

Przesłano do redakcji:
24.09.2024
Zaakceptowano po recenzji:
8.10.2024
Opublikowano:
30.12.2024

Analiza porównawcza parametrów akustycznych głosu u dzieci i dorosłych z częściową głuchotą (PD)

Comparative analysis of acoustic voice parameters in children and adults with partial deafness (PD)

Wkład autorów:
A Projekt badania
B Gromadzenie danych
C Analiza danych
D Interpretacja danych
E Przygotowanie pracy
F Przegląd literatury
G Gromadzenie funduszy

Karol Myszel^{1B-F} , Agata Szkiełkowska^{2AD} 

¹ Wielkopolskie Centrum Słuchu i Mowy Medincus, Konin

² Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Klinika Audiologii i Foniatrii, Warszawa/Kajetany

Streszczenie

Wprowadzenie: Badania dotyczące wpływu niedosłuchu na jakość głosu prowadzone są od wielu lat w ośrodkach na całym świecie. Liczne publikacje wskazują, że zaburzenia kontroli słuchowej głosu u pacjentów z zaburzeniami słuchu prowadzą do dysfunkcji głosu o charakterze czynnościowym. Od około 20 lat przedmiotem wielu badań naukowych jest częściowa głuchota (PD). Jednym z obszarów tych badań jest jej wpływ na jakość głosu pacjentów. Niniejsza praca przedstawia wyniki pierwszych na świecie szczegółowych analiz tego zagadnienia.

Materiał i metody: Grupę badaną stanowili pacjenci Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu (IFPS) w Warszawie w latach 2014–2021. Analizie poddano parametry akustyczne głosu 44 dzieci z częściową głuchotą prelingwalną w wieku 7–12 lat. Następnie przeanalizowano głos 25 osób dorosłych z częściową głuchotą postlingwalną. Próbkę głosu analizowano za pomocą programu MDVP firmy Kay Elemetrics.

Wyniki: Częściowa głuchota powoduje zmiany w parametrach akustycznych głosu u dzieci i dorosłych. W obu badanych grupach stwierdzono odchylenia w zakresie parametrów opisujących zmiany częstotliwości (vF0), amplitudy (vAm, sAPQ) oraz obecność szumu. Różnice między dziećmi i dorosłymi dotyczyły częstotliwości podstawowej (F0) oraz wskaźnika dyskretnej fonacji (SPI), które u osób dorosłych nie wykazywały zmian istotnych statystycznie w stosunku do grupy kontrolnej. Jednakże u dorosłych zmiany istotne statystycznie dotyczyły większej liczby parametrów, wykazując wzrost Jita, Jitt, APQ, sAPQ, Shim, ShdB, RAP, PPQ, sPPQ, DSH, NSH i DUV.

Wnioski: Większa liczba parametrów ulegających istotnym zmianom u dorosłych wynika z dłuższego czasu trwania deprywacji słuchowej w porównaniu do znacznie krótszego okresu deprywacji u dzieci. U dzieci wartości i kierunki zmian parametrów akustycznych wykazywały zmienność o charakterze mniej regularnym. Wynika to z faktu, że u dzieci z częściową głuchotą w grupie wiekowej 7–12 lat rozwój struktury akustycznej głosu jest opóźniony w stosunku do grupy dzieci prawidłowo słyszających. Badanie obejmowało dzieci na różnych etapach rozwoju głosu, co wpłynęło na wystąpienie różnic w stosunku do grupy dorosłych. Zmiany parametrów głosu u dorosłych wykazywały zmienność o charakterze bardziej regularnym oraz dotyczyły większej liczby parametrów. Ma to także związek z postlingwalnym charakterem niedosłuchu, który to niedosłuch powoduje wytworzenie w pamięci słuchowej na wcześniejszych etapach życia mechanizmów kontroli słuchowej.

Słowa kluczowe: dzieci • dorośli • parametry akustyczne • częściowa głuchota • głos

Abstract

Introduction: Research on influence of hearing impairment on voice characteristics has been conducted worldwide for many years. Numerous authors report that disturbed auditory control of voice in hearing impaired patients leads to functional voice disturbances. As partial deafness became a type of hearing impairment of a special interest around 20 years ago it became a subject for scientific

Autor korespondencyjny: Karol Myszel, Wielkopolskie Centrum Słuchu i Mowy Medincus, ul. Wodna 39/3A, 62-500 Konin, Polska; email: karol@myszal.pl

research. One of the research areas is its influence on patients' voice. This paper presents the results of the first worldwide analysis of the topic.

Material and methods: Subjects were patients of Institute of Physiology and Pathology of Hearing in Warsaw between 2014–2021. A group of 44 children aged 7 to 12 years with prelingual PD and 25 adults with postlingual PD were recruited for our study. Voice samples were analyzed with MDVP system by Kay Elemetrics. This study was approved by the bioethical committee of the Institute of Physiology and Pathology of Hearing: IFPS: KB/Certificate no 2/2022, 24 march 2022.

Results: The data analysis showed that PD in children and adults causes voice disorders. In both groups differences vs controls were seen in parameters describing changes in frequency (vF0), amplitude (vAm, sAPQ) and the presence of noise. Differences between children and adults were reported for fundamental frequency (F0) and soft phonation index (SPI), which did not present statistical importance in adults. However, in adults a bigger number of parameters was changed, including increase in Jita, Jitt, APQ, sAPQ, Shim, ShdB, RAP, PPQ, sPPQ, DSH, NSH and DUV.

