

# Wpływ niedokrwiennego uszkodzenia dominującej półkuli mózgu w obszarze jąder podstawy na zmienność akustycznych parametrów mowy

Influence of ischaemic lesion of left hemisphere in the region of basal ganglia on the variability of acoustic parameters of speech

Ryszard Podemski, Krzysztof Słotwiński, Konstanty Gurański, Sławomir Budrewicz

Katedra i Klinika Neurologii Akademii Medycznej we Wrocławiu

## Streszczenie

**Wstęp.** Obszar jąder podkorowych dominującej półkuli mózgu posiada liczne połączenia z korą kojarzeniową płata czołowego, która ma strategiczne znaczenie dla programowania mowy, tworzenia wzorców językowych i artykulacyjnych. Udar niedokrwienno obejmujący jądra podkorowe może być przyczyną zaburzeń afatycznych (afazja podkorowa), nie jest również wykluczony wpływ ogniska naczyniowego w tym obszarze na formowanie dźwięków mowy i zmienność jej parametrów fizycznych. Założeniem pracy jest charakterystyka częstotliwości tonu podstawowego i formantów  $F_1$ – $F_4$  samogłoski „a”, wymawianej przez chorych z ogniskowym niedokrwieniem w obszarze jąder podkorowych lewej półkuli mózgu.

**Materiał i metody.** U 28 praworęcznych chorych, 16 kobiet i 12 mężczyzn, w wieku od 50 do 63 lat (śr. 54,2 roku), z niedokrwieniem uszkodzeniem lewej półkuli mózgu w obszarze jąder podstawy, oraz u 30 zdrowych osób w wieku średnio 52,7 roku (grupa kontrolna) przeprowadzono analizę mowy z wykorzystaniem komputerowego programu „Iris”. Z badań wykluczono chorych z afazją i zaburzeniami dyzartrycznymi. Analizie poddano fonowaną w czasie 5 sekund samogłoskę „a”. Oceniano stabilność tonu podstawowego oraz formantów  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ , poddając uzyskane wyniki analizie statystycznej za pomocą programu „a-nova”.

**Wyniki.** Rozrzut częstotliwości formantów  $F_2$ – $F_4$  u chorych z niedokrwieniem uszkodzeniem lewej półkuli mózgu był istotnie większy w porównaniu z grupą kontrolną. Parametry tonu podstawowego ( $F_0$ ) oraz formantu  $F_1$  nie różniły się istotnie w obydwu grupach.

**Wnioski.** Niedokrwienne uszkodzenie mózgu w obszarze jąder podkorowych dominującej półkuli mózgu prowadzi do desynchronizacji składowych dźwięków mowy w zakresie formantów  $F_2$ – $F_4$ , powodując ich nadmierne rozproszenie w zakresie różnych częstotliwości. Zmiany te nie ujawniają się klinicznie — można je natomiast wykazać za pomocą komputerowej analizy sonograficznej. Uzyskane wyniki badań mogą wskazywać na upośledzenie ośrodkowych mechanizmów modulujących strukturę dźwięków mowy u chorych z niedokrwieniem uszkodzeniem lewej półkuli mózgu w obszarze jąder podkorowych.

*Słowa kluczowe:* udar mózgu, jądra podstawy, analiza akustyczna mowy

## Abstract

**Introduction.** The basal ganglia of the dominant brain hemisphere have numerous connections with associating frontal lobe cortex, which has a strategic importance for the programming of the speech, the linguistic and articulation patterns creation. The ischaemic stroke involving basal ganglia can cause aphasic speech disturbances (the subcortical aphasia); the influence of the subcortical lesion on the creation and variability of speech sounds could not be excluded. The aim of the study is the fundamental frequency ( $F_0$ ) and formants  $F_1$ – $F_4$  estimation of vowel “a” in patients with basal ganglia ischaemic lesion in dominant for speech cerebral hemisphere.

**Material and methods.** The study comprised 28 right-handed patients (16 women, 12 men; mean age 54,2 years), with ischaemic lesion involving basal ganglia in the left hemisphere and 30 healthy persons (mean age 52,7 years). Computer speech analysis was performed in all persons using acoustic program “Iris”. Patients with aphasia and dysarthria were excluded. A vowel “a” pronounced for 5 s was analyzed. Fundamental frequency ( $F_0$ ) and and formants  $F_1$ – $F_4$  variation were analyzed.

