

# Zachowanie czułości słuchu dla niskich częstotliwości po wszczepieniu implantu ślimakowego – przegląd literatury

## Preservation of low-frequency hearing in cochlear implantation – literature review

Henryk Skarżyński, Artur Lorens, Anna Piotrowska

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Warszawa/Kajetany

**Adres autora:** Henryk Skarżyński, Światowe Centrum Słuchu, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830 Nadarzyn,  
e-mail: skarzynski.henryk@ifps.org.pl

### Streszczenie

Zapewnienie odpowiedniego elektryczno-akustycznego pobudzenia receptora słuchu jest jednym z kluczowych elementów postępowania klinicznego w ramach opracowywanej i wdrażanej metody leczenia częściowej głuchoty. Warunkiem koniecznym, aby takie pobudzenie było możliwe, jest występowanie u pacjenta odpowiedniej czułości słuchu w zakresie niskich częstotliwości oraz zachowanie tego słuchu po wprowadzeniu elektrody implantu ślimakowego do ucha wewnętrznego. Włożenie elektrody implantu do ślimaka może spowodować uszkodzenie struktur ucha wewnętrznego i tym samym utratę czułości słuchu.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury stwierdzono, że zastosowanie odpowiedniej techniki chirurgicznej z wprowadzeniem elektrody przez okienko okrągłe umożliwia zachowanie słuchu u większości pacjentów. A zatem w przypadku pacjentów z częściową głuchotą, u których występuje odpowiednia pooperacyjna czułość słuchu dla niskich częstotliwości, możliwe jest zastosowanie łącznej stymulacji elektryczno-akustycznej.

Ponadto zachowanie słuchu po wszczepieniu implantu oznacza utrzymanie nienaruszonych struktur ucha wewnętrznego. Stwarza to szansę większości pacjentom na osiągnięcie lepszych wyników dyskryminacji mowy. Uszkodzenie struktur ucha wewnętrznego może bowiem powodować zmniejszenie ilości elementów neuronalnych możliwych do pobudzenia elektrycznie, co w konsekwencji może skutkować redukcją informacji o dźwięku przekazywanej na drodze stymulacji elektrycznej. Oprócz tego zachowanie struktur ucha wewnętrznego po wprowadzeniu elektrody implantu stwarza perspektywę zastosowania nowych technologii medycznych, takich jak inżynieria genetyczna czy terapia z wykorzystaniem komórek macierzystych, które w przyszłości mogą być dostępne dla pacjentów niesłyszących i niedosłyszących.

**Słowa kluczowe:** implanty ślimakowe • częściowa głuchota • metoda leczenia częściowej głuchoty • zachowanie słuchu • stymulacja elektryczno-akustyczna

### Abstract

The assurance of the appropriate electric-acoustic stimulation of the auditory receptor is the key element of a clinical procedure related to the presently developed and implemented method of partial deafness treatment. The adequate level of hearing in low-frequency range and its preservation after the insertion of the electrode into the inner ear is a prerequisite for such stimulation. The insertion of the electrode to the cochlea may cause trauma to the inner ear structures and thus diminish hearing sensitivity.

Based on a literature review it has been ascertained that the application of a right surgical technique with the insertion of the electrode through the round window of the cochlea allows the preservation of hearing in a majority of patients.

Therefore it is possible to apply combined electric-acoustic stimulation in most patients with partial deafness who have adequate postoperative hearing sensitivity in low-frequency range.

Moreover, preservation of hearing after implantation related to the preservation of intact inner ear structures. For a large group of patients it establishes an opportunity to achieve better speech discrimination scores. This is because a damage to the inner ear structures may lead to the reduction of the number of neuronal elements capable of being stimulated electrically and consequently reduce the amount of acoustic cues transmitted through electric stimulation. In addition, the preservation of the

inner ear structures after the electrode insertion creates an outlook for the future use of novel medical technologies, such as genetic engineering or a stem cell therapy, which may become available for patients with hearing deficits.

**Key words:** cochlear implants • partial deafness • method of partial deafness treatment • hearing preservation • electric-acoustic stimulation

## Wprowadzenie

### Implanty ślimakowe

Pomoc terapeutyczna osobom z ubytkami słuchu typu zmysłowo-nerwowego polega najczęściej na dobraniu odpowiedniego aparatu słuchowego, a gdy ta metoda zawodzi – implantu ślimakowego. Aparaty słuchowe stosowane są przede wszystkim w przypadkach niedosłuchów stopnia lekkiego do znacznego, natomiast w przypadku głębokiego uszkodzenia słuchu oraz w przypadku całkowitej głuchoty wszczepiane są implanty ślimakowe [1].

