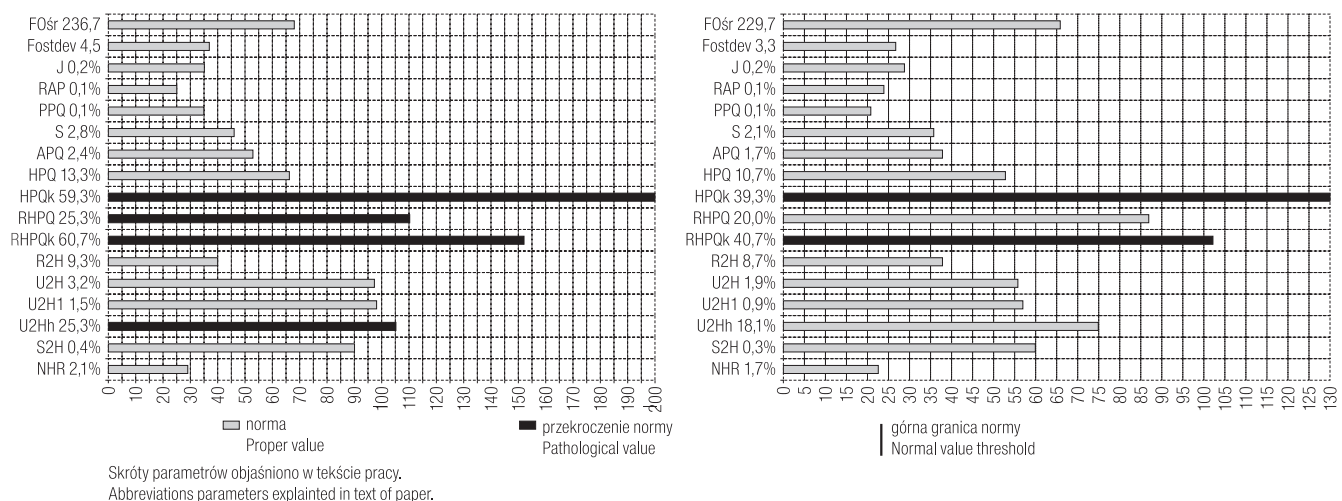
R2H (Residual to Harmonic) – stosunek składowych harmonicznym sygnału do residuum (sygnału generowanego przez fałdy głosowe), określa bogactwo struktury formantowej (harmonicznym) i natężenie formantów,

U2H (Unharmonic to Harmonic) – określa stosunek składowych harmonicznym do nieharmonicznym (szumów i zniekształceń) dla całego widma analizowanej próbki głosu,



**Ryc. 1.** Parametry analizy akustycznej (IRIS) głoski „a”: przed i po próbie obciążeniowej głosu – wynik próby dodatni (wzrost liczby nieprawidłowych parametrów o 13 – opis w tekście pracy)

**Fig. 1.** Acoustic parameters (IRIS) of vowel “a”: before and after vocal loading test – positive results (number of pathological parameters increased by 13 – description in the text).



**Ryc. 2.** Parametry analizy akustycznej (IRIS) głoski „a”: przed i po próbie obciążeniowej głosu – wynik próby ujemny (spadek liczby nieprawidłowych parametrów o 2 – opis w tekście pracy).

**Fig. 2.** Acoustic parameters (IRIS) of vowel “a”: before and after vocal loading test – negative results (number of pathological parameters decreased by 2 – description in the text).



U2Hl (low) – jw. dla dolnej części widma (do 4000 Hz),

U2Hh (high) – jw. dla górnej części widma (powyżej 4000 Hz) (zakłócenia związane z przepływem powietrza przez głośnię),

S2H (Subharmonic to harmonic) – podaje zawartość drugiej subharmonicznej (0,5 Fo) w analizowanym sygnale.

Parametry względnych pomiarów szumu i zakłóceń:

NHR (Noise to Harmonic Ratio) – określa stosunek części nieharmonicznej (hałasu) w zakresie powyżej 1500 Hz do części harmonicznej poniżej 1500 Hz, mówi o zawartości szumu w sygnale głosu.

### Próba obciążeniowa głosu

Po badaniu foniatrycznym, wideostroboskopowym i analizie akustycznej głosu każda nauczycielka podlegała próbie obciążeniowej głosu, polegającej na głośnym czytaniu przez osobę badaną tekstu w ciągu pół godziny. Czytanie odbywało się w tle hałasu (szumu białego) o średnim natężeniu 85 dB SPL.

