



SKRYPT DO LABORATORIUM

ELEKTRONICZNA APARATURA MEDYCZNA

ĆWICZENIE 5: Pomiary audiometryczne

dr hab. inż. Jerzy Wtorek

dr inż. Adam Bujnowski

Gdańsk, 2010



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



1. Opis ćwiczenia

Wymagania wstępne:

Od studentów realizujących ćwiczenie wymaga się znajomości podstawowych zagadnień fizjologii, umiejętności posługiwania się oprogramowaniem Matlab, umiejętność posługiwania się aplikacjami komputerowymi.

Cele ćwiczenia:

Zapoznanie z wybranymi przykładami elektronicznej aparatury medycznej lub jej funkcjonalnymi podukładami.

Zestaw przyrządów

Komputer klasy PC z systemem operacyjnym co najmniej MS Windows XP, karta dźwiękowa, słuchawki.

Spodziewane efekty kształcenia - umiejętności i kompetencje:

Umiejętność oceny i analizy sygnałów. Student dobierze adekwatną metodę analizy w zależności od właściwości analizowanego sygnału.

Metody dydaktyczne:

Samodzielna praca pod nadzorem i bez nadzoru nauczyciela. Studenci samodzielnie realizują pomiary, zestawiają i konfigurują układy pomiarowe. W tych czynnościach są wspomagani przez nauczyciela prowadzącego zajęcia. Następnie samodzielnie opracowują wyniki przeprowadzonych pomiarów, analizują je i przedstawiają wynikające wnioski.

Zasady oceniania/warunek zaliczenia ćwiczenia

Ćwiczenie uważane jest za zrealizowane, gdy wykonane zostały wszystkie zadania opisane w dalszej części. Istotny wpływ na ocenę mają wnioski, które zostaną przedstawione w sprawozdaniu.

Wykaz literatury podstawowej do ćwiczenia:

1.	Skrypt do wykładu Biosygnali
2.	Skrypt do ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

L.p.	Zadanie
1.	Zapoznać się ze stanowiskiem pomiarowym
	Uruchomić aplikację.
2.	Zestawić i przygotować stanowisko do przeprowadzenia pomiarów
3.	Przeprowadzić pomiary
4.	Zmienić
5.	Zmienić
8.	

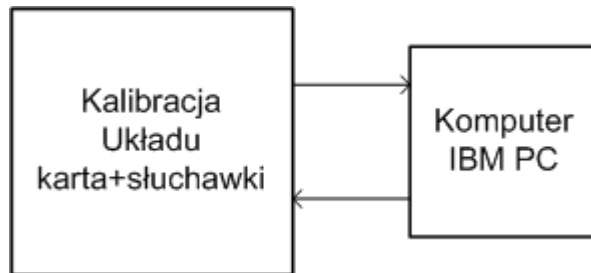
UWAGA!

Każdorazowa zmiana układu pomiarowego wymaga jej zatwierdzenia przez prowadzącego zajęcia jeszcze przed włączeniem zasilania!!! Studenci nieprzestrzegający tej zasady nie będą mogli kontynuować ćwiczenia!!!

3. Wprowadzenie do ćwiczenia

3.1. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe składa się z komputera wyposażonego w odpowiednią kartę dźwiękową.



Rys. 1. Schemat blokowy audiometru komputerowego

3.2. Oprogramowanie

Oprogramowanie pozwala na prezentację i zbieranie danych pomiarowych do plików.

4. Forma i zawartość sprawozdania

Sprawozdanie adekwatne do spisu zadań.

Dodatki

Audiologia jest nauką o słuchu. Jest dyscypliną naukową praktykowaną przez audiologów. Według Amerykańskiej Akademii Audiologii, "audiolog jest to osoba, która na podstawie stopnia naukowego, szkoleń klinicznych, licencji i / lub zawodowych doświadczenia, posiada kwalifikacje zapewniające wszechstronny zestaw usług specjalistycznych związanych z zapobieganiem utraty słuchu i badaniami audiologicznymi, ocenę, diagnostykę i leczenie osób z zaburzeniami słuchu, jak również prewencji. Audiolodzy mogą zajmować wiele stanowisk, w tym lekarza, terapeuty, pedagoga, konsultanta, pracownika badawczego.

