

Ocena przydatności analizy formantowej głosu w diagnozowaniu dysfonii czynnościowych

The applicability of formant voice analysis in diagnostics of functional voice disorders

EWA NIEBUDEK-BOGUSZ, EWELINA WOŹNICKA, IWONA KORCZAK, MARIOLA ŚLIWIŃSKA-KOWALSKA

Klinika Audiologii i Foniatrii Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi

Wprowadzenie. Wczesna diagnostyka czynnościowych zaburzeń głosu stanowi poważne wyzwanie dla foniatorów. Cennych informacji dostarczyć może analiza formantowa, wykorzystywana do oceny jakości głosu, a zwłaszcza jego struktury harmoniczej.

Cel pracy. Ocena wartości analizy formantowej głosu w diagnostyce czynnościowych zaburzeń głosu.

Materiał i metody. Badaniem objęto 41 kobiet z głosem prawidłowym (grupa kontrolna) oraz 18 nauczycielek z miękkimi guzkami głosowymi. W celu zbadania zachowania się poszczególnych formantów w zależności od wieku, do grupy kontrolnej włączono 9 osób w wieku 23-30 lat, 9 osób w wieku 31-39 lat, 10 osób w wieku 41-49 lat oraz 13 osób w wieku 51-58 lat. Wiek nauczycielek mieścił się w przedziale od 25 do 53 lat. Badania przeprowadzono, nagrywając w grupie kontrolnej i badanej trzykrotnie samogłoski w trakcie przedłużonej fonacji oraz wystandaryzowane zdanie. Za pomocą modułu analizy formantowej programu IRIS wyznaczono średnie wartości częstotliwości poszczególnych formantów samogłosek i zdania.

Wyniki. W grupie kontrolnej nie stwierdzono istotnych różnic w położeniu poszczególnych formantów badanych samogłosek w przedziałach wiekowych. Zaobserwowano natomiast istotne statystycznie różnice średnich wartości częstotliwości dla pierwszego formantu (F1) samogłosek: „a” ($p=0,002$); „e” ($p=0,002$); „o” ($p=0,033$), czyli tzw. samogłosek niskich i średnich między grupą kontrolną i badaną. Stwierdzono także różnice istotne statystycznie między grupą kontrolną i badaną dla drugiego formantu (F2) głoski „a” ($p=0,019$) oraz głoski „o” ($p=0,050$).

Wnioski. Analiza formantowa głosu może dostarczać informacji o subtelnych zmianach głosu, będących wczesnymi objawami dysfonii czynnościowych w przebiegu guzków głosowych. Powyższe obserwacje wymagają dalszych badań na większej grupie osób.

Słowa kluczowe: analiza formantowa, dysfonia czynnościowa, guzki głosowe miękkie

Introduction. The early diagnosis of functional voice disorders constitutes a serious challenge for phoniatricians. Formant analysis is considered for use in evaluating the quality of voice, particularly its harmonic structure.

Aim. The aim of this study was to assess the applicability of formant analysis in the diagnosis of functional voice disorders.

Materials and methods. The study comprised 41 female controls with normal voice and 18 female teachers with vocal fold prenodules. To detect the behaviour of the individual formants depending on age, the following subjects were included into the control group: 9 persons aged 23-30 years, 9 aged 31-39 years, 10 aged 41-49 years and 13 aged 51-58 years. The teachers age ranged from 25-53 years. The acoustic testing was performed in the study and control groups, and involved recording (three times) a sample of sustained vowels and a standardized sentence. Using formant analysis unit of the Iris software package, the mean value of frequency and its standard deviation of respective formants in vowels and sentence were estimated.

Results. The analysis of the location of formants did not show significant differences between age groups of healthy individuals. However, when comparing the average frequencies and standard deviations of respective formants between the study group and control group, significant differences were found for the first formant (F1) of vowels: „a” ($p=0.002$) „e” ($p=0.002$), „o” ($p=0.033$). The groups differed significantly also in the second formant (F2) of vowel „a” ($p=0.019$) and vowel „o” ($p=0.050$).

Conclusions. Formant analysis may provide the information on subtle changes of voice, indicating the early symptoms of functional dysphonia in patients with prenodules vocal fold. Further studies on a larger group of subjects with functional voice disorders are required to corroborate these findings.

Key words: formant analysis, functional dysphonia, prenodules

WSTĘP

Wczesna diagnostyka czynnościowych zaburzeń głosu stanowi poważne wyzwanie dla foniatorów [1], szczególnie tych, którzy sprawują opiekę nad osobami obciążającymi głos zawodowo. W początkowym okresie zawodowe zaburzenia głosu mają charakter dysfonii czynnościowych [2]. Obraz kliniczny dysfonii zawodowych charakteryzuje się bogatą symptomatologią. Jednym z głównych objawów jest chrypka, będąca wynikiem nieprawidłowych wibracji fałdów głosowych oraz turbulencji powietrza nieregularnie przechodzącego w czasie fonacji przez głośnię [3]. Bardzo często, zanim pojawi się chrypka, pierwszym objawem dysfonii jest zmiana barwy głosu. Ta dyskretna dysfunkcja, którą początkowo zgłasza pacjent, jest często trudna do wychwycenia w badaniach klinicznych [4,5].

Należy podkreślić, że długotrwałe, nieleczone dysfonie czynnościowe mogą przejść w zmiany organiczne krtani. Na skutek przewlekłych mikrourazów głośni, szczególnie podczas fonacji hyperkinetycznej, powstają różne zmiany patologiczne fałdów głosowych: najczęściej guzki głosowe, zmiany naczyniowe (np. żyłaki, wybroczyny krwawe), obrzęki czy zmiany przerostowo-polipowate, dotyczące zwłaszcza wolnych brzegów fałdów głosowych, a także atrofie mięśni głosowych lub owrzodzenie kontaktowe [6].