Po próbie obciążeniowej głosu u każdej pacjentki powtarzano badanie wideostroboskopowe krtani oraz analizę akustyczną głosu wg metodyki opisanej wyżej. Porównując wyniki badań przed i po obciążeniu głosu próbę uznano za dodatnią w badaniu wideostroboskopowym, jeżeli co najmniej jeden parametr oceniany podczas wideostroboskopii uległ pogorszeniu, za ujemną – jeżeli żaden z parametrów nie pogorszył się. W analizie akustycznej próbę oceniano za dodatnią (ryc. 1), jeżeli po obciążeniu liczba parametrów akustycznych odbiegających od normy zwiększyła się co najmniej o 2 (na 17 ocenianych parametrów wymienionych powyżej). W przeciwnych sytuacjach na podstawie analizy akustycznej próbę oceniano za ujemną (ryc. 2).

### Analiza statystyczna

Do analizy zebranych danych zastosowano następujące metody statystyczne:

- test chi-kwadrat niezależności albo test dokładny Fishera dla porównywania częstości albo rozkładów częstości kategorii zmiennych dyskretnych (np. liczba objawów nieprawidłowych, liczba zmian wartości parametrów, wartości powyżej i poniżej normy, itp.),

- wielowymiarową analizę wariancji dla zmiennych zależnych (repeated measures) dla porównania w badanych grupach wpływu obciążenia na narząd głosu,

- test Wilcozona dla par zastosowano dla porównania liczby osób ze zmianami poszczególnych parametrów analizy akustycznej przed i po próbie.

## WYNIKI

Porównanie wyników analizy akustycznej głosu przeprowadzonej w badaniu wstępnym tzn. przed próbą obciążeniową w przeciwieństwie do wyników badań wideostroboskopowych nie wykazało różnic istotnych statystycznie pomiędzy grupą I nauczycielek z chorobą zawodową narządu głosu a grupą II z dysfoniami czynnościowymi, co przedstawiono w poprzedniej pracy dotyczącej tego tematu (8).

Natomiast obciążenie 30-minutowym wysiłkiem głosowym nauczycielek z chorobami zawodowymi głosu (grupa I) spowodowało istotne statystycznie zmiany (pogorszenie) zarówno w wynikach badania wideostroboskopowego jak i analizy akustycznej w porównaniu z grupą II. W wynikach wideostroboskopii największy procent pogorszeń dotyczył ograniczenia przesunięcia brzeżnego (68,6% osób) i pogorszenia zwarcia fonacyjnego głośni (37,1% osób). Natomiast próba obciążeniowa głosu w grupie II kontrolnej nauczycielek z dysfoniami czynnościowymi u znacznego odsetka osób nie wywołała pogorszenia parametrów ocenianych w badaniu wideostroboskopowym, a u niektórych z nich nawet poprawę niektórych parametrów. Duży odsetek popraw dotyczył amplitudy drgań fałdów głosowych (u blisko 35% osób), przesunięcia brzeżnego (29% osób) oraz poprawy zwarcia fonacyjnego (u nieco ponad 25% osób) (tab. 2).

Analizując wyniki badań akustycznych głosu w grupie I nauczycielek z chorobą zawodową narządu stwierdzono, że u 26 osób liczba nieprawidłowych parametrów akustycznych ogółem wzrosła po obciążeniu 30-minutowym wysiłkiem głosowym, w stosunku do badania wstępnego (tab. 3). Natomiast u 18 osób z grupy II nauczycielek (kontrolnej) liczba nieprawidłowych parametrów głosowych zmniejszyła się (tab. 4). W obu grupach były to różnice istotne statystycznie. Ponadto w grupie I po obciążeniu głosu zwiększyła się istotnie statystycznie liczba osób z nieprawidłowymi parametrami, określającymi względną zmianę amplitudy (Shimmer, APQ) oraz parametrami określającymi stosunek składowych harmonicznnych do nieharmonicznych badanego głosu (U2H, U2Hl, U2Hh) (tab. 3). Natomiast w grupie kontrolnej nauczycielek liczba osób z nieprawidłowymi wartościami poszczególnych parametrów nie zmieniła się istotnie statystycznie po obciążeniu w porównaniu z badaniem wstępnym – przed obciążeniem (tab. 4).