Ważnym narzędziem w praktyce audiologii jest audiometria. Ogólnie rzecz biorąc, audiometria oznacza jedną lub więcej procedur, w których dokładnie określone bodźce słuchowe są przedstawiane badanemu w celu wywołania mierzalnych, fizjologicznych lub behawioralnych odpowiedzi. Często termin odnosi się do procedur audiometrii wykorzystywanych do oceny indywidualnego progu słuchu dla bodźców sinusoidalnego lub słownych. Tak zwana konwencjonalna audiometria prowadzona jest za pomocą kalibrowanej aparatury elektronicznej, o nazwie audiometr, generującej kontrolowane sygnały akustyczne. Obecnie pojęcie audiometrii rozszerzone jest na szereg procedur służących do pomiaru różnych fizjologicznych i behawioralnych reakcji na stymulację aparatu słuchowego, w tym także obejmujących procesy rozumienia. Bardziej złożone procedury i aparatura są używane do oceny aktywności słuchowej w obszarze systemu nerwowego. Obecnie audiolodzy dysponują procedurami i sprzętem pozwalającym na ocenę zmysłu słuchu począwszy na uchu zewnętrznym, a na korze mózgowej skończywszy. Tym samym mogą oni być pomocni w pracy lekarzy, nauczycieli i innych zawodów dostarczając uznanych i sprawdzonych metod badań. Szczególna rola przypada audiologom w badaniach niemowlaków i dzieci.

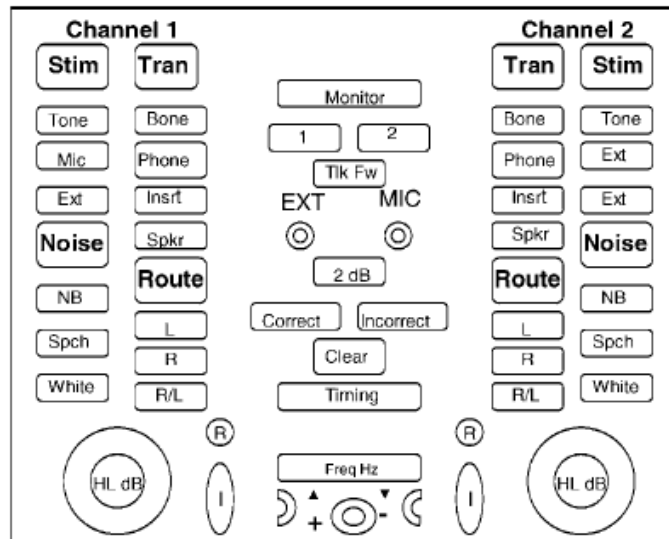
Audiometria

Pojęcie audiometria e szerokim sensie odnosi się do jakościowego i ilościowego pomiaru funkcjonowania zmysłu słuchu i najczęściej przedstawiającego wartość ubytku słuchu. Jest to ważne narzędzie audiologii i także służb opieki zdrowotnej w diagnozowaniu, leczeniu i rehabilitacji. Zawód ten wywodzi się od otologii i patologii mowy, od których oddzielił się w latach dwudziestych poprzedniego wieku. **Otologia** lub **otiatria** (gr. oros, otos) jest dziedziną medycyny zajmującą się fizjologią, rozpoznawaniem, diagnozowaniem i leczeniem uszu. W tym czasie opracowano także pierwsze audiometry. Audiometria rozwinęła się w latach czterdziestych dwudziestego wieku w wyniku wzrostu liczby osób z problemami słuchu będącymi efektem wojny. Ocena słyszenia, dobrodziejstwo wspomaganie słuchu i rehabilitacja zmysłu słuchu zostały zapoczątkowane przez Departament Weteranów rządu USA. Zostały do tego procesu włączone uniwersytety, które podjęły problem kształcenia audiologów. Program został rozszerzony na inne grupy społeczne. Obecnie audiometria jest podstawowym elementem oceny i leczenia osób z upośledzeniami zmysłu słuchu.

