

Obiektywne badania słuchu u progu XXI wieku

Objective testing of hearing at the break of XXI century

Krzysztof Kochanek

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

Streszczenie

W pracy przedstawiono stan dziedziny obiektywnych badań słuchu na początku XXI w. Zwrócono uwagę na przyczyny dynamicznego rozwoju tej dziedziny badań w Polsce oraz na perspektywy jej dalszego rozwoju. Omówiono rolę badań obiektywnych w diagnostyce słuchu u małych dzieci oraz wykorzystanie poszczególnych metod w praktyce klinicznej, zwracając przy tym uwagę na postęp, jaki dokonał się w tej dziedzinie w ostatnich latach, w zakresie obiektywizacji pomiarów i miniaturyzacji sprzętu. Podkreślono również fakt, że rozpoczęto w Polsce systemowe szkolenie personelu pracowni audiologicznych w zakresie wykonywania obiektywnych badań słuchu.

Słowa kluczowe: diagnostyka słuchu, obiektywne badania słuchu, badania elektrofizjologiczne słuchu.

Summary

In this study, the author describes the situation in the domain of objective hearing testing at the beginning of the XXI century. The reasons that have lead to the dynamic development of these researches in Poland in recent years are presented, and prognoses are formulated about future developments in this field. The role of objective hearing testing in audiological diagnosis of young children is shown. In this context, the progress achieved in recent years in objectivization of methods and miniaturization of equipment is emphasized. Special stress is also put on the fact that a systematic training has been organized for the staff of audiological laboratories, aimed at promoting the methods of objective examination of hearing.

Key words: auditory diagnosis, objective methods, auditory electrophysiological methods.

Powszechnie uważa się, że rozwój audiologii w końcu XX w., w zakresie badań słuchu, był wynikiem dynamicznego postępu w zakresie obiektywnych badań słuchu. W praktyce klinicznej trwale miejsce znalazły takie metody diagnostyczne i przesiewowe jak: audiometria impedancyjna, otoemisje akustyczne oraz słuchowe potencjały wywołane. Pod koniec XX w. niezwykle szeroko upowszechniła się ta dziedzina badań również w Polsce. Stało się to głównie za sprawą spadku cen aparatury na rynkach światowych, z uwagi na produkcję polskiej aparatury do rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych oraz za sprawą rozwoju powszechnych badań przesiewowych słuchu u noworodków i niemowląt oraz programów leczenia głuchoty za pomocą wszczepów ślimakowych. To wszystko spowodowało, że pod koniec XX w. ponad sto pracowni audiologicznych w Polsce dysponowało aparaturą do obiektywnych badań słuchu. Warto w tym miejscu przypomnieć, że jeszcze na początku lat 90-tych ośrodków, które dysponowały aparaturą do rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych było zaledwie ok. dziesięciu. Porównanie to świadczy dobitnie o ogromnym postępie w zakresie upowszechniania tych metod w ostatniej dekadzie XX w.

Niewątpliwie końcowa dekada XX w. stała pod znakiem rozwoju metody otoemisji akustycznych, w której upatrywano narzędzia do prowadzenia powszechnych badań przesiewo-

wych słuchu u noworodków. Natomiast wiele wskazuje na to, że pierwsza dekada XXI w. będzie etapem dynamicznego rozwoju metody słuchowych potencjałów stanu ustalonego oraz metod rejestracji późnych potencjałów korowych i potencjału niezgodności.