**Results.** Dispersion of formants  $F_2$ – $F_4$  frequencies was significantly higher in patients with ischaemic lesion in left hemisphere in comparison to the controls. Fundamental frequency  $F_0$  and  $F_1$  formant showed similar stability in the both groups.

## Adres do korespondencji:

Prof. dr hab. med. Ryszard Podemski  
Katedra i Klinika Neurologii AM we Wrocławiu  
ul. Traugutta 118, 50–420 Wrocław  
tel. 071 342 49 19  
e-mail: profpro@neurolog.am.wroc.pl  
Praca wpłynęła do Redakcji: 15 maja 2006 r.  
Zaakceptowano do druku: 8 czerwca 2006 r.

**Conclusions.** Lesion in subcortical structures in dominant brain hemisphere cause desynchronization of vowel formants speech components (formants  $F_2$ – $F_4$ ), resulting in their higher dispersion within the range of various frequencies. Obtained results suggest that acoustic parameters of speech sounds depend also on central mechanisms of speech.

**Key words:** stroke, basal ganglia, acoustic speech analysis

## Wstęp

Podstawowym parametrem akustycznym dźwięków mowy jest ton podstawowy ( $F_0$ ), o określonej dla płci i wieku charakterystyce częstotliwościowej. Pozostałymi składowymi struktury mowy są formanty  $F_1$ – $F_4$ , określające barwę i indywidualny charakter głosu. Formanty  $F_1$  i  $F_2$  odgrywają ponadto szczególną rolę w artykulacyjnej ekspresji samogłosek. Ostateczny kształt uformowanego dźwięku mowy jest wprawdzie determinowany przez właściwości wykonawczego aparatu głosowego (budowa krtani, rezonatory, sprawność strun głosowych i mięśni artykulacyjnych), jednak w dużym stopniu zależy od czynności programujących ośrodkowego układu nerwowego i warunków transmisji bodźców w obszarze korowo-podkorowym, w pniu mózgu, nerwach oraz w synapsach nerwowo-mięśniowych (ryc. 1).

Właściwym narzędziem do obiektywnej, precyzyjnej oceny parametrów mowy jest komputerowa analiza akustyczna, dzięki której niemożliwe do rozróżnienia za pomocą słuchu elementy ekspresji werbalnej można identyfikować i porównywać [1]. W większości dotychczasowych badań, przeprowadzonych z zastosowaniem tej metody, zwracano przede wszystkim uwagę na ośrodkowe uwarunkowania parametrów tonu podstawowego, pomijając charakterystykę formantów [2–4].

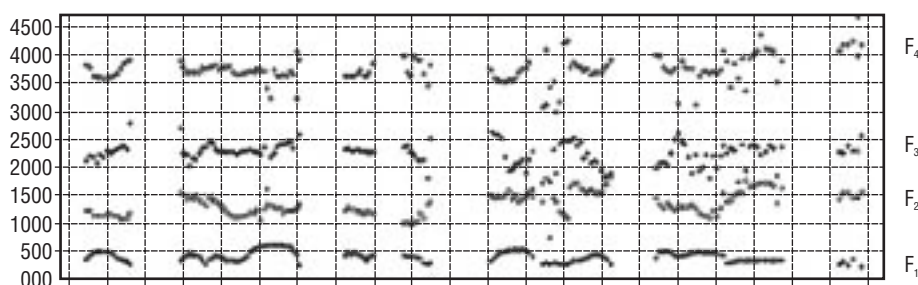
Założeniem prezentowanej pracy jest charakterystyka częstotliwości tonu podstawowego i formantów  $F_1$ – $F_4$  przy wymawianiu samogłoski „a” u chorych z niedokrwiennym uszkodzeniem dominującej dla mowy lewej półkuli mózgu, w ob-

szarze jąder podkorowych. Dzięki licznym połączeniom jąder podkorowych ze strategicznymi dla programowania mowy obszarami kory kojarzeniowej płata czołowego odgrywają one istotną rolę w tworzeniu wzorców językowych i artykulacyjnych. Podkorowe zaburzenia mowy nie są jednak częstym przedmiotem badań klinicznych, a ich mechanizm nadal pozostaje niejasny.

