

Akustycznie wywołane potencjały ślimakowe u osób z implantem ślimakowym – doniesienie wstępne

Acoustically evoked cochlear potentials in cochlear implant users – preliminary results

Adam Walkowiak^{1ABCDEF}, Artur Lorens^{1ACDE}, Anita Obrycka^{1ABDE}, Marek Polak^{2AD}, Tomasz Wiśniewski^{1BD}, Aleksandra Kowalczuk^{1BE}, Henryk Skarżyński^{1A}

¹ Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Kajetany

² MED-EL, Innsbruck, Austria

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

Streszczenie

Współczesne systemy implantów ślimakowych poprzez bezpośrednią stymulację zakończeń nerwu słuchowego zapewniają uzyskanie prawidłowych reakcji akustycznych. Jednak warunkiem poprawnego funkcjonowania implantu jest dokładne zbadanie stymulowanej elektrycznie drogi słuchowej, a następnie odpowiednie – optymalne dla danego pacjenta – ustawienie parametrów stymulacji. W tym celu stosowane są zarówno metody psychoakustyczne, jak i obiektywne. Do niedawna za pomocą metod obiektywnych u użytkowników implantów ślimakowych możliwe było przeprowadzenie pomiarów funkcjonowania zakończeń nerwu słuchowego oraz kolejnych, wyższych piętér drogi słuchowej. Obecnie dzięki rejestracji wywołanych akustycznie potencjałów z nerwu słuchowego możemy badać także aktywność zachowanych komórek słuchowych oraz lepiej poznać mechanizmy funkcjonujące w ślimaku.
Słowa kluczowe: implant ślimakowy • pomiary obiektywne drogi słuchowej • częściowa głuchota

Abstract

Contemporary cochlear implant systems through direct stimulation of the auditory nerve endings ensure proper acoustic reactions. However, a thorough examination of the electrically stimulated auditory pathway, and then appropriate - optimal for a given patient - setting of stimulation parameters is a prerequisite for the proper functioning of the implant. To this end, both psychoacoustic and objective methods are used. Until recently, with the help of objective methods in users of cochlear implants, it was possible to carry out measurements of the functioning of the auditory nerve endings and subsequent, higher levels of the auditory pathway. Currently, due to the measurements of acoustically evoked potentials from the auditory nerve, we can also study the activity of preserved auditory cells and learn more about the mechanisms functioning in the cochlea.

Key words: cochlear implant • objective measurement of auditory pathway • partial deafness

Wstęp

W codziennej praktyce klinicznej w celu poznania funkcjonowania elektrycznie stymulowanej drogi słuchowej u użytkowników implantów ślimakowych stosowane są dwie główne grupy pomiarów:

1. Badania psychofizyczne, takie jak: pomiar progu słyszenia w polu swobodnym, akustyczne lub elektryczne skalowanie głośności;
2. Badania obiektywne.

Z kolei badania obiektywne można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- pomiary elektryczne,
- pomiary elektrofizjologiczne.

Pomiary elektryczne stosowane są najczęściej do oceny poprawności funkcjonowania części wszczepionej systemu – implantu ślimakowego. Ich wykonanie możliwe jest w przypadku wszystkich obecnie produkowanych implantów dzięki wbudowanemu w implant systemowi

Adres autora: Adam Walkowiak, Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830 Nadarzyn, e-mail: a.walkowiak@ifps.org.pl

pozwalającemu na bezprzewodową transmisję na zewnętrznej informacji o stanie implantu i wszczepionej wiązki elektrod.