Z ww. powodów niezwykle istotna jest wczesna diagnostyka dysfonii zawodowych. W praktyce klinicznej powszechna jest opinia co do konieczności prowadzenia kompleksowej oceny głosu, zawierającej zestaw badań potrzebnych do wieloparametrycznego określenia zaburzeń głosu, czyli dysfonii. Dejonckere, występując w imieniu Komitetu ds. Foniatrii Europejskich Towarzystw Laryngologicznych, omówił standardy kompleksowego badania głosu i zaproponował protokół zawierający pięć metod diagnostycznych: 1. samoocenę głosu, 2. ocenę percepcyjną głosu, 3. laryngowideostroboskopię, 4. analizę akustyczną głosu, 5. badania aerodynamiczne [7].

Wśród metod diagnostycznych coraz większym zainteresowaniem cieszy się analiza akustyczna głosu, która jest metodą obiektywną, a przy tym nieinwazyjną [8-10]. Nadal jednak istnieje, zarówno na świecie jak i w Polsce, potrzeba udoskonalania aplikacji klinicznych analizy akustycznej głosu w diagnostyce tzw. głosu zawodowego [11].

Ostatnio zwraca się uwagę na analizę formantową głosek i zdań, która może być wykorzystana do oceny jakości i efektywności głosu, a zwłaszcza oceny struktury harmonicznej głosu, której nieprawidłowości mogą być pierwszymi objawami dysfonii zawodowych [12,13].

W celu wyjaśnienia pojęcia formanty należy przypomnieć podstawy dotyczące fizjologii narządu głosu. Do tworzenia głosu niezbędne są 3 elementy strukturalne o szczególnych właściwościach czynnościowych:

- zbiornik powietrza z możliwością wypuszczania powietrza strumieniem po uprzednim wypełnieniu,
- urządzenie rytmicznie przerywające strumień wypuszczanego powietrza,
- zespół komór rezonacyjnych o stałej lub zmiennej pojemności.

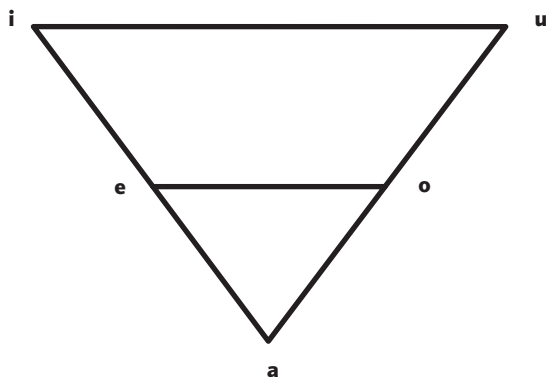
Konieczny dla fonacji strumień powietrza wytwarzają płuca z drzewem oskrzelowym. Generatorem tonu krtaniowego jest głośnia, przy czym precyzyjne ruchy fonacyjne fałdów głosowych przekształcają energię strumienia wydechowego w energię akustyczną. Właściwy rezonans nasady zapewniają wszystkie jamy i zagłębienia traktu głosowego pomiędzy głośnią a otworem ustnym (jama krtaniowa właściwa, przedsionek krtani, gardło, jama nosowa, jama ustna).

Wzniesiony w głośni pierwotny ton krtaniowy podlega zjawiskom rezonansu. Nasada składa się bowiem od strony czynnościowej z szeregu struktur, posiadających zdolność do drgań z własnymi częstotliwościami. Dzięki temu określone składowe pierwotnego tonu krtaniowego ulegają wzmocnieniu, inne natomiast osłabieniu. Jeżeli ten pierwotny dźwięk krtaniowy przejdzie traktem głosowym bez żadnych przeszkód, to w obrębie jamy ustnej powstają samogłoski. Zależnie od ustawienia języka i warg, częstotliwości rezonacyjne ujawniają się w paśmie energii akustycznej odpowiednio do konfiguracji tego odcinka nasady. W efekcie dochodzi do rezonacyjnych wzmocnień częstotliwości specyficznych dla danej samogłoski, których maksima nazywane są formantami [14].

Samogłoski różnią się pomiędzy sobą barwą. Barwa zależy od wielkości i kształtu rezonatora nasady. W języku polskim klasyfikuje się samogłoski ze względu na udział podniebienia miękkiego, ruchy języka w płaszczyźnie poziomej, ruchy języka w płaszczyźnie pionowej, układ warg. Najważniejszy z punktu widzenia zawodowych zaburzeń głosu (ze względu na duży udział hyperfunkcjonalnej komponenty), wydaje się być podział ze względu na ruchy języka w płaszczyźnie pionowej [15]. Biorąc pod uwagę stopień wzniesienia języka ku podniebieniu wyróżnia się samogłoski niskie („a”), średnie („e”, „o”) i wysokie („u”, „y”, „i”), co można przedstawić schematycznie w postaci trójkąta samogłoskowego (ryc. 1).

Celem pracy było przeanalizowanie formantów poszczególnych głosek w pilotażowej grupie osób

z miękkimi guzkami głosowymi w porównaniu z osobami o głosie prawidłowym.