Audiometry to urządzenia elektroakustyczne zaprojektowane zgodnie z międzynarodowymi standardami przeznaczone do dokładnej i pewnej oceny czułości słyszenia i umiejętności przetwarzania sygnałów akustycznych w kontrolowanych warunkach. Audiometr został opisany po raz pierwszy na przełomie dwudziestego wieku i byłmówczas używany tylko w warunkach laboratoryjnych w Uniwersytecie Iowa. Zostało to opisane w książce będącej klasyką badań audiometrycznych przez C.C. Buncha wraz z rezultatami pierwszych testów przeprowadzonych na pacjentach charakteryzujących się różnymi chorobami i uszkodzeniami aparatu słuchowego. Pierwszy komercyjny audiometr pod nazwą Western Electric 1A został opracowany na początku lat dwudziestych poprzedniego wieku przez Bell Telephone Laboratories w USA i został opisany przez Fowlera i Wesela w 1922 r. Jednakże pierwsze szerokie zastosowania audiometrów datują się na lata czterdzieste dwudziestego wieku. Jako narzędzie kliniczne audiometria zaczęła być stosowana na początku pięćdziesiątych lat XX wieku. Od tego czasu opracowano także wymagania stawiane aparaturze w postaci standardów. Narodowy Instytut Standardów (ang. American National Standards Institute - ANSI) oraz Międzynarodową Komisją Elektrotechniki (ang. Electrotechnical Commission - IEC) opracowały i zatwierdziły wymagania stawiane aparaturze używanej w audiometrii, badaniach psychofizjologicznych i akustyce. W chwili obecnej procedury audiometryczne są używane rutynowo na całym świecie w identyfikacji dysfunkcji zmysłu słuchu u niemowlaków, ocenie uszkodzeń słuchu będących efektem chorób, monitorowaniu osób zagrożonych uszkodzeniem i zniszczeniem słuchu (np. w wyniku ekspozycji na hałas, substancje toksyczne, itp.).

Audiometry, wg. zaleceń ANSI, są klasyfikowane zgodnie z wieloma kryteriami, włączając ich przeznaczenie, sposób działania, rodzaj wytwarzanych sygnałów, przenośność, itp. W ogólności Typ IV, audiometry przesiewowe (ang. screening audiometer) jest zaprojektowany do różnicowania osób z nieuszkodzonym słuchem od tych z uszkodzonym i ich budowa jest relatywnie mniej skomplikowana niż tych, które są przeznaczone do zaawansowanych badań klinicznych (audiometry Typ I). Do audiometrów zalicza się także audiometry sterowane za pomocą procesorów (mikroprocesorów) np. audiometr Bekesy'a lub samorejestrujące), o rozszerzonej charakterystyce wysokoczęstotliwościowej (Typ HF), audiometry **wolnego pola** (Typ E), audiometry mowy (Typ A, B i C w zależności od charakteryzujących je parametrów) i inne dla specyficznych celów. Audiometry zawierają jeden lub większą liczbę układów generujących tzw. czyste tony o różnych częstotliwościach, układy przełączające przeznaczone do dołączania i odłączania sygnałów od badanej osoby oraz układy tłumienia wyskalowane w decybelach (dB) w odniesieniu do audiometrycznego zera. Maksymalna wartość natężenia osiąga 100 dB przy kroku co 5 dB. Poziom „0 dB” reprezentuje typową wartość czułości dla wybranej częstotliwości w zakresie badania dla młodych dorosłych osób w komfortowych, bez szumowych warunkach. Referencyjne dane poziomów słyszalności były zbierane w różnych krajach począwszy od lat pięćdziesiątych do sześćdziesiątych i zostały

zatwierdzone przez odpowiednie komisje międzynarodowe jako obowiązujące wzorce. Audiometry posiadają także różnorodne układy wyjściowe (przetworniki) służące do prezentacji sygnału osobie badanej. Są to słuchawki, wibratory do badania przewodnictwa kostnego i głośniki. Jako że generowane sygnały mogą być zniekształcone przez elektroakustyczne charakterystyki przyrządów (np. charakterystykę częstotliwościową) uniwersalne audiometry posiadają wiele kalibrowanych wyjść pozwalających na przełączanie pomiędzy różnymi przetwornikami w zależności od klinicznej aplikacji. Wygląd płyty czołowej audiometru Typ I (tzw. audiometr diagnostyczny) pokazano na rysunku 1. Od takich przyrządów wymaga się, aby generowały stabilny sygnał w zadanym zakresie temperatury i wilgotności oraz spełniały szereg wymagań dotyczących bezpieczeństwa, ale także precyzji dotyczącej częstotliwości, natężenia, czystości widmowej oraz maksymalnej wartości poziomu ciśnienia dźwięku (SPL – sound pressure level). Audiometry Typ II charakteryzują się mniejszą liczbą wymaganych cech i mniejszą elastycznością. Audiometry Typ IV mają jeszcze większą liczbę ograniczeń.



