

## **Analiza metod, technik i urządzeń stosowanych w procesie dopasowania systemu implantu ślimakowego – studia literaturowe**

### **Analysis of methods, techniques and devices used in cochlear implant fitting – literature review**

**Tomasz Wiśniewski, Aleksandra Pieczykolan, Marika Kruszyńska, Artur Lorens, Henryk Skarżyński**

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Zakład Implantów i Percepcji Słuchowej, Warszawa/Kajetany

**Adres autora:** Tomasz Wiśniewski, Światowe Centrum Słuchu, Zakład Implantów i Percepcji Słuchowej, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830 Nadarzyn, e-mail: t.wisniewski@ifps.org.pl

#### **Streszczenie**

**Wstęp:** Procesem dopasowania systemu implantu ślimakowego nazywamy ciąg czynności mający na celu zapewnienie kompensacji utraconej funkcji słyszenia u osób z niedosłuchem zmysłowo-nerwowym przy wykorzystaniu systemu implantu ślimakowego.

**Cel:** Przegląd publikacji dotyczących procesu dopasowania systemu implantu ślimakowego oraz analiza częstości występowania metod, technik i urządzeń w nim stosowanych.

**Materiał i metody:** Publikacje uzyskano, korzystając z wyszukiwania elektronicznego, głównie w bazach PubMed oraz Ovid. Posłużono się w tym celu elementami metodologii zaczerpniętej z przeglądów systematycznych.

**Wyniki:** W wyniku wyszukiwania otrzymano 31 publikacji spełniających przyjęte kryteria. Najczęściej wymieniane były pomiary: elektrycznie wywołanego całościowego czynnościowego potencjału nerwu słuchowego, elektrycznie wywołanego odruchu mięśnia strzemiączkowego, impedancji elektrycznej złącza elektroda-neurony, elektrycznie wywołanych potencjałów pnia mózgu, określenie funkcji narastania głośności, testy identyfikacji słów, pomiar progów słyszenia z wykorzystaniem audiometrii w wolnym polu, testy identyfikacji zdań oraz skalowanie głośności. Urządzenia wykorzystane w procesie dopasowania implantu były rzadko opisywane, tylko w przypadku 9 z 31 publikacji.

**Słowa kluczowe:** implant ślimakowy • proces dopasowania • metody • techniki • urządzenia

#### **Abstract**

**Introduction:** The process of cochlear implant fitting is understood as the sequence of actions the objective of which is to compensate lost hearing ability of patients with the sensorineural hearing loss utilising the cochlear implant.

**Aim:** The review of publications on the cochlear implant fitting process and the analysis of frequency of occurrence of methods, techniques and equipment used in it.

**Material and methods:** Searching mostly through the PubMed and the Ovid databases based on the elements found in the methodologies of the systematic reviews.

**Results:** The 31 publications meeting the specific criteria were found. The most frequently mentioned measurements concerned: the electrically evoked compound action potential, electrically evoked stapedius reflex, electrode impedance, electrically evoked auditory brainstem response, loudness growth function, word identification tests, free field audiometry, sentence identification tests, loudness scaling. The devices used in the cochlear implant fitting were rarely described, only in 9 out of 31 publications.

**Key words:** cochlear implant • fitting • methods • techniques • devices

## Wstęp

Proces rozumiany jest jako ciąg logicznie uporządkowanych czynności, w wyniku których powstaje określony efekt działania (produkt), z którego korzysta klient [1]. Zgodnie z założeniami teorii zarządzania procesami, ciąg czynności mający na celu zapewnienie kompensacji utraconej funkcji słyszenia u osób z niedosłuchem zmysłowo-nerwowym przy wykorzystaniu systemu implantu ślimakowego nazywamy procesem dopasowania implantu ślimakowego. Możemy rozumieć, że klientem, który korzysta z produktu, jest pacjent, natomiast produktem – skompensowanie utraconej funkcji słyszenia.

System implantu ślimakowego jest protezą słuchu, która dzięki stymulacji elektrycznej zakończeń nerwu słuchowego zastępuje uszkodzony narząd receptorowy ślimaka. System ten złożony jest z części wewnętrznej (kapsuła oraz elektrody) wszczepianej operacyjnie i części zewnętrznej, czyli procesora mowy, który przetwarza dźwięk na bodziec elektryczny zgodnie z określoną strategią kodowania mowy [2].

Nie ma jednej ściśle zdefiniowanej struktury procesu dopasowania systemu implantu ślimakowego i może się on różnić w zależności od ośrodka zajmującego się jego dopasowaniem [3]. Zazwyczaj jednak ogólna struktura procesu opiera się na podobnych elementach. Podprocesy wchodzące w skład procesu dopasowania implantu to: ocena funkcjonalna struktur układu słuchowego, edukowanie pacjenta i wsparcie, dobór parametrów elektrostymulacji oraz ocena skuteczności kompensacji utraconej funkcji słyszenia. Co istotne, wszystkie te podprocesy realizowane są wielokrotnie i naprzemiennie w trakcie całego procesu dopasowania [3,4].