Ryc. 1. Trójkąt samogłoskowy wg Benniego przedstawia układ języka w jamie ustnej przy artykulacji poszczególnych samogłosek

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 41 kobiet z głosem prawidłowym, głównie pracownic biurowych oraz 18 nauczycielek z miękkimi guzkami głosowymi. Kobiety z głosem eufonicznym, zaliczone do grupy kontrolnej nie zgłaszały żadnych zaburzeń głosu, nie paliły papierosów. Badane nauczycielki w grupie badanej były w wieku od 25 do 53 lat (śr. 41,1), ich staż pracy wynosił średnio 18 lat (1-30), a pensum tygodniowe średnio 22 godziny (18-25). Natomiast średni wiek grupy kontrolnej to 41,7 lat. W celu zachowania rozkładu wieku podobnego, jak w grupie badanej, a także w celu zbadania zachowania się poszczególnych formantów w zależności od wieku, do grupy kontrolnej włączono 9 osób w wieku 23-30 lat, 9 osób w wieku 31-39 lat, 10 osób w wieku 41-49 lat oraz 13 osób w wieku 51-58 lat.

U wszystkich osób badanych, zarówno z grupy kontrolnej jak i z grupy badanej, przeprowadzano ocenę percepcyjną głosu, niezależnie przez 2 osoby (foniatrę i logopedę). W ocenie tej u wszystkich kobiet z grupy kontrolnej stwierdzono prawidłową emisję głosu. Ponadto w grupie badanej przeprowadzono badanie foniatryczne obejmujące między innymi wywiad, pomiar maksymalnego czasu fonacji (MCF), rutynowe badanie laryngologiczne oraz laryngowideostroboskopię (LVSS). W oparciu o powyższe badania przeprowadzono kwalifikację pacjentek z miękkimi guzkami śpiewaczymi do grupy badanej.

W obydwu grupach kontrolnej i badanej przeprowadzono analizę akustyczną głosu.

Analiza akustyczna głosu

Nagranie głosu do analizy odbywało się w wyznaczonym pomieszczeniu o przeciętnym poziomie hałasu 30 dB. Nagrania dokonywano za pomocą programu do analizy akustycznej głosu IRIS oraz mikrofonu pojemnościowego, nagrywając trzykrotnie samogłoskę „a”, „e”, „i”, „o”, „u” w trakcie przedłużonej fonacji oraz zdanie: „Ten dzielny żołnierz był z nim razem”.

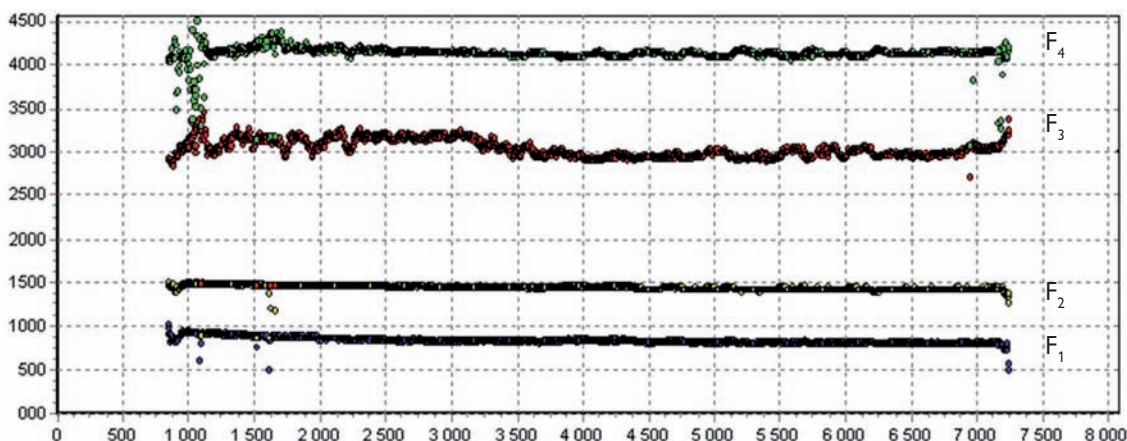
W czasie dokonywania analizy, wybierano najlepszą spośród trzech próbek nagranej głoski „a”, tzn. z jak największą ilością parametrów akustycznych mieszczących się w normie, oraz oceniano następujące parametry akustyczne: F0 śr – średnia częstotliwość podstawowa, F0 st dev – odchylenie standardowe średniej częstotliwości podstawowej, a także F min i F max - najniższą i najwyższą wartość częstotliwości podstawowej.

Następnie za pomocą modułu analizy formantowej programu IRIS wyznaczano parametry czterech formantów F1, F2, F3, F4 ww. samogłosek i zdania tzn. średnie wartości częstotliwości formantów, czyli pasm częstotliwości o wzmocnionej energii akustycznej oraz ich odchylenia standardowe (devF) określające stopień rozproszenia (rozrzutu) częstotliwości formantów. Formant o najmniejszej częstotliwości nazywany jest pierwszym formantem (F1), następny drugim formantem (F2) itd.

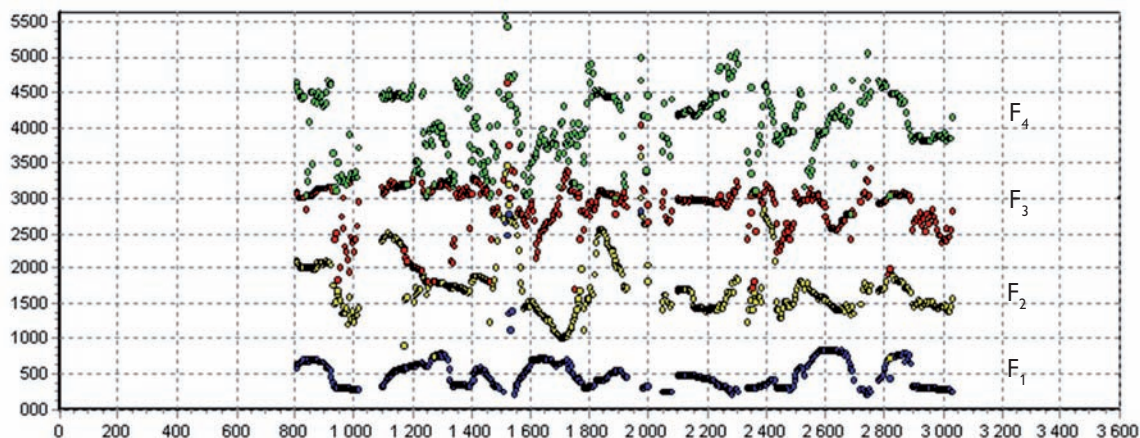
Analiza statystyczna danych przeprowadzona została z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji (one-way ANOVA) do oceny różnic poziomów formantów samogłosek i zdania między grupami wyróżnionymi ze względu na przedział wiekowy w grupie kontrolnej, a także dla porównania istotności różnic między grupą kontrolną i badaną dla ocenianych formantów. Do oceny relacji między położeniem formantów a maksymalnym czasem fonacji zastosowano test nieparametryczny Pearsona.