Conclusions: The bigger number of affected parameters in adults than children results from a longer time of hearing deprivation. In children, directions and values of changes were more irregular. This is so, as in partially deaf children in age group of 7–12 years, development of voice structure is delayed vs normal hearing children. The research included children at different stages of voice development, which caused differences vs the adult group. In adults, directions and values of changes were more regular and included a bigger number of parameters. This results from a post lingual onset of partial deafness, therefore voice was influenced by mechanisms created earlier and deposited in auditory memory.

Key words: children • adults • acoustic parameters • partial deafness • voice

Wykaz skrótów

Skrót	Rozwinięcie skrótu	Znaczenie skrótu w języku polskim
APQ	amplitude perturbation quotient	procentowy wskaźnik względnej zmiany amplitudy
ATRI	amplitude tremor intensity index	współczynnik intensywności modulacji amplitudy
DSH	degree of subharmonics	stopień składowych subharmonicznych
DUV	degree of voiceless	stopień bezgłosu
F0	fundamental frequency	częstotliwość podstawowa
FTRI	F0 tremor intensity index	wskaźnik intensywności modulacji (drżenia) częstotliwości podstawowej
Jita	absolute jitter	bezwzględna zmiana okresu F0
Jitt	jitter percent	procentowy wskaźnik względnej zmienności F0
MPT	maximum phonation time	maksymalny czas fonacji
NHR	noise-to-harmonic ratio	stosunek szumu do sygnału
NSH	number of subharmonics	liczba składowych subharmonicznych
NUV	number of voiceless	liczba bezgłosów (wyrażona ilością segmentów bezgłosowych)
PD	partial deafness	częściowa głuchota
PEF	peak expiratory flow	szczytowa objętość wydechu płuca
PPQ	pitch period perturbation quotient	iloraz zmiany okresu częstotliwości podstawowej
RAP	relative average perturbation	iloraz średniej zmiany częstotliwości podstawowej
sAPQ	smoothed amplitude perturbation quotient	wygładzony iloraz względnej zmiany amplitudy
ShdB	shimmer in decibels	wskaźnik względnej modulacji amplitudy w decybelach
Shim	shimmer percent	procentowy wskaźnik względnej zmiany amplitudy
SPI	soft phonation index	współczynnik dyskretnej fonacji
sPPQ	smoothed pitch perturbation quotient	wygładzony iloraz zmian częstotliwości podstawowej
vAm	peak amplitude variation	wskaźnik zmiany amplitudy
VC	vital capacity	pojemność życiowa (płuca)
vF0	fundamental frequency variation	wskaźnik zmiany częstotliwości podstawowej
VTI	voice turbulence index	wskaźnik turbulencji głosu

Wprowadzenie

Wpływ zaburzeń słuchu na jakość głosu jest tematem badań od wielu lat. Z obserwacji poczynionych przez wielu badaczy wynika, że pacjenci z niedosłuchem cierpią także z powodu zaburzeń głosu, a zaburzenia te mają charakter czynnościowy. Stopień zaburzeń głosu zależy od głębokości niedosłuchu, czasu jego trwania oraz tego, na jakim etapie rozwoju umiejętności językowych wystąpił niedosłuch. W porównaniu z osobami prawidłowo słyszającymi głos osób z niedosłuchem charakteryzuje się wzrostem częstotliwości podstawowej (F0), wzrostem wskaźnika zmiany częstotliwości podstawowej (vF0), wzrostem wskaźnika zmiany amplitudy (vAm) i skróceniem maksymalnego czasu fonacji (MPT) [1–5].

Jakość głosu zależy zarówno od stanu słuchu, jak i funkcji traktu oddechowego. Prawidłowy słuch zapewnia możliwość rozwoju głosu, mowy i właściwości prozodycznych mowy, natomiast prawidłowa funkcja układu oddechowego i biomechanika klatki piersiowej są niezbędne w tworzeniu właściwego podparcia oddechowego zdrowego głosu.

Rozwój głosu dzieci niedosłyszających jest opóźniony już w pierwszych miesiącach życia w stosunku do dzieci ze słuchem prawidłowym. Ich głos jest wyższy, wykazuje większe fluktuacje i jest mniej stabilny. Na dalszych etapach rozwoju dzieci wzrasta rola kontroli słuchowej głosu [6,7], a efekty jej braku stają się coraz bardziej widoczne. Gaworzenie pojawia się później, a liczba wokalizacji jest mniejsza. Badania wskazują, że czas opóźnienia rozwoju głosu i mowy jest tym dłuższy, im dłuższy jest czas trwania niedosłuchu do momentu zastosowania protezy słuchowej [8–10].

Na dalszych etapach rozwoju obserwuje się opóźnienie fazy przejścia od gaworzenia do etapu słowa, a liczba sylab pojawiających się w mowie jest mniejsza, artykulacja samogłosek jest zaburzona, a zasób pierwszych słów jest znacznie mniejszy niż u dzieci prawidłowo słyszających. Głos dzieci niedosłyszających jest ciemniejszy, niestabilny, lekko ochryply, pozbawiony melodii, monotony i tworzony ze zwiększonym parciem. Takie cechy głosu wynikają z zaburzonej kontroli częstotliwości i amplitudy głosu [11,12].

Zaburzona kontrola słuchowa prowadzi także do nieprawidłowej funkcji aerodynamicznej klatki piersiowej, mięśni oddechowych i artykulacyjnych, a także mięśni krtani. U osób z niedosłuchem lub głuchotą stwierdza się także zmniejszenie pojemności życiowej (VC) płuc, skrócenie maksymalnego czasu fonacji (MPT) oraz obniżenie szczytowej objętości wydechowej płuc (PEF) [13–15].