Od czasu pierwszej udanej i opisanej w literaturze w 1957 r. przez André Djourno i Charlesa Eyriès próby bezpośredniej stymulacji elektrycznej nerwu słuchowego, w celu wywołania w ten sposób wrażeń słuchowych u osób głuchych, minęło już ponad pół wieku [2]. Wydarzenie to uznano za początek leczenia głuchoty i głębokiego niedosłuchu zmysłowo-nerwowego za pomocą implantów ślimakowych [3].

Stosowanie implantu ślimakowego pozwala na ominięcie uszkodzonego fragmentu receptora słuchowego poprzez stosowanie, dla potrzeb odbioru dźwięków z otoczenia, stymulacji elektrycznej przetrwałych włókien nerwowych [4]. W wyniku stymulacji elektrycznej nerwu słuchowego pacjenci uzyskują nowy rodzaj słuchu, zwany słuchem elektrycznym, który ma zastąpić naturalny mechanizm słyszenia [5].

System implantu ślimakowego złożony jest z części wewnętrznej – implantu składającego się z odbiornika i stymulatora elektrycznego we wspólnej obudowie wraz z wiązką elektrod – oraz z części zewnętrznej – cyfrowego, wielokanałowego procesora mowy. Część wewnętrzną jest wszczepiana operacyjnie: kapsuła implantu jest umieszczana w niszy w kości skroniowej i przykryta płatem skórny, wiązka elektrod jest wprowadzana do ślimaka [6]. Część zewnętrzna noszona jest za lub nad małżowiną uszną.

### Leczenie częściowej głuchoty

Do niedawna nie było możliwości udzielania skutecznej pomocy terapeutycznej bardzo licznej grupie pacjentów w różnym wieku, u których stwierdza się głęboki niedosłuch wysokoczęstotliwościowy. Ten rodzaj ubytku słuchu określono mianem „częściowej głuchoty” [7]. Pomimo coraz większej skuteczności nowoczesnych aparatów słuchowych, ta grupa pacjentów nie uzyskuje satysfakcjonujących wyników w tych urządzeniach. Pacjenci z częściową głuchotą nie byli przez długi czas kwalifikowani do wszczepienia implantu ślimakowego, ponieważ istniała obawa, że podczas operacji zniszczony zostanie sprawnie funkcjonujący fragment ucha wewnętrznego. W 2002 roku Skarzyński przeprowadził pierwszą w świecie operację wszczepienia implantu ślimakowego u pacjentki

z częściową głuchotą i rozpoczął ze współpracownikami Program Leczenia Częściowej Głuchoty (ang. *Partial Deafness Treatment*, PDT) [7]. Zachowanie słuchu dla niskich częstotliwości pozwoliło na wdrożenie nowatorskiej koncepcji połączenia w tym samym uchu częściowo funkcjonującego słuchu akustycznego z nowym słuchem elektrycznym [8]. Koncepcja ta polega na elektrycznym pobudzeniu uszkodzonej części receptora słuchowego za pośrednictwem systemu implantu ślimakowego oraz jednoczesnym pobudzeniu akustycznym funkcjonującej części receptora słuchowego w zakresie niskich częstotliwości. Wykazano, że zastosowanie stymulacji elektrycznej za pośrednictwem implantu ślimakowego, przywracającej słyszenie wysokich częstotliwości, przy zachowaniu słuchu pacjenta dla niskich częstotliwości, jest sposobem na uzyskanie znacznej poprawy dyskryminacji mowy [7–9]. Zastosowanie elektryczno-akustycznego pobudzenia receptora słuchu, niezbędnego elementu metody leczenia częściowej głuchoty, wymaga zachowania – po wprowadzeniu elektrody implantu do ucha wewnętrznego – znacznej części słuchu akustycznego w zakresie niskich częstotliwości.

### Cel

Celem pracy było przedstawienie, na podstawie przeglądu literatury, możliwości zachowania czułości słuchu dla niskich częstotliwości po wszczepieniu implantu ślimakowego na różnych etapach Programu Leczenia Częściowej Głuchoty realizowanego w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu.

### Przegląd możliwości zachowania słuchu po wszczepieniu implantu ślimakowego

#### Możliwości zachowania słuchu raportowane przed rozpoczęciem Programu Leczenia Częściowej Głuchoty

Od początku stosowania implantów ślimakowych w literaturze przeważał pogląd o braku możliwości zachowania słuchu akustycznego z uwagi na konieczność wprowadzenia do ucha wewnętrznego ciała obcego – elektrody [10–13]. Nie istniał również znormalizowany sposób raportowania ilościowego zachowania słuchu, uwzględniający jedno kryterium utraty słuchu [14–25]. Bodges (1989) jako kryterium utraty słuchu przyjął wzrost wartości progu słyszenia większy niż 5 dB, zarejestrowany dla poszczególnych częstotliwości, lub podwyższenie progu do wartości przekraczającej zakres audiometru [12]. Posługując się takim kryterium, nie stwierdził zachowania słuchu w grupie przebadanych pacjentów. Według innego kryterium utrata słuchu zdefiniowana została jako brak reakcji słuchowych w zakresie wydolności audiometru dla każdej z trzech badanych częstotliwości 500, 1000, 2000 Hz [19]. Zgodnie z tym założeniem zachowanie słuchu po wszczepieniu implantu odnosiło się do 52,5% przypadków. Przedstawione sposoby określania ilościowego zachowania słuchu nie