## Materiał i metody

Badania przeprowadzono u 28 chorych (16 kobiet i 12 mężczyzn) w wieku od 50 do 63 lat (śr. 54,2 roku), z rozpoznaniem udaru niedokrwiennego, obejmującego jądra podstawy lewej półkuli mózgu. Lokalizację ogniska ustalano na podstawie badania tomokomputerowego (CT, *computed tomography*) głowy. Z badanej grupy wykluczono chorych z wieloogniskowymi lub przebytymi wcześniej zmianami naczyniopochodnymi mózgowia. U wszystkich chorych przeprowadzono rutynowe badania neurologiczne, logopedyczne oraz testy neuropsychologiczne (*Goodglass-Kaplan Scale*, *Token-Test*) [5, 6] w celu wykluczenia afazji i dysartrii. Grupa kontrolna obejmowała 30 osób, dobranych odpowiednio pod względem płci i wieku, bez klinicznych cech uszkodzenia układu nerwowego.

Badanie akustyczne mowy przeprowadzono w pierwszym tygodniu od wystąpienia objawów udaru mózgu. Zadanie testowe polegało na fonacji samogłoski „a” podczas jednego wydechu. Stała odległość mikrofonu od ust wynosiła 2 cm. Użyte próbki nagrań poddano analizie za pomocą oryginalnego, dotyczącego mowy, programu kom-



**Rycina 1.** Spektralny obraz przebiegu formantów  $F_1$ – $F_4$  podczas wypowiedzania zdania („konservator uszczelnia kaloryfer”)

**Figure 1.** The spectral view of formants  $F_1$ – $F_4$  during expressing of the sentence (“the conservator makes water-tight the radiator”)

puterowego „Iris”. Oceniano 5-sekundowy odcinek nagrania, począwszy od 2. sekundy. Nie brano pod uwagę 1. sekundy nagrania, ze względu na możliwość niestabilności głosu na początku fonacji. Analizowano średnie wartości oraz odchylenia standardowe wartości średnich tonu podstawowego ( $F_0$ ) i formantów ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ), które odzwierciedlały ich zmienność. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu komputerowego „a-nova”.

### Wyniki

Parametry średniej częstotliwości oraz zmienności tonu podstawowego i formantów w grupie chorych z naczyniowym uszkodzeniem dominującej półkuli mózgu w obszarze jąder podkorowych i grupie kontrolnej przedstawiono w tabeli I.

Średnia zmienność częstotliwości formantów  $F_2, F_3$  i  $F_4$  była istotnie większa w grupie chorych w porównaniu z grupą kontrolną i wynosiła odpowiednio: 169,43 Hz i 60,87 Hz; 287,12 Hz i 115,33 Hz; 269,51 Hz i 123,55 Hz (ryc. 2–4). Pozostałe ana-

lizowane parametry częstotliwościowe, czyli średnia częstotliwość tonu podstawowego i formantów  $F_1$ – $F_4$  oraz zmienność przebiegu formantów  $F_0$  i  $F_1$ , nie różniły się istotnie w obu badanych grupach (ryc. 2–6).

### Omówienie

Publikacje na temat akustycznego spektrum mowy w schorzeniach ośrodkowego układu nerwowego są nieliczne. Doyle i wsp. [7] oraz Zwirner i wsp. [8] zwrócili uwagę na niestabilność tonu podstawowego i formantu  $F_1$  podczas fonacji samogłosek u pacjentów z dyzartrią pozapiramidową w przebiegu choroby Parkinsona. Kent i wsp. [9], w grupie 22 chorych z naczyniowym uszkodzeniem mózgu i dyzartrią, stwierdzili zwiększony zakres zmienności tonu podstawowego w porównaniu z osobami zdrowymi.

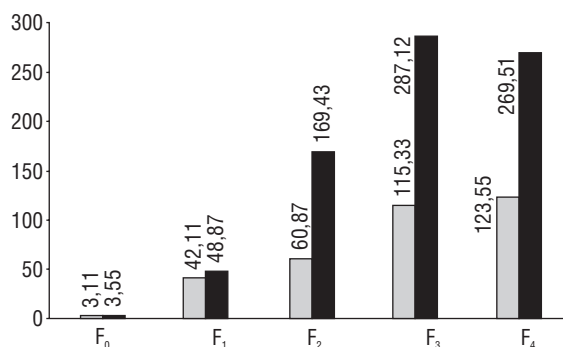
W swoich badaniach autorzy wykazali, że fizjologiczna stabilność tonu podstawowego oraz formantu  $F_1$  u chorych z niedokrwiennym uszkodzeniem dominującej półkuli mózgu w obszarze podkorowym nie ulega istotnym zmianom.