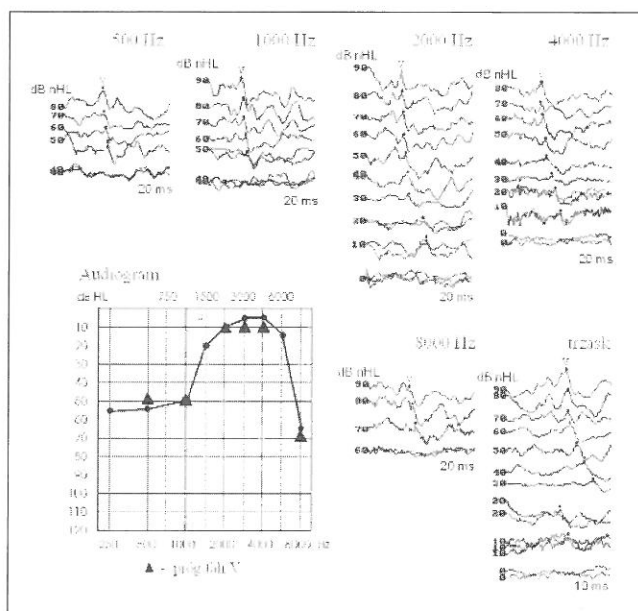
W Polsce początek XXI w., z punktu widzenia rozwoju i upowszechnienia badań obiektywnych słuchu, jest niezwykle obiecujący. Za sprawą wdrażania do praktyki klinicznej programu powszechnych badań przesiewowych słuchu u noworodków faktem stało się to, że dziedzina ta w sposób niespotykany w innych krajach została upowszechniona szeroko w zakresie otoemisji akustycznych. To co jeszcze nie tak dawno wydawało się tylko marzeniem stało się faktem. Otoemisje akustyczne – OAE (ang. *otoacoustic otoemissions*) wykorzystywane są aktualnie bardziej masowo na oddziałach neonatologicznych niż w pracowniach audiologicznych. Wdrożenie w skali powszechnej badań przesiewowych wymusza w naturalny sposób potrzebę dalszego upowszechniania pozostałych badań obiektywnych słuchu. Według powszechnie uznanych procedur badania diagnostyczne u dzieci, które nie przeszły przez sito badań przesiewowych, powinny być wykonane w 3-4 miesiącu życia. W tym okresie życia dziecka wiarygodne wyniki badań słuchu zapewniają jedynie metody obiektywne. Dlatego aktualnym standardem na etapie diagnostyki u małych dzieci objętych pro-

gramem powszechnych badań przesiewowych słuchu u noworodków jest wykonanie wszystkich badań obiektywnych. W znaczący sposób zwiększa się zatem liczba ośrodków audiologicznych, które dysponują metodami obiektywnymi. Bardzo ważne jest to, że większość z nich stosuje obecnie zbliżone lub takie same procedury badań, co umożliwia porównywanie wyników badań przeprowadzanych u tego samego pacjenta w różnych ośrodkach audiologicznych.

Środowisko audiologów polskich dostrzegając problem konieczności podniesienia kwalifikacji personelu zajmującego się obiektywnymi badaniami słuchu u małych dzieci wdraża do praktyki obowiązek posiadania licencji na badania obiektywne słuchu. Przewiduje się, że w perspektywie kilku lat ośrodki audiologiczne zajmujące się diagnostyką słuchu u małych dzieci będą zobligowane do odpowiedniego przeszkolenia personelu. W dwóch ośrodkach w Polsce – w Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie oraz w Katedrze Foniatrii i Audiologii Akademii Medycznej w Poznaniu prowadzone są szkolenia, których celem jest uzyskanie licencji Sekcji Audiologicznej Polskiego Towarzystwa Otolaryngologów Chirurgów Głowy i Szyi na wykonywanie badań obiektywnych słuchu. Można założyć, że w okresie kilku lat zostanie wyszkolona duża grupa kompetentnych osób, które będą stanowiły trzon kadry ośrodków wczesnej diagnostyki audiologicznej u małych dzieci. Poza tym szkoleniem czynione są starania o uruchomienie studiów licencjackich o nazwie „Audiofonologia” na kierunku Zdrowie Publiczne. Absolwenci tych studiów posiadaliby odpowiednie kwalifikacje do samodzielnego prowadzenia różnych badań słuchu oraz byłiby przygotowani do realizacji procesu wczesnej diagnostyki i interwencji słuchowej.

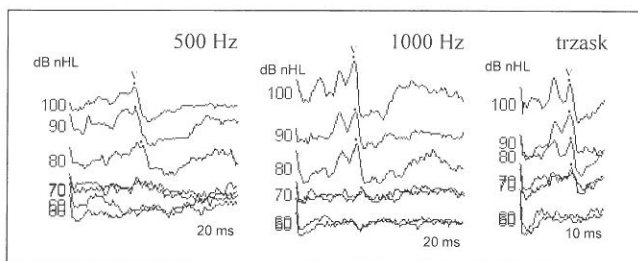
Badania obiektywne słuchu, o czym powszechnie wiadomo, stosowane są do oceny funkcjonowania poszczególnych odcinków drogi słuchowej w odpowiedzi na akustyczną stymulację oraz umożliwiają diagnostykę praktycznie wszystkich rodzajów niedosłuchów. Dzięki tym badaniom, można rozpoznawać aktualnie neuropatię słuchową, o czym w artykule przeglądowym pisze Ratyńska [2004]. Na podstawie licznych badań wiadomo, że schorzenie to w badaniach obiektywnych słuchu manifestuje się brakiem odruchu strzemiączkowego, prawidłową otoemisją akustyczną i praktycznie brakiem słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu – ABR. Można zaryzykować stwierdzenie, że dopiero dzięki metodom obiektywnym, możemy obecnie wczesnie wykrywać przypadki neuropatii. Jak pokazują najnowsze statystyki schorzenie to występuje znacznie częściej, niż wykazywano to w badaniach prowadzonych przed laty. Dzięki rozpowszechnieniu metod obiektywnych w istotny sposób zwiększy się wykrywalność tego schorzenia, a tym samym możliwość wczesnej interwencji dla osób cierpiących na neuropatię słuchową.