były właściwe do zastosowania w badaniach nad zachowaniem słuchu dla potrzeb wdrożenia nowej metody leczenia częściowej głuchoty z wykorzystaniem elektryczno-akustycznego pobudzenia receptora słuchu. Pierwszy sposób był zbyt restrykcyjny, prowadzący do zbyt wielu wyników fałszywie dodatnich, a drugi zbyt liberalny, zagrożający licznymi wynikami fałszywie ujemnymi. Wynik fałszywie dodatni rozumiany jest jako zakwalifikowanie pooperacyjnych wartości progów słyszenia do kategorii „utrata słuchu”, pomimo istniejących możliwości zastosowania pobudzenia elektryczno-akustycznego. Wynik fałszywie ujemny kwalifikuje jako zachowanie słuchu wartości progów, które nie umożliwiają prowadzenia pobudzenia elektryczno-akustycznego.

W celu precyzyjnej oceny stopnia zachowania słuchu dla potrzeb elektryczno-akustycznego pobudzenia receptora słuchowego autorzy niniejszej pracy zaproponowali następujące kryterium własne: utrata słuchu występuje wtedy, gdy zmiana progów audiometrycznych jest większa niż 10 dB przynajmniej dla jednej z 3 badanych częstotliwości (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz) [26–27]. Badania zachowania poziomu słyszenia przeprowadzono w grupie 26 pacjentów (19 dorosłych, 7 dzieci), u których elektrodę wprowadzono do ucha wewnętrznego przez kochleostomię. Wartości przed- i pooperacyjnych progów słyszenia mierzone były z zastosowaniem procedury wykonywania badań audiometrycznych zgodnie ze standardem ANSI 2004, wg Carharta i Jergera. Pomiar wykonywane były miesiąc przed operacją i miesiąc po operacji wszczęcia implantu ślimakowego. W badanej grupie przedoperacyjne uśrednione progi słyszenia dla 125, 250, 500 Hz wyniosły odpowiednio 82,9, 91,5, 108,3 dB HL. Wykazano, że po wszczęciu implantu słuch został zachowany w 62% przypadków [26,27].

Pomimo że dowiedziono możliwość zachowania słuchu po wszczęciu implantu ślimakowego, to jednak odsetek pacjentów, u których próg pooperacyjny dla częstotliwości 125, 250 i 500 Hz zawierał się w przedziale  $\pm 10$  dB w stosunku do wartości przedoperacyjnych, oceniono jako niewystarczający do potwierdzenia celowości wdrożenia klinicznego metody leczenia częściowej głuchoty wykorzystującej elektryczno-akustyczne pobudzenie receptora słuchu. Aby zwiększyć skuteczność metody, Skarżyński zaproponował technikę wprowadzania elektrody implantu do ucha wewnętrznego przez okienko okrągłe [7].

### Możliwości zachowania słuchu uzyskiwane w Programie Leczenia Częściowej Głuchoty

W celu oceny stopnia zachowania poziomu słyszenia po wszczęciu elektrody implantu ślimakowego przez okienko okrągłe u pacjentki z częściową głuchotą wykonano przed operacją i po niej pomiary audiometryczne oraz elektrofizjologiczne w uchu implantowanym. Było to pierwsze opisane w literaturze badanie zachowania słuchu u pacjenta z nieznacznie podwyższonym progami słyszenia w zakresie niskich częstotliwości przy prawie całkowitej głuchocie w zakresie wysokich częstotliwości w badaniu przedoperacyjnym [7,28]. Badanie audiometryczne przeprowadzono zgodnie z opisaną powyżej metodą. Badanie słuchowych potencjałów wywołanych (ABR) wykonano procedurą szeregu natężeniowego dla bodźca typu trzask