Rys. D1. Widok płyty czołowej audiometru klinicznego

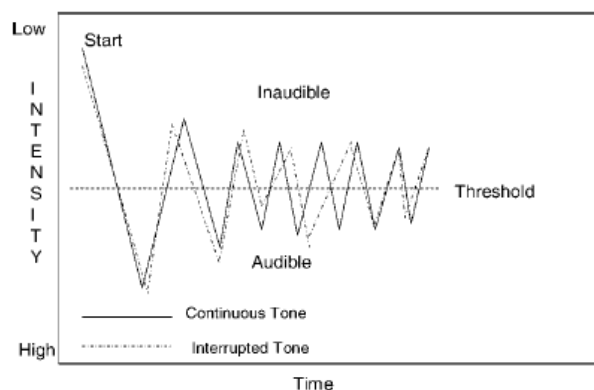
W celu zapewnienia poprawnej i zgodnej ze standardami pracy audiometru jego charakterystyki elektroakustyczne są sprawdzane i korygowane według odpowiednich procedur. Kalibrację przeprowadza się w zakładzie produkcyjnym lub w powołanym do tego celu laboratorium. Oprócz kalibracji zasadniczej przeprowadza się także kalibrację przed samym badaniem. Do nich należy kalibracja głośników co wynika z faktu, że każde pomieszczenie charakteryzuje się innymi właściwościami, które nie są możliwe do odtworzenia w laboratorium. Kalibracja audiometrów wymaga specjalnej aparatury: oscyloskopów, multimetrów, spektrometrów i mierników poziomu dźwięku do określenia natężenia dla każdej częstotliwości. Przetworniki sygnału wyjściowego tj. słuchawki, stymulatory kostne mogą być kalibrowane w dwojaki sposób: 1. używając technik „rzeczywistego ucha” wymagających grupy osób bez patologii słuchu i spełniających także inne kryteria, oraz 2. używając „sztywnych” (ang. hard-walled) elementów sprzęgających (tzw. sztuczne ucho) i przetworników ciśnienia spełniających odpowiednie wymagania.

Urządzenia elektroakustyczne stosowane w audiometrii są opisane zarówno w normach międzynarodowych, (ISO, IEC) jak i krajowych (PKN, ANSI). Umożliwia to wymianę danych pomiędzy laboratoriami. Niektóre normy określają sprzęt, niektóre procedur, warunków i otoczenia w jakich należy przeprowadzać badania. Celem wprowadzenia norm jest zapewnienie odpowiedniej precyzji i interpretowalności badań. Jest to szczególnie istotne w opracowaniu terapii jak i monitorowania jej postępów.

Audiometria tonalna

Badanie audiometryczne może być przeprowadzone na wiele różnych sposobów w zależności od celu badania i zmiennych badanej osoby takich jak wiek, stan mentalnych, motywację. Na przykład, czułość słyszenia bardzo młodych dzieci może być oceniona na podstawie efektu stymulacji słuchowej prezentowanej w polu dźwiękowym w sposób przypadkowy (zarówno poziom jak i lokalizacja) i badania odpowiedzi, określania jej poziomu i lokalizacji. Inaczej należy postępować z pacjentami opóźnionymi rozwojowo. Można ich przyuczyć do odpowiedzi motorycznej w następstwie testowych dźwięków stymulujących (np. użycie odpowiedniego przycisku). Dzieci w wieku przedszkolnym można badać za pomocą odpowiednio skonstruowanych gier i zabaw. W konwencjonalnym badaniu audiometrycznym stymulacja dźwiękowa jest prezentowana badanej osobie za pomocą odpowiedniej wkładki dousznej, odpowiednich słuchawek lub wibratora kostnego noszonego przez pacjenta. Pole dźwiękowe może być także kreowane wokół osoby badanej za pomocą specjalnie rozmieszczonych głośników. Większość badań progowych dla młodzieży szkolnej i dorosłych może być przeprowadzona zgodnie z jedną z dwóch procedur stosowanych w badaniach psychofizycznych a opracowanych przez G. Fechnera: 1. metodą dostrajania oraz 2. metodą graniczną. Techniki psychofizyczne Gustawa Fechnera służą do pomiaru siły wrażenia doznawanego przez przytomny, normalny organizm w reakcji na bodźce o różnej sile. Niezależnie od tego, czy są to bodźce świetlne, dźwiękowe, smakowe, zapachowe lub dotykowe, technika ich pomiaru jest taka sama: ustalanie