Częściowa głuchota (PD) jest rodzajem niedosłuchu, który charakteryzuje się prawidłowymi progami słuchowymi dla częstotliwości niskich oraz głębokim niedosłuchem dla częstotliwości wysokich. Występuje często u osób starszych, ale może być także wynikiem długotrwałego działania hałasu na narząd słuchu, leków ototoksycznych czy też mieć podłoże genetyczne [16–18]. Mimo że wielu badaczy analizowało wpływ niedosłuchu na jakość głosu, to szczególne badania na temat wpływu częściowej głuchoty na głos dzieci i dorosłych nigdy wcześniej nie były prowadzone.

Tabela 1. Parametry akustyczne głosu podlegające pomiarom w przeprowadzonym badaniu

Table 1. Acoustic voice parameters measured in the study

Obszar pomiaru	Parametr
Częstotliwość	F0, vF0, Jitt, Jita, PPQ, SPPQ, RAP
Amplituda	vAm, ShdB, Shim, APQ, sAPQ
Szum	NHR, VTI, SPI
Drżenie	FTRI, ATRI
Składowe subharmoniczne	DSH, NSH
Nieregularności	DUV, NUV

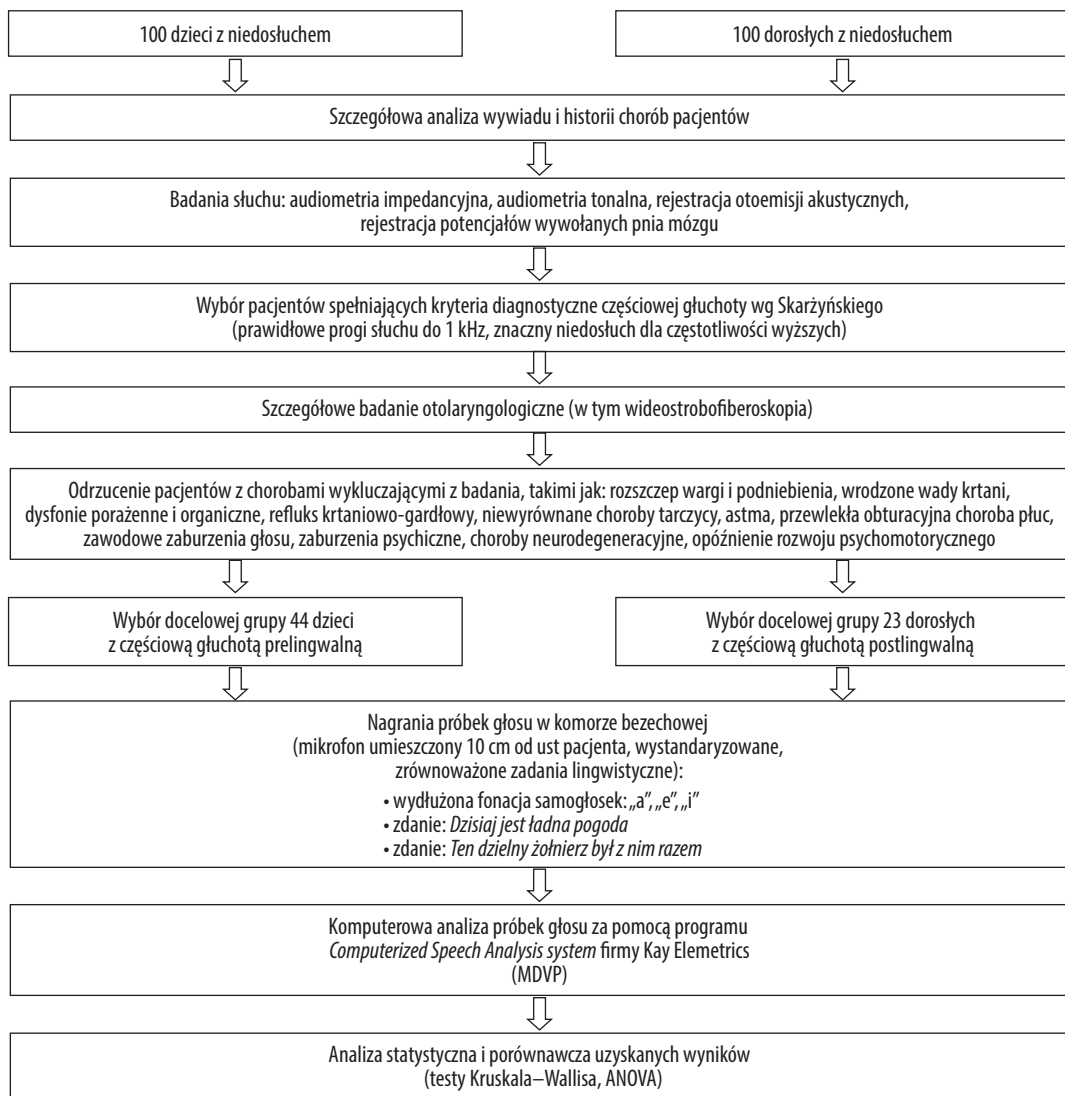
Obok problemów ze słuchem pacjenci z niedosłuchem, zwłaszcza o początku postlingwalnym, doświadczają także takich problemów jak: izolacja społeczna, obniżenie samooceny, ograniczenie aktywności społecznej, depresji czy też zwiększonego ryzyka rozwoju demencji [19–22]. Innym poważnym problemem osób z niedosłuchem są także zaburzenia głosu [23–26].