Tabela I. Średnie wartości częstotliwości oraz jej zmienność w zakresie tonu podstawowego ( $F_0$ ) oraz formantów  $F_1$ – $F_4$  w grupie kontrolnej oraz w grupie pacjentów z naczyniopochodnym uszkodzeniem mózgu, podczas fonowania głoski [a] (\*wartości istotne statystycznie)

Table I. The mean variability of the fundamental frequency ( $F_0$ ) and formants  $F_1$ – $F_4$  in the control group and in the patients with ischemic brain lesion in vowel [a] fonation (\*the statistically significant difference)

	Grupa kontrolna Control group			Pacjenci Patients			p
	x	M	SD	x	M	SD	
$F_0$ średnie $F_0$ mean	111,1	107,0	15,0	110,12	103,0	17,2	0,774
$F_0$ zmienne $F_0$ dev	3,11	1,47	1,81	3,55	1,98	2,82	0,311
$F_1$ średnie $F_1$ mean	559,6	602,0	154,5	546,25	484,0	250,9	0,651
$F_1$ zmienne $F_1$ dev	42,11	27,0	47,6	48,87	61,0	77,2	0,077
$F_2$ średnie $F_2$ mean	1112,22	1136,0	115,1	1351,75	1194,0	451,3	0,228
$F_2$ zmienne $F_2$ dev	60,87	33,0	81,8	169,43	180,0	103,7	0,0271*
$F_3$ średnie $F_3$ mean	2532,8	2485,0	211,5	2800,25	2744,0	428,4	0,211
$F_3$ zmienne $F_3$ dev	115,33	106,0	67,8	287,12	188,0	197,5	0,0193*
$F_4$ średnie $F_4$ mean	3688,88	3637,0	207,3	3891,25	3817,0	439,0	0,397
$F_4$ zmienne $F_4$ dev	123,55	131,0	79,9	269,51	211,0	172,2	0,0426*

SD (standard deviation) — odchylenie standardowe



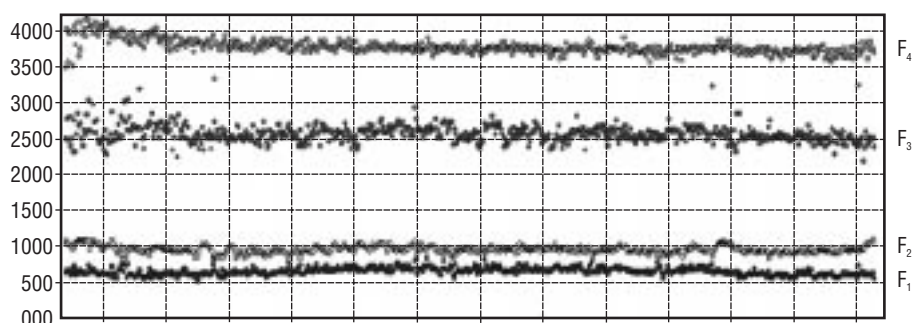
**Rycina 2.** Średnia zmienność tonu podstawowego  $F_0$  i formantów  $F_1$ – $F_4$  w grupie kontrolnej (kolor biały) i u pacjentów z naczyniopochodnym uszkodzeniem mózgu (kolor czarny)

**Figure 2.** The mean variability of the fundamental frequency  $F_0$  and formants  $F_1$ – $F_4$  in the control (the white colour) group and in the patients with ischemic brain lesion (the black colour)

Zmienność częstotliwości dotyczyła natomiast formantów  $F_2$ – $F_4$ . W przeciwieństwie do cytowanych wyżej autorów, w badaniach własnych autorzy niniejszej pracy wykluczili z grupy badanej chorych z dysartrią. Można więc przypuszczać, że na destabilizację wyższych formantów

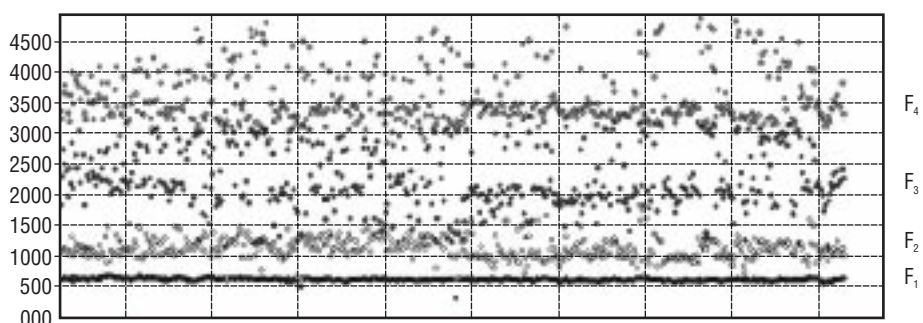
( $F_2$ – $F_4$ ) wpływają przede wszystkim mechanizmy ośrodkowe programujące mowę, które nie wiążą się bezpośrednio z kontrolą procesów artykulacyjnych. Wynika z tego również, że zaburzenia formowania mowy związane z niedokrwiennym uszkodzeniem jąder podstawy nie muszą powodować klinicznie uchwytanych zmian w artykulacji, ujawniają się natomiast w postaci destabilizacji formantów o wyższej częstotliwości w komputerowym badaniu mowy.