WYNIKI

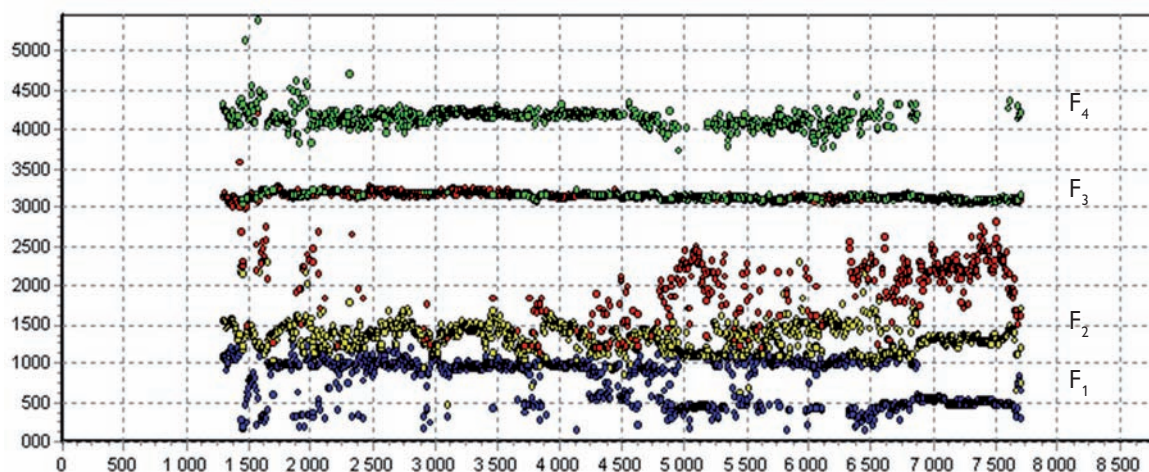
Rycina 2 przedstawia przykładowy wykres formantów zarejestrowanej głoski „a” u kobiety z głosem prawidłowym z grupy kontrolnej, a rycina 3 – wykres formantów zdania: „Ten dzielny żołnierz był z nim razem” u tej samej kobiety. Natomiast rycina 4 przedstawia przykładowy wykres formantów zarejestrowanej głoski „a” nauczycielki z guzkami śpiewaczymi – widoczne jest rozproszenie energii akustycznej, zwłaszcza w paśmie częstotliwości pierwszego i drugiego formantu. Na rycinie 5 przedstawiony jest zapis formantów zdania: „Ten dzielny żołnierz był z nim razem” u tej pacjentki.



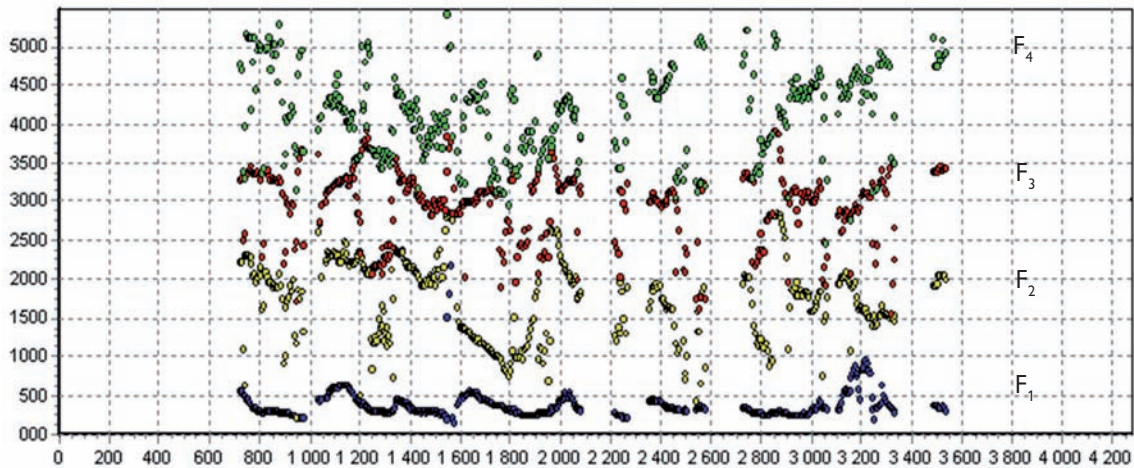
Ryc. 2. Rozkład formantów zarejestrowanej samogłoski „a” kobiety z głosem prawidłowym



Ryc. 3. Rozkład formantów zarejestrowanego zdania „Ten dzielny żołnierz był z nim razem” u kobiety z głosem prawidłowym



Ryc. 4. Rozkład formantów zarejestrowanej głoski „a” u kobiety z głosem patologicznym; widoczne jest rozproszenie energii akustycznej, zwłaszcza w paśmie częstotliwości pierwszego i drugiego formantu



Ryc. 5. Rozkład formantów zarejestrowanego zdania „Ten dzielny żołnierz był z nim razem” u kobiety z głosem patologicznym