Dokładna analiza wartości poszczególnych parametrów badania akustycznego, przeprowadzonego przed i po obciążeniu wysiłkiem głosowym, wskazuje na występowanie istotnych statystycznie różnic w gło-



**Tabela 2.** Odsetek osób ze zmianami w parametrach wideostroboskopowych w badanych grupach nauczycielek po próbie obciążeniowej głosu**Table 2.** Percentage of subjects with abnormal videostroboscopic parameters after vocal loading test performed in two groups of female teachers

| Parametry<br>wideostroboskopowe<br>Videostroboscopic parameters                | Grupa I<br>Group I          |                                   |                             | Grupa II<br>Group II        |                                   |                             | P      |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------|
|                                                                                | bez zmian<br>No change<br>% | pogorszenie<br>Deterioration<br>% | poprawa<br>Improvement<br>% | bez zmian<br>No change<br>% | pogorszenie<br>Deterioration<br>% | poprawa<br>Improvement<br>% |        |
| Regularność drgań fałdów<br>głosowych<br>Regularity of vocal fold<br>vibration | 85,7                        | 14,3                              | 0                           | 90,3                        | 0                                 | 9,7                         | 0,025* |
| Amplituda drgań fałdów<br>głosowych Amplitude of vocal<br>fold vibration       | 77,1                        | 22,9                              | 0                           | 64,5                        | 0                                 | 35,5                        | 0,005* |
| Zwarcie fonacyjne<br>Glottal closure                                           | 62,9                        | 37,1                              | 0                           | 74,2                        | 0                                 | 25,8                        | 0,005* |
| Przesunięcie brzeżne<br>Mucosal wave                                           | 31,4                        | 68,6                              | 0                           | 71,0                        | 0                                 | 29,0                        | 0,001* |

Grupa I – nauczycielki ze zdiagnozowaną chorobą zawodową narządu głosu;

\*  $p < 0,05$ ;

Group I – female teachers with diagnosed occupational voice diseases;

Group II – nauczycielki z dysfoniami czynnościowymi;

Group II – female teachers with functional dysphonia;

**Tabela 3.** Porównanie liczby osób ze zmianą wartości parametrów w analizie akustycznej głosu w grupie I nauczycielek z chorobą zawodową głosu przed i po próbie obciążeniowej (liczba osób ogółem: 35)**Table 3.** Number of subjects with abnormal acoustic parameters in group I (female teachers with occupational voice diseases): within-group comparison of pre- and post-vocal loading test results (total no. of cases = 35)

| Parametry<br>Parameters           | Spadek<br>Decrease<br>n | Wzrost<br>Increase<br>n | Bez zmian<br>No change<br>n | p      |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------|
| Liczba przypadków<br>No. of cases | 2                       | 26                      | 7                           | 0,001* |
| Jitter                            | 1                       | 3                       | 31                          | 0,36   |
| RAP                               | 1                       | 2                       | 32                          | 0,59   |
| PPQ                               | 1                       | 3                       | 31                          | 0,36   |
| Shimmer                           | 0                       | 6                       | 29                          | 0,048* |
| APQ                               | 1                       | 10                      | 24                          | 0,039* |
| HPQ                               | 0                       | 9                       | 26                          | 0,009* |
| HPQh                              | 3                       | 10                      | 22                          | 0,09   |
| R2H                               | 1                       | 3                       | 31                          | 0,36   |
| U2H                               | 1                       | 12                      | 22                          | 0,019* |
| U2Hl                              | 2                       | 13                      | 20                          | 0,008* |
| U2Hh                              | 3                       | 15                      | 17                          | 0,014* |
| NHR                               | 1                       | 8                       | 26                          | 0,038* |

\*  $p < 0,05$ .

Skróty parametrów objaśniono w tekście pracy.

Abbreviations parameters explainted in text of paper.

**Tabela 4.** Porównanie liczby osób z nieprawidłowymi parametrami w analizie akustycznej głosu w grupie II nauczycielek z dysfoniami czynnościowymi (liczba osób ogółem: 31)**Table 4.** Number of subjects with abnormal acoustic parameters in group II (female teachers with functional dysphonia): within-group comparison of pre- and post-vocal loading test results (total no. of cases = 31)

