

Anna Jodko-Władzińska

Analiza magnetycznej odpowiedzi mózgu na wysokoczęstotliwościowe bodźce dźwiękowe uzyskanej przy użyciu magnetometrów atomowych w zastosowaniu do wczesnego wykrywania niedosłuchu

Streszczenie

Podstawowym badaniem, pozwalającym subiektywnie ocenić kondycję narządu słuchu, jest progowa audiometria tonalna, podczas której ocenie podlegają progi słyszenia dźwięków o częstotliwościach z zakresu 125 Hz – 8 kHz. Pomiar progu słyszenia tonów o częstotliwościach powyżej 8 kHz, zwany audiometrią wysokich częstotliwości, nie jest wykonywany powszechnie. Tymczasem badanie to pozwala na stwierdzenie niedosłuchu w zakresie wysokich częstotliwości, przez co wskazuje na uszkodzenia w uchu wewnętrznym, zanim zaczną być wykrywalne podczas standardowych badań audiometrycznych. Wczesne zdiagnozowanie ubytków słuchu pozwala na podjęcie działań profilaktycznych w celu ograniczenia rozszerzania się niedosłuchu na częstotliwości niższe.

W związku z utrudnioną percepcją dźwięków wysokich częstotliwości istotna jest możliwość obiektywnego określenia czułości słuchu. Spośród stosowanych metod jedynie słuchowe potencjały wywołane pozwalają na obiektywną ocenę progów słyszenia. Magnetoencefalografia również posiada potencjał do stosowania w rekonstrukcji audiogramu tonalnego poprzez określenie ciśnienia akustycznego stanowiącego granicę wykrywalności odpowiedzi słuchowych. Magnetoencefalografia daje możliwość wykonania pomiarów bezkontaktowych, co pozwala uniknąć trudności, które towarzyszą badaniom elektroencefalograficznym, wymagającym techniki elektrodowej.

Tradycyjna magnetometria oparta jest na nadprzewodzących interferometrach kwantowych (ang. SQUID: Superconducting Quantum Interference Devices). Magnetoencefalografy oparte na detektorach SQUID są jednak drogie w eksploatacji, co ogranicza możliwości ich powszechnego stosowania. Rozwój techniki umożliwił wykorzystanie w pomiarach aktywności mózgu magnetometrów atomowych (magnetometry pompowane optycznie – ang. OPM: Optically-Pumped Magnetometers), które mogą być stosowane w temperaturze pokojowej, co pozwala na wyeliminowanie kosztów związanych z koniecznością stosowania drogiego w eksploatacji układu chłodzenia. Ze względu na niewielkie wymiary czujnika, elastyczne

przyłącze elektryczne i optyczne oraz brak konieczności umieszczenia w naczyniu Dewara, zastosowanie magnetometrów atomowych umożliwia zmniejszenie odległości czujnika od źródła mierzonego sygnału, a tym samym zwiększenie amplitudy rejestrowanego sygnału magnetoencefalograficznego.

Celem niniejszej pracy była analiza magnetycznej odpowiedzi mózgu, uzyskanej przy użyciu magnetometrów atomowych (magnetometrów pompowanych optycznie), w zastosowaniu do wczesnego wykrywania niedosłuchu. Badaniu podlegała możliwość rejestracji słuchowych pól wywołanych stymulacją tonami wysokich częstotliwości (powyżej 8 kHz), jako narzędzie predykcyjne degradacji słuchu (audiometria wysokich częstotliwości).

W ramach prac zaprojektowano i wykonano układ do stymulacji akustycznej, umożliwiający przesył dźwięków wysokich częstotliwości i niewpływający na pracę magnetoencefalografu. Przy zastosowaniu zbudowanego źródła akustycznego i skryptu napisanego w programie Presentation wyznaczono progi słyszenia osób badanych dla częstotliwości 8 kHz, 12,5 kHz, 14 kHz, 15,5 kHz oraz 17 kHz oraz przeprowadzono pomiary magnetycznych odpowiedzi mózgu na pobudzenia o poziomie ciśnienia akustycznego 10 dB powyżej wyznaczonego progu słuchu. Pomiary zostały wykonane w pomieszczeniu ekranowanym magnetycznie w Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Berlinie, przy użyciu 125-kanalowego gradiometru firmy Yokogawa opartego na czujnikach SQUID oraz układu 15 magnetometrów pompowanych optycznie firmy QuSpin (QZFM: QuSpin Zero Field Magnetometer) i uchwytu pomiarowego, zaprojektowanego na podstawie obrazów anatomicznych osób badanych i wydrukowanego w technologii 3D. Bodźcami były sygnały sinusoidalne o czasie trwania 340 ms, powtórzone około 512 razy. Odstęp czasu pomiędzy tonami przyjmował losową wartość z zakresu 1-1,5 sekundy. Rozpoczęciu prezentacji pobudzenia towarzyszyła rejestracja specyficznego dla danej częstotliwości sygnału kluczującego w celu późniejszego uśrednienia odpowiedzi i poprawy stosunku sygnału do szumu.

Zarejestrowane przebiegi MEG, będące odpowiedzią na sygnał pobudzenia, przeanalizowano w programie MATLAB, opierając się częściowo na zestawach narzędzi Biosig i FieldTrip. Dla każdego z badanych i każdego tonu stymulacji wyznaczono przebiegi czasowe zmian indukcji magnetycznej oraz mapy rozkładu pola magnetycznego na powierzchni głowy.

Amplituda załamka M100 słuchowych odpowiedzi wywołanych rejestrowana przy użyciu magnetometrów pompowanych optycznie była kilkakrotnie wyższa od rejestrowanej

w pomiarach magnetoencefalografem zawierającym gradiometri SQUID. Dipole magnetyczne rejestrowane w SQUID-MEG w związku z aktywnością poszczególnych półkul były w większości przypadków widoczne jedynie częściowo, co jest następstwem wynikającej z konieczności chłodzenia czujników geometrii magnetoencefalografu.

Przeprowadzone badania wykazały, że jednoznaczna rejestracja odpowiedzi magnetycznych dla pobudzenia tonami na poziomie ciśnienia akustycznego 10 dB powyżej subiektywnych progów słyszenia była możliwa jedynie dla częstotliwości do 14 kHz włącznie. Jest to zbieżne z nielicznymi dostępnymi w literaturze wynikami badań, w których wykorzystywano czujniki SQUID. Wobec zmniejszenia dystansu sensor – źródło sygnału, oczekiwano jednak możliwości zarejestrowania przy użyciu czujników OPM słuchowych odpowiedzi mózgu dla większego zakresu częstotliwości.

Niemniej możliwość obiektywnej oceny progów słyszenia już dla częstotliwości 14 kHz może mieć znaczenie predykcyjne w ocenie stanu narządu słuchu i ewentualnego prognozowania jego degradacji. Tym samym, zaproponowana w pracy metoda oceny czułości słuchu stanowi nowe rozwiązanie w obiektywnych badaniach niedosłuchu, służące wczesnemu wykrywaniu uszkodzeń w uchu wewnętrznym.

Słowa kluczowe: magnetoencefalografia, SQUID, magnetometry pompowane optycznie, magnetometry atomowe, słuchowe pola wywołane, audiometria wysokich częstotliwości