W badaniach słuchu u małych dzieci bardzo istotną rolę odgrywa badanie progu słyszenia. Aktualnie dysponujemy w tym zakresie znacznie bardziej efektywnymi metodami. W dalszym ciągu standardem są badania progowe oparte na rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych, przy czym aktualnie oprócz trzasku stosowane są do stymulacji krótkie tony o obwiedniach nieliniowych [Kochanek 2000; Stapels 2000]. Dzięki temu widma bodźców są wąskopasmowe, a specyficzność częstotliwościowa odpowiedzi pnia mózgu jest znacznie większa, niż w przypadku odpowiedzi wywoły-



Ryc. 1. Przykład odwzorowania audiogramu na podstawie progów fali V odpowiedzi pnia mózgu wywoływanych trzaskiem oraz krótkimi tonami o obwiedni Gaussa o częstotliwościach 500, 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz

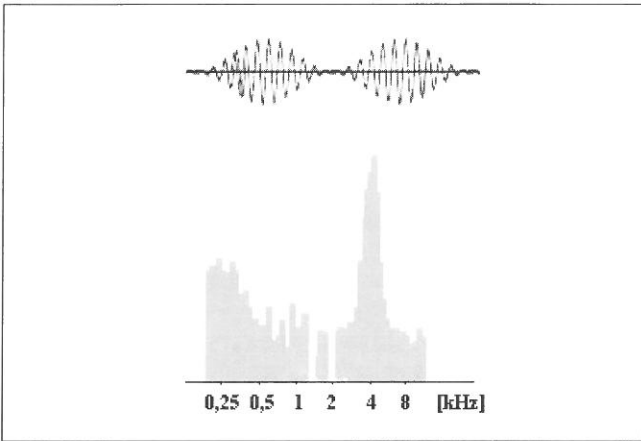
wanych krótkimi tonami o obwiedni liniowej. W praktyce oznacza to większą wiarygodność badań progowych oraz większą precyzję przy szacowaniu progu słyszenia na podstawie progów odpowiedzi ABR. Na ryc. 1 przedstawiono przykład rekonstrukcji audiogramu wykonanej w oparciu o progi odpowiedzi pnia mózgu przy zastosowaniu stymulacji trzaskiem oraz krótkimi tonami o obwiedni Gaussa o różnych częstotliwościach.



Ryc. 2. Przykład rejestracji odpowiedzi ABR dla trzasku i krótkich tonów o obwiedni Gaussa o częstotliwościach 500 i 1000 Hz u osoby z płaskim ubytkiem słuchu typu ślimakowego. Progi audiometryczne dla częstotliwości z zakresu od 500 do 4000 Hz wynosiły ok. 60 dB HL

Obecnie w wielu ośrodkach audiologicznych w Polsce metodą standardową w badaniach progu słyszenia u małych dzieci jest metoda obejmująca badanie za pomocą trzasku oraz krótkich tonów o częstotliwościach 500 i 1000 Hz, przedstawiona na ryc. 2 [Kochanek 2000]. Należy podkreślić, że w porównaniu z innymi krajami sytuacja w Polsce w zakresie badań progowych ABR jest wyjątkowo korzystna, ponieważ praktycznie wszystkie ośrodki audiologiczne stosują w badaniach progowych ABR krótkie tony. W wielu krajach europejskich, w dalszym ciągu standardem jest badanie progu słyszenia za pomocą odpowiedzi ABR dla trzasku.