| Parametry<br>Parameters           | Spadek<br>Decrease<br>n | Wzrost<br>Increase<br>n | Bez zmian<br>No change<br>n | p      |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------|
| Liczba przypadków<br>No. of cases | 18                      | 5                       | 8                           | 0,001* |
| Jitter                            | 1                       | 0                       | 30                          | 0,317  |
| RAP                               | 1                       | 0                       | 30                          | 0,317  |
| PPQ                               | 1                       | 1                       | 29                          | 1,0    |
| SHIMER                            | 3                       | 1                       | 27                          | 0,361  |
| APQ                               | 1                       | 4                       | 26                          | 0,225  |
| HPQ                               | 3                       | 0                       | 28                          | 0,109  |
| HPQh                              | 4                       | 0                       | 27                          | 0,068  |
| R2H                               | 4                       | 1                       | 26                          | 0,225  |
| U2H                               | 3                       | 1                       | 27                          | 0,361  |
| U2Hl                              | 0                       | 0                       | 31                          | 1,0    |
| U2Hh                              | 1                       | 0                       | 30                          | 0,317  |
| NHR                               | 4                       | 1                       | 26                          | 0,224  |

\*  $p < 0,05$ .

Skróty parametrów objaśniono w tekście pracy.

Abbreviations parameters explainted in text of paper.



**Tabela 5.** Częstotliwość podstawowa głosu – Fo (Hz) przed i po próbie obciążeniowej  
**Table 5.** Fundamental frequency of voice – Fo (Hz) before and after vocal loading test

| Częstotliwość głosu<br>Frequency of voice | Grupa I<br>Group I                        |                                      | p      | Grupa II<br>Group II                      |                                      | p     |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------|
|                                           | przed obciążeniem<br>Before vocal loading | po obciążeniu<br>After vocal loading |        | przed obciążeniem<br>Before vocal loading | po obciążeniu<br>After vocal loading |       |
| Fo śr.<br>Fo mean                         | 191,6                                     | 203,3                                | 0,024* | 206,9                                     | 201,8                                | 0,345 |
| Fo min.                                   | 174,0                                     | 169,4                                | 0,528  | 187,1                                     | 185,1                                | 0,794 |
| Fo max.                                   | 213,3                                     | 237,3                                | 0,018* | 221,8                                     | 216,0                                | 0,579 |

\* p < 0,05.

sie nauczycielek ze zmianami patologicznymi narządu głosu o charakterze zawodowym (grupa I) a grupą nauczycielek z fluktuacyjnymi zaburzeniami głosu, jakimi są dysfonie czynnościowe (grupa II). Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że średnia częstotliwość podstawowa głosu (Fo śr.) nauczycielek z grupy I uległa podwyższeniu w sposób istotny statystycznie (średnio o ok. 11 Hz), czego nie zaobserwowano w grupie II – kontrolnej (tab. 5). Podobna zależność wystąpiła w grupie I dla najwyższej częstotliwości podstawowej Fo max.

**Tabela 6.** Parametry oceny zmian częstotliwości przed i po próbie obciążeniowej głosu  
**Table 6.** Frequency perturbation parameters before and after vocal loading test

| Table 6. Frequency perturbation parameters before and after vocal loading test |                                           |                                      |                                            |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| Parametry<br>Parameters                                                        | Wartość średnia (± SD)<br>Mean value      |                                      | Norma<br>Normal value<br>(upper threshold) | P     |
|                                                                                | przed obciążeniem<br>Before vocal loading | po obciążeniu<br>After vocal loading |                                            |       |
| Grupa I<br>Group I                                                             |                                           |                                      |                                            |       |
| Jitter                                                                         | 0,34 (±0,2)                               | 0,61 (±1,1)                          | do 0,5<br>to 0.5                           | 0,05* |
| RAP                                                                            | 0,21(±0,13)                               | 0,45 (±1,3)                          | do 0,3<br>to 0.3                           | 0,12  |
| PPQ                                                                            | 0,25 (±0,13)                              | 0,56 (±1,6)                          | do 0,3<br>to 0.3                           | 0,12  |
| Grupa II<br>Group II                                                           |                                           |                                      |                                            |       |
| Jitter                                                                         | 0,29 (±0,1)                               | 0,28 (±0,1)                          | do 0,5<br>to 0.5                           | 0,91  |
| RAP                                                                            | 0,18 (±0,7)                               | 0,16 (±0,1)                          | do 0,3<br>to 0.3                           | 0,89  |
| PPQ                                                                            | 0,21 (±0,1)                               | 0,2 (±0,07)                          | do 0,3<br>to 0.3                           | 0,96  |

\* p > 0,05.

Skróty parametrów objaśniono w tekście pracy.

Abbreviations parameters explainted in text of paper.