Celem badania było porównanie wpływu częściowej głuchoty na parametry akustyczne głosu dzieci i dorosłych.

Materiał i metody

Analizowaną grupę osób stanowili pacjenci Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu (IFPS) w Warszawie. Analizie poddano parametry akustyczne głosu 44 dzieci z częściową głuchotą prelingwalną w wieku szkolnym (7–12 lat). Grupę kontrolną stanowiło 23 dzieci prawidłowo słyszających. Następnie przeanalizowano głos 25 osób dorosłych z częściową głuchotą postlingwalną. Grupę kontrolną dorosłych stanowiło 55 osób ze słuchem prawidłowym. Średni czas trwania niedosłuchu u dzieci wynosił 9,4 roku, podczas gdy u dorosłych – 19,1 lat. Próbkę głosu nagrywano w komorze bezekowej, a analizę akustyczną przeprowadzono za pomocą programu *Multi-Dimensional Voice Program* firmy Kay Elemetrics. Parametry akustyczne podlegające pomiarom w przeprowadzonym badaniu przedstawia **tabela 1**.

Protokół badawczy obejmował: szczegółowy wywiad kliniczny, badanie otolaryngologiczne, ocenę struktur górnych dróg oddechowych i krtani. Ocenę krtani przeprowadzono za pomocą wideostroboskopii. Przeprowadzono następujące badania słuchu: audiometrię tonalną, audiometrię impedancyjną, rejestrację otoemisji akustycznych i potencjałów wywołanych pnia mózgu. Wykluczono obecność schorzeń współistniejących, takich jak: wady rozszczepowe, wrodzone lub nabyte wady krtani, porażenia fałdów głosowych, dysfonie organiczne, alergie, refluks krtaniowo-gardłowy, niewyrównane zaburzenia funkcji tarczycy, astma, przewlekła obturacyjna choroba płuc, zaburzenia psychiczne, choroby neurodegeneracyjne i opóźnienie rozwoju psychoruchowego. Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono z wykorzystaniem testów Kruskala-Wallisa oraz ANOVA. Kolejne etapy protokołu badawczego przedstawiono za pomocą **ryciny 1**. Badanie uzyskało zgodę Komisji Bioetycznej Instytutu Fizjologii



Rycina 1. Etapy protokołu badawczego i metody badań
Figure 1. Research protocol stages

i Patologii Słuchu (IFPS: KB/Oświadczenie nr 2/2022 z dnia 24 marca 2022 roku).

Wyniki

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że częściowa głuchota powoduje zmianę struktury akustycznej głosu u dzieci. W porównaniu do grupy kontrolnej różnice dotyczą większości parametrów, w głównej mierze tych, które opisują zmiany częstotliwości, amplitudy, obecność szumu i drżenia głosu. Zmiany istotne statystycznie odnotowano w stosunku do: częstotliwości podstawowej F0 (wzrost do 290,00 Hz), wskaźnika zmiany częstotliwości podstawowej vF0 (spadek do wartości 4,12%), wskaźnika zmiany amplitudy vAm (wzrost do wartości 20,96%), wygładzonego ilorazu zmiany amplitudy sAPQ (spadek do 6,24%), stosunku szumu do sygnału NHR (spadek do 0,15), współczynnika dyskretnej fonacji SPI (spadek do 7,59) oraz wskaźnika intensywności modulacji

(drżenia) częstotliwości podstawowej FTRI (spadek do 0,34). Średnie wartości parametrów akustycznych głosu u dzieci z częściową głuchotą w porównaniu do grupy kontrolnej przedstawia **tabela 2**. Analiza wyników uzyskanych w grupie dorosłych z częściową głuchotą w stosunku do grupy kontrolnej wykazała zmiany w większości parametrów akustycznych. Zmiany istotne statystycznie zaobserwowano w stosunku do: wskaźnika zmiany częstotliwości podstawowej vF0 (wzrost do 8,4%), procentowego wskaźnika względnej zmienności częstotliwości podstawowej Jitt (wzrost do 1,84% / 130,44 μ s), średniego i wygładzonego wskaźnika zmiany amplitudy APQ i sAPQ (wzrost odpowiednio do 6,4% i 12,7%), ilorazu średniej zmiany częstotliwości podstawowej RAP (wzrost do 0,97), wskaźnika zmiany amplitudy vAm (wzrost do 26,77%), procentowego wskaźnika względnej zmiany amplitudy Shim (wzrost do 8,21%), ilorazu zmiany okresu częstotliwości podstawowej PPQ (wzrost do 1,01%), wygładzonego ilorazu zmiany częstotliwości podstawowej

Tabela 2. Średnie wartości parametrów akustycznych głosu u dzieci z PD w porównaniu do grupy kontrolnej
Table 2. Average values of acoustic voice parameters in PD children and control group

Obszar pomiaru	Parametr	Grupa kontrolna	Dzieci z PD	<i>p</i>
Częstotliwość	F0 [Hz]	217,00	290,00	< 0,05
	Jita [μ s]	77,66	41,06	> 0,05
	Jitt [%]	1,64	1,12	> 0,05
	RAP [%]	0,99	0,66	> 0,05
	PPQ [%]	1,00	0,62	> 0,05
	sPPQ [%]	1,44	0,95	> 0,05
	vFO [%]	5,13	4,12	< 0,05
Amplituda	ShdB	0,55	0,38	> 0,05
	Shim [%]	6,18	4,96	> 0,05
	APQ [%]	4,55	3,60	> 0,05
	sAPQ [%]	7,05	6,24	< 0,05
	vAm [%]	14,71	20,96	< 0,05
Szum	NHR	0,17	0,15	< 0,05
	SPI	9,43	7,59	< 0,05
Drżenie	FTRI	0,78	0,34	< 0,05