Ocena funkcjonalna struktur układu słuchowego służy ustaleniu czynników, które mogą ograniczyć możliwość kompensacji deficytów słyszenia, i jest konieczna dla późniejszego właściwego doboru parametrów stymulacji. W jej zakresie wyróżniamy podprocesy takie jak: ocena struktur: ucha wewnętrznego, nerwu słuchowego, pnia mózgu, śródmózgowia, międzymózgowia oraz płatów korowych [5].

Edukacja i wsparcie służy zapoznaniu pacjenta z przebiegiem procesu dopasowania. Pozwala również określić jego oczekiwania i omówić możliwości ich realizacji [6].

Dobór parametrów elektrostymulacji służy zapewnieniu jak najlepszej kompensacji utraconej funkcji słyszenia i składa się z czynności służących określeniu między innymi optymalnych poziomów stosowanych prądów, liczby aktywnych elektrod, strategii kodowania, prędkości stymulacji oraz kształtu funkcji kompresji [7].

Ocena skuteczności kompensacji utraconej funkcji słyszenia najczęściej składa się z podprocesów takich jak: ocena wykrywania dźwięków, ocena rozróżniania głośności, ocena rozróżniania mowy [5]. Jest ona również miernikiem jakości procesu dopasowania i daje możliwość wprowadzenia modyfikacji w procesie, jeśli wyniki nie są zadowalające.

Analizując dopasowanie systemu implantu jako proces, możemy określić takie jego parametry jak: czas trwania

i terminy realizacji poszczególnych etapów, jakość produktu (ocena wyników dopasowania) i zadowolenie klienta [1]. Proces dopasowania nie kończy się po jednorazowym przeprowadzeniu wszystkich podprocesów, ale wymaga co najmniej kilkukrotnego ich powtórzenia. Wiąże się to z koniecznością ustalenia terminów kolejnych sesji dopasowania. Podobnie jak czas trwania całego procesu, nie są one ściśle określone i mogą się różnić w zależności od ośrodków wykonujących programowanie procesorów dźwięku [3].

Niezależnie od etapu procesu dopasowania, nieodzownym elementem umożliwiającym jego realizację jest dobór wykorzystywanych metod, technik i narzędzi (urządzeń). Metody w tym kontekście mogą być definiowane jako zespół teoretycznie uzasadnionych zabiegów koncepcyjnych i instrumentalnych, obejmujących najogólniej całość postępowania zmierzającego do uzyskania produktu, czyli skompensowania utraconej funkcji słyszenia. W procesie dopasowania implantu ślimakowego odnosi się to głównie do badań obiektywnych i subiektywnych. Każdej metodzie przyporządkowane są techniki, czyli czynności praktyczne, regulowane starannie wypracowanymi procedurami, pozwalającymi na uzyskanie produktu danego podprocesu. Narzędziem jest element służący do realizacji wybranej techniki badań [8].

## Cel

Celem pracy jest wykonanie przeglądu publikacji dotyczących procesu dopasowania implantu ślimakowego oraz analiza częstości występowania metod, technik i urządzeń stosowanych w procesie, jak również określenie parametrów podprocesów, w których wymienione metody, techniki i narzędzia zostały wykorzystane.

## Materiał i metody

Publikacje uzyskano, korzystając z wyszukiwania elektronicznego. Wykorzystano do tego celu bazy PubMed, Ovid oraz powszechnie dostępne metody wyszukiwania internetowego. Posłużono się przy tym elementami metodologii zaczerpniętymi z przeglądów systematycznych. Wykorzystane słowa kluczowe oraz algorytm wyszukiwania przedstawione zostały w tabeli 1.