oraz krótkich tonów o częstotliwościach 500 i 1000 Hz z użyciem systemu komputerowego, z elektrodami umieszczonymi na czole oraz na wyrostkach sutkowych, poprzez słuchawki powietrzne wewnętrzne. Pasma wzmacnienia wynosiło od 200 Hz do 2000 Hz (spadek 6 dB/oktawę). Bodźce prezentowano z częstością powtarzania wynoszącą 37/s, z polaryzacją naprzemienną. Czas analizy odpowiedzi wynosił 20 ms. Audiometryczne progi słyszenia zmierzone przed operacją dla 125, 250, 500 i 1000 Hz wyniosły odpowiednio 10, 20, 40 i 100 dB HL. Wartości progów słyszenia mierzone pooperacyjnie dla częstotliwości 125 i 250 Hz pozostały niezmiennione. Zaobserwowano natomiast spadek poziomu słyszenia dla częstotliwości 500 i 1000 Hz, wynoszący odpowiednio 30 dB i 10 dB. Średnia wartość progów słyszenia wzrosła o 15 dB. Różnica w progach słyszenia dla 500 Hz mierzona elektrofizjologicznie przed operacją i po operacji wyniosła 30 dB. Poziom słyszenia w zakresie niskich częstotliwości został w znacznym stopniu zachowany, co zostało potwierdzone zarówno w badaniach audiometrycznych, jak i elektrofizjologicznych [7,28]. Opisany przypadek rozpoczął serię badań nad zachowaniem słuchu u pacjentów z częściową głuchotą. W badaniu przeprowadzonym z udziałem 10 pacjentów dorosłych z częściową głuchotą wykazano, korzystając z procedury badawczej opisanej powyżej, zachowanie słuchu u 90% osób [29,30]. Badania te różniły się od opisywanych do tej pory w literaturze tym, że pacjenci mieli niższe wartości progów słyszenia. Stwierdzony procent zachowania słuchu był większy niż raportowany przez inne grupy badawcze (86% – Kifer i wsp., 2004; 75% – Gstoettner i wsp., 2008) [18,22]. W kolejnym cyklu badań zachowanie słuchu oceniono w grupie 18 dorosłych i 10 dzieci, użytkowników systemów implantów ślimakowych jednego producenta z różnymi typami elektrod [31]. Uzyskano zachowanie słuchu u 88% badanych. Wynik ten był porównywalny do wyników odnotowanych we wcześniejszych badaniach [32]. Kolejne badanie kliniczne wykonane zostało z zastosowaniem implantów innego producenta [33,34]. W grupie 35 pacjentów wartość mediany różnic przed- i pooperacyjnych progów słyszenia wyniosła 15 dB dla częstotliwości 250 Hz i 500 Hz. Ponadto słuch został zachowany w 91% przypadków. Potwierdzono zatem możliwość zachowania słuchu na większym materiale badawczym, z zastosowaniem implantów różnych producentów, z różnymi typami elektrod.

Dwa osobne badania przeprowadzono w populacji dziecięcej [9,35]. W pierwszym, wykonanym z udziałem 9 dzieci, stwierdzono zachowanie słuchu w 100% przypadków. Aby lepiej opisać możliwości stosowania stymulacji elektryczno-akustycznej po wszczęciu implantu, wprowadzono trzy pojęcia określające stopień zachowania słuchu 1) pełne zachowanie słuchu – gdy pooperacyjne progi słyszenia zawierają się w przedziale  $\pm 10$  dB w stosunku do wartości przedoperacyjnych; 2) częściowe zachowanie słuchu – gdy pooperacyjne progi słyszenia nie przekraczają zakresu wydolności audiometru, natomiast zmiana wartości przekracza 10 dB; 3) funkcjonalne zachowanie słuchu – gdy wartości mierzonych pooperacyjnie progów słyszenia są mniejsze niż 80 dB HL, co umożliwia stosowanie pobudzenia elektryczno-akustycznego. W badanej grupie stwierdzono funkcjonalne zachowanie słuchu w 89% przypadków. Było to pierwsze opisane w literaturze badanie dotyczące zachowania słuchu po wszczęciu implantu

ślimakowego u dzieci z częściową głuchotą [9]. W drugim badaniu porównano zachowanie słuchu w grupie dzieci z mniejszym ubytkiem słuchu przed wszczęciem implantu, u których zastosowano krótszą – 20 mm elektrodę, z grupą dzieci z większym ubytkiem słuchu i z dłuższą – 30 mm elektrodą [35]. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w zachowaniu słuchu pomiędzy badanymi grupami. Wykazano, że zgodnie z przyjętymi kryteriami w całym materiale (25 dzieci) słuch został zachowany (pełne i częściowe zachowanie) u 100% badanych, w tym funkcjonalne zachowanie słuchu stwierdzono u 88% przypadków. W drugim badaniu uzyskano wynik zachowania słuchu porównywalny do wyniku pierwszego badania, co wskazuje na skuteczność i powtarzalność stosowanej techniki chirurgicznej i w konsekwencji na możliwość stosowania stymulacji elektryczno-akustycznej u dzieci z częściową głuchotą, którym wszczęto implant ślimakowy [35].