Tabela I. Rozkład formantów głoski „a” w poszczególnych przedziałach wiekowych grupy kontrolnej z oznaczeniem istotności statystycznej (p) różnic między przedziałami wiekowymi

		N	Średnia	Odchylenie standardowe	95% przedział ufności dla średniej		p
					Dolna granica	Górna granica	
a_F1	20-29 lat	9	830,811	106,5804	748,886	912,736	0,988
	30-39 lat	9	835,689	128,4830	736,928	934,450	
	40-49 lat	10	848,120	155,6576	736,769	959,471	
	50-59 lat	13	846,400	115,7060	776,480	916,320	
	Ogółem	41	841,046	122,8546	802,269	879,824	
a_F2	20-29 lat	9	1427,878	69,1146	1374,752	1481,004	0,132
	30-39 lat	9	1403,011	59,5663	1357,224	1448,798	
	40-49 lat	10	1339,660	109,2617	1261,499	1417,821	
	50-59 lat	13	1382,400	78,5749	1334,918	1429,882	
	Ogółem	41	1386,483	84,8752	1359,693	1413,273	
a_F3	20-29 lat	9	2690,167	430,7286	2359,079	3021,254	0,111
	30-39 lat	9	2889,089	143,4043	2778,859	2999,319	
	40-49 lat	10	2842,730	283,4578	2639,957	3045,503	
	50-59 lat	13	2991,262	194,9287	2873,467	3109,056	
	Ogółem	41	2866,512	288,1089	2775,574	2957,451	
a_F4	20-29 lat	9	3740,344	282,6549	3523,077	3957,612	0,830
	30-39 lat	9	3921,644	207,7509	3761,953	4081,336	
	40-49 lat	10	3833,470	155,8370	3721,991	3944,949	
	50-59 lat	13	3834,285	287,9850	3660,257	4008,312	
	Ogółem	41	3832,641	242,1894	3756,197	3909,086	

Rozkład formantów: F1, F2, F3, F4 głoski „a” w grupie kontrolnej w zależności od przedziałów wiekowych przedstawia tabela I. Nie znaleziono istotnych różnic w położeniu formantów tej głoski w zależności od wieku.

Analogicznie nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie dla większości formantów pozostałych samogłosek tj.: „e”, „i”, „o”, „u” w poszczególnych grupach wiekowych. Nie stwierdzono różnic istot-

nych statystycznie między grupą badaną i kontrolną dla parametrów akustycznych: częstotliwości podstawowej F0, Fsdev, Fmin, Fmax głoski i zdania.

Porównując średnie położenie poszczególnych formantów głoski „a”, czyli ich średnie częstotliwości, a także ich dyspersję (rozproszenie energii akustycznej) – określone w programie analizy akustycznej jako odchylenie standardowe średniej częstotliwości każdego formantu zaobserwowano

istotne statystycznie różnice dla formantu pierwszego F1 i jego odchylenia standardowego a_devF1 oraz formantu drugiego F2, a także formantu czwartego F4 (tab. II). Jak wynika z podanego w tabeli zestawienia osoby z grupy kontrolnej osiągają średnio wyższe wyniki formantu pierwszego i drugiego głoski „a” niż w grupie badanej. Co więcej, w grupie kontrolnej dla formantu pierwszego tej głoski energia akustyczna jest bardziej skoncentrowana wokół średniej częstotliwości (mniejsze a_devF1) niż w grupie badanej.

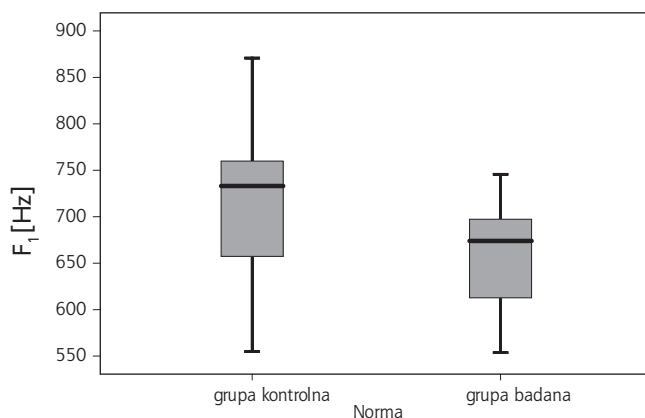
Tabela II. Porównanie formantów głoski „a” w grupie kontrolnej (n=41) i badanej (n=18) z oznaczeniem istotności statystycznej (p) w tych grupach

	Rozpoznanie_4	N	Średnia	Odchylenie standardowe	P
a_F1	grupa kontrolna	41	841,046	122,8546	0,002*
	guzki	18	730,956	118,3039	
a_devF1	grupa kontrolna	41	63,685	38,1532	0,053*
	guzki	18	87,739	53,0087	
a_F2	grupa kontrolna	41	1386,483	84,8752	0,019*
	guzki	18	1319,411	123,4199	
a_devF2	grupa kontrolna	41	90,088	69,8809	0,215
	guzki	18	114,506	66,4182	
a_F3	grupa kontrolna	41	2866,512	288,1089	0,916
	guzki	18	2874,989	267,3384	
a_devF3	grupa kontrolna	41	234,849	167,7122	0,410
	guzki	18	278,189	219,7525	
a_F4	grupa kontrolna	41	3832,641	242,1894	0,014*
	guzki	18	4007,328	246,0673	
a_devF4	grupa kontrolna	41	219,910	130,5779	0,110
	guzki	18	284,011	159,4024	

Natomiast porównując formanty głoski „e” zauważono statystycznie istotne różnice między grupą kontrolną a badaną dla formantu pierwszego (p=0,002) i czwartego (p=0,039). Rycina 6 przedstawia rozkład średnich częstotliwości pierwszego formantu głoski „e” w obu grupach.