Pomiary elektrofizjologiczne

W odróżnieniu od klasycznych badań elektrofizjologicznych, w przypadku których bodźcem jest sygnał foniczny [1], u użytkowników implantów ślimakowych najczęściej używane są bodźce elektryczne [1,2]. W zależności od tego, który fragment drogi słuchowej mierzymy i jaki mechanizm jest wykorzystywany, pomiary można podzielić na pięć głównych grup:

- pomiar elektrycznie wywołanego złożonego czynnościowego potencjału nerwu słuchowego (ang. *electrically evoked compound action potential*, EECAP) [3,4];
- pomiar elektrycznie wywołanego odruchu mięśnia strzemiączkowego (ang. *electrically evoked stapedia reflex*, EESR) [5,6];
- pomiar elektrycznie wywołanych potencjałów pnia mózgu (ang. *electrically evoked auditory brainstem response*, EEABR);
- pomiar elektrycznie wywołanych potencjałów średnio-latencyjnych (ang. *electrically evoked middle latency response*, EEMLR);
- pomiar elektrycznie wywołanych potencjałów korowych (ang. *auditory evoked potentials*, AEPs).

Wymienione powyżej pomiary pozwalają na ocenę poszczególnych pięter drogi słuchowej stymulowanej elektrycznie, poczynając od zakończeń nerwu słuchowego (EECAP), w stronę wyższych struktur, aż po struktury korowe. Natomiast przez wiele lat nie istniały nieinwazyjne metody precyzyjnego pomiaru funkcjonowania komórek słuchowych, połączonego z uzyskaniem wiedzy o kodowaniu informacji częstotliwościowych przez ślimak, a także o rozkładzie pobudzenia powstającym wzdłuż zakończeń nerwowych w ślimaku w odpowiedzi na bodziec akustyczny. Badania, które podejmowano [7], wiązały się z operacyjnym umieszczeniem elektrody pomiarowej w okolicy okienka okrągłego. Po pomiarach elektroda była usuwana. Jeżeli uwzględnimy historyczne kryteria kwalifikacji do wszczepienia implantu ślimakowego, wydaje się, że takie pomiary są zbędne – do tej metody kwalifikowano pacjentów z głębokim niedosłuchem i z bardzo ograniczonymi, niefunkcjonalnymi, resztkami słuchowymi. Jednak w ciągu ostatnich kilku lat osiągnięcia nauki, technologii i medycyny w dziedzinie implantów ślimakowych spowodowały rozszerzenie kryteriów kwalifikacyjnych. Przyczynił się do tego zwłaszcza postęp w projektowaniu atraumatycznych elektrod i w zakresie opracowanych technik chirurgicznych. Obecnie także w przypadku pacjenta z częściową głuchotą (PD), z normą słuchową do 1500 Hz i z głębokim niedosłuchem dla wysokich częstotliwości możliwe jest wszczepienie elektrody implantu ślimakowego z zachowaniem istniejącego słuchu akustycznego. Pociąga to za sobą możliwość wykorzystania elektrody implantu ślimakowego do wyżej wspomnianych pomiarów u pacjentów z zachowanym po implantacji słuchem. Co prawda wszczepienie elektrody implantu ślimakowego trudno określić jako technikę nieinwazyjną, jednak nie jest już konieczne używanie dodatkowej elektrody pomiarowej oraz jej usuwanie.

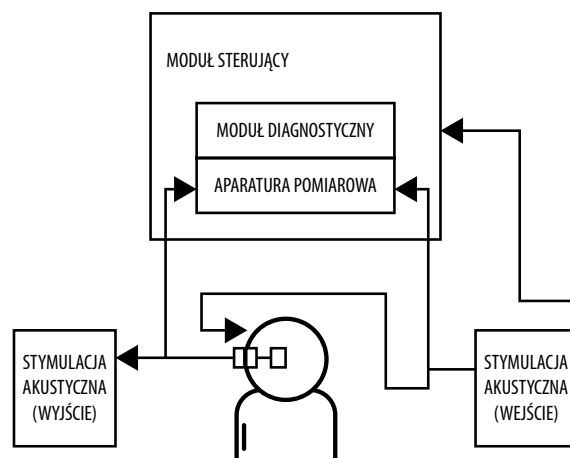
Cel pracy

Celem pracy było wykazanie, że rejestracja wywołanych akustycznie potencjałów czynnościowych nerwu słuchowego z różnych rejonów ślimaka za pomocą elektrody implantu ślimakowego jest możliwa.