Możliwości zachowania słuchu po wprowadzeniu dłuższej niż 20 mm elektrody były testowane w kolejnym obserwacyjnym badaniu klinicznym przeprowadzonym w grupie 42 dorosłych [36]. Bezpośrednio po operacji wszczęcia implantu stwierdzono zachowanie słuchu w 93% przypadków. Rok po operacji odsetek ten zmalał do 85% z uwagi na wystąpienie pogorszenia słuchu u 5 pacjentów. Aby ocenić zaobserwowaną progresję, przeanalizowano zmiany średniego progu słyszenia w uchu implantowanym i nieimplantowanym. Analiza statystyczna wykazała zarówno w jednym, jak i drugim uchu istotne statystycznie zwiększenie średniego progu w czasie rocznej obserwacji. Aby wyjaśnić charakter zmian progu w uchu implantowanym, potraktowano ucho nieimplantowane jako „warunek kontrolny” i odejmując średnie zmiany progu ucha nieimplantowanego od zmian w uchu implantowanym uzyskano miarę zmian w uchu implantowanym w odniesieniu do „warunku kontrolnego”. Analizując otrzymaną miarę po roku użytkowania implantu w stosunku do okresu bezpośrednio po operacji, nie wykazano istotnych statystycznie różnic zmiany średniego progu słyszenia w uchu implantowanym. Na tej podstawie stwierdzono, że pogorszenie progu słuchowego w okresie roku po wszczęciu implantu związane jest z postępowaniem patologii ucha wewnętrznego, a nie z uszkodzeniem jego struktur w następstwie wprowadzenia elektrody. Obserwacja ta pozwoliła na wyciągnięcie ostatecznego wniosku z przeprowadzonych badań mówiącego o tym, że wprowadzenie do ucha wewnętrznego przez okienko okrągłe długiej elektrody, której część szczytowa znajduje się w bezpośredniej bliskości komórek słuchowych, nie uszkadza ani tych komórek, ani innych struktur ucha wewnętrznego, co przekłada się na zachowanie słuchu po wszczęciu implantu [36]. Wniosek ten można uznać za przełomowy w rozwoju metody leczenia niedosłuchu za pomocą implantów ślimakowych. Udowodniono bowiem, że dzięki odpowiednim technikom chirurgicznym możliwe jest zachowanie struktur ucha wewnętrznego. Wiedza ta jest również przydatna zarówno w odniesieniu do pacjentów z częściową głuchotą, jak i do pacjentów z całkowitą głuchotą przed wszczęciem implantu. W przypadku tych drugich preferowana jest bowiem dłuższa elektroda, dzięki której prowadzona stymulacja elektryczna może aktywować większość dochodzących do ślimaka neuronów, co pozwala na zwiększenie informacji o dźwięku przekazywanej tą drogą do ośrodkowego układu nerwowego. Wykazanie, że możliwe

jest uniknięcie zniszczenia ucha wewnętrznego w następstwie wprowadzenia elektrody, pozwala mieć nadzieję, że zastosowanie innych metod leczenia głuchoty, które mogą zostać wynalezione w przyszłości, nadal będzie możliwe nawet w odniesieniu do ucha wcześniej implantowanego. A zatem wszczęcie implantu nie uniemożliwia zastosowania nowych technologii medycznych, takich jak inżynieria genetyczna czy terapia z wykorzystaniem komórek macierzystych, które kiedyś mogą być dostępne dla pacjentów niesłyszących i niedosłyszących. Obecnie podczas wszczęcia implantu ślimakowego chirurg dąży do tego, by przeprowadzić operację w sposób możliwie jak najmniej traumatyczny. Jego celem jest zadbanie o to, aby elektroda i proces jej wkładania do ślimaka nie spowodowały uszkodzeń struktur ucha wewnętrznego, a w szczególności komórek nerwowych wewnątrz ślimaka, poddawanych stymulacji elektrycznej. Jest to stosunkowo nowy obszar zainteresowania: dzisiaj, dzięki postępom w zakresie techniki chirurgicznej i konstrukcji elektrod oraz zastosowania leków, doświadczony chirurg może podczas wszczęcia implantu ślimakowego zachować w całości nieuszkodzone ucho wewnętrzne u większości pacjentów. Jednocześnie obserwuje się, że korzyści z zastosowania atraumatycznych technik chirurgicznych umożliwiających zachowanie struktur ucha wewnętrznego występują u wszystkich pacjentów implantowanych, nawet tych, których resztki słuchowe są zbyt małe, by same były użyteczne. Lepiej zachowane połączenia nerwowe sprzyjają lepszemu rozpoznawaniu mowy dzięki większej ilości informacji akustycznych przekazywanych na drodze elektrycznej [37].