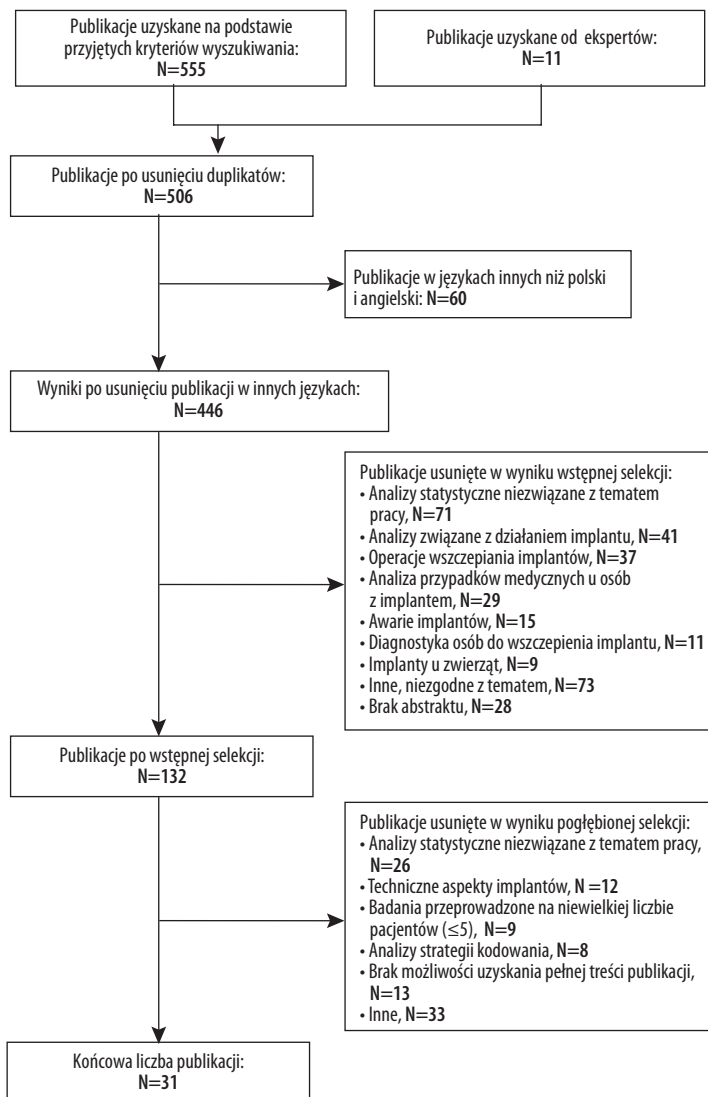
Spśród otrzymanych wyników wybrano polskie i angielskie publikacje zawierające opisy metod, technik i urządzeń stosowanych w procesie dopasowania systemu implantu, opisujące korzyści wynikające z ich zastosowania lub porównujące ich efekty. Publikacje musiały dotyczyć badań z udziałem ludzi (dorosłych i/lub dzieciach), użytkowników czterech najbardziej rozpowszechnionych systemów implantów ślimakowych: Med-El, Cochlear, Advanced Bionics oraz Neurelec. Prezentowane metody i techniki musiały zostać przebadane na grupie co najmniej pięciu osób. Korzystając z wymienionych kryteriów wyszukiwania, uzyskano 31 publikacji (rycina 1).

## Wyniki

W celu dalszej analizy metody otrzymane w wyniku przeglądu podzielono na badania obiektywne – niewymagające aktywności pacjenta oraz badania subiektywne – wymagające aktywnego udziału pacjenta (tabela 2).

**Tabela 1.** Algorytm wyszukiwania literatury  
**Table 1.** Literature search algorithm

Lp.	Algorytm wyszukiwania
1	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND programming
2	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND fitting
3	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND balancing
4	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND adjusting
5	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND enhancement
6	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND (method OR methods)
7	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND (technique OR techniques)
8	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND (measure OR measurement OR measurements)
9	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND (test OR tests)
10	((cochlear OR hearing) AND (implant OR prosthesis)) AND (device OR devices)



**Rycina 1.** Sposób selekcji literatury  
**Figure 1.** Literature selection method

**Tabela 2.** Metody, techniki i urządzenia stosowane w procesie dopasowania implantu ślimakowego  
**Table 2.** Methods, techniques and devices used in the cochlear implant fitting