W zakresie parametrów oceniających względną zmianę częstotliwości głosu (Jitter, RAP i PPQ) zaobserwowano pogorszenie się ich wartości po wysiłku głosowym w grupie I badanych nauczycielek, jednak tylko w przypadku jittera różnica była istotna statystycznie (tab. 6).

Podobnie przedstawiały się wyniki analizy wartości parametrów oceniających względną zmianę amplitudy głosu (Shimmer i APQ). Jakkolwiek zarówno w przypadku shimmera, jak i APQ w grupie nauczycielek z chorobą zawodową głosu wartości tych parametrów pogorszyły się znamienne statystycznie (tab. 7).

Ponadto wykazano, że porównując parametry oceny struktury harmonicznego głosu przed i po próbie obciążeniowej

**Tabela 7.** Parametry zaburzeń amplitudy przed i po próbie obciążeniowej głosu  
**Table 7.** Amplitude perturbation parameters before and after vocal loading test

| Parametry<br>Parameters | Wartości średnie (±SD)<br>Mean value            |                                         | Norma<br>Normal value<br>(upper<br>threshold) | p      |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|--------|
|                         | przed<br>obciążeniem<br>before vocal<br>loading | po obciążeniu<br>after vocal<br>loading |                                               |        |
|                         |                                                 |                                         |                                               |        |
| Grupa I<br>Group I      |                                                 |                                         |                                               |        |
| Shimmer                 | 4,68 (±2,4)                                     | 6,61 (±6,5)                             | do 2,6<br>to 2.6                              | 0,016* |
| APQ                     | 3,84 (±1,9)                                     | 5,51 (±6,2)                             | do 2,3<br>to 2.3                              | 0,029* |
| Grupa II<br>Group II    |                                                 |                                         |                                               |        |
| Shimmer                 | 3,97 (±1,2)                                     | 3,64 (±1,2)                             | do 2,6<br>to 2.6                              | 0,69   |
| APQ                     | 3,09 (±0,9)                                     | 2,84 (±0,9)                             | do 2,3<br>to 2.3                              | 0,762  |

\* p < 0,05.

Skróty parametrów objaśniono w tekście pracy.

Abbreviations parameters explainted in text of paper.



**Tabela 8.** Parametr pomiaru szumu (NHR) przed i po próbie obciążeniowej głosu**Table 8.** Noise to harmonic ratio (NHR) before and after vocal loading test

| Parametr<br>Parameter | Wartość średnia ( $\pm$ SD)<br>Mean value       |                                         | Norma<br>Normal value<br>(upper threshold) | p      |
|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------|
|                       | przed<br>obciążeniem<br>before vocal<br>loading | po obciążeniu<br>after vocal<br>loading |                                            |        |
| Grupa I<br>Group I    |                                                 |                                         |                                            |        |
| NHR                   | 3,45 ( $\pm$ 2,56)                              | 4,10 ( $\pm$ 2,33)                      | do 3,4<br>to 3.4                           | 0,036* |
| Grupa II<br>Group II  |                                                 |                                         |                                            |        |
| NHR                   | 2,87 ( $\pm$ 1,57)                              | 2,40 ( $\pm$ 1,51)                      | do 3,4<br>to 3.4                           | 0,219  |

\*  $p < 0,05$ .

żeniowej w grupie I nauczycielek nastąpiło istotnie statystycznie podwyższenie ich wartości (pogorszenie) dla następujących parametrów: HPQ ( $p = 0,001$ ), HPQh ( $p = 0,001$ ), U2H ( $p = 0,02$ ), U2Hl ( $p = 0,001$ ). Natomiast w grupie II – kontrolnej takiej zależności nie obserwowano. Wartość względnego pomiaru szumów i zakłóceń w głosie (NHR) w grupie nauczycielek z uznaną chorobą zawodową głosu była znamienne wyższa (gorsza) po obciążeniu głosu wysiłkiem, niż przed jego obciążeniem:  $p = 0,036$ , czego nie zaobserwowano w grupie kontrolnej (tab. 8).