### System klasyfikacji zachowania słuchu

Mimo że korzyści związane z zachowaniem słuchu są powszechnie znane i akceptowane, do niedawna nie było żadnego ujednoliconego systemu, który umożliwiłby określenie, czym dokładnie jest ‘zachowanie słuchu’. Wielu specjalistów deklarowało potrzebę opracowania wspólnego, szeroko akceptowanego systemu klasyfikacji zachowania słuchu, gdyż w podejmowanych dotychczas próbach opisywania wyników autorzy wykorzystywali opracowane przez siebie metody oceny, które w większości przypadków nie mogły być stosowane uniwersalnie, np. w celach oceny porównawczej [38].

W 2013 roku grupa robocza, działająca pod kierownictwem prof. H. Skarżyńskiego w ramach konsorcjum naukowego HEARING ([www.hearing.com](http://www.hearing.com)), zaproponowała nowy System Klasyfikacji Zachowania Słuchu, który może stanowić rozwiązanie obecnych trudności związanych z brakiem przyjętego standardu [39]. Proponowany system: 1) jest niezależny od przedoperacyjnego poziomu słyszenia użytkownika implantu, 2) umożliwia analizę pod kątem zastosowanej techniki chirurgicznej, farmakoterapii przed-, około- i pooperacyjnej, rodzaju i typu elektrody, 3) pozwala na ocenę względnej zmiany progu słyszenia. System Klasyfikacji Zachowania Słuchu umożliwi ocenę dwuetapową. W pierwszym etapie procentowe zachowanie słuchu (S) określane jest wzorem:

$$S = \left[ 1 - \frac{(PT_{Apost} - PT_{Apre})}{(PT_{Amax} - PT_{Apre})} \right] * 100 \quad [\%]$$

**Tabela 1.** Częstotliwości audiometryczne, dla których liczone są  $PTA_{pre}$  i  $PTA_{post}$  (wiersz górny) oraz wartości poziomów  $PTA_{max}$ , tj. wydolność audiometru (wiersz dolny)

**Table 1.** Audiometric frequencies for  $PTA_{pre}$ ,  $PTA_{post}$  and  $PTA_{max}$  calculation and maximum presentation levels (maximum output level)

Częstotliwość [Hz]	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
$PTA_{max}$ [dB]	90	105	110	120	120	120	120	120	115	100	95

**Tabela 2.** Przyjęta konwersja skali interwałowej na porządkową

**Table 2.** Scale of the proposed HP classification system

Zachowanie słuchu S [%]	Kategoria zachowania słuchu
100% $\geq$ S > 75%	Całkowite zachowanie
75% $\geq$ S > 25%	Częściowe zachowanie
25% $\geq$ S > 0%	Minimalne zachowanie
S=0%	Utrata słuchu

gdzie:  $PTA_{post}$  – średni próg słyszenia po wszczępieniu implantu, liczony dla częstotliwości audiometrycznych określonych w tabeli (tabela 1);  $PTA_{pre}$  – średni próg słyszenia przed wszczępieniem implantu, liczony dla częstotliwości audiometrycznych określonych w tabeli (tabela 1);  $PTA_{max}$  – średni poziom maksymalny dźwięku wynikający z ograniczenia w prezentacji poziomu bodźca w najbardziej popularnych audiometrach (tabela 1).

Parametr S można interpretować jako procentowy udział pola słuchowego pozostałego po wszczępieniu implantu (obszar pod krzywą audiometryczną) w polu słuchowym, którym dysponował pacjent przed wszczępieniem (obszar pod krzywą audiometryczną przed wszczępieniem implantu).

W drugim etapie System Klasyfikacji Zachowania Słuchu umożliwia kategoryzację zachowania słuchu zgodnie z przyjętym sposobem konwersji skali interwałowej na skalę porządkową (tabela 2).

Praktyczne korzyści z wprowadzenia jednolitego Systemu Klasyfikacji Zachowania Słuchu to m.in.:

- powszechna dostępność tego systemu, która umożliwia prowadzenie retrospektywnej i prospektywnej obserwacji i kategoryzacji stopnia zachowania słuchu w poszczególnych klinikach; graficzne przedstawienie wyników ułatwia śledzenie i porównywanie, w różnych przedziałach czasowych, zmian stopnia zachowania słuchu;

## Piśmiennictwo:

1. Piotrowska A, Lorens A, Szuchnik J, Wojewódzka B, Kosmłowa J, Skarżyński H. Procedura przedoperacyjna kwalifikacji do wszczępienia implantu ślimakowego stosowana w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie. *Audiofonologia*, 2001; XX: 43–50.
2. Djourno A, Eyriès C. Auditory prosthesis by means of a distant electrical stimulation of the sensory nerve with the use of an indwelt coiling. *Presse Med*, 1957; 65(63): 1417.
3. Moller AR. Cochlear and brainstem implants. *Adv Otorhinolaryngol. Basel, Karger*, 2006; 64: 1–10.