Analizując średnie położenie formantów głoski „o” w grupie kobiet z głosem prawidłowym i grupie nauczycielek z guzkami zaobserwowano różnice istotne statystycznie dla formantu pierwszego o_F1 i drugiego o_F2 (tab. III).

Dla głosek wysokich nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy grupami, poza czwartym formantem F4 głoski „i”. Analogicznie, porównując analizę formantową wystandaryzowanego zdania pomiędzy grupą eufonicznych kobiet a badaną grupą nauczycielek z dysfoniami zawodowymi znaleziono statystycznie istotną różnicę tylko w średnim położeniu formantu czwartego F4.



Ryc. 6. Wykres skrzynkowy przedstawiający rozkład pierwszego formantu głoski „e”: e_F1 w grupie kontrolnej i badanej

W grupie nauczycielek maksymalny czas fonacji – MCF był znacznie poniżej normy i wynosił średnio 8,9 s. Analizując w tej grupie korelację między MCF, a poszczególnymi formantami zaobserwowano dodatnią korelację dla częstotliwości pierwszego formantu głoski „a”: a_F1 (współczynnik Pearsona: 0,346 przy p=0,008), także dla e_F1 (współczynnik Pearsona: 0,450 przy p=0,000) oraz dla o_F1 (współczynnik Pearsona: 0,341 przy p=0,009). Natomiast stwierdzono odwrotną (ujemną) korelację między MCF a odchyleniem standardowym a_devF1 (współczynnik Pearsona: -0,292 przy p=0,028), czyli im krótszy czas fonacji tym większe rozproszenie energii akustycznej w obrębie pasma częstotliwości pierwszego formantu głoski „a”.

Tabela III. Porównanie formantów głoski „o” w grupie kontrolnej (n=41) i badanej (n=18) z oznaczeniem istotności statystycznej (p) w tych grupach

	Rozpoznanie_4	N	Średnia	Odchylenie standardowe	P
o_F1	grupa kontrolna	41	602,932	101,1207	0,033*
	guzki	18	539,200	106,9162	
o_devF1	grupa kontrolna	41	48,122	35,3613	0,150
	guzki	18	64,122	45,7004	
o_F2	grupa kontrolna	41	1061,632	100,5795	0,050*
	guzki	18	1007,772	81,1514	
o_devF2	grupa kontrolna	41	76,200	65,3200	0,146
	guzki	18	110,072	109,9072	
o_F3	grupa kontrolna	41	2860,027	210,4382	0,120
	guzki	18	2946,711	148,2546	
o_devF3	grupa kontrolna	41	143,968	101,7339	0,070
	guzki	18	199,828	117,8691	
o_F4	grupa kontrolna	41	3797,139	227,0884	0,742
	guzki	18	3821,039	311,4188	
o_devF4	grupa kontrolna	41	173,883	91,7013	0,072
	guzki	18	241,867	140,8371	

DYSKUSJA

W przedstawionym badaniu przeprowadzono ocenę formantów samogłosek oraz zdania w grupie kobiet z głosem prawidłowym oraz porównano ją z formantami pilotażowej grupy nauczycielek z miękkimi guzkami głosowymi.

Guzki głosowe, powszechnie uznawane są za typową chorobę krtani o podłożu zawodowym, są efektem wadliwej emisji głosu (np. posługiwania się głosem zbyt wysokim lub o dużym natężeniu, hipotonią i niewydolnością narządu głosu, zaburzeniami jego koordynacji). W wyniku działania sił wibracyjnych podczas nieprawidłowej fonacji dochodzi do uszkodzenia blaszki właściwej błony podstawnej fałdu głosowego – zgrubienie podnabłonkowe zlokalizowane na granicy 1/3 przedniej i środkowej długości wolnego brzegu fałdu głosowego. Mimo że makroskopowo zmiany te są przeważnie wielkości główki od szpilki, to mogą powodować znaczną dysfonię. W pierwszym stadium choroby w przebiegu dysfonii czynnościowej występują guzki głosowe miękkie. Objawy często ustępujące spontanicznie po pewnym okresie spokoju głosowego, są bardzo podatne na rehabilitację głosu. Przy dalszym działaniu niekorzystnych czynników dochodzi do podnabłonkowego bliznowacenia i wtórnego przerostu nabłonka. Powstają wówczas guzki twarde, które nie tak łatwo poddają się rehabilitacji foniatrycznej, często wymagają leczenia mikrochirurgicznego [16].

Początkowo obraz kliniczny w tej jednostce chorobowej podlega znacznym fluktuacjom. W badaniu wideostroboskopowym widoczne jest zwarcie fonacyjne w kształcie klepsydry, co często jest spowodowane przednio-tylnym skurczem krtani podczas fonacji: nalewki są pociągane do przodu, a szypuła nagłośni do tyłu, zasłaniając przednie spoidło (obraz dysfonii hyperfunkcjonalnej typu III wg Koufmana) [2]. Do powstawania guzków głosowych mogą przyczyniać się też inne nieprawidłowe mechanizmy fonacyjne, a guzki miękkie, jako efekt ich dekompensacji, nie zawsze powodują na początku duże zaburzenia głosu. Z tego powodu ich zdiagnozowanie może nastroczać problemy, nawet w badaniach laboratoryjnych, takich jak laryngowideostroboskopia czy analiza akustyczna, ze względu na subtelność zmian i zmienność obrazów krtani czy spektrogramów.