Nr	Tytuł	Autorzy	Metody	Techniki	Urządzenia	Parametry czasowe procesu
1	Cochlear Implant Programming: A Global Survey on the State of the Art [3]	Vaerenberg B i wsp.	Badania obiektywne Badania subiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej, ECAP, ESR, Funkcja narastania głośności (określenie progu słyszenia i poziomu komfortowego słyszenia), Testy identyfikacji słów		Początek dopasowania: 2–6 tygodni po operacji; liczba dopasowań i czas trwania: średnio 3 sesje w pierwszym kwartale i 3 sesje w 3 następnym kwartałach
2	Cochlear implants matching the prosthesis to the brain and facilitating desired plastic changes in brain function [9]	Wilson BS, Dorman MF, Woldorff MG, Tucci DL	Badania obiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej		
3	Measurement and analysis of access resistance and polarization impedance in cochlear implant recipients [10]	Tykocinski M, Cohen LT, Cowan RS	Badania obiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej		
4	Alterations in Electrode Impedance Values in Response to Electrode Stimulation in the First Mapping Session of Children Using Clarion Cochlear Implant [11]	Masoud MZ, Pavaneh A, Hebetadin B, Taghi KM, Farzad M	Badania obiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej		
5	Image-guidance enables new methods for customizing cochlear implant stimulation strategies [12]	Noble JH, Labadie RF, Gifford RH, Dawant BM	Badania obiektywne	Określenie położenia elektrody względem struktur nerwu słuchowego za pomocą tomografii komputerowej		
6	Effects of Programming Threshold and Maplaw Settings on Acoustic Thresholds and Speech Discrimination with the MED-EL COMBI 40+ Cochlear Implant [13]	Boyd PJ	Badania subiektywne	Test identyfikacji słów, funkcja narastania głośności		
7	Analysis of programming maps and its application for balancing multichannel cochlear implants [14]	Sainz M, de la Torre A, Roldan C, Ruiz JM, Vargaz JL	Badania subiektywne	Funkcja narastania głośności, audiometria w wolnym polu		
8	Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children [15]	Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP, ESR, EABR Funkcja narastania głośności		Interwały: dzień operacji, dzień aktywacji systemu, 2 dni; 1, 3, 6, 12 miesięcy po aktywacji
9	ESRT, ART, and MCL correlations in experienced paediatric cochlear implant users [16]	Walkowiak A, Lorens A, Kostek B, Skarżynski H, Polak M	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP, ESR Funkcja narastania głośności	Tympanometr Madsen Zodiac	
10	Can ECAP Measures Be Used for Totally Objective Programming of Cochlear Implants? [17]	Mckay CM, Chandan K, Akhoun I, Siciliano C, Kluk K	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP Funkcja narastania głośności		
11	Neural response telemetry reconsidered: I. The relevance of ECAP threshold profiles and scaled profiles to cochlear implant fitting [18]	Botros A, Psarros C	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP Funkcja narastania głośności		

Nr	Tytuł	Autorzy	Metody	Techniki	Urządzenia	Parametry czasowe procesu
12	Objective methods in postlingually and prelingually deafened adults for programming cochlear implants: ESR and NRT [19]	Polak M, Hodges AV, King JE, Payne SL, Balkany TJ	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP, ESR, Funkcja narastania głośności		
13	A longitudinal study of electrode impedance, the electrically evoked compound action potential, and behavioral measures in nucleus 24 cochlear implant users [20]	Hughes ML, Vander Werff KR, Brown CJ, Abbas PJ, Kelsay DM, Teagle HF, Lowder MW	Badania obiektywne Badania subiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej, ECAP, ESR Funkcja narastania głośności		
14	Evoked stapedius reflex and compound action potential thresholds versus most comfortable loudness level: assessment of their relation for charge-based fitting strategies in implant users [21]	Walkowiak A, Lorens A, Polak M, Kostek B, Skarżynski H, Szkiełkowska A, Skarżynski PH	Badania obiektywne	ECAP, ESR	Tympanometr Madsen Zodiac	
15	Post-operative Stapedius Reflex Tests with Simultaneous Loudness Scalling in Patients Supplied with Cochlear implants [22]	Stephan K, Welzl-Muller K	Badania subiektywne Badania obiektywne	Funkcja narastania głośności ESR		
16	Evaluation of objective test techniques in cochlear implant users with inner ear malformations [23]	Cinar BC, Atas A, Sennaroglu G, Sennaroglu L	Badania obiektywne Badania subiektywne	ECAP, ESR, EABR Funkcja narastania głośności	Tympanometr Interacoustic AZ26	
17	Intraoperative and postoperative electrically evoked auditory brain stem responses in nucleus cochlear implant users: implications for the fitting process [24]	Brown CJ, Abbas PJ, Fryauf-Bertschy H, Kelsay D, Gantz BJ	Badania obiektywne Badania subiektywne	EABR Funkcja narastania głośności	Predestynowany interfejs podłączony do komputera Interfejs podłączony do komputera, oprogramowanie dostarczone przez producenta implantu	
18	Programming Cochlear Implants [25]	Wolfe J, Schafer EC	Badania obiektywne Badania subiektywne	Pomiar impedancji elektrycznej, ECAP Funkcja narastania głośności	Interfejs podłączony do komputera, oprogramowanie dostarczone przez producenta implantu	
19	Is cochlear implantation a good treatment method for profoundly deafened elderly? [26]	Lachowska M, Pastuszka A, Glinka P, Niemczyk K	Badania subiektywne	Audiometria w wolnym polu, test identyfikacji wyrazów jedno- i wielosylabowych, testy detekcji, dyskryminacji i identyfikacji dźwięków, test dyskryminacji sylab		Aktywacja 1 miesiąc po operacji, Interwały badania: pre, 3, 6, 12 miesięcy
20	Long-term speech perception in children with cochlear implants compared with children with conventional hearing aids [27]	Snik AF, Vermeulen AM, Brox JP, van den Broek P	Badania subiektywne	Audiometria w wolnym polu, test identyfikacji dźwięków mowy		Interwały: 3, 6, 12, 18, 24, 36 miesięcy po aktywacji systemu

