

Telemetria Odpowiedzi Neuronalnych (Neural Response Telemetry, NRT) jako metoda wspomagająca dobór parametrów stymulacji przez implant ślimakowy

Neural Response Telemetry (NRT) as a technique assisting cochlear implant fitting

Adam Walkowiak¹, Artur Lorens¹, Anita Obrycka¹, Arkadiusz Wąsowski¹,
Bożena Kostek^{1,2}, Andrzej Czyżewski²

¹Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

²Katedra Systemów Multimedialnych, Politechnika Gdańska

Streszczenie

Korzyści osiągane po wszczęciu implantu ślimakowego (elektronicznej protezy słuchu – stymulatora nerwu słuchowego) w dużej mierze zależą od właściwego, dostosowanego do indywidualnych potrzeb pacjenta, ustawienia parametrów stymulacji przez implant. W pracy przedstawiono analizę użyteczności obiektywnej metody pomiarów funkcjonowania drogi słuchowej osoby implantowanej – pomiarów złożonego, czynnościowego potencjału nerwu słuchowego, do oszacowania optymalnych parametrów stymulacji.

Słowa kluczowe: implanty ślimakowe, odpowiedź neuronalna.

Summary

To provide maximum benefit for the cochlear implant users the speech processor should be fitted to the patients' need. In this paper one of the objective methods (Neural Response Telemetry, NRT) that could deliver important information for fitting is presented as well as comparison between some psychoacoustic (behavioral) fitting parameters and results of objective NRT measurements

Key words: cochlear implants, neural response telemetry.

Wprowadzenie

Ustawienie procesora mowy systemu implantu ślimakowego, niezbędne do prawidłowego odbioru dźwięków otoczenia, polega na wyborze strategii kodowania oraz wprowadzeniu określonych parametrów, w oparciu o które przetwarzanie sygnału dostosowane będzie indywidualnie do charakterystyki drogi słuchowej danego pacjenta. Istotnymi parametrami są między innymi: amplitudy bodźca elektrycznego odpowiadające progowym wrażeniom słuchowym (T) oraz odpowiadające poziomowi komfortowego słyszenia (C), czas trwania bodźca elektrycznego, współczynnik kompresji przetwarzania sygnału akustycznego na bodziec elektryczny, sposób stymulacji elektrycznej (bipolarny, monopolarny).

Parametry: T i C wyznacza się najczęściej na podstawie wyników testów psychoakustycznych, stanowiących część procedury ustawienia procesora mowy. Dokładne określenie tych parametrów jest bardzo istotne, gdyż wyznaczony zostaje w ten sposób przedział wartości natężenia prądu elektrostymulacji, a tym samym dynamika reakcji nerwu słuchowego na pobudzenie elektryczne. Relatywnie mały błąd w ich określeniu może spowodować, że pacjent nie będzie odbierał wrażeń słuchowych na odpowiednim poziomie. Poziom

subiektywnego odczucia głośności będzie zbyt mały lub za duży, lub pacjent nie będzie rozróżniał zmian natężenia sygnału akustycznego. Na podstawie wspomnianych parametrów wyznaczana jest charakterystyka kompresji realizowana przez procesor mowy. A zatem, precyzyjne wyznaczenie parametrów T i C jest konieczne dla zapewnienia pacjentowi rozumienia mowy [Abbas (i in.) 1999].

Ze względu na poszerzenie kryteriów kwalifikacyjnych do stosowania systemów implantów ślimakowych, a zwłaszcza włączenie do programu implantowania małych dzieci, począwszy już od pierwszego roku życia, stało się konieczne zastosowanie obiektywnych (niewymagających współpracy pacjenta) metod badania drogi słuchowej, które pozwoliłyby na możliwie precyzyjne określenie wymienionych powyżej, optymalnych dla danego pacjenta parametrów stymulacji elektrycznej realizowanej przez implant.

Jedną z takich metod jest pomiar złożonego, czynnościowego potencjału nerwu słuchowego. W systemach implantów ślimakowych firmy Cochlear, gdzie pomiary te są najczęściej wykorzystywane, pomiar ten nazywany jest Telemetrią Odpowiedzi Neuronальной (*Neural Response Telemetry*, NRT). W początkowej fazie rozwoju tej metody wiązano z nią bardzo duże nadzieje. Na podstawie pomiarów

NRT próbowano szacować jeden z najważniejszych parametrów stymulacji elektrycznej przez implant – poziom komfortowego słyszenia (C). Wstępne badania [Brown (i in.) 2000]) donosiły o wysokiej korelacji pomiędzy tak zwanym progami odpowiedzi NRT, a wartościami komfortowego słyszenia na elektrodach implantu. Jednak w miarę gromadzenia większej ilości danych pomiarowych, zależność ta nie jest tak ścisła, jak to było oczekiwane.