Ostatnio zwraca się na rolę analizy formantowej w diagnozowaniu dysfonii czynnościowych [17-20]. Jak podaje Obrębowski i wsp. formanty są niezależne od wysokości i barwy dźwięku głośniowego [14]. Poszczególne samogłoski rozpoznawane są poprzez położenie pierwszego i drugiego formantu. Pozostałe formanty natomiast charakteryzują indy-

widualnych mówców. Z tego powodu w diagnostyce zaburzeń głosu mają znaczenie pierwsze dwa formanty. W badaniach własnych porównano średnie wartości częstotliwości formantów i ich odchylenia standardowe dla poszczególnych samogłosek w grupie kontrolnej eufonicznych kobiet i grupie pilotażowej nauczycielek z miękkimi guzkami śpiewaczymi. Zaobserwowano różnice w położeniu pierwszego formantu F1 samogłosek: „a” ($p=0,002$); „e” ($p=0,002$); „o” ($p=0,033$), czyli tzw. samogłosek niskich i średnich. Stwierdzono także różnice istotne statystycznie między grupą kontrolną i badaną dla drugiego formantu F2 głoski „a” ($p=0,019$) oraz głoski „o” ($p=0,050$).

W schemacie położenia narządów artykulacyjnych podczas formułowania samogłosek, czyli tzw. trójkącie samogłoskowym, najniżej położona jest nasada języka podczas artykułowania samogłoski „a” (tzw. samogłoska niska), nieco wyżej głoska „e” i „o” (tzw. samogłoski średnie). Właśnie w pierwszych formantach tych samogłosek zauważono różnice między grupą kobiet z głosem eufonicznym a grupą nauczycielek z guzkami głosowymi miękkimi, uznawanymi powszechnie za jeden z rodzajów dysfonii czynnościowej. Położenie formantów decyduje nie tylko o cechach akustycznych nasady czyli barwie głosu, ale ma wpływ i znaczenie w ocenie chrypki. Według Unii Europejskich Foniatorów (UEF) chrypka jest to zjawisko akustyczne powstające jako efekt nieprawidłowej wibracji fałdów głosowych, połączonej ze szmerem powietrza nieregularnie, turbulentnie przechodzącego przez głośnię [1]. Yanagihara na podstawie badań analitycznych i syntetycznych, oparł ocenę stopnia chrypki na znajomości pasm formantowych samogłosek czyli zakresów częstotliwości o wzmocnionej energii akustycznej. Jak podaje Maniecka i wsp., test Yanagihary jest szczególnie przydatny w ocenie wydolności głosowej osób pracujących w zawodach związanych z wysiłkiem głosowym [21].

Ocena pasm formantów zostały wyparte poprzez krótkoterminową analizę akustyczną z oceną parametrów oceniających względną zmianę częstotliwości (Jitter, RAP, PPQ), względną zmianę amplitudy (Shimmer, APQ), stosunek szumu do sygnału (NHR), czy parametrów harmonicznymi [22,23]. Takie stanowisko rzeczy wydaje się jednak niesłuszne, ponieważ ocena obszarów formantowych i ocena składowych harmonicznymi daje istotne informacje o niedostatecznym zamknięciu głośni w cyklu wibracyjnym, które jest zasadniczym warunkiem w mechanizmie powstawania chrypki. Tym bardziej, że aktualne oprogramowania do analizy akustycznej głosu dają możliwość nie tylko oceny jakościowej formantów i ich wzajemnego położenia,

ale też dostarczają obiektywne informacje dotyczące ich średniej częstotliwości i stopnia „rozproszenia” [24].

Obserwacje dotyczące pasm częstotliwościowych pierwszych formantów mogą się okazać niezwykle przydatne w ocenie subtelnych zmian pracy traktu głosowego w dysfoniach czynnościowych i ich wczesnej diagnostyce. Jak podaje Dromey i wsp. u pacjentów z dysfonią hyperfunkcjonalną szczególne znaczenie ma położenie formantu drugiego [25]. Badali oni pierwsze formanty w dyftongach, czyli dwugłoskach: „ai” i „ei” w mowie ciągłej. Wg tych autorów zaobserwowane nieprawidłowości w obszarze drugiego formantu w dysfonii hyperfunkcjonalnej można wiązać z przypuszczeniem, że napięcie mięśni okolicy krtani prowadzi do redukcji ruchomości kości gnykowej, co ma wpływ na położenie języka i żuchwy podczas fonacji i artykulacji. Badacze ci uważają, że wyjaśnienie wzajemnych relacji między zmianami formantów F1 i F2 w interakcji poszczególnych elementów traktu głosowego jest bardzo istotne. Przykładem takich relacji może być znaleziona w badaniach własnych zależność między położeniem F1 samogłosek niskich i średnich a maksymalnym czasem fonacji – obiektywnym parametrem aerodynamicznym, istotnym dla wydolności narządu głosu.

Natomiast Mathieson i wsp. podkreślają, że oprócz oceny częstotliwości poszczególnych formantów równie ważne jest określenie ich odchylenia standardowego, mierzącego stopień rozproszenia energii w pasmach częstotliwościowych formantów

[26]. Uważają odchylenie standardowe F1i F2 za bardzo czuły parametr, charakterystyczny dla dysfonii czynnościowych. W obserwacjach własnych w grupie badanej odchylenie standardowe F1 głoski „a”, było większe niż w grupie kontrolnej ($p=0,05$). Wg Mathieson i wsp. parametr ten może odgrywać rolę we wczesnej diagnostyce dysfonii czynnościowych, a także w monitorowaniu skuteczności ich terapii. Tym bardziej ma to znaczenie ze względu na istotę dysfonii czynnościowych, które nieprawidłowo leczone, mogą przejść w zmiany organiczne krtani, powodując nieodwracalne zmiany w narządzie głosu.