Nr	Tytuł	Autorzy	Metody	Techniki	Urządzenia	Parametry czasowe procesu
21	Optimization of programming parameters in children with the advanced bionics cochlear implant [28]	Baudhuin J, Cadieux J, Firszt JB, Reeder RM, Maxson JL	Badania subiektywne	Audiometria w wolnym polu, testy detekcji, dyskryminacji i identyfikacji dźwięków, test identyfikacji wyrazów jedno- i wielosylabowych, testy zdań	Laptop Dell Latitude Dźwiękoszczelna kabina (Industrial Acoustics Company), Głośnik Grason-Stadler; Audiometr Grason-Stadler	
22	Loudness Scaling [29]	Brand T	Badania subiektywne	Skalowanie głośności		
23	Effects of electrical stimulation rate on speech recognition in cochlear implant users [30]	Park SH, Kim E, Lee HJ, Kim HJ	Badania subiektywne	Funkcja narastania głośności, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych, test identyfikacji zdań		
24	Speech perception in tones and noise via cochlear implants reveals influence of spectral resolution on temporal processing [31]	Oxenham AJ, Kreft HA	Badania subiektywne	Test identyfikacji zdań		
25	Speech recognition in cochlear implant recipients: comparison of standard HiRes and HiRes 120 sound processing [32]	Firszt JB, Holden LK, Reeder RM, Skinner MW	Badania subiektywne	Audiometria w wolnym polu, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych, test identyfikacji zdań		
26	Investigation of a matrix sentence test in noise: reproducibility and discrimination function in cochlear implant patients [33]	Hey M, Hocke T, Hedderich J, Müller-Deile J	Badania subiektywne MATRIX	Test identyfikacji zdań	Kabina dźwiękoszczelna, głośnik Westra LAB-501	
27	Auditory speech sounds evaluation (AŞE®): a new test to assess detection, discrimination, and identification in hearing impairment [34]	Goverts PJ, Daemers K, Yperman M, de Belkerauer G	Badania subiektywne AŞE®	Testy identyfikacji, dyskryminacji i detekcji dźwięków mowy		
28	Evaluation of the 'Fitting to Outcomes eXpert' (FOX®) with established cochlear implant users [35]	Buechner A, Vaerenberg B, Gazibegovic D, Brendel M, De Ceulaer G, Govaerts P, Lenarz T	Badania subiektywne FOX	Audiometria w wolnym polu, test dyskryminacji dźwięków mowy, skalowanie głośności, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych		Interwały: aktywacja, 2, 4 i 10–12 tygodni po aktywacji
29	Experiences of the use of FOX, an intelligent agent, for programming cochlear implant sound processors in new users [36]	Vaerenberg B, Govaerts PJ, de Ceulaer G, Daemers K, Schauwers K	Badania subiektywne FOX	Audiometria w wolnym polu, test dyskryminacji dźwięków mowy, skalowanie głośności, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych	Kabina dźwiękoszczelna, system Madsen Aurical (GN Otometrics)	Interwały: Aktywacja, 2, 4 i 10–12 tygodni po aktywacji
30	Setting and reaching targets with computer-assisted cochlear implant fitting [37]	Vaerenberg B, De Ceulaer G, Szlák Z, Mancini P, Buechner A, Govaerts PJ	Badania subiektywne FOX	Audiometria w wolnym polu, test dyskryminacji dźwięków mowy, skalowanie głośności, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych		
31	Recognition of speech presented at soft to loud levels by adult cochlear implant recipients of three cochlear implant systems [38]	Firszt JB, Holden LK, Skinner MW, Tobey EA, Peterson A, Gaggl W, Runge-Samuelson CL, Wackym PA	Badania subiektywne	Test identyfikacji wyrazów jednosylabowych, test identyfikacji zdań, audiometria w wolnym polu		

**Tabela 3.** Częstość występowania metod i technik w publikacjach  
**Table 3.** Frequency of appearing of methods and techniques in publications

Metody	Techniki	Liczba publikacji
Badania obiektywne	ECAP (ang. <i>Electrically Evoked Compound Action Potential</i> ) – elektrycznie wywołany całościowy czynnościowy potencjał nerwu słuchowego	10
	ESR (ang. <i>Electrically Evoked Stapedius Reflex</i> ) – elektrycznie wywołany odruch mięśnia strzemiączkowego	8
	Pomiar impedancji elektrycznej złącza elektroda-neurony	6
	EABR (ang. <i>Electrically Evoked Auditory Brainstem Response</i> ) – elektrycznie wywołane potencjały pnia mózgu	3
	Określenie położenia elektrody względem struktur nerwu słuchowego z wykorzystaniem tomografii komputerowej	1
Badania subiektywne	Określenie funkcji narastania głośności	14
	Testy identyfikacji słów jedno- lub wielosylabowych	10
	Pomiar progu słyszenia z wykorzystaniem audiometrii w wolnym polu	9
	Testy identyfikacji zdań	6
	Skalowanie głośności	4
	Inne testy detekcji, dyskryminacji, identyfikacji sylab lub dźwięków (w tym dźwięków mowy)	7
FOX/badania subiektywne	FOX (ang. <i>Fitting to Outcomes Expert</i> )	3