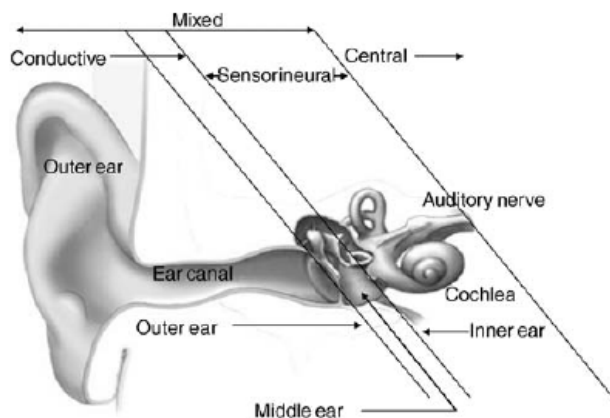
progów i konstruowanie skal psychofizycznych odnoszących siłę wrażenia do siły bodźca. W tych technikach mierzy dwa rodzaje progów. Granicę, której przekroczenie pozwala odczuć zmysłowo bodziec lub zmiany w jego intensywności- progi absolutne i progi różnicy. W metodzie dostrajania intensywność dźwięku jest dobierana przez osobę badaną zgodnie z wybranym kryterium (np. słyszalny, niesłyszalny) dla określonego zakresu częstotliwości zmienianych w sposób ciągły lub dyskretny. Laureat nagrody Nobla Georg von Bekesy wprowadził tę metodę do praktyki badań audiometrycznych w 1947 roku. W tym podejściu osoba badana słyszy sinusoidalny dźwięk, którego częstotliwość zmienia się od małych wartości do dużych i jego intensywność zmienia się od „niesłyszalnych” do „słyszalnych”. Jest to przedstawione na rysunku 2.



Rys. D2. Sekwencja pomiarowa w metodzie Georga von Bekesy'a

Związek pomiędzy progami dla fali generowanej w sposób ciągły i impulsowy dostarcza dodatkowej informacji o miejscu uszkodzeń zmysłu słuchu. Następnie zostało stwierdzone, że pożyteczną informację można uzyskać przeprowadzając badania osób z uszkodzonym słuchem w sposób umożliwiający badania natężeń dźwięków ocenianych jako najbardziej komfortowe a nie progowe. Jednakże znaczna liczba czynników wpływających na wynik badania takich jak wiek badanej osoby, efekty uczenia się, czas trwania badań pozwalający na osiągnięcia stabilnych wyników spowodowała, że metoda ta okazała się nieprzydatna, szczególnie w badaniach dzieci. Niemniej jednak audiometry spełniające wymagania tej procedury są produkowane i wykorzystywane w programach ochrony słuchu do oceny i zapisu czułości słuchu dużych grup pracowników narażonych na hałas przemysłowy i/lub militarny. W większości klinik rutynowo przeprowadza się audiometrię progową używając metody progowej. W metodzie tej osoba sprawdzająca dobiera natężenie dźwięku dla różnych częstotliwości według wcześniej opracowanego schematu, a badany odpowiada uruchamiając odpowiedni przycisk lub podnosząc dłoń w momencie detekcji pobudzenia. Chociaż próg słyszalności może być określony na podstawie różnych procedur (wzrost, spadek poziomu dźwięku, mieszany, adaptacyjny) przeprowadzone badania wskazują, że podejście polegające na wzroście natężenia w audiometrii tonalnej i przedstawiane osobie badanej zaczynając od poziomów niesłyszalnych do poziomu słyszalności jest podejściem niezawodnym w przypadku osób chętnie współpracujących z osobą egzaminującą. W klinice takie podejście jest także uważane za oszczędzające czas. W podejściu tym dźwięk tonalny jest prezentowany osobie badanej poniżej poziomu progowego i jego natężenie wzrasta przyrostowo aż do momentu otrzymania odpowiedzi od badanej osoby. Wówczas natężenie jest zmniejszane poniżej tej wartości i ponownie zwiększane przyrostowo aż do momentu ponownej odpowiedzi. Poziom wartości progowej definiowany jest jako najmniejsze natężenie, które wywołało odpowiedź przynajmniej w 50% sekwencji wzrostowych.