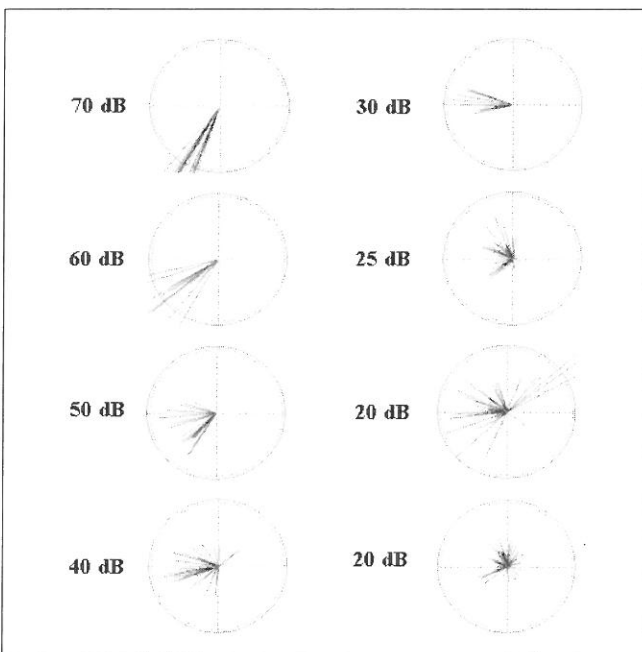
Jak wspomniano powyżej wiele wskazuje, że pierwsza dekada XXI w. będzie stała pod znakiem rozwoju słucho-



Ryc. 3. Przebieg czasowy oraz widmo mocy tonu modulowanego amplitudowo i częstotliwościowo o częstotliwości 4000 Hz stosowanego w badaniach ASSR

wych potencjałów wywołanych stanu ustalonego – ASSR (ang. *auditory steady state responses*) [Picton (i in.) 2003]. W metodzie tej potencjały wywołane rejestruje się z ośrodków podkorowych i korowych mózgu, które powstają w odpowiedzi na stymulację tonami modulowanymi amplitudowo i częstotliwościowo. Ten sposób stymulacji zapewnia duże skupienie energii bodźca w określonym zakresie częstotliwości oraz większe poziomy stymulacji niż w badaniach ABR. Ponieważ do stymulacji używa się bodźców ciągłych możliwa jest rejestracja potencjałów u osób z aparatami słuchowymi oraz implantami ślimakowymi, co być może pozwoli w obiektywny sposób oceniać efektywność procesu dobierania aparatów słuchowych i implantów u małych dzieci. Ten rodzaj potencjałów jest również bardzo atrakcyjny z uwagi na możliwość automatyzacji procesu analizy wyników badań.

Potencjały stanu ustalonego analizowane są z zastosowaniem nowoczesnych metod statystycznych oraz analizy amplitudowo-fazowej. Na ekranie urządzenia do rejestracji



Ryc. 4. Zestaw wykresów amplitudowo-fazowych odpowiedzi ASSR w funkcji intensywności bodźca zarejestrowanych u osoby o słuchu normalnym dla tonów o częstotliwości 1000 Hz modulowanych amplitudowo i częstotliwościowo

odpowiedzi ASSR nie są prezentowane przebiegi czasowe odpowiedzi, tak jak w klasycznych rejestracjach ABR i MLR, ale wykresy amplitudowo-fazowe sygnałów związanych z częstotliwością modulacji amplitudowej (ryc. 4 i 5). Na ryc. 4 przedstawiono wykresy amplitudowo-fazowe odpowiedzi ASSR zarejestrowanych dla tonu o częstotliwości 1000 Hz modulowanego amplitudowo i częstotliwościowo. Urządzenie w sposób automatyczny dokonuje detekcji odpowiedzi dla poszczególnych intensywności bodźca oraz wyznacza samoczynnie próg słyszenia.

Metoda ASSR może być stosowana do estymacji progu słyszenia zarówno u osób normalnie słyszących, jak i z ubytkami słuchu, przy czym w porównaniu z metodą ABR wielkości ubytków słuchu szacowane za pomocą tej metody są wyższe (powyżej 95 dB HL).