Opis: *p* – wskaźnik istotności statystycznej; wyniki istotne statystycznie zaznaczono pogrubioną czcionką

Tabela 3. Średnie wartości parametrów akustycznych głosu u dorosłych z PD w porównaniu do grupy kontrolnej
Table 3. Average values of acoustic voice parameters in PD adults and control group

Obszar pomiaru	Parametr	Grupa kontrolna	Dorośli z PD	<i>p</i>
Częstotliwość	F0 [Hz]	168,28	161,08	> 0,05
	vFO [%]	0,7435	8,4085	< 0,05
	Jitt [%]	0,405	1,846	< 0,05
	Jita [μ s]	26,266	130,44	< 0,05
	PPQ [%]	0,242	1,001	< 0,05
	sPPQ [%]	0,523	1,645	< 0,05
	RAP	0,229	0,979	< 0,05
Amplituda	APQ [%]	1,8	6,4193	< 0,05
	sAPQ [%]	2,8	12,788	< 0,05
	Shim [dB]	0,271	0,733	< 0,05
	Shim [%]	2,306	8,215	< 0,05
	vAm [%]	6,13	26,774	< 0,05
Szum	NHR	0,122	0,207	< 0,05
	VTI	0,04	0,06	> 0,05
	SPI	8,72	10,31	> 0,05
Składowe subharmoniczne	DSH	0	3,077	< 0,05
	NSH	0	0,55	< 0,05
Nieregularności	DUV	0	7,493	< 0,05

Opis: *p* – wskaźnik istotności statystycznej; wyniki istotne statystycznie zaznaczono pogrubioną czcionką

Tabela 4. Porównanie kierunków i średnich wartości zmian parametrów akustycznych głosu u dzieci i dorosłych z PD w porównaniu do grup kontrolnych**Table 4.** Comparison of directions and average values of changes in acoustic voice parameters in PD children and adults versus control groups

Obszar pomiaru	Parametr	Dzieci	Dorośli
Częstotliwość	F0 [Hz]	↑ 290,0	↓ 161,08
	vF0 [%]	↓ 4,12	↑ 8,4085
	Jitt [%]	↓ 1,12	↑ 1,846
	Jita [μs]	↓ 41,06	↑ 130,44
	RAP	↓ 0,66	↑ 0,979
	PPQ [%]	↓ 0,62	↑ 1,001
	sPPQ [%]	↓ 0,95	↑ 1,645
Amplituda	APQ [%]	↓ 3,60	↑ 6,4193
	sAPQ [%]	↓ 6,24	↑ 12,788
	vAm [%]	↑ 20,96	↑ 26,774
	Shim [dB]	↓ 0,38	↑ 0,733
	Shim [%]	↓ 4,96	↑ 8,215
Szum	SPI	↓ 7,59	↑ 10,31
	NHR	↓ 0,15	↑ 0,207

Opis: wyniki istotne statystycznie zaznaczono pogrubioną czcionką

sPPQ (wzrost do 1,64%), stopnia składowych subharmonicznych DSH (wzrost do 3,07), liczby składowych subharmonicznych NSH (wzrost do 0,55), stopnia bezgłosu DUV (wzrost do 7,49) oraz stosunku szumu do sygnału NHR (wzrost do 0,2). Zmian istotnych statystycznie nie odnotowano natomiast w odniesieniu do: średniej wartości częstotliwości podstawowej F0, współczynnika dyskretnej fonacji SPI oraz wskaźnika turbulencji głosu VTI. Średnie wartości parametrów akustycznych głosu u dorosłych z częściową głuchotą w porównaniu do grupy kontrolnej przedstawia **tabela 3**.

Wyniki uzyskane w badaniu wskazują, że zarówno u dzieci, jak i dorosłych z częściową głuchotą dochodzi do zmian w charakterystyce głosu. Porównanie wyników w obu grupach prowadzi do wniosku, że wspólną ich cechą są statystycznie istotne zmiany w zakresie parametrów opisujących zmiany częstotliwości podstawowej (vF0), amplitudy (vAm, sAPQ) i obecności szumu (NHR). Różnice między grupami badanymi dotyczyły wartości F0 oraz SPI, które u dorosłych nie wykazywały znamienych statystycznie zmian wobec grupy kontrolnej. Ponadto u dorosłych zmiany objęły większą liczbę parametrów akustycznych głosu (wzrost Jita i Jitt, wzrost APQ i sAPQ, wzrost RAP, wzrost Shim i ShdB, wzrost PPQ, wzrost DSH, NSH, DUV). Porównanie kierunków i średnich wartości zmian parametrów u dzieci i dorosłych przedstawia **tabela 4**.

Obecność zmian w większej grupie parametrów u dorosłych z częściową głuchotą wynika z dłuższego okresu deprywacji słuchowej dla częstotliwości audiometrycznych

powyżej 1 kHz w tej grupie badanych (średni czas trwania deprywacji 19,1 lat) w porównaniu do znacznie krótszego czasu deprywacji słuchowej u badanych dzieci (średni czas trwania deprywacji 9,4 lat). Ponadto wartości i kierunki zmian u dzieci z częściową głuchotą prelingwalną wykazywały większą zmienność i były bardziej nieregularne. Wynika to z faktu, że w badanej grupie dzieci w przedziale wiekowym 7–12 lat rozwój struktury akustycznej głosu był opóźniony w stosunku do dzieci ze słuchem prawidłowym. W tej grupie znajdowały się dzieci w różnym wieku, na różnych etapach rozwoju głosu, co skutkowało inną dynamiką zmian w porównaniu do osób dorosłych z częściową głuchotą. Dodatkową cechą wpływającą na bardziej nieregularne zmiany cech głosu u dzieci był także czynnik emocjonalny.