- umożliwienie przeprowadzania badań na dużej populacji poprzez zintegrowanie wyników z wielu ośrodków; uzyskane dane wieloosrodkowe mogą być wykorzystane do analiz korelacyjnych oraz stanowić podstawę wnioskowania statystycznego.

Grupa HEARRING zaleca stosowanie Systemu Klasyfikacji Zachowania Słuchu w praktyce klinicznej, nie tylko dlatego, że w sposób jasny i przejrzysty opisuje on wyniki zachowania słuchu, lecz także dlatego, że jego powszechne użytkowanie umożliwi przegląd wyników funkcjonalnego i strukturalnego zachowania słuchu z wielu ośrodków. Zastosowanie proponowanego standardu stworzy warunki do porównywania wyników różnych badań klinicznych dotyczących zachowania słuchu po wszczępieniu implantu ślimakowego, co umożliwi przeprowadzenie metaanaliz, a tym samym przyczyni się do zwiększania wiedzy w zakresie praktykowania medycyny opartej na faktach w dziedzinie implantów ślimakowych.

## Podsumowanie

Stopień zachowania słuchu uzyskany po wprowadzeniu elektrody do ucha wewnętrznego przez okienko okrągłe umożliwi zastosowanie u większości pacjentów z częściową głuchotą elektryczno-akustycznego pobudzenia receptora słuchu będącego podstawą nowej metody leczenia częściowej głuchoty.

Dzięki postępom w zakresie technik chirurgicznych oraz konstrukcji elektrod możliwe jest zachowanie struktur ucha wewnętrznego po wszczępieniu implantu ślimakowego u większości pacjentów.

Stworzony został powszechnie dostępny System Klasyfikacji Zachowania Słuchu, przeznaczony do raportowania wyników zachowania słuchu po wszczępieniu implantu ślimakowego.

*Artykuł powstał w związku z realizacją projektu „Zintegrowany system narzędzi do diagnostyki i telerehabilitacji schorzeń narządów zmysłów (słuchu, wzroku i mowy, równowagi, smaku i powonienia)” współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu STRATEGMED.*