Podstawowe elementy anatomii ucha przedstawiono na rysunku D3. Dźwięk dostaje do układu detekcji dwiema głównymi drogami: drogą powietrzną (przewodnictwo powietrzne) oraz rozchodząc się w kościach (przewodnictwo kostne). Większość dźwięków generowanych w otoczeniu dostaje się do ucha drogą powietrzną.



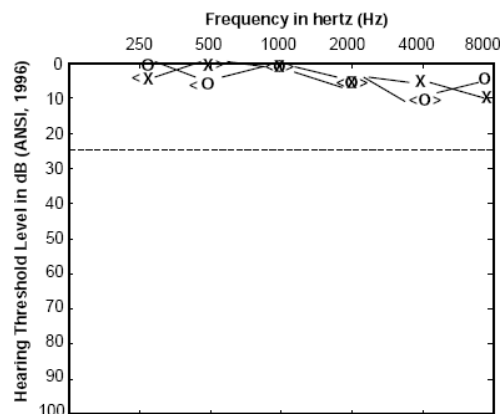
Rys. D3. Podział obszarów ucha oraz rodzaje mechanizmów odpowiadających za zmysł słuchu

Ucho zewnętrzne „zbiera” dźwięk i ukierunkowuje do przewodu słuchowego, nieznacznie wzmacnia sygnały słyszalne i doprowadza dźwięk do błony bębenkowej. Energia akustyczna fali wywołuje drgania błony, które są przekazywane do kosteczek słuchowych znajdujących się w uchu środkowym. Wibracje kosteczek są zamieniane na energię hydrauliczną płynu wypełniającego ślimak. Ta hydrodynamiczna forma energii powoduje powstanie wędrujących fal w tkance ślimaka. Umieszczone w tej tkance komórki rzęsaty w momencie wykrycia ruchu generują sygnał elektryczny przewodzony dalej przez nerw słuchowy do centralnych struktur słuchowych pnia mózgu aż do kory słuchowej w mózgu. Rodzaj zaburzeń wpływających na funkcjonowanie poszczególnych części ucha pokazano na rysunku 3. Ucho zewnętrzne, zewnętrzny przewód słuchowy i kosteczki słuchowe ucha środkowego uważane są za układ przewodnictwa i uszkodzenia wpływające na te struktury prowadzą do przewodnościowej utraty słuchu. Na przykład perforacja błony bębenkowej, obecność płynu w uchu środkowym wywołana infekcją i nieruchomość jednej z kosteczek słuchowych w uchu środkowym wywołuje przewodzeniową utratę słuchu. Ten typ uszkodzenia słuchu charakteryzuje się tłumieniem sygnału docierającego do uch wewnętrznego i medyczny (chirurgiczny) zabieg bardzo często prowadzi do pełnego przywrócenia słuchu. W niewielu przypadkach uszkodzenia przewodności mogą być stałe, ale użycie aparatu wzmacniającego pozwala zminimalizować ten problem i jednocześnie umożliwia normalną komunikację.

Ucho wewnętrzne wraz z nerwem słuchowym stanowią to część określaną jako sensorowo-nerwowy aparat słuchu i jego uszkodzenie prowadzi do trwałego uszkodzenia zmysłu. Uszkodzenia sensorowo-nerwowe prowadzą do pogorszenia słyszenia oraz jego jakości pogarszając selektywność częstotliwościową i poprzez inne mechanizmy. Uszkodzenia na tym poziomie są trudne do badania oraz ich podłoże do końca nie jest jasne. Prowadzone także do słabego rozumienia mowy. W niektórych przypadkach uszkodzenia przewodnościowe oraz sensorowo-nerwowe mogą występować jednocześnie (współistnieć) prowadząc do tzw. mieszanego typu uszkodzenia słuchu. Osoby z tego typu uszkodzeniami doświadczają kombinacji efektów z tych dwóch typów uszkodzeń. Centralny układ zmysłu słuchu zaczyna się w miejscu, w którym nerwy dochodzą do pnia mózgu i składa się z głównych dróg nerwowych i ośrodków jądrowych począwszy od dolnego pnia mózgu do kory słuchowej mózgu. Choroby centralnego układu nerwowego słuchowego prowadzą do utraty zdolności do właściwego przetwarzania sygnałów przesyłanych z ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego. Wynikowe uszkodzenie słuchu nie charakteryzuje się utratą wrażliwości na dźwięk, ale trudnością w określeniu, dekodowaniu i analizie sygnałów akustycznych, zwłaszcza w trudnych warunkach akustycznych z szumem obecnym w tle. Zaburzenia słuchu na etapie przetwarzania wymagają wyrafinowanych modeli i badań w celu ich identyfikacji i diagnozy.