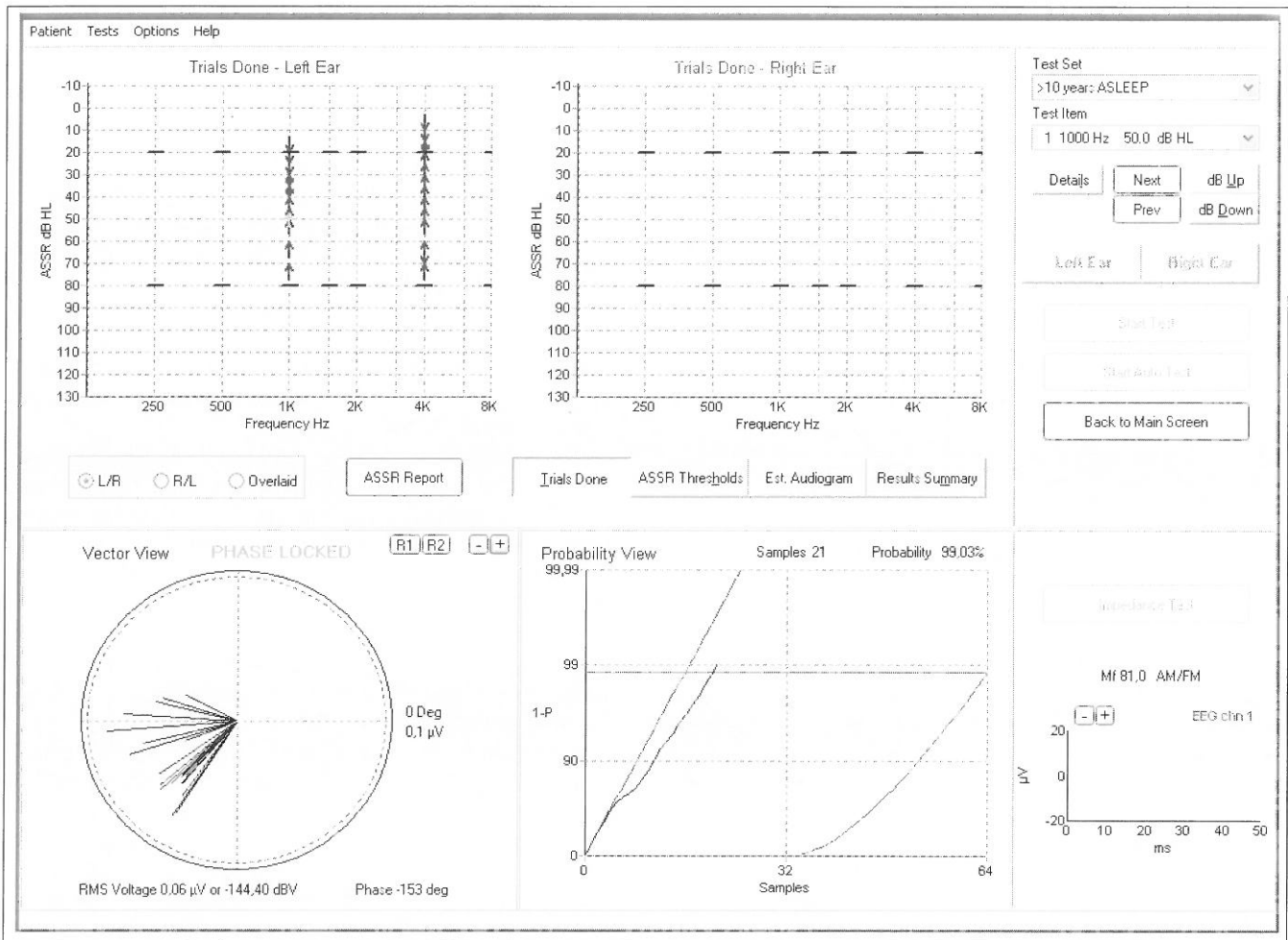
Jak wspomniano powyżej badania obiektywne słuchu umożliwiają diagnostykę różnicową zaburzeń słuchu. Niewątpliwie najważniejsze obecnie zastosowanie metod obiektywnych to wczesna diagnostyka zaburzeń pozaślimakowych oraz pochodzenia centralnego. W diagnostyce zaburzeń pozaślimakowych w dalszym ciągu największe znaczenie ma metoda słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu, natomiast w diagnostyce zaburzeń słuchu pochodzenia centralnego odpowiedzi średniolatencyjne – MLR (ang. *middle latency responses*) i odpowiedzi korowe.

Niewątpliwie za sukces należy uznać metodę „stosu” (ang. *stacked method*) opracowaną przez Dona [1997] opartą na rejestracji odpowiedzi różnicowych z zastosowaniem maskowania wysokoczęstotliwościowego, której czułość w wykrywaniu małych nerwiaków nerwu słuchowego (o średnicy poniżej 1 cm) jest porównywalna z metodą rezonansu magnetycznego. Metoda ta nie tylko w Polsce, ale i w innych krajach jest słabo rozpowszechniona z uwagi na konieczność posiadania odpowiedniej aparatury oraz znaczną czasochłonność metody.