Częstość występowania w publikacjach poszczególnych metod i technik przedstawiono w tabeli 3.

Urządzenia wykorzystane w procesie dopasowania implantu opisane zostały w przypadku dziewięciu publikacji (tabela 2). Sześć spośród wyszukanych publikacji opisuje parametry czasowe procesu dopasowania, takie jak czas trwania i terminy realizacji poszczególnych etapów [3,15,26,27,35,36].

## Dyskusja

W podprocesie, jakim jest ocena funkcjonalna struktur układu słuchowego, zastosowanie znajdują badania obiektywne. Przyjmując częstość ich występowania w publikacjach jako kryterium przydatności, za najbardziej użyteczne w tym podprocesie uznano pomiary: ECAP, ESR, impedancji elektrycznej oraz EABR.

Korzystając z przedstawionych kryteriów wyszukiwania, nie znaleziono metod stosowanych w podprocesie edukacji i wsparcia. Sugerować to może, iż proces dopasowania systemu implantu ślimakowego nadal jest postrzegany jako typowo techniczny, inżynierski.

W podprocesie doboru parametrów elektrostymulacji najczęściej znajdują zastosowanie te same pomiary, które zostały wykorzystywane w ocenie funkcjonalnej struktur układu słuchowego, jak również badanie służące określeniu funkcji narastania głośności, wykorzystywane do określenia progu oraz poziomu komfortowego słyszenia. Zastosowanie znajduje również badanie umożliwiające określenie położenia elektrody względem struktur nerwu słuchowego [12]. Jest ono jednak wymieniane zdecydowanie rzadziej niż pozostałe pomiary. Powiązać to można

z potrzebą użycia większych zasobów technicznych i ludzkich, z powodu konieczności wykonania dwukrotnie tomografii komputerowej oraz zastosowania specjalnych algorytmów do analizy ich wyników.

W doborze parametrów elektrostymulacji, a także przy ocenie skuteczności kompensacji utraconej funkcji słyszenia wykorzystywane są pomiary subiektywne. Istnieje jednak duża ich różnorodność, nie tylko pod względem mierzonych korzyści, lecz także ich parametrów i warunków, w jakich są wykonywane, zależnie od ośrodka, w którym były przeprowadzane.

O stałym rozwoju procesu dopasowania systemu implantu ślimakowego świadczy pojawianie się metody, której celem jest zmniejszenie udziału specjalisty w procesie. Łączy ona w sobie różne techniki i obejmuje kilka podprocesów, np. ocenę skuteczności kompensacji utraconej funkcji słyszenia i dobór parametrów elektrostymulacji. FOX (ang. *Fitting to Outcomes Expert*) to system wykorzystujący algorytmy decyzyjne [35–37]. System ten na podstawie wyników badań subiektywnych, takich jak: audiometria w wolnym polu, test dyskryminacji dźwięków mowy, test identyfikacji wyrazów jednosylabowych, skalowanie głośności, sugeruje, jak należy zmienić wartości parametrów stymulacji.

W większości wyszukanych publikacji autorzy nie wymieniali, jakie urządzenia wykorzystali do przeprowadzenia badań. W przypadku takich badań jak ECAP, pomiar impedancji elektrycznej czy określenie funkcji narastania głośności można to uzasadnić faktem, iż do ich przeprowadzenia wymagane są tylko te narzędzia, które są niezbędne do programowania systemu implantu, czyli interfejs podłączony do komputera i predestynowane oprogramowanie, czyli elementy dostarczane przez producentów implantów [25].

Przeprowadzenie wszystkich pozostałych badań wymaga wykorzystania dodatkowych urządzeń.

Wyniki wyszukiwania zostały również przeanalizowane pod kątem określenia parametrów procesu dopasowania, takich jak: czas trwania i terminy realizacji poszczególnych etapów, ocena wyników dopasowania i zadowolenie klienta. Parametry czasowe procesu zostały wymienione w siedmiu publikacjach. Zazwyczaj proces dopasowania składał się z kilku wizyt w ciągu pierwszych miesięcy od aktywacji systemu implantu, a następnie corocznych kontroli.