Interesującym zagadnieniem jest rola półkuli dominującej i niedominującej w kształtowaniu formantów dźwięków mowy. Laframboise i wsp. [10], po podaniu amytału sodu do lewej tętnicy szyjnej wewnętrznej u 2 chorych z padaczką, wykazali zmianę częstotliwości formantów  $F_1$  i  $F_2$ . Podanie amytału sodu do prawej tętnicy szyjnej spowodowało zmianę częstotliwości tylko formantu  $F_2$ . W badaniach własnych autorzy wykazali, że naczyniowe uszkodzenie lewej półkuli mózgu wywołuje zmianę zakresu częstotliwości (niestabilność) formantów  $F_2$ – $F_4$ , natomiast średnia częstotliwość tych formantów była podobna jak w grupie kontrolnej. Sugeruje to większy wpływ dominującej półkuli mózgu na kształtowanie struktury dźwięków mowy



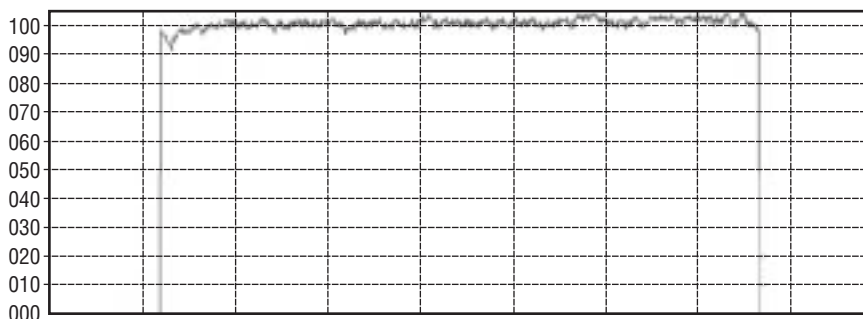
**Rycina 3.** Spektralny obraz przebiegu formantów  $F_1$ – $F_4$  podczas fonowania głoski [a] — osoba zdrowa

**Figure 3.** The spectral view of formants  $F_1$ – $F_4$  in vowel [a] fonation — the healthy person



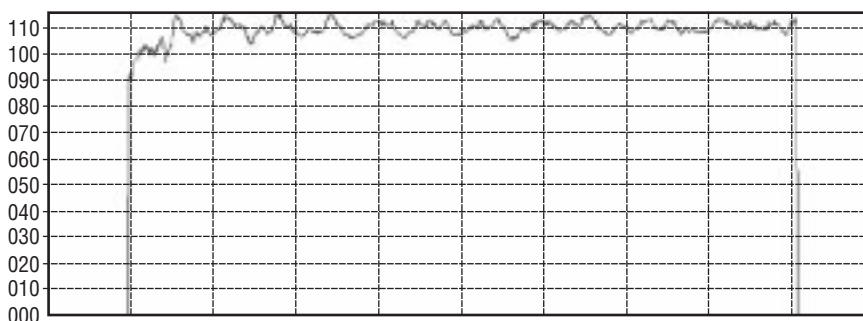
**Rycina 4.** Spektralny obraz przebiegu formantów  $F_1$ – $F_4$  podczas fonowania głoski [a] — pacjent z naczyniopochodnym uszkodzeniem mózgu (niestabilny przebieg formantów  $F_2$ – $F_4$ )

**Figure 4.** The spectral view of formants  $F_1$ – $F_4$  in vowel [a] fonation — patient with ischemic lesion (the instable course of formants  $F_2$ – $F_4$ )



Rycina 5. Krzywa przebiegu tonu podstawowego podczas fonowania głoski [a] — osoba zdrowa

Figure 5. The spectral view of fundamental frequency contour in vowel [a] fonation — the healthy person



Rycina 6. Krzywa przebiegu tonu podstawowego podczas fonowania głoski [a] — pacjent z naczyniopochodnym uszkodzeniem mózgu