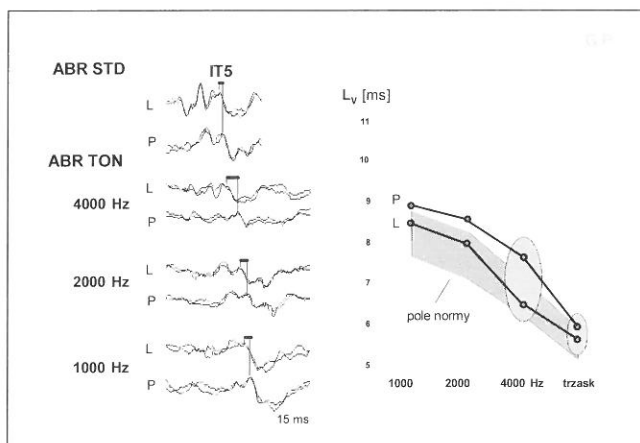
Duże nadzieje można wiązać z metodą detekcji zaburzeń pozaślimakowych opartą na rejestracji odpowiedzi ABR dla krótkich tonów o dłuższych czasach narastania niż bodźce standardowe. Jak wykazują aktualnie prowadzone badania metoda ta charakteryzuje się większą czułością niż metoda standardowa ABR z zastosowaniem trzasku.

Na ryc. 6 przedstawiono przykład odpowiedzi ABR dla trzasku (ABR STD) oraz dla krótkich tonów (ABR TON) u osoby z obustronnie normalną czułością słuchu i nerwiakiem nerwu słuchowego o średnicy ok. 1 cm w uchu prawym. Porównanie latencji fali V dla poszczególnych bodźców w obu uszach wykazało nieznacznie dłuższą latencję fali V w odpowiedziach ucha prawego dla trzasku oraz znacznie bardziej wydłużoną dla bodźców tonalnych, szczególnie dla częstotliwości 4000 Hz. Przedstawiony przykład potwierdza wysoką czułość odpowiedzi ABR dla krótkich tonów w detekcji niewielkich nerwiaków nerwu słuchowego. W porównaniu z metodą „stosu” metoda ABR TON może być z łatwością rozpowszechniana, ponieważ większość produkowanych urządzeń do rejestracji odpowiedzi ABR umożliwia stymulację za pomocą krótkich tonów.

W diagnostyce zaburzeń centralnych słuchu coraz większe znaczenie mają potencjały wywołane o długiej latencji (powyżej 200 ms). Są to potencjały korowe związane ze zdarzeniem, powstające jako odpowiedź na wtrącenie do ciągu bodźców jednorodnych bodźca odmiennego. Może to być np. ciąg bodźców o częstotliwości 1000 Hz, do którego wtrą-

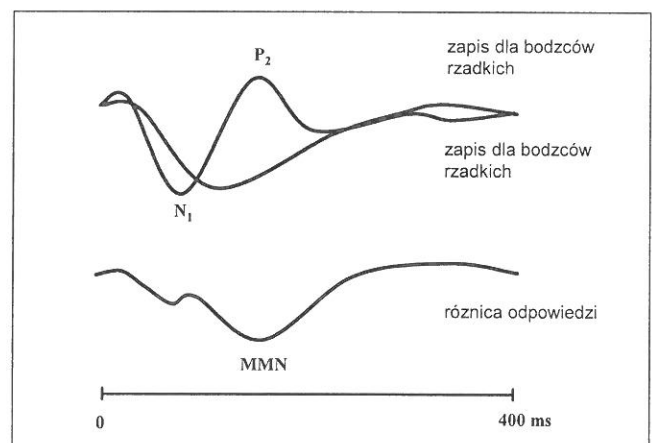


Ryc. 5. Przykładowy wygląd ekranu urządzenia do rejestracji odpowiedzi ASSR. W górnej części ekranu znajdują się siatki audiometryczne z wynikiem estymacji progu słyszenia w uchu lewym, natomiast na dole ekranu widoczne są wyniki analizy sygnału dla tonu o intensywności 50 dB HL (wykres fazowo-amplitudowy oraz wykres prawdopodobieństwa występowania odpowiedzi)



Ryc. 6. Przykład rejestracji odpowiedzi ABR dla trzasku (ABR STD) oraz dla krótkich tonów (ABR TON) u osoby z obustronnie normalną czułością słuchu i nerwiakiem nerwu słuchowego o średnicy ok. 1 cm w uchu lewym. Po prawej stronie rysunku znajdują się wykresy latencji fali V dla poszczególnych bodźców w obu uszach. IT5 – różnica międzyuszną latencji fali V; L_v – latencja fali V

cany jest co pewien czas bodziec o częstotliwości 4000 Hz. Potencjałami tymi są fala P300 i potencjał niezgodności MMN (ryc. 7). Potencjały te można rejestrować w odpowiedzi nie tylko na tony, ale również sygnały mowy.