Materiał i metody

Badanie wykonano u 20 użytkowników systemu implantu ślimakowego firmy MED-EL korzystających z następujących typów implantów: Pulsar, Concerto, Sonata i Synchrony. Wiek badanych mieścił się w przedziale 18–74 lata (średni wiek wynosił 46,5); kobiety stanowiły 60% badanych, a mężczyźni – 40%. Pacjenci byli kwalifikowani do badania na podstawie wyników audiometrii tonalnej po operacji wszczepienia implantu. Kryterium kwalifikacyjnym był mierzalny próg słyszenia w zakresie od 250 Hz do 4000 Hz. Stymulacja akustyczna odbywała się za pomocą komputera z systemem Synergy. Standardowy czas rejestracji odpowiedzi wynosił 5,5 ms, a w niektórych przypadkach pomiar został wydłużony do 10 ms ze względu na obecność odpowiedzi pojawiających się powyżej 5 ms. Bodziec akustyczny podawany był bezpośrednio do ucha implantowanego poprzez słuchawkę wewnątrzuszną (tzw. insert). Zapis potencjałów z poszczególnych rejonów ślimaka możliwy był dzięki rejestracji odpowiedzi z wielokanałowej elektrody wewnątrzślimakowej przy zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania i interfejsu, natomiast komunikacja pomiędzy systemem aktywności a częścią wewnętrzną implantu odbywała się za pomocą cewki pomiarowej umieszczonej na głowie pacjenta. Działanie systemu zostało zilustrowane na rycinie 1.

Pacjentom podawano tony o częstotliwościach: 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz oraz 4000 Hz. Przed rozpoczęciem pomiarów zadaniem badanego było określenie komfortowego poziomu natężenia dźwięku (ang. *the*



Rycina 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego służącego do rejestracji wywołanych akustycznie potencjałów wewnątrzślimakowych oraz potencjałów wywołanych elektrycznie u użytkowników systemów implantów ślimakowych

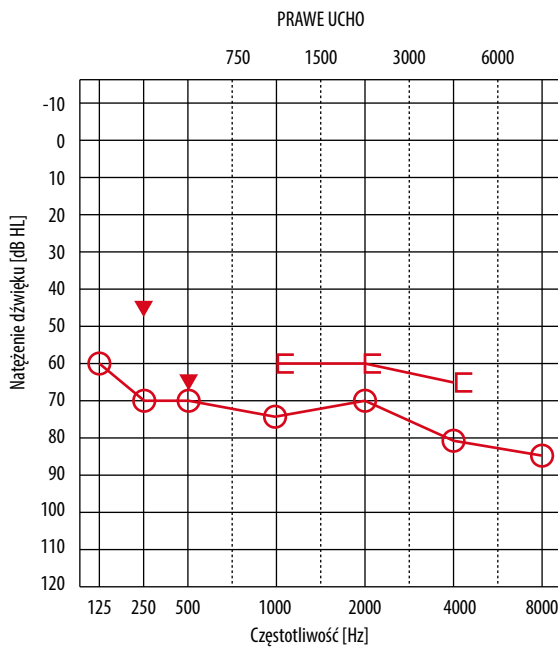
Figure 1. Block measuring-system diagram for recording intra-cochlea acoustically evoked potentials and electrically evoked potentials for cochlear implant users

most comfortable level, MCL) dla każdej z częstotliwości. Wszystkie bodźce charakteryzowały się czasem narastania o długości jednego okresu, odcinkiem plateau i czasem zanikania także równym jednemu okresowi.

Wyniki

Spośród 20 osób, biorących udział w badaniu, u 90% zarejestrowano potencjały ślimakowe przynajmniej na jednej z badanych częstotliwości, natomiast u pozostałych 10% – nie uzyskano żadnych odpowiedzi. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań wybranych pacjentów.