Wyniki próby obciążeniowej w analizie akustycznej u poszczególnych pacjentów porównano z wynikami próby obciążeniowej ocenianej w laryngowideostroboskopii, obliczając zarówno liczbę wyników prawdziwie dodatnich (pogorszenie parametrów po próbie w obydwu badaniach) – 14 i fałszywie dodatnich (pogorszenia nie obserwowano w wideostroboskopii, a występowało w analizie akustycznej) – 5 oraz liczbę wyników prawdziwie ujemnych (bez pogorszenia w obydwu badaniach) – 29 i fałszywie ujemnych (pogorszenie tylko w parametrach wideostroboskopii) – 3. Na tej podstawie obliczono, że uzyskana czułość próby (analizy akustycznej przed i po obciążeniu głosu) osiąga wartość 82%, a swoistość 85%, co wskazuje na dużą przydatność tej metody w diagnozowaniu chorób zawodowych narządu głosu.

## OMÓWIENIE

W badaniach własnych porównano wpływ wysiłku głosowego na wyniki analizy akustycznej głosu u nauczycielek z nieodwracalnym zmianami patologicznymi

krtani, uznawanymi w Polsce jako choroby zawodowe narządu głosu (grupa I) oraz u nauczycielek (w podobnym wieku i o podobnym stażu pracy) z zaburzeniami głosu o charakterze fluktuacyjnym, jakimi są dysfonie czynnościowe. Punktem odniesienia w analizie porównawczej było badanie laryngowideostroboskopowe, które uważane jest powszechnie za złoty standard w diagnostyce schorzeń narządu głosu (22). Zastosowanie próby obciążeniowej głosu pozwoliło na zróżnicowanie w analizie akustycznej grupy nauczycielek ze zdiagnozowanymi chorobami zawodowymi narządu głosu z grupą nauczycielek ze zmianami czynnościowymi głosu.

Po obciążeniu głosu (głośnie czytanie w hałasie przez 30 min) średnia częstotliwość podstawowa  $F_0$  śr. w grupie I nauczycielek z chorobą zawodową głosu podwyższała się o wartość istotną statystycznie (ok. 11 Hz). Podobne obserwacje dotyczące wzrostu  $F_0$  śr. po wysiłku głosowym w hałasie poczynili również inni badacze (23,24). Rantala i wsp., badając głosy nauczycielek w ciągu całego dnia pracy, zauważyli, że  $F_0$  śr. badanych rośnie statystycznie znamienne na ostatniej lekcji w porównaniu z pierwszą o 9,7 Hz. Ich badania dotyczące spektralnej charakterystyki próbek głosu po obciążeniu potwierdziły wzrost energii dla wysokich formantów (23). Vilkman (11) uważał, że podwyższenie  $F_0$ , czyli wzrost liczby drgań fałdów głosowych jest dobrym wskaźnikiem obciążenia narządu głosu. Natomiast Jonsdottir i wsp. podkreślali, że wzrost wysokości głosu podczas mówienia w hałasie może być jednym z czynników ryzyka zawodowych zaburzeń głosu. W swoich badaniach udowodnił, że stosowanie mikrofonów przez nauczycieli podczas lekcji w klasach obniżało  $F_0$  średnio o 8,6 Hz dla kobiet (25).

Dokładna analiza wartości poszczególnych parametrów akustycznych wykazała, że po obciążeniu głosu w grupie nauczycielek z uznanymi chorobami zawodowymi narządu głosu pogarszały się znamienne statystycznie ( $p < 0,05$ ) niektóre parametry. Istotna różnica wystąpiła dla shimmera – parametru oceniającego względną zmianę natężenia ( $p = 0,016$ ). Podobne obserwacje poczynili Södersten i wsp., którzy wykazali, że kobiety z dysfoniami po obciążeniu głosu w hałasie mają trudności w utrzymywaniu właściwego natężenia głosu (26). W naszych badaniach zaobserwowano też zwiększenie wartości (pogorszenie) NHR – parametru oceniającego zawartość szumu w sygnale głosu ( $p = 0,036$ ) oraz jittera – parametru oceniającego perturbacje częstotliwości podstawowej ( $p = 0,05$ ). Natomiast w grupie nauczycielek ze zmianami czynnościowymi nie było po-



gorszeń, a nawet niektóre parametry np. jitter czy shimmer po obciążeniu głosu poprawiały się, choć nie była to zmiana istotna statystycznie.

Ponadto, porównując liczbę osób z nieprawidłowymi parametrami akustycznymi przed i po obciążeniu głosu zauważono, że w grupie I zwiększała się po wysiłku głosowym liczba osób z patologicznymi wartościami parametrów, na poziomie istotności statystycznej dla parametrów oceniających względną zmianę amplitudy (Shimmera i APQ) i niektórych parametrów oceniających strukturę harmoniczną (HPQ i grupy U2H). Takiego zjawiska nie obserwowano w grupie kontrolnej.