Najczęściej opisywanym parametrem procesu była ocena skuteczności dopasowania. Jej wyznacznik stanowiły wszelkie techniki wchodzące w skład badań subiektywnych.

## Podsumowanie

Nie ma jednej ściśle określonej struktury procesu dopasowania systemu implantu ślimakowego. Poszczególne kliniki dobierają metody i techniki pod kątem istotnych dla nich aspektów procesu dopasowania.

## Piśmiennictwo:

1. Nowosielski S. Procesy i projekty logistyczne. Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu; 2008.
2. Piotrowska A, Lorens A, Obrycka A, Skarżyński H. Implantry ślimakowe – wczoraj i dziś. *Now Audiofonol*, 2014; 3(5): 23–27.
3. Vaerenberg B, Smits C, De Ceulaer G, Zir E, Harman S, Jaspers N i wsp. Cochlear implant programming: A global survey on the state of the art. *ScientificWorldJournal*, 2014; 2014: 501738.
4. Henkin Y, Kaplan-Neeman R, Muchnik C, Kronenberg J, Hildesheimer M. Changes over time in the psycho-electric parameters in children with cochlear implants. *Int J Audiol*, 2003; 5(42): 274–78.
5. Lorens A. Model rehabilitacji audiologicznej po wszczępieniu implantu ślimakowego opracowany na podstawie Międzynarodowej Klasyfikacji Funkcjonowania, Niepełnosprawności i Zdrowia (ICF). *Now Audiofonol*, 2014; 3(5): 77–90.
6. Stewart M. Patient-centered medicine: transforming the clinical method. Radcliffe Publishing; 2003.
7. Lorens A, Piotrowska A, Wąsowski A, Walkowiak A, Skarżyński H. Objective method of pediatric cochlear implant system fitting. *New Medicine*, 2004; 4(17): 109–11.
8. Kamiński A. Metoda, technika, procedura badawcza w pedagogice empirycznej. W: *Metodologia pedagogiki społecznej*. Wrocławski R, Pilch T. Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk, 1974; s. 65.
9. Wilson BS, Dorman MF, Woldorff MG, Tucci DL. Cochlear implants matching the prosthesis to the brain and facilitating desired plastic changes in brain function. *Prog Brain Res.*, 2011; 194: 117–29.
10. Tykocinski M, Cohen LT, Cowan RS. Measurement and analysis of access resistance and polarization impedance in cochlear implant recipients. *Otol Neurotol*, 2005; 26(5): 948–56.
11. Masoud MZ, Pavanah A, Hebetadin B, Taghi KM, Farzad M. Alterations in electrode impedance values in response to electrode stimulation in the first mapping session of children using Clarion cochlear implant. *Int Adv Otol*, 2009; 5(3): 361–64.
12. Noble JH, Labadie RF, Gifford RH, Dawant BM. Image-guidance enables new methods for customizing cochlear implant stimulation strategies. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2013; 21(5): 820–29.
13. Boyd PJ. Effects of programming threshold and maplaw settings on acoustic thresholds and speech discrimination with the MED-EL COMBI 40+ cochlear implant. *Ear Hear*, 2006; 27(6): 608–18.
14. Sainz M, de la Torre A, Roldan C, Ruiz JM, Vargaz JL. Analysis of programming maps and its application for balancing multichannel cochlear implants. *Int J Audiol*, 2003; 42: 42–51.
15. Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV. Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children. *Ear Hear*, 2004; 25(5): 447–63.
16. Walkowiak A, Lorens A, Kostek B, Skarżyński H, Polak M. ESRT, ART, and MCL correlations in experienced paediatric cochlear implant users. *Cochlear Implants Int*, 2010; 11(Suppl. 1): 482–84.
17. McKay CM, Chandan K, Akhoun I, Siciliano C, Kluk K. Can ECAP Measures be used for totally objective programming of cochlear implants? *JARO*, 2013; 14: 879–90.
18. Botros A, Psarros C. Neural response telemetry reconsidered: I. The relevance of ECAP threshold profiles and scaled profiles to cochlear implant fitting. *Ear Hear*, 2010; 31(3): 367–79.
19. Polak M, Hodges AV, King JE, Payne SL, Balkany TJ. Objective methods in postlingually and prelingually deafened adults for programming cochlear implants: ESR and NRT. *Cochlear Implants Int.*, 2006; 7(3): 125–41.
20. Hughes ML, Vander Werff KR, Brown CJ, Abbas PJ, Kelsay DM, Teagle HF i wsp. A longitudinal study of electrode impedance, the electrically evoked compound action potential, and behavioral measures in nucleus 24 cochlear implant users. *Ear Hear*, 2001; 22(6): 471–86.