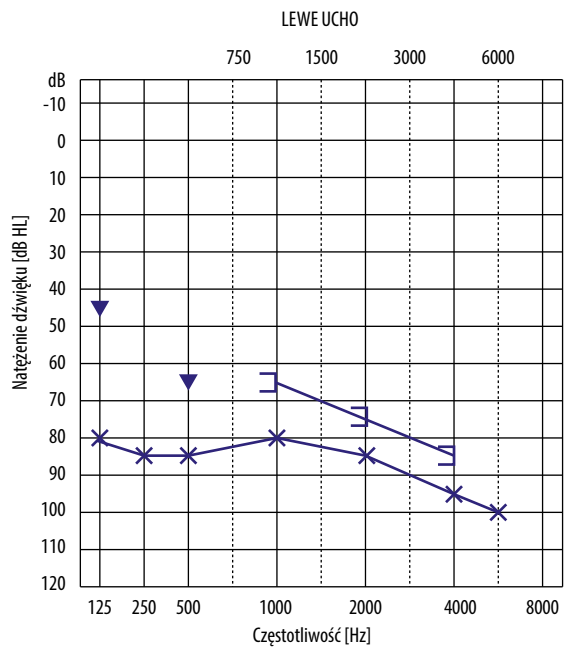
Pacjent 1. K.I. – mężczyzna w wieku 60 lat. Niedosłuch ucha lewego od ok. 20 lat. W 2014 roku pacjentowi wszczepiono implant ślimakowy typu Sonata Flex24.



Na rycinie 2. przedstawiono wynik audiometrii tonalnej (audiogram przewodnictwa powietrznego i kostnego) wykonanego po wszczepieniu implantu ślimakowego. Natomiast na rycinie 3. przedstawiono zapis potencjałów czynnościowych wywołanych akustycznie dla bodźca o częstotliwości 2 kHz i o natężeniu 109 dB HL.

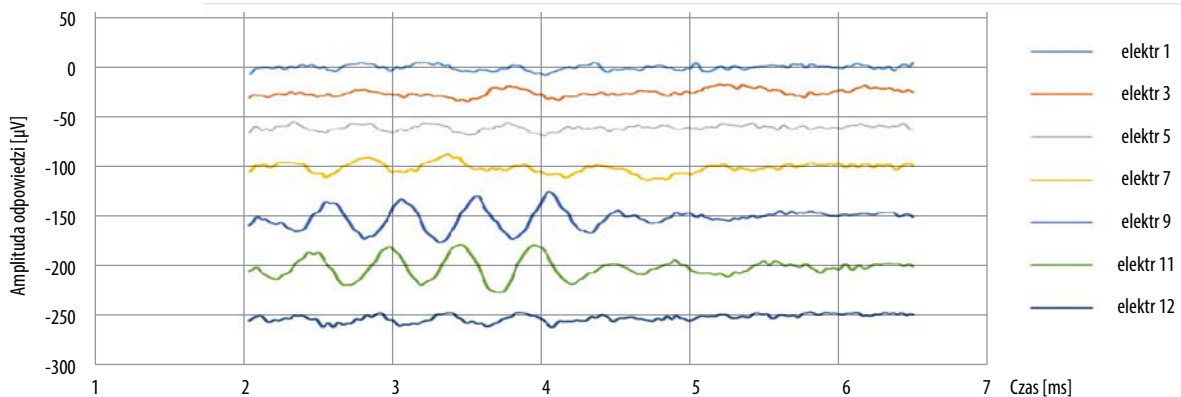
Pacjent 2. M.B. – kobieta w wieku 56 lat. Pogorszenie słuchu w 1983 roku. W 2014 roku przeprowadzono operację wszczepienia implantu ślimakowego typu Concerto Flex24 do ucha lewego.

Na rycinie 4. przedstawiono wynik audiometrii tonalnej, a na rysunku 5. – zapis potencjałów ślimakowych zarejestrowanych u tej pacjentki wywołanych akustycznie bodźcem o częstotliwości 4 kHz o natężeniu 109 dB HL.