Ryc. 7. Przykład rejestracji potencjału MMN

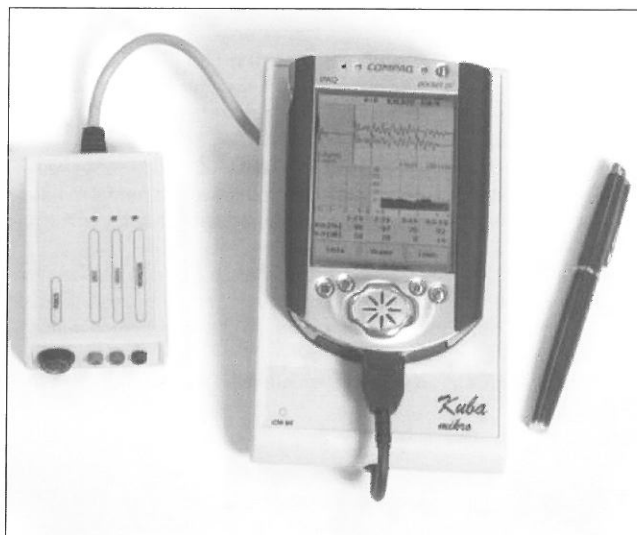
Potencjał P300 o latencji ok. 300 ms pojawia się w zapisie potencjałów korowych, gdy do ciągu bodźców standardowych (bodziec częsty, pojawiający się w 80-90%) zostanie wtrącony bodziec odmienny (bodziec rzadki, pojawiający się w 10-20%). Zadaniem pacjenta jest zwrócenie uwagi na pojawienie się bodźca odmiennego. W tych momentach w standardowym zapisie odpowiedzi korowych pojawia się potencjał P300. Jeżeli pacjent nie będzie się koncentrował się na

bodźcu odmiennym to uzyskamy klasyczny zapis odpowiedzi korowych.

Przy rejestracji potencjału niezgodności – MMN (ang. *mismatch negativity*) stosujemy taką samą procedurę stymulacji jak przy rejestracji potencjału P300, przy czym uwaga pacjenta podczas stymulacji musi być zajęta wykonywaniem zadania umysłowego, na tyle skutecznie, aby pacjent nie rozróżniał świadomie pojawienia się w ciągu bodźców częstych bodźca rzadkiego. Potencjał MMN jest wyrazem automatycznej odpowiedzi kory mózgowej związanej z wykryciem niezgodności w cechach bodźca częstego i rzadkiego. Może to być np. różnica pomiędzy dwoma sylabami. Potencjał MMN otrzymuje się jako różnicę uśrednionych odpowiedzi dla obu typów bodźców. Może być on rejestrowany podczas snu, zarówno u dzieci jak i osób dorosłych, przy czym amplituda potencjału rejestrowanego podczas snu jest niższa niż w stanie czuwania. Potencjalne zastosowanie kliniczne metody MMN dotyczy możliwości obiektywnej oceny dyskryminacji dźwięków u osób, których nie można wykonać wiarygodnych testów dyskryminacji dźwięków w badaniach psychoakustycznych. Wiele wskazuje, że metoda ta może mieć zastosowanie w badaniach nad procesami percepcji i rozpoznawania dźwięków, a więc również w badaniach osób z zaburzeniami w zakresie centralnych procesów przetwarzania informacji słuchowej.

Omawiając aktualny stan wykorzystania metod obiektywnych w praktyce klinicznej nie sposób nie wspomnieć o rejstracjach elektrycznie wywołanego odruchu strzemiączkowego – ESRT (ang. *electric stapedius reflex threshold*) oraz potencjałów wywołanych pnia mózgu – EABR (ang. *electric auditory brainstem responses*). Metody te stosowane są obecnie zarówno w śródoperacyjnym testowaniu drogi słuchowej przy stymulacji elektrycznej nerwu słuchowego oraz w obiektywnym ustawianiu parametrów stymulacji procesorów mowy w implantach ślimakowych. Niewątpliwie zastosowanie tych metod w doborze parametrów implantów ślimakowych ma ogromne znaczenie w odniesieniu do małych dzieci, z którymi nie zawsze można nawiązać właściwą współpracę przy wykonywaniu testów behawioralnych czy psychoakustycznych podczas ustawiania procesora mowy.