Najczęściej wykorzystywanymi technikami realizacji metod obiektywnych są pomiary: elektrycznie wywołanego całościowego czynnościowego potencjału nerwu słuchowego, elektrycznie wywołanego odruchu mięśnia strzemiączkowego, impedancji elektrycznej złącza elektroda-neurony.

Najczęściej wykorzystywanymi technikami realizacji metod subiektywnych są: określenie funkcji narastania głośności, testy identyfikacji słów, pomiar proggu słyszenia z wykorzystaniem audiometrii w wolnym polu, testy identyfikacji zdań, skalowanie głośności.

Zazwyczaj proces dopasowania składał się z kilku sesji w ciągu pierwszych miesięcy od aktywacji systemu implantu, a następnie corocznych kontroli.

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



21. Walkowiak A, Lorens A, Polak M, Kostek B, Skarzynski H, Szkielkowska A i wsp. Evoked stapedius reflex and compound action potential thresholds versus most comfortable loudness level: assessment of their relation for charge-based fitting strategies in implant users. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*, 2011; 73(4): 189–95.
22. Stephan K, Welzl-Muller K. Post-operative stapedius reflex tests with simultaneous loudness scaling in patients supplied with cochlear implants. *Audiology*, 2000; 39: 13–18.
23. Cinar BC, Atas A, Sennaroglu G, Sennaroglu L. Evaluation of objective test techniques in cochlear implant users with inner ear malformations. *Otol Neurotol*, 2011; 32(7): 1065–74.
24. Brown CJ, Abbas PJ, Fryauf-Bertschy H, Kelsay D, Gantz BJ. Intraoperative and postoperative electrically evoked auditory brain stem responses in nucleus cochlear implant users: implications for the fitting process. *Ear Hear*, 1994; 15(2): 168–76.
25. Wolfe J, Schafer EC. Programming cochlear implants. Plural Publishing, 2015.
26. Lachowska M, Pastuszka A, Glinka P, Niemczyk K. Is cochlear implantation a good treatment method for profoundly deafened elderly? *Clin Interv Aging*, 2013; 8: 1339–46.
27. Snik AF, Vermeulen AM, Brokx JP, van den Broek P. Long-term speech perception in children with cochlear implants compared with children with conventional hearing aids. *Am J Otol*, 1997; 18(Suppl. 6): 129–30.
28. Baudhuin J, Cadieux J, Firszt JB, Reeder RM, Maxson JL. Optimization of programming parameters in children with the advanced bionics cochlear implant. *J Am Acad Audiol*, 2012; 23(5): 302–12.
29. Brand T. Loudness Scaling. 10<sup>th</sup> Congress of the German Society of Audiology.
30. Park SH, Kim E, Lee HJ, Kim HJ. Effects of electrical stimulation rate on speech recognition in cochlear implant users. *Korean J Audiol*, 2012; 16(1): 6–9.
31. Oxenham AJ, Kreft HA. Speech perception in tones and noise via cochlear implants reveals influence of spectral resolution on temporal processing. *Trends Hear*, 2014; 18.
32. Firszt JB, Holden LK, Reeder RM, Skinner MW. Speech recognition in cochlear implant recipients: comparison of standard HiRes and HiRes 120 sound processing. *Otol Neurotol*, 2009; 30(2): 146–52.
33. Hey M, Hocke T, Hedderich J, Müller-Deile J. Investigation of a matrix sentence test in noise: reproducibility and discrimination function in cochlear implant patients. *Int J Audiol*, 2014; 53(12): 895–902.
34. Goverts PJ, Daemers K, Yperman M, de Belkerauer G. Auditory speech sounds evaluation (AŞE<sup>®</sup>): A new test to assess detection, discrimination, and identification in hearing impairment. *Cochlear Implants Int*, 2006; 7(2): 92–106.
35. Buechner A, Vaerenberg B, Gazibegovic D, Brendel M, De Ceulaer G, Govaerts P, Lenarz T. Evaluation of the 'Fitting to Outcomes eXpert' (FOX<sup>®</sup>) with established cochlear implant users. *Cochlear Implants Int*, 2015; 16(1): 39–46.
36. Vaerenberg B, Govaerts PJ, de Ceulaer G, Daemers K, Schauwers K. Experiences of the use of FOX, an intelligent agent, for programming cochlear implant sound processors in new users. *Int J Audiol*, 2011; 50(1): 50–58.
37. Vaerenberg B, De Ceulaer G, Szlavik Z, Mancini P, Buechner A, Govaerts PJ. Setting and reaching targets with computer-assisted cochlear implant fitting. *Scientific World Journal*, 2014; 2014: 646590.
38. Firszt JB, Holden LK, Skinner MW, Tobey EA, Peterson A, Gaggl W i wsp. Recognition of speech presented at soft to loud levels by adult cochlear implant recipients of three cochlear implant systems. *Ear Hear*, 2004; 25(4): 375–87.