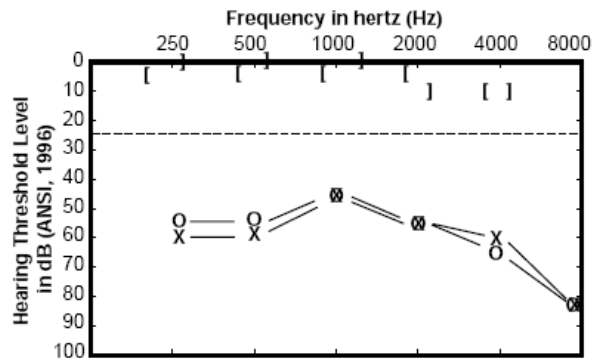
AUDIOGRAM

Wyniki badania audiometrycznego można przedstawić w postaci wykresu, który jest określaną jako audiogram (Rys. D4).



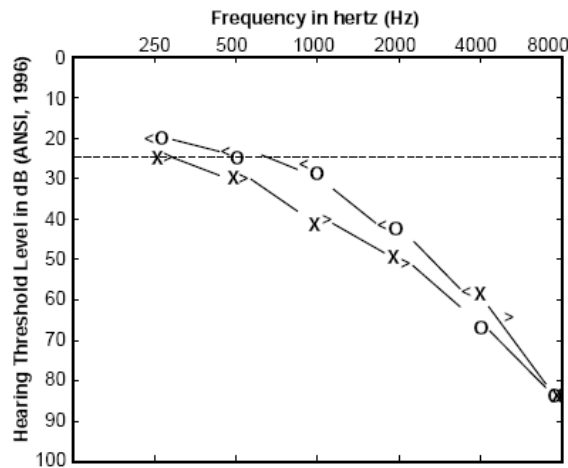
Rys. D4. Audiogram osoby z typowym słuchem, < - przewodnictwo kostne ucho prawe, > - przewodnictwo kostne lewe ucho, O – przewodnictwo powietrzne prawe ucho, X – przewodnictwo powietrzne lewe ucho

Jak widać, częstotliwość w hercach (Hz) jest przedstawiona na osi odciętych, a poziom słuchu (ang. Hearing Level, HL) jest zaznaczony na osi rzędnych. Mimo, że normalne ludzkie ucho jest w stanie wykryć częstotliwości poniżej 100 Hz aż do 20000 Hz, zakres częstotliwości najważniejszy w komunikacji ludzkiej leży między 125 i 8000 Hz, a audiogram zwykle przedstawia ten bardziej ograniczony zakres. Dla specjalnych celów diagnostycznych zakres wysokich częstotliwości bywa rozszerzony. Wówczas audiometry mogą generować tony aż do 20000 Hz. Jednakże w tym celu muszą być stosowane specjalne słuchawki tak by możliwe było określenie progów w tym zakresie częstotliwości. Niektóre audiometry dostępne na rynku pozwalają na generowanie sygnałów na poziomie ciśnienia akustycznego nawet 120 dB HL, ale takie poziomy są potencjalnie niebezpieczne dla ludzkiego ucha. Linia przerywana na audiogramie (Rys. 4) na poziomie 25 dB HL stanowi granicę pomiędzy normalnym poziomem czułości słuchu i regionu charakteryzującego utratę słuchu (poniżej linii) u dorosłych. Prezentowany wynik otrzymano dla osoby o normalnej czułości słuchu.