Zmiany parametrów akustycznych głosu u dorosłych odnosiły się do większej liczby parametrów. W tej grupie badanej dłuższy czas deprywacji słuchowej oraz postlingwalny początek niedosłuchu sprawiły, że zmiany parametrów były bardziej regularne. Wynika to także z faktu, że na charakterystykę głosu dorosłych wpływały także mechanizmy kontroli słuchowej głosu wytworzone w pamięci słuchowej przed okresem wystąpienia częściowej głuchoty.

Dyskusja

Rozwój ludzkiego głosu jest ściśle uzależniony od słuchu. Osoby z deficytem słuchu, w rezultacie zaburzonej kontroli słuchowej głosu, rozwijają zaburzenia głosu o różnym nasileniu [27–30].

Już bardzo małe dzieci w niedosłuchu prezentują opóźniony rozwój i odmienną charakterystykę głosu w stosunku do dzieci prawidłowo słyszających. Ich głos jest wyższy, zmienny w zakresie częstotliwości (niestabilny), a kontrola natężenia głosu wykazuje zaburzenia. Skala tych zaburzeń, jak wskazują liczne badania, zależy od długości okresu trwania niedosłuchu i jego głębokości [31–35].

Większość zaburzeń głosu u osób niedosłyszących dotyczy częstotliwości, amplitudy oraz zawartości składowych szumowych. Często spotyka się też przerwy w głosie i drżenie. Maksymalny czas fonacji jest krótszy. Głos jest niestabilny, średnia wartość częstotliwości podstawowej jest wyższa, a modulacja głosu uboga [36,37].

Nasze badania, podobnie do spostrzeżeń innych autorów z wielu ośrodków, wykazały zmiany w większości parametrów akustycznych głosu u dorosłych z częściową głuchotą. Długookresowy i bardziej regularny charakter zmian u dorosłych wynika z tego, że w związku z pojawieniem się u nich niedosłuchu w okresie po rozwoju mowy mieli oni więcej czasu na zakodowanie w korze słuchowej mechanizmów kontroli nad tworzeniem głosu. Dzięki temu dysponowali oni większą liczbą mechanizmów kompensacyjnych w ośrodkowym układzie nerwowym. Te wyniki są spójne z wynikami uzyskanymi przez innych autorów na świecie badających pacjentów z różnymi rodzajami niedosłuchu [38–40].

Dzieci z częściową głuchotą prezentowały zmiany głosu w zakresie mniejszej liczby parametrów, a zmiany miały charakter mniej regularny i bardziej krótkookresowy. Zmiany dotyczyły głównie kontroli częstotliwości i amplitudy. W niektórych przypadkach obejmowały także parametry opisujące obecność szumu i drżenia głosowego. Podobne wyniki opisywali inni autorzy, określając głos dzieci z niedosłuchem jako mniej dźwięczny, zmienny, szorstki i napięty [41,42].

Powszechnym spostrzeżeniem dokonywanym przez wielu badaczy głosu osób z niedosłuchem jest podwyższenie średniej wartości częstotliwości podstawowej F0. Głos

osób niedosłyszących i głuchych zwykle charakteryzuje się węższym zakresem częstotliwości, a kontrola wysokości głosu jest zaburzona [43–46]. Podobnie nasze badanie wykazało wzrost F0 u dzieci z częściową głuchotą. Jednakże różnica w naszych spostrzeżeniach dotyczyła dorosłych z częściową głuchotą, u których średnia wartość F0 nie wykazywała znamienych statystycznie różnic w stosunku do grupy kontrolnej.

Wnioski

Zarówno u dzieci, jak i dorosłych z częściową głuchotą stwierdza się zmiany dotyczące parametrów akustycznych głosu. Analiza porównawcza parametrów akustycznych głosu w obu grupach wykazała występujące różnice:

1. Zmiany charakterystyki akustycznej głosu u dzieci z PD objęły mniejszą liczbę parametrów w porównaniu do dorosłych z PD.
2. U dzieci z PD wystąpił statystycznie istotny wzrost średniej wartości częstotliwości podstawowej F0, podczas gdy u dorosłych parametr ten nie wykazał znaczącego wzrostu.
3. Brak znamienego statystycznie wzrostu wartości F0 jest główną cechą różnicującą głos dorosłych z PD w stosunku do głosu dzieci z PD.
4. Kierunki i wartości zmian parametrów akustycznych głosu u dzieci z PD prezentowały większą zmienność i były bardziej nieregularne.
5. Kierunki i wartości zmian parametrów akustycznych głosu u dorosłych z PD prezentowały większą regularność i dotyczyły większej liczby parametrów.
6. Pomiary parametrów akustycznych głosu u pacjentów z PD mogą stanowić dodatkowe narzędzie wykorzystywane w praktyce klinicznej do oceny stanu pacjenta oraz monitorowania postępów terapii.

Finansowanie



Niniejsze badania i artykuł nie otrzymały żadnej dotacji od agencji działających w sektorze publicznym, komercyjnym lub non-profit.