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie na materiale Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu użyteczności tej metody, poprzez ocenę korelacji pomiędzy wynikami pomiarów progów NRT a wartością komfortowego słyszenia.

Material

Badania przeprowadzono w grupie 52 pacjentów – użytkowników implantów ślimakowych Nucleus 24. Najmłodszy pacjent w chwili operacji miał 2 lata i 8 miesięcy, najstarszy 57 lat i 5 miesięcy, średnia wieku wynosiła 22 lata i 8 miesięcy. Dla każdego pacjenta oceniano progi NRT oraz wartości poziomów komfortowego słyszenia wyznaczone na drodze pomiarów psychoakustycznych. Pomiar dokonywane były przynajmniej rok od pierwszego podłączenia procesora mowy, aby zapewnić stabilność mierzonych parametrów.

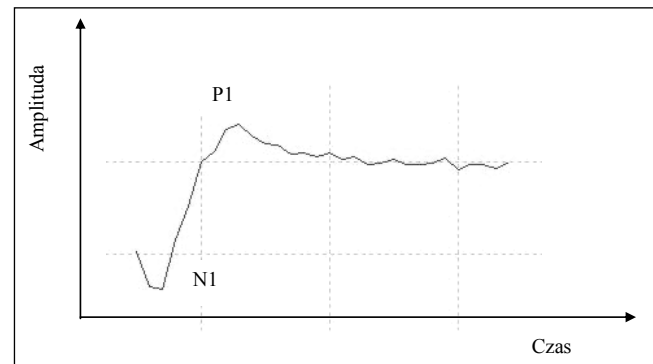
Metoda

Telemetria Odpowiedzi Neuronalnej (NRT) polega na rejestracji złożonego czynnościowego potencjału nerwu słuchowego, wywołanego bodźcem elektrycznym, z wykorzystaniem implantu ślimakowego jako części systemu pomiarowego. Potencjał czynnościowy powstaje tu jako odpowiedź neuronalna na impuls elektryczny przesyłany w okolice zakończeń nerwu słuchowego za pomocą elektrody implantu. Prace nad rejestracją potencjału czynnościowego zostały zapoczątkowane pod koniec lat osiemdziesiątych na Uniwersytecie Iowa, USA [Brown (i in.) 1990]. W roku 1992 zaproponowano sposób rejestracji wykorzystujący zasadę maskowania poprzedzającego (*forward masking*), który w został zaimplementowany w powszechnie dostępny system implantów ślimakowych Nucleus CI24.

Przeprowadzenie pomiaru NRT polega na pobudzeniu nerwu ślimakowego za pomocą prądów podawanych przy użyciu jednej z elektrod stymulujących. Następnie, za pomocą innej elektrody, najczęściej leżącej blisko elektrody stymulującej, rejestruje się generowane w nerwie słuchowym pod wpływem stymulacji złożone potencjały czynnościowe [Lorens (i in.) 2002].

Podczas pomiaru powstają zakłócenia związane ze stosowaną metodą. Są one skutkiem tego, że bodziec stosowany do wywołania odpowiedzi neuronalnej jest bodźcem elektrycznym. A zatem podczas rejestracji elektrycznej odpowiedzi neuronalnej rejestruje się jednocześnie wielokrotnie silniejszy artefakt elektryczny bodźca. Podobne zjawisko występuje przy rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu, gdy bodziec akustyczny o dużej intensywności posiada stałą polaryzację. Aby odseparować odpowiedź od powstających podczas pomiaru zakłóceń w programie zaimplementowano specjalny algorytm, tzw. *subtraction paradigm* (reguła odejmowania).

Przykładowe przebiegi elektrycznie wywołanych potencjałów czynnościowych nerwu słuchowego przedstawiono na ryc. 1.