Laukanen i wsp. podkreślali, że po obciążeniu głosu parametry akustyczne relatywnie bardziej pogarszają się u osób z mocniej nasilonymi problemami głosowymi w porównaniu z pacjentami z niewielkimi zaburzeniami głosu (27). Analogicznie w naszych badaniach nauczycielki z utrwalonymi zmianami patologicznymi głosu, jakimi są choroby zawodowe głosu, wykazywały istotne statystycznie pogorszenie charakterystyki akustycznej głosu po wysiłku głosowym w porównaniu z grupą nauczycielek z mniej nasilonymi zaburzeniami głosu, jakimi są dysfonie funkcjonalne.

Oddzielnego omówienia wymaga zaobserwowana u części osób z dysfoniami czynnościowymi poprawa głosu po próbie obciążeniowej. W analizie akustycznej dotyczyła ona zmniejszenia liczby nieprawidłowych parametrów, a także poprawy wartości niektórych parametrów. Zaobserwowano ją również w badaniu wideostroboskopowym tej grupy; po obciążeniu poprawiały się takie parametry, jak amplituda drgań czy przesunięcie brzeżne. Fakt ten można wytłumaczyć przytaczanym powyżej „rozgrzewaniem głosowym” (vocal warm-up) opisywanym przez Vilkmana na podstawie badań laboratoryjnych nad obciążeniem głosu. Uważał on, że proces rozgrzewania narządu głosu zaczyna się po około 30 minutach ciągłego używania głosu, np. głośnego czytania. W naszych badaniach u nauczycielek powtórnie przeprowadzano analizę akustyczną głosu i wideostroboskopię po 30-minutowym czytaniu tekstu w hałasie. W grupie I po tym okresie występowały nasilone objawy zmęczenia głosowego obserwowane w badaniu wideostroboskopowym oraz obiektywnie stwierdzonym pogarszaniu się wartości liczbowych parametrów akustycznych, co może świadczyć o złej kondycji narządu głosu i zmniejszonej jego wydolności u osób z chorobami zawodowymi głosu. Takiej reakcji po próbie obciążeniowej nie zauważono u nauczycielek z grupy II z dysfoniami czynnościowymi.

Natomiast u części pacjentek z tej grupy poprawa czynności fonacyjnej krtani po wysiłku głosowym, potwierdzona obiektywnie w analizie akustycznej, może dawać informacje o dobrej wydolności narządu głosu u tych osób.

Jakkolwiek ostatnio autorzy (27–29) często zwracają uwagę na duże zróżnicowanie indywidualne reakcji na obciążenie głosu (co również obserwowaliśmy w naszych badaniach) i podkreślają, że obiektywne ilościowe określenie zmęczenia głosowego może nastręczać trudności i dalsze badania w tym kierunku są konieczne.

## WNIOSKI

Reasumując, zastosowanie analizy akustycznej głosu z zastosowaniem próby obciążeniowej, w grupie badanych nauczycielek ubiegających się o uznanie choroby zawodowej narządu głosu, umożliwia przeprowadzenie precyzyjnej diagnostyki trwałych zmian patologicznych krtani o podłożu zawodowym, potwierdza i w znacznym stopniu uzupełnia wyniki badania wideostroboskopowego, obecnie uznawanego za złoty standard w diagnozowaniu i orzecznictwie chorób zawodowych narządu głosu. Wstępne obserwacje wyników analizy akustycznej w grupie nauczycielek z dysfoniami czynnościowymi rokują nadzieję na zastosowanie tej metody w obiektywnej ocenie plastyczności głosu i jego podatności na rehabilitację w leczeniu foniatrycznym.

## PIŚMIENNICTWO

1. Pruszewicz A.: Zawodowe zaburzenia głosu. W: Pruszewicz A. [red.]. Foniatria kliniczna. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1992, ss. 205–209
2. Titze I.R., Lemke J., Montequin D.: Populations in the U.S. workforce who rely on voice as a primary tool of trade: a preliminary report. *J. Voice*, 1997;11(3):254–259
3. Roy N., Merrill R.M., Thibeault S., Parsa R.A., Gray S.D., Smith E.M.: Prevalance of voice disorders in teachers and the general population. *J. Speech Lang. Hear. Res.*, 2004;47(2):281–293
4. Verdolini K., Ramig L.O.: Review: occupational risks for voice problems. *Log. Phon. Vocol.*, 2001;26:37–46
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 Phoniatri. Logop.*, 2006;58(2):85–102
6. Szeszenia-Dabrowska N., Wilczyńska U., Szymczak W., Peplowska B.: Choroby zawodowe w Polsce w 2004. Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2005
7. Obrębowski A., Tuszyński K., Wilmowska-Pietruszyńska A., Obrębowska-Karsznia Z., Wojnowski W.: Uszczerbek na zdrowiu i renta z tytułu choroby zawodowej narządu głosu u nauczycieli. *Otolaryngol. Pol.*, 2006;60(1):55–60