Piśmiennictwo

1. Pruszczyk A, Demenko G, Wika T. Variability analysis of F0 parameter in the voice of individuals with hearing disturbances. *Acta Otolaryngol*, 1993; 113(3): 450–4; <https://doi.org/10.3109/00016489309135843>.
2. Evans M, Deliyski D. Acoustic voice analysis of prelingually deaf adults before and after cochlear implantation. *J Voice*, 2007; 21(6): 669–82; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2006.07.005>.
3. Holler T, Campisi P, Allegro J, Chadha NK, Harrison RV, Papsin B, Gordon K. Abnormal voicing in children using cochlear implants. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2010; 136(1): 17–21; <https://doi.org/10.1001/archoto.2009.194>.
4. Szkielkowska A, Ratynska J, Skarzynski H, Michalak T. Acoustic structure of voice in children considered for partial deafness treatment. *J Hear Sci*, 2012; 2(2): 75–80; <https://doi.org/10.17430/882766>.
5. Szkielkowska A. Voice disorders caused by hearing impairment. *University Handbook: Rudiments of Neurologopedics*. Opole: University of Opole; 2005, 629–53.
6. Moulin-Frier C, Nguyen S, Oudeyer P. Self-organization of early vocal development in infants and machines: the role of intrinsic motivation. *Front Psychol*, 2014; 4: article 1006; <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.01006>.
7. Guenther FH. Cortical interactions underlying the production of speech sounds. *J Commun Disord*, 2006; 39(5): 350–65; <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.06.013>.
8. Maskarinec AS, Cairns GF Jr, Butterfield EC, Weamer DK. Longitudinal observations of individual infant's vocalizations. *J Speech Hear Disord*, 1981; 46(3): 267–73; <https://doi.org/10.1044/jshd.4603.267>.
9. Moeller MP, Hoover B, Putman C, Arbataitis K, Bohnenkamp G, Peterson B i wsp. Vocalizations of infants with hearing loss compared with infants with normal hearing: Part I – phonetic development. *Ear Hear*, 2007; 28(5): 605–27; <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31812564ab>.