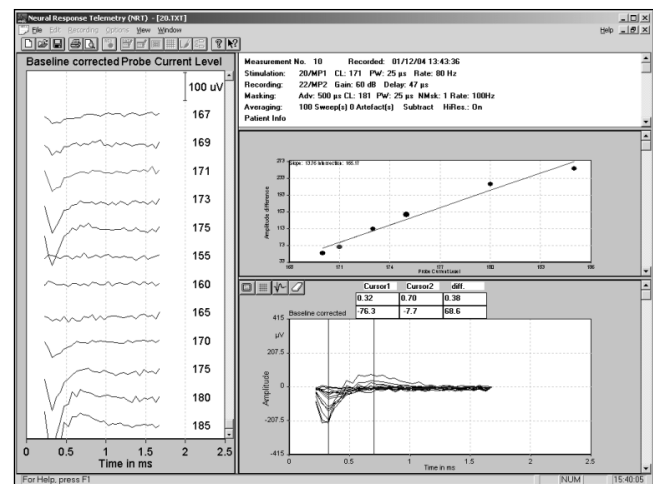


Ryc. 1. Przykładowy przebieg ECAP uzyskany podczas badania NRT

Cechą charakterystyczną prawidłowych przebiegów potencjałów czynnościowych jest występowanie pierwszego załamka, tak zwanego szczytu ujemnego (*negative peak*, N1), stanowiącego minimum odpowiedzi. W większości przypadków występuje także załamek drugi, tak zwany załamek dodatni (*positive peak*, P1), – maksimum odpowiedzi.

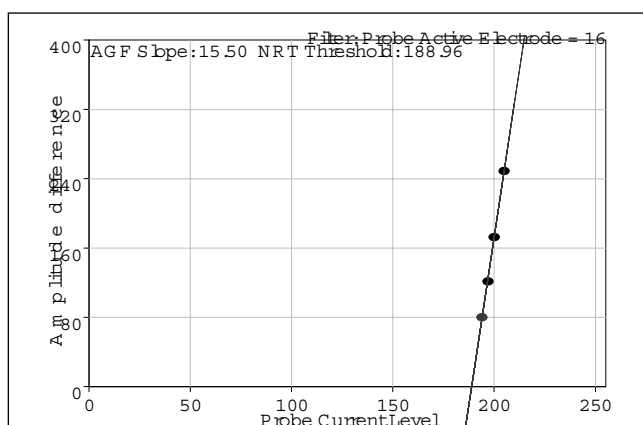
Na wartość amplitudy międzyszczytowej odpowiedzi neuronalnej, mierzonej pomiędzy szczytami N1 i P1, ma wpływ wiele czynników. Niemniej dla stałych warunków pomiarowych i dla konkretnego miejsca w ślimaku jest ona w przybliżeniu stała dla danego pacjenta i jest ważnym parametrem, istotnym w procesie doboru parametrów stymulacji przez implant.

Podczas badania, dla każdej z wybranych elektrod, rejestruje się serię odpowiedzi dla serii bodźców o malejącym natężeniu. Wynikiem badania jest seria przebiegów dla różnych natężeń bodźca stymulującego. Przykładowe okno programu prezentowane podczas rejestracji jest przedstawione na ryc. 2.



Ryc. 2. Okno programu do pomiarów NRT i zarejestrowana seria pomiarów

Dla każdego przebiegu wyznaczana jest automatycznie amplituda międzyszczytowa. Następnie, dla każdej z elektrod, sporządza się wykres funkcji amplituda- natężenie bodźca (ryc. 3).



Ryc. 3. Przykład wykresu funkcji amplituda-natężenie

Kolejnym krokiem jest aproksymacja zależności prąd – amplituda za pomocą funkcji liniowej. Punkt przecięcia funkcji aproksymującej z osią rzędnych określa wartość progową prądu, określaną dalej progiem NRT (tNRT). Ta właśnie wielkość, wyznaczona dla poszczególnych elektrod, jest parametrem brany pod uwagę przy doborze parametrów stymulacji przez implant.

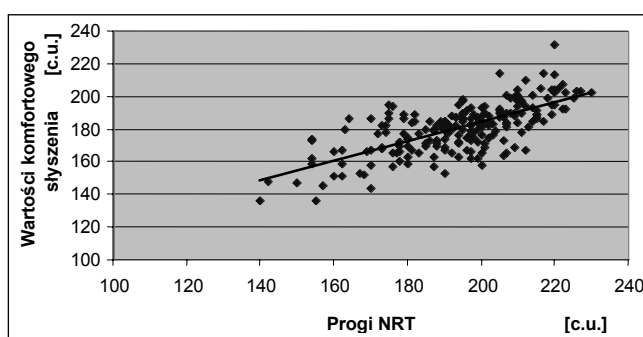
Standardowo rejestruje się odpowiedzi neuronalne z 5 spośród 22 elektrod implantu, to jest z elektrody 3, 5, 10, 15 i 20. Taka ilość uzyskanych danych jest wystarczająca, by oszacować parametry stymulacji przez implant.

Wyniki

Wśród przebadanych pacjentów u 6 osób nie zarejestrowano odpowiedzi NRT na żadnej z mierzonych elektrod, u 9 pacjentów uzyskano odpowiedzi tylko na niektórych elektrodach.