Reasumując, porównanie położenia formantów samogłosek w grupie kontrolnej oraz w grupie pilotażowej z guzkami śpiewaczymi wykazało istotne różnice przede wszystkim dla pierwszych formantów samogłosek niskich i średnich. Wyniki pracy wskazują na różnice istotne statystycznie dla pierwszego formantu głoski „a”, „e” i „o” oraz drugiego formantu głoski „a” i „o”, a także odchylenia standardowego pierwszego formantu głoski „a”. Badanie obszarów formantów daje cenne informacje o zmianach w barwie głosu, które mogą być jednym z pierwszych objawów dysfonii czynnościowych o podłożu zawodowym. Obserwacje te wymagają dalszych badań na szerszej grupie osób z różnymi rodzajami dysfonii.

Badania realizowano w ramach zadania badawczego IMP 18.6/2009 finansowanego w ramach dotacji na działalność statutową

Piśmiennictwo

- Dejonckere PH. Occupational voice-care and cure. Kugler Publications, The Hague, The Netherland 2001.
- Rubin JS, Satalof RT, Korovinn GS. Diagnosis and treatment of voice disorders. Thomson Delmar Learning, New York 2003.
- Vilkman E. Occupational safety and health aspects of voice and speech professions. *Folia Phoniatr Logop* 2004; 56(4): 220-53.
- Lehto L, Laaksonen L, Vilkman E, Alku P. Occupational voice complaints and objective acoustic measurements – do they correlate? *Logopedics Phoniatics Vocology* 2006; 31(4): 147-52.
- Ma EPM, Yiu E ML. Multiparametric evaluation of dysphonic severity. *J Voice* 2006; 20(3): 380-90.
- Zalaska-Kręcicka M, Kręcicki T, Wierzbicka E. Głos i jego zaburzenia, zagadnienia higieny i emisji głosu. Polskie Stowarzyszenie Pedagogów Śpiewu, Akademia Muzyczna im. Karola Lipińskiego we Wrocławiu, Katedra Wokalistyki, Wrocław 2004.
- Dejonckere PH, Crevier-Buchman L, Marie JP, Moerman M, Remacle M, Woisard V. Interpretation of the European Laryngological Society (ELS) basic protocol for assessing voice treatment effect. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 2003; 124: 279-83.
- Awan SN, Roy N. Acoustic prediction of voice type in women with functional dysphonia. *J Voice* 2005; 19(2): 268-82.
- Laukkanen AM, Ilomäki I, Leppänen K, Vilkman E. Acoustic Measures and self-reports of vocal fatigue by female teachers. *J Voice* 2006; 22(3): 283-9.
- Niebudek-Bogusz E, Fiszer M, Kotyło P, Śliwińska-Kowalska M. Diagnostic value of a voice acoustic analysis in assessment of occupational voice pathologies in teachers. *Logop Phoniatr Vocol* 2006; 31, 100-106.
- Laukkanen AM, Jarvinen K, Artkowski M, Waaramaa T, Kankare E, Sipola 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: 335-46.

12. Dejonckere PH, Lebacqz J. Harmonic emergence in formant zone of a sustained [a] as a parameter for evaluating hoarseness. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 1987; 41(6): 988-96.
13. Perrin E, Berger-Vachon C, Kauffmann I. Acoustical recognition of laryngeal pathology using the fundamental frequency and the first three formants of vowels. *Med Biol Eng Comput* 1997; 35(4): 361-8.
14. Obrębowski A. Narząd głosu i jego znaczenie w komunikacji społecznej. Poznań 2008.
15. Styczek I. Logopedia. PWN Warszawa, 1980.
16. Sataloff RT. Treatment of voice disorders. Plural Publishing, Inc San Diego Oxford, 2005.
17. Kaczmarek A. Analiza sygnału mowy w foniatryi. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG, 2006; 22.
18. Kazi RA, Prasad VM, Kanagalingam J, Nutting ChM, Clarke P, Rhys-Evans P, Harrington KJ. Assessment of the formant frequencies in normal and laryngectomized individuals using linear predictive coding. *J Voice* 2007; 21(6): 661-8.
19. Podemski R, Słotwiński K, Gurański K, Budrewicz S. Wpływ niedokrwiennego uszkodzenia dominującej półkuli mózgu w obszarze jąder podstawy na zmienność akustycznych parametrów mowy. *Udar Mózgu* 2006; 8(1): 16-21.
20. Gurański K, Słotwiński K, Podemski R. Prozodia mowy w niedokrwiennym udarze mózgu. *Udar Mózgu* 2008; 10(2): 96-103.
21. Maniecka-Aleksandrowicz B, Domeracka-Kołodziej A. Dysfonia i chrypka. *Magazyn Otolaryngologiczny* 2004; 1(9): 17-25.
22. Speyer R, Wieneke GH, Dejonckere PH. Documentation of progress in voice therapy: perceptual, acoustic, and laryngostroboscopic findings pretherapy and posttherapy. *J Voice* 2004; 18(3): 325-40.
23. Vintturi J, Alku P, Lauri ER, Sala E, Sihvo M, Vilkman I. Objective analysis of vocal warm-up with special reference to ergonomic factors. *J Voice* 2001; 15(1): 36-53.
24. Seidner W, Schutte HK, Nawka T, Eichhorst P. Practical significance of measuring high formant spectra in phoniatric voice assessment. *Laryngo Rhino Otologie* 1995; 74(4): 254-8.
25. Dromey Ch, Merrill RM, Nelson R, Nissen SL. Articulatory changes following treatment of muscle tension dysphonia: preliminary acoustic evidence. *J Speech Language Hear Res* 2008; 51: 196-208.
26. Mathieson L, Hirani SP, Epstein R, Baken RJ, Wood G, Rubin JS. Laryngeal Manual Therapy: A preliminary study to examine its treatment effects in the management of muscle tension dysphonia. *J Voice* 2007; 23(3): 353-66.