10. Moeller MP, Hoover B, Putman C, Arbataitis K, Bohnenkamp G, Peterson B i wsp. Vocalizations of infants with hearing loss compared with infants with normal hearing: Part II – transition to words. *Ear Hear*, 2007; 28(5): 628–42; <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31812564c9>.
11. Akil F, Yollu U, Ozturk O, Yener M. Differences of the voice parameters between the population of different hearing thresholds: findings by using the multi-dimensional voice program. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2017; 10(3): 278–82; <https://doi.org/10.21053/ceo.2015.01900>.
12. Campisi P, Low AJ, Papsin BC, Mount RJ, Harrison RV. Multidimensional voice program analysis in profoundly deaf children: quantifying frequency and amplitude control. *Percept Mot Skills*, 2006; 103(1): 40–50; <https://doi.org/10.2466/pms.103.1.40-50>.
13. Das B, Chatterjee I, Kumar S. Laryngeal aerodynamics in children with hearing impairment versus age and height matched normal hearing peers. *ISRN Otolaryngol*, 2013; 2013: 394604; <https://doi.org/10.1155/2013/394604>.
14. Forner LL, Hixon TJ. Respiratory kinematics in profoundly hearing-impaired speakers. *J Speech Hear Res*, 1977; 20(2): 373–408; <https://doi.org/10.1044/jshr.2002.373>.
15. Zhang Z. Mechanics of human voice production and control. *J Acoust Soc Am*, 2016; 140(4): 2614; <https://doi.org/10.1121/1.4964509>.
16. Myszel K, Szkielkowska A. Effect of partial deafness on voice in children. *J Voice*, 2024. Ahead of print. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2024.03.021>.
17. Oziębło D, Bałdyga N, Leja ML, Skarżyński H, Ołdak M. Searching for the molecular basis of partial deafness. *Int J Mol Sci*, 2022; 23(11): 6029; <https://doi.org/10.3390/ijms23116029>.
18. Cieśla K, Lewandowska M, Skarżyński H. Health-related quality of life and mental distress in patients with partial deafness: preliminary findings. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2016; 273(3): 767–76; <https://doi.org/10.1007/s00405-015-3713-7>.
19. Lin VYW, Black SE. Linking deafness and dementia: challenges and opportunities. *Otol Neurotol*, 2017; 38(8): e237–e239; <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001408>.
20. Huang AR, Jiang K, Lin FR, Deal JA, Reed NS. Hearing loss and dementia prevalence in older adults in the US. *JAMA*, 2023; 329(2): 171–3; <https://doi.org/10.1001/jama.2022.20954>.
21. Cantuaria ML, Pedersen ER, Waldorff FB, Wermuth L, Pedersen KM, Poulsen AH i wsp. Hearing loss, hearing aid use, and risk of dementia in older adults. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2024; 150(2): 157–64; <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2023.3509>.
22. Dixon PR, Feeny D, Tomlinson G, Cushing S, Chen JM, Krahn MD. Health-related quality of life changes associated with hearing loss. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2020; 146(7): 630–8; <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.0674>.
23. Jafari N, Izadi F, Salehi A, Dabirmoghaddam P, Yadegari F, Ebadi A, Moghadam ST. Objective voice analysis of pediatric cochlear implant recipients and comparison with hearing aids users and hearing controls. *J Voice*, 2017; 31(4): 505.e11–505.e18; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.10.018>.
24. Mahmoudian S, Aminrasouli N, Ahmadi ZZ, Lenarz T, Farhadi M. Acoustic analysis of crying signal in infants with disabling hearing impairment. *J Voice*, 2019; 33(6): 946.e7–946.e13; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.05.016>.
25. Wang Y, Yang J, Liang F, Liu J, Liang M, Zhang X i wsp. Acoustic and aerodynamic analyses of the voice of prelingually deaf young men after cochlear implantation. *J Voice*, 2021; 35(6): 838–42; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.03.007>. Epub 2020 May 16.
26. Myszel K, Szkielkowska A. Quality of voice in patients with partial deafness before and after cochlear implantation. *J Voice*, 2024; 38(6): 1531.e5–1531.e11; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.05.005>.
27. Guenther FH. Cortical interactions underlying the production of speech sounds. *J Commun Disord*, 2006; 39(5): 350–65; <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2006.06.013>.
28. Krasnodębska P, Wolak T, Szkielkowska A. Proces tworzenia głosu – przegląd aktualnej literatury przedmiotu. *Now Audiofonol*, 2017; 6(4): 16–20; <https://doi.org/10.17431/1002700>.
29. Kumar V, Croxson PL, Simonyan K. Structural organization of the laryngeal motor cortical network and its implication for evolution of speech production. *J Neurosci*, 2016; 36(15): 4170–81; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3914-15.2016>.
30. Schulz GM, Varga M, Jeffires K, Ludlow CL, Braun AR. Functional neuroanatomy of human vocalization: an H2150 PET study. *Cereb Cortex*, 2005; 15(12): 1835–47; <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi061>.
31. Simonyan K, Ackermann H, Chang EF, Greenlee JD. New developments in understanding the complexity of human speech production. *J Neurosci*, 2016; 36(45): 11440–8; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2424-16.2016>.
32. Myszel K, Szkielkowska A. Development of voice in hearing-impaired individuals: overview of physiopathological aspects. *J Hear Sci*, 2020; 10(3): 19–23; <https://doi.org/10.17430/JHS.2020.10.3.2>.
33. Wrobel C, Zafeiriou MP, Moser T. Understanding and treating paediatric hearing impairment. *EBioMedicine*, 2021; 63: 103171; <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2020.103171>.
34. Szkielkowska A, Myszel K. Acoustic voice parameters in hearing-impaired, school-aged children. Research study outcomes. *J Clin Otorhinolaryngol*, 2021; 3(3): 1–6; <https://doi.org/10.31579/2692-9562/034>.
35. VanDam M, Oller DK, Ambrose SE, Gray S, Richards JA, Xu D i wsp. Automated vocal analysis of children with hearing loss and their typical and atypical peers. *Ear Hear*, 2015; 36(4): e146–52; <https://doi.org/10.1097/AUD.000000000000138>.
36. Yeshoda K, Raveendran R, Konadath S. Perception of vocal emotional prosody in children with hearing impairment. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020; 137: 110252; <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110252>. Epub 2020 Jul 11.
37. Roland L, Fischer C, Tran K, Rachakonda T, Kallogjeri D, Lieu JE. Quality of life in children with hearing impairment: systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2016; 155(2): 208–19; <https://doi.org/10.1177/0194599816640485>.
38. Myszel K, Skarżyński PH. (2023). Effect of cochlear implantation on voice quality in patients with hearing impairment. *IntechOpen*, 2023; <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002048>.
39. Kirchner A, Loucks TM, Abbs E, Shi K, Yu JW, Aronoff JM. Influence of bilateral cochlear implants on vocal control. *J Acoust Soc Am*, 2020; 147(4): 2423; <https://doi.org/10.1121/10.0001099>.
40. McAllister A, Sjölander P. Children's voice and voice disorders. *Semin Speech Lang*, 2013; 34(2): 71–9; <https://doi.org/10.1055/s-0033-1342978>.
41. Mahrous MM, Abdelgoad AA, Said NM, Telmesani LM, Alrusayis DF. Voice acoustic characteristics of children with late-onset cochlear implantation: correlation to auditory performance. *Cochlear Implants Int*, 2024; 25(1): 1–10; <https://doi.org/10.1080/14670100.2023.2295159>.

42. Park Y, Perkell JS, Matthies ML, Stepp CE. Categorization in the perception of breathy voice quality and its relation to voice production in healthy speakers. *J Speech Lang Hear Res*, 2019; 62(10): 3655–66; https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-19-0048.
43. Leder SB, Spitzer JB, Kirchner JC. Speaking fundamental frequency of postlingually profoundly deaf adult men. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1987; 96(3 Pt 1): 322–4; <https://doi.org/10.1177/000348948709600316>.
44. De Jong TJ, Hakkesteegt MM, van der Schroeff MP, Vroegop JL. Communicating emotion: vocal expression of linguistic and emotional prosody in children with mild to profound hearing loss compared with that of normal hearing peers. *Ear Hear*, 2024; 45(1): 72–80; <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001399>.
45. Van Canneyt J, Wouters J, Francart T. Cortical compensation for hearing loss, but not age, in neural tracking of the fundamental frequency of the voice. *J Neurophysiol*, 2021; 126(3): 791–802; <https://doi.org/10.1152/jn.00156.2021>.
46. Groll MD, Hablani S, Stepp CE. The relationship between voice onset time and increase in vocal effort and fundamental frequency. *J Speech Lang Hear Res*, 2021; 64(4): 1197–209; https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-20-00505.

Dr n. med. i n. o zdr. Karol Myszel, email: karol@myszel.pl •  0000-0002-7203-4408
Prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. Agata Szkielkowska, email: a.szkielkowska@ifps.org.pl •  0000-0003-2122-7872