8. Niebudek-Bogusz E., Fiszer M., Śliwińska-Kowalska M.: Ocena parametrów analizy akustycznej u nauczycielek z chorobami zawodowymi narządu głosu. *Med. Pr.*, 2005;56(6):431–438
9. Stemple J.C., Stanley J., Lee L.: Objective measures of voice production in normal subjects following prolonged voice use. *J. Voice*, 1995;9(2):127–133
10. Świdziński P.: Przydatność analizy akustycznej w diagnostyce zaburzeń głosu [rozprawa habilitacyjna]. Akademia Medyczna, Poznań 1998
11. Vilkman E.: Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr. Logop.*, 2004;56(4):220–253
12. Boucher V.J., Ahmarani C., Ayad T.: Physiologic features of vocal fatigue: electromyographic spectral-compression in laryngeal muscles. *Laryngoscope*, 2006;116(6):959–965
13. Chang A., Karnell M.P.: Perceived phonatory effort and phonation threshold pressure across a prolonged voice loading task: a study of vocal fatigue. *J. Voice*, 2004;18 (4):454–466
14. Dejonckere P.H., Lebacqz J.: Plasticity of voice quality: a prognostic factor for outcome of voice therapy. *J. Voice*, 2001;15(2): 251–256
15. Jilek C., Marienhagen J., Hacki: Vocal stability in functional dysphonic versus healthy voices at different times of voice loading. *J. Voice*, 2004;18(4):443–453
16. Lauri E.R., Alku P., Vilkman E., Sala E., Sihvo M.: Effects of prolonged oral reading on time-based glottal flow waveform parameters with special reference to gender differences. *Folia Phoniatr. Logop.*, 1997;49(5):234–246
17. Pruszewicz A.: Metody badania narządu głosu. *Postępy Chir. Głowy Szyi*, 2002;2(2):3–25
18. Laukkanen A.M., Kankare E.: Vocal loading-related changes in male teachers' voices investigated before and after a working day. *Folia Phoniatr. Logop.*, 2006;58(4):229–239
19. Schneider B., Enne R., Cecon M., Diendorfer-Radner G., Witzels P., Bigenzahn W.: Effects of vocal constitution and autonomic stress-related reactivity on vocal endurance in female student teachers. *J. Voice*, 2006;20(2):245–250
20. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 r. w sprawie wykazu chorób zawodowych. *DzU* 2002, nr 132, poz. 1115
21. Obrębski A., Pruszewicz A., Sułkowski W., Wojnowski W., Siniakiewicz A.: Propozycje racjonalnego postępowania w orzekaniu o chorobie zawodowej narządu głosu. *Med. Pr.*, 2001;52:35–44
22. Rubin J.S., Sataloff R.T., Korovin G.S.: *Diagnosis and Treatment of Voice Disorders*. Thomson Delmar Learning, Clifton Park (New York) 2003
23. Rantala L., Vilkman E., Bloigu R.: Voice changes during work: subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary schoolteachers. *J. Voice*, 2002;16(3): 344–355
24. Vinturi J., Alku P., Lauri E.R., Sala E., Sihvon M., Vilkman I.: Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *J. Voice*, 2001;15(1):36–53
25. Jönsdóttir V., Laukkanen A.M., Vilkman E.: Changes in teachers, speech during a working day with and without electric sound amplification. *Folia Phoniatr. Logop.*, 2002;54(6):282–287
26. Södersten M., Ternstom 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
27. Laukkanen A.M., Järvinen K., Artkosi M., Waaramaa-Mäki-Kulmala 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
28. Milbrath R.L., Salomon P.N.: Do vocal warm-up exercises alleviate vocal fatigue? *J. Speech Hear. Res.*, 2003;46:422–436
29. Welham N.V., MacLagan M.A.: Vocal fatigue: current knowledge and future directions. *J. Voice*, 2003;17(1):21–30