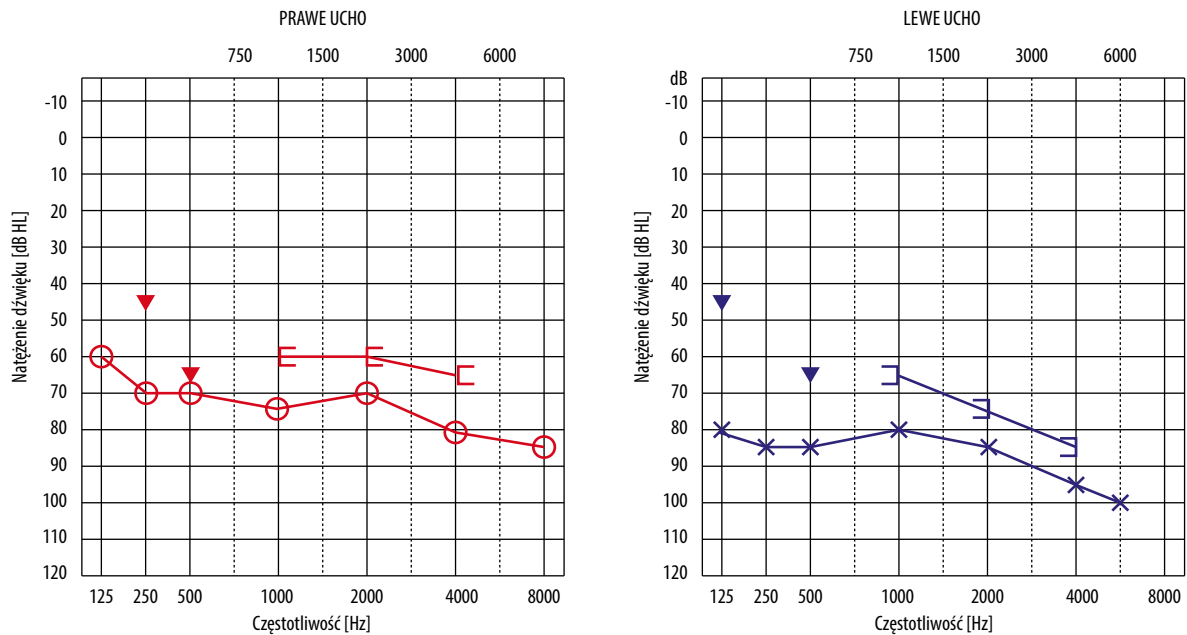
Rycina 2. Wynik audiometrii tonalnej dla pacjenta K.I.

Figure 2. Pure-tone audiometry results for patient K.I.

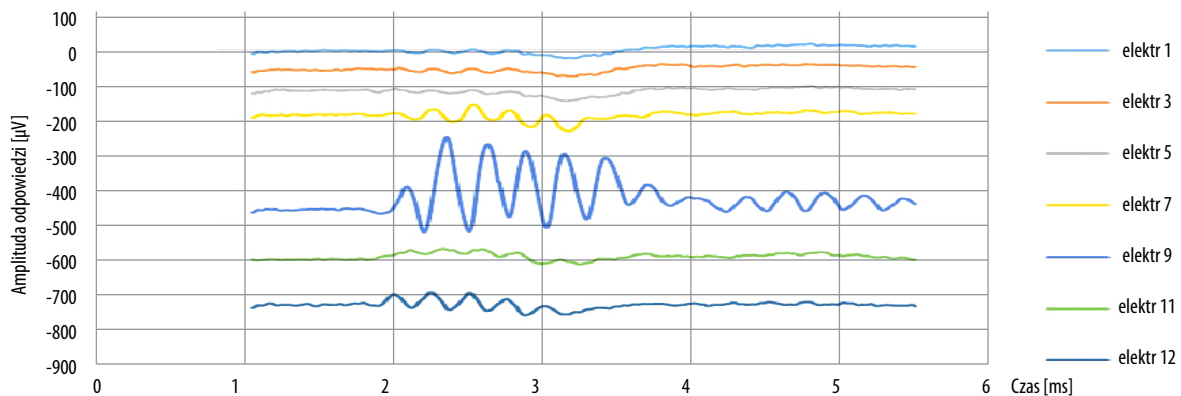


Rycina 3. Przykładowy zapis potencjałów ślimakowych u pacjenta K.I. dla bodźca akustycznego o częstotliwości 2 kHz o stałym natężeniu 109 dB HL dla elektrod nieparzystych oraz dla elektrody nr 12