4. Wilson BS, Finley CC, Lawson DT, Wolford RD, Eddington DK, Rabinowitz WM. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature*, 1991; 352: 236–8.
5. Zeng FG, Popper AN, Fay RR. Cochlear implants. Auditory prostheses and electric hearing. New York: Springer-Verlag; 2004.
6. Skarżyński H. Idea implantu ślimakowego. *Otolaryngologia Polska*, 1994; XLVIII, Suplement Nr 15.
7. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A. A new method of partial deafness treatment. *Med Sci Monit*, 2003; 9(4): 20–4.
8. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Anderson I. Partial deafness cochlear implantation provides benefit to a new population of individuals with hearing loss. *Acta Otolaryngol*, 2006; 126(9): 934–40.
9. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Anderson I. Partial deafness cochlear implantation in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2007; 71(9): 1407–13.
10. Barbara M, Mancini P, Nattioni A, Monini S, Ballantyne D, Filipo R. Residual hearing after cochlear implantation. *Adv Otorhinolaryngol*, 2000; 57: 385–8.
11. Barbara M, Mattioni A, Monini S, Chiappini I, Ronchetti R, Ballantyne D i wsp. Delayed loss of residual hearing in Clarion cochlear implant users. *J Laryngol Otol*, 2003; 117: 850–3.
12. Boggess WJ, Baker JE, Balkany TJ. Loss of residual hearing after cochlear implantation. *Laryngoscope*, 1989; 99: 1002–5.
13. Mostafapour SP, Hockenbery DM, Rubel EW. Life and death in otolaryngology: mechanism of apoptosis and its role in the pathology and treatment of disease. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1999; 125: 729–37.
14. Gantz BJ, Turner CW. Combining acoustic and electric hearing. *Laryngoscope*, 2003; 113: 1726–30.
15. Gantz BJ, Turner CW. Combining acoustic and electrical speech processing: Iowa/Nucleus Hybrid Implant. *Acta Otolaryngol*, 2004; 124: 344–7.
16. Gantz BJ, Turner C, Gfeller KE, Lowder MW. Preservation of hearing in cochlear implant surgery: advantages of combined electrical and acoustical speech processing. *Laryngoscope*, 2005; 115: 796–802.
17. Gstoettner W, Kiefer J, Baumgartner W, Pok S, Peters S, Adunka O. Hearing preservation in cochlear implantation for Electric Acoustic Stimulation. *Acta Otolaryngol*, 2004; 124: 348–52.
18. Gstoettner WK, van de Heyning P, O'Connor AF, Morera C, Sainz M, Vermeire K i wsp. Electric acoustic stimulation of the auditory system: results of a multi-centre investigation. *Acta Otolaryngol*, 2008; 128(9): 968–75.
19. Hodges AV, Schloffman J, Balkany T. Conservation of residual hearing with Cochlear implantation. *Am J Otol*, 1997; 18: 179–83.
20. James C, Albegger K, Battmer R, Burdo S, Deggouj N, Deguine O i wsp. Preservation of residual hearing with cochlear implantation: how and why. *Acta Otolaryngol*, 2005; 125(5): 481–91.
21. Kiefer J, von Ilberg C, Reimer B, Knecht R, Gall V, Diller G i wsp. Results of cochlear implantation in patients with severe to profound hearing loss – implications for patients selection. *Audiology*, 1998; 37: 382–95.
22. Kiefer J, Gstoettner W, Baumgartner W, Pok SM, Tillein J, Qing Y i wsp. Conservation of low-frequency hearing in cochlear implantation. *Acta Otolaryngol*, 2004; 124: 272–80.
23. Kiefer J, Pok M, Adunka O, Stürzebecher E, Baumgartner W, Schmidt M i wsp. Combined electric and acoustic stimulation of the auditory system: results of a clinical study. *Audiol Neurotol*, 2005; 10: 134–44.
24. Rizer FM, Arkis PN, Lippy WH, Schuring AG. Post operative audiometric evaluation of cochlear implant patients. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 1988; 98: 203–6.
25. von Ilberg C, Kiefer J, Tillein H, Pfenningdorff T, Hartmann R, Sturzebecher E, Klinke R. Electric-acoustic stimulation of the auditory system. *J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 1999; 61: 334–40.
26. Lorens A, Geremek A, Walkowiak A, Skarżyński H. Residual acoustic hearing in the ear before and after cochlear implantation. *Proceedings of 4<sup>th</sup> European Congress of Oto-Rhino-Laryngology Head and Neck Surgery*. 2000; t. I: 135–8. Editors: Klaus Jahnke, Markus Fischer; Monduzzi Editore, Italy.
27. Skarżyński H, Lorens A, D'Haese P, Walkowiak A, Piotrowska A. Preservation of residual hearing in children and post-lingually deafened adults after cochlear implantation: an initial study. *J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2002; 64(4): 247–53.
28. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A. Nowa metoda leczenia częściowej głuchoty. *Otolaryngol Pol*, 2004; 58(4): 811–6.
29. Lorens A, Piotrowska A, Skarżyński H, Obrycka A. Zastosowanie elektronicznych protez wszczepialnych w leczeniu niedosłuchów. *Pol Merkuriusz Lek*, 2005; 19(111): 487–9.
30. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Anderson I. Preservation of low frequency hearing in partial deafness cochlear implantation (PDCI) using the round window surgical approach. *Acta Oto-laryngologica*, 2007; 127(1): 41–8.
31. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Podskarbi-Fayette R. Results of partial deafness implantation using various electrode designs. *Audiol Neurotol*, 2009; 14(1): 39–45.
32. Lorens A, Skarżyński H, Piotrowska A. New methods of deafness and partial deafness treatment. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2006; 26: 75–83.
33. Skarżyński H, Lorens A, Matusiak M, Porowski M, Skarżyński PH, James CJ. Partial deafness treatment with the Nucleus Straight Research Array cochlear implant. *Audiol Neurotol*, 2012; 17: 82–91.
34. Skarżyński H, Lorens A, Matusiak M, Porowski M, Skarżyński PH, James CJ. Cochlear implantation with the Nucleus slim straight electrode in subjects with residual low-frequency hearing. *Ear Hear*, 2014; 35(2): 33–43.
35. Skarżyński H, Lorens A. Electric acoustic stimulation in children. *Adv Otorhinolaryngol*. 2010; 67: 135–43.
36. Skarżyński H, Lorens A, Zgoda M, Piotrowska A, Skarżyński PH, Szkiełkowska A. Atraumatic round window deep insertion of cochlear electrodes. *Acta Otolaryngol*, 2011; 131(7): 740–9.
37. Lorens A, Polak M, Piotrowska A, Skarżyński H. Outcomes of treatment of partial deafness with cochlear implantation: A DUET Study. *Laryngoscope*, 2008; 1189(2): 288–94.
38. Skarżyński H, Lorens A, Piotrowska A, Skarżyński PH. Hearing preservation in partial deafness treatment. *Med Sci Monit*, 2010; 16(11): 555–62.
39. Skarżyński H, van de Heyning P, Agrawal S, Arauz SL, Atlas M, Baumgartner W i wsp. Towards a consensus on a hearing preservation classification system. *Acta Otolaryngol Suppl*, 2013; (564): 3–13.