Zmierzony próg NRT był porównywany z psychoakustycznie zmierzonymi wartościami poziomów komfortowego słyszenia dla tych samych elektrod, dla których zarejestrowano odpowiedzi NRT.

Zależność pomiędzy tymi wartościami przedstawiona została na ryc. 4.



Ryc. 4. Zależność pomiędzy zmierzonymi psychoakustycznie wartościami komfortowego słyszenia (C) i obiektywnie zmierzonymi progami NRT (tNRT) i jej aproksymacja funkcją regresji liniowej. Wartości tNRT i C podano jednostkach prądu, proporcjonalnych do natężenia bodźca, tzw. current units (c.u.)

Dla badanej grupy pacjentów otrzymano korelację o współczynniku $R=0,704$ (dla 209 par wartości C i tNRT).

Dyskusja

Wbrew początkowym, entuzjastycznym doniesieniom, najnowsze publikacje [Cafarelli, Dees (i in.) 2005] pokazują, że współczynnik korelacji między psychoakustycznie zmierzonymi wartościami komfortowego słyszenia (C) i obiektywnie zmierzonymi progami NRT (tNRT) najczęściej zawiera się w granicach od 0,5 do 0,6. W badaniach wykonanych w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu otrzymano nieco wyższą wartość współczynnika wynoszącą ok. 0,7. Mimo to należy stwierdzić, że z powodu zbyt dużego rozrzutu pomiędzy wartościami tNRT i C (ryc. 4), nie jest możliwe ustalenie optymalnych wartości komfortowego słyszenia przy stymulacji przez implant jedynie za pomocą obiektywnego badania NRT. W badanej grupie różnica pomiędzy behawioralnie zmierzonymi wartościami C i zmierzonymi wartościami tNRT zawiera się w granicach od ok. -20 do ok. +45 jednostek.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zmierzone wartości tNRT nie mogą służyć do precyzyjnego określenia optymalnych dla danego pacjenta wartości prądu odpowiadającego komfortowemu słyszeniu. Niemniej dzięki takim pomiarom możliwe jest wstępne ich oszacowanie. Aby prawidłowo je określić należy następnie, posługując się metodami psychoakustycznymi, zweryfikować otrzymane obiektywnie wartości behawioralnie. Dzięki pomiarom obiektywnym i wstępnemu oszacowaniu wartości komfortowego słyszenia, skraca się czas potrzebny do prawidłowego ustawienia procesora mowy. Jest to niezwykle cenne zwłaszcza u pacjentów nie współpracujących podczas badań, a zwłaszcza u dzieci poniżej 2 roku życia. W przypadku takich pacjentów trudno jest stosować psychoakustyczne metody doboru parametrów stymulacji przez implant. Natomiast, gdy audiolog dysponuje prawdopodobną mapą progów stymulacji wyznaczoną z pomiaru odpowiedzi neuronalnych, może łatwiej określić optymalne parametry pobudzeń dla każdej z elektrod.

Bibliografia

- Abbas P. J., Brown C. J., Shallop J. K., Firszt J. B., Hughes M. L., Hong S. H., Staller S. J. [1999]. Summary of results using the Nucleus CI24M implant to record the electrically evoked compound action potential. „Ear and Hearing” 20(1), 45-59.
- Brown C. J., Abbas P. J., Gantz B. [1990]. Electrically evoked whole-nerve action potentials: data from human cochlear implant users. „The Journal of the Acoustical Society of America” 88(3), 1385-1391.
- Brown C. J., Hughes M. L., Luk B., Abbas P. J., Wolaver A., Gervais J. [2000]. The Relationship Between EAP and EABR Threshold and Levels Used to Program the Nucleus 24 Speech Processor – Data from Adults, „Ear and Hearing” 2, 151-163.
- Cafarelli Dees D. i współautorzy [2005]. Normative Findings of Electrically Evoked Compound Action Potentials Measurements Using the Neural Response Telemetry of the Nucleus CI24M Cochlear Implant System. „Audiology and Neurootology” 10, 105-116.
- Lorens A., Skarżyński H., Zawadzki R., Piotrowska A., Walkowiak A., Śliwa L [2002]. Objective methods of intra-operative tests in cochlear implant surgery. Materiały z XVII World Congress of the IFOS, Cairo-Egypt, Abstract Book, 96.
- Lorens A., Walkowiak A., Piotrowska A., Śliwa L., Skarżyński H. [2002]. Objective measurements in the fitting of cochlear implant system. Materiały z 10th Danube Symposium International Otolaryngologic Congress, Dubrovnik Croatia. Abstract Book, 93.