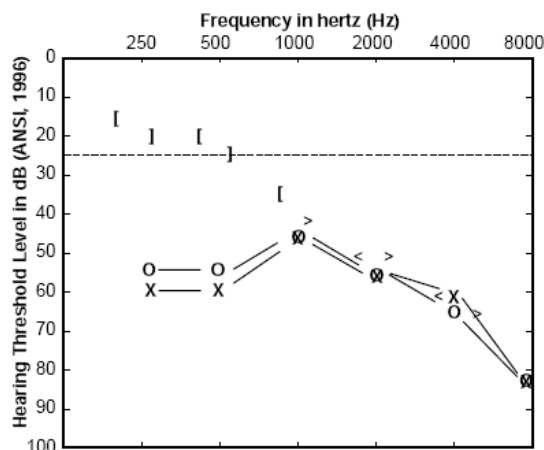
Rys. D5. Audiogram osoby z ubytkami słuchu przewodnościowego: [- prawe ucho, przewodnictwo kostne,] – lewe ucho przewodnictwo kostne, O – prawe ucho przewodnictwo powietrzne, X – lewe ucho przewodnictwo powietrzne

Rysunek D5 przedstawia wyniki badań osoby z uszkodzeniem ucha środkowego po obu stronach i bilateralnej utracie słyszenia będącej w stopniu umiarkowanym i podobnej dla każdego ucha. Odpowiedzi toru kostnego dla obydwu stron są w zakresie limitów (pomiędzy 0 i 25 dB) co sugeruje normalną czułość ucha środkowego i nerwu słuchowego z jednoczesnym obniżeniem progów poniżej zakresu określanego jako normalny. Taki wynik badania sugeruje utrudnione przewodnictwo powietrzne na drodze do ucha środkowego. Utrata słuchu na audiogramie jest charakterystyczna i przedstawia normalne przewodnictwo kostne i jednoczesne obniżenie przewodnictwa powietrzne. W przypadku utraty na poziomie nerwowo-sensorycznym obydwie rodzaje przewodnictwa charakteryzowałyby się identycznym obniżeniem progów audiogramu.



Rys. D6. Audiogram: < - prawe ucho przewodnictwo kostne, > - lewe ucho przewodnictwo kostne, O – prawe ucho przewodnictwo powietrzne, X – lewe ucho przewodnictwo powietrzne

Audiogram na rysunku 6 przedstawia obustronne ubytki słuchu w zakresie wyższych częstotliwości. Czułość dla przewodnictwa kostnego i powietrzego jest jednakowa po obu stronach, dla ucha lewego i prawego. Sugeruje to, że przyczyną nie są zjawiska przewodnictwa (zewnętrzne i środkowe ucho). Audiogram przedstawiony na rysunku D7 wskazuje na utratę słuchu typu mieszanego po obu stronach.



Rys. D7. Audiogram dla osoby z mieszaną utratą słuchu: [- prawe ucho, maskowane przewodnictwo kostne,] – lewe ucho, maskowane przewodnictwo kostne, < - prawe ucho, niemaskowane przewodnictwo kostne, > - lewe ucho niemaskowane przewodnictwo kostne, O – prawe ucho przewodnictwo powietrzne, X – lewe ucho przewodnictwo powietrzne

Odstęp pomiędzy przewodnictwem kostnym i powietrznym w zakresie niskich częstotliwości wskazuje na uszkodzenia przewodnictwa w uchu zewnętrznym i środkowym. Dla częstotliwości powyżej 500 Hz czułość dla słyszenia powietrznego i kostnego po obu stronach jest niemal identyczna, co wskazywałoby na uszkodzenia wpływające na ucho wewnętrzne lub nerw słuchowy.

Podsumowując, audiometria pozwala przedstawić rezultat badania w sposób zwarty i łatwy do analizy. Każdy rodzaj zapisu jest związany z określonym typem uszkodzenia i stopniem ubytku, kształtem ubytku i symetrią dla obu stron. Wyniki te stanowią podstawę szacowania czułości słyszenia w całym zakresie częstotliwości dźwięku.

AUDIOMETRIA SŁOWNNA (ANG. SPEECH AUDIOMETRY)

Pierwsze wzmianki o zastosowaniu mowy do kategoryzacji uszkodzeń słuchu pochodzą z początkowych lat dziewiętnastego wieku. Przez cały ten wiek metodyka badania była cały czas poprawiana i w rezultacie wprowadzono do użytku polegające