Bardzo istotną cechą badań obiektywnych u progu XXI w. jest automatyzacja pomiarów. Aktualnie odnosi się to praktycznie do wszystkich rodzajów badań elektrofizjologicznych. Termin automatyzacja oznacza, że zarówno procesy stymulacji i akwizycji, jak i proces analizy wyników odbywają się automatycznie, a zatem dopiero teraz możemy mówić, że metody te są obiektywne. Jeszcze nie tak dawno do oceny wyników badań niezbędne były wysokie kwalifikacje oraz długoletnie doświadczenie personelu. Dziś mamy do dyspozycji coraz bardziej wyszukane algorytmy umożliwiające bardzo efektywną analizę wyników badań. Dzięki zastosowaniu automatyzacji metody te stały się rzeczywiście nie tylko obiektywne, ale również bardzo efektywne pod względem skrócenia czasu badania. Warto sobie uświadomić fakt, że w wielu przypadkach badanie przesiewowe za pomocą otoemisji akustycznych trwa obecnie od kilku do kilkudziesięciu sekund. Podobnie znacznie skrócił się czas przesiewowego badania ABR. Bardzo efektywne pod względem czasu badania są również pomiary impedancji akustycznej ucha środkowego.



Ryc. 8. Polskie urządzenie do badań przesiewowych słuchu u noworodków za pomocą metod OAE i ABR.

Wraz z postępowaniem technicznym, który spowodował automatyzację pomiarów, dokonał się znaczny postęp technologiczny, którego efekty obserwujemy na codzień w odniesieniu do sprzętu komputerowego. Natomiast w odniesieniu do sprzętu stosowanego w badaniach obiektywnych słuchu oznacza on znaczną miniaturyzację sprzętu oraz spadek jego ceny.

Na ryc. 8 przedstawiono przykład polskiego, miniaturowego urządzenia do badań przesiewowych słuchu u noworodków i niemowląt za pomocą metod OAE i ABR o nazwie „Kuba-mikro”.

Podsumowanie

Ocena stanu badań obiektywnych u progu XXI w. jest wielce obiecująca. Udział tych metod w praktyce klinicznej w takich dziedzinach jak audiologia, czy otolaryngologia jest bardzo znaczący, a waga tych metod, szczególnie w odniesieniu do diagnostyki zaburzeń słuchu u małych dzieci, jest aktualnie bardzo wysoka. Bez metod tych trudno byłoby mówić o dalszym, dynamicznym rozwoju powszechnych badań przesiewowych słuchu u noworodków i programów wczesnej interwencji słuchowej.

Dzięki automatyzacji pomiarów badania obiektywne stosowane są obecnie coraz szerzej przez inne specjalności medyczne, takie jak neonatologia, pediatria, neurologia, czy neurochirurgia. Można dziś mówić nie tylko o znaczącym upowszechnieniu badań obiektywnych słuchu w medycynie, ale również poza nią, ponieważ metody te wykorzystywane są również przez specjalistów spoza medycyny. Postęp techniczny i technologiczny, który dokonuje się w systematyczny i dynamiczny sposób sprawia, że metody te są coraz bardziej doskonalsze i bardziej efektywne zarówno z medycznego, jak i ekonomicznego punktu widzenia. Coraz bliższa realizacji wydaje się być idea pomiarów obiektywnych słuchu na odległość z wykorzystaniem internetu. Nie trudno jest też sobie wyobrazić możliwość wykorzystania w najbliższych latach telefonów komórkowych do realizacji niektórych pomiarów obiektywnych słuchu. To wszystko sprawia, że niewątpliwie w dalszym ciągu motorem postępu w dziedzinie audiologii są obiektywne badania słuchu.

Bibliografia

- Don M., Masuda A., Nelson R., Brackmann D. [1997]. Successful detection of small acoustic tumors using the stacked derived-band auditory brain stem response amplitude. „American Journal of Audiology” 18, 5, 608-621.
- Gorga M. P., Preissler K., Simmons J., Walker L., Hoover B. [2001]. Some issues relevant to establishing a universal newborn hearing screening program. „Journal of American Academy of Audiology” 12, 101-112.
- Kochanek K. [2000]. Ocena prognozy słyszenia za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w zakresie częstotliwości 500-4000 Hz, Praca habilitacyjna. Warszawa: Wydawnictwa Akademii Medycznej.
- Ratyńska J. [2004]. Neuropatia słuchowa. „Audiofonologia” 26, w druku.
- Picton T. W., John M. S., Dimitrijevic A., and Purcell D. W. [2003]. Human Auditory Steady-State Responses. Review „International Journal of Audiology” 42 (4), 177-219.
- Stapells D. R. [2000]. Threshold estimation by tone-evoked auditory brainstem response: a literature meta-analysis. „Journal of Speech-Language Pathology and Audiology” 224, 74-83.

Adres do korespondencji

Krzysztof Kochanek
ul. Saska 48 a m. 35
03-914 Warszawa
e-mail: k.kochanek@ichs.pl