Figure 3. Exemplary recording of cochlear potentials in patient K.I. for an acoustic stimulus with a frequency of 2 kHz and a constant intensity of 109 dB HL for odd electrodes and for electrode No. 12



Rycina 4. Wynik audiometrii tonalnej dla pacjenta M.B.
Figure 4. Pure-tone audiometry results for patient M.B.



Rycina 5. Przykładowy zapis potencjałów ślimakowych u pacjentki M.B. dla bodźca akustycznego o częstotliwości 4 kHz i o natężeniu 109 dB HL dla elektrod nieparzystych oraz dla elektrody nr 12
Figure 5. Exemplary recording of cochlear potentials in patient M.B. for an acoustic stimulus with a frequency of 4 kHz and an intensity of 109 dB HL for odd electrodes and for electrode No. 12

Wnioski

Przeprowadzone badania wstępne pokazały, że u użytkowników systemu implantu ślimakowego, u których po implantacji funkcjonalne resztki słuchowe zostały zachowane, możliwa jest rejestracja wywołanych akustycznie potencjałów z nerwu słuchowego za pomocą elektrody wszczonego implantu. Zarejestrowane potencjały charakteryzują dużą różnorodność amplitudy i kształtu odpowiedzi. Parametry te różnią się międzysobniczo i zależą zarówno od charakteru bodźca, jak i miejsca rejestracji. Przykładowo podczas procesu rejestracji u pacjentki M.B. na elektrodzie nr 9 uzyskano odpowiedzi o wielokrotnie większej

amplitudzie niż dla pozostałych elektrod. Podobnej zależności nie zaobserwowano u pozostałych badanych.

Obecnie trwają badania na większej grupie pacjentów. Celem tych badań jest określenie korelacji pomiędzy: parametrami odpowiedzi a czasem trwania oraz stopniem niedosłuchu, rodzajem i kształtem elektrody, pozycją elektrody w ślimaku, a także parametrami bodźca. Niezwykle ważnym klinicznie osiągnięciem byłoby powiązanie otrzymywanych rezultatów pomiarów potencjałów czynnościowych z wynikiem pomiaru progu słyszenia w audiometrii tonalnej, dlatego zwłaszcza w tym kierunku prowadzone są obecnie badania.

Piśmiennictwo

1. Kochanek K. Zastosowanie słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w diagnostyce zaburzeń słuchu typu pozaślimakowego. *Otorynolaryngologia*, 2002; 1(3): 167–72.
2. Śliwa L., Wąsowski A., Lorens A., Walkowiak A. Wykorzystanie pomiarów odruchu mięśnia strzemiączkowego i odpowiedzi neuronalnych do estymacji parametrów ustawienia procesora implantu ślimakowego. XIII Sympozjum Audiologiczne, Kazimierz Dolny (materiały konferencyjne); 2002.
3. Walkowiak A., Lorens A., Polak M., Kostek B., Skarżyński H., Szkiełkowska A., Skarżyński P.H. 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.
4. Stephan K., Welzl-Muller K. Post-operative stapedius reflex tests with simultaneous loudness scaling in patients supplied with cochlear implants. *Audiology*, 2000; 39(1): 13–18.
5. Lorens A., Walkowiak A., Piotrowska A., Skarżyński H., Anderson I. ESRT and MCL correlations in experienced paediatric cochlear implant users. *Cochlear Implants Int*, 2004; 5(1): 28–37.
6. Chertoff M.E., Earl B.R., Diaz F.J., Sorensen J.L. Analysis of the cochlear microphonic to a low-frequency tone embedded in filtered noise. *J Acoust Soc Am*, 2012; 132(5): 3351–62.