Figure 6. The spectral view of fundamental frequency contour in vowel [a] fonation — the patient with ischemic lesion

niż miałyby to wynikać z dotychczasowych badań, przeprowadzonych w pojedynczych przypadkach. Na tym etapie badań nie można jeszcze odpowiedzieć na pytanie, czy stwierdzone zmiany w akustycznej ekspresji mowy są specyficzne dla uszkodzenia jąder podstawy w dominującej półkuli mózgu. Nie wiadomo także, jaki wpływ na kształtowanie formantów mają inne obszary półkuli dominującej, a także struktury podkorowe w półkuli niedominującej. Wyniki badań Cancelliere i wsp. [11] dotyczące prozodii, czyli pozawerbalnych elementów mowy, mogą wskazywać na udział struktur podkorowych obu półkul mózgu w kształtowaniu tonu podstawowego, który nadaje sekwencjom słów i zdań odpowiednie znaczenia: lingwistyczne i emocjonalne.

Podsumowując uzyskane wyniki badań własnych oraz doniesienia z piśmiennictwa, można stwierdzić, że udział jąder podstawy lewej półkuli mózgu w procesie tworzenia i modulacji dźwięków mowy jest niewątpliwy. Przedstawione rezultaty pracy mogą stanowić podstawę do dalszych badań nad możliwością klinicznego zastosowania akustycznej analizy mowy w moni-

torowaniu przebiegu i leczenia chorych po udarze mózgu.

### Wnioski

1. Ognisko niedokrwienne w obszarze jąder podkorowych dominującej półkuli mózgu powoduje destabilizację częstotliwości formantów o wyższej częstotliwości ( $F_2$ – $F_4$ ), przy zachowanej stabilności parametrów tonu podstawowego i formantu  $F_1$ . Zmiany te są klinicznie niejawne — można je wykazać jedynie za pomocą sonograficznej analizy komputerowej.
2. Struktura dźwięków mowy, również w odniesieniu do podstawowych parametrów fizycznych, podlega kontroli mechanizmów ośrodkowych i ulega zmianie w przebiegu udaru mózgu z uszkodzeniem jąder podkorowych dominującej półkuli mózgu.
3. Komputerowa analiza mowy może znaleźć kliniczne zastosowanie w monitorowaniu procesu reintegracji mechanizmów mowy u chorych po udarze mózgu.

## Piśmiennictwo

1. Basztura C., Podemski R.: Usefulness of the acoustic speech signal information in the nervous system evaluation. *Arch. of Acoustic* 1996, 21, 1, 3–13.
2. Kent R., Vorperian H., Duffy J.: Reliability of the Multi-Dimensional Voice Program for the analysis of voice samples of subjects with dysarthria. *Am. J. of Speech-Language Pathology* 1999, 8, 129–136.
3. Holmes R., Oates J., Phyland D. i wsp.: Notes and discussion. Voice characteristics in the progression of Parkinson's disease. *Int. J. Lang. Commun. Disord.* 2000, 35, 407–418.
4. Kent R., Kent J., Rosenbek J. i wsp.: A speaking task analysis of the dysarthria in cerebellar disease. *Folia Phoniatica Logopaedica* 1997, 49, 63–82.
5. Goodglass H., Kaplan E.: *The assessment of aphasia and related disorders*. Lea and Febiger, Philadelphia 1972.
6. De Renzi E., Vignolo L.A.: The token test: A sensitive test to detect receptive disturbances in aphasics. *Brain* 1962; 85: 665–678.
7. Doyle P., Raade A., Pierre A. i wsp.: Fundamental frequency and acoustic variability associated with production of sustained vowels by speakers with hypokinetic dysarthria. *Journal of Medical Speech-Language Pathology* 1995, 3, 41–50.
8. Zwirner P., Barnes G.: Vocal tract steadiness: A measure of phonatory and upper airway motor control during phonation in dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Research* 1992, 35, 761–768.
9. Kent R., Vorperian H., Kent J. i wsp.: Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program. *Journal of Communication Disorders* 2003, 36, 281–306.
10. Laframboise M., Snyder J., Cohen H.: Cerebral hemispheric control of speech during the intracarotid sodium amytal procedure: An acoustic exploration. *Brain Lang.* 1997, 15, 243–254.
11. Cancelliere A., Kertesz A.: Lesion location in acquired deficits of emotional expression and comprehension. *Brain Cogn.* 1990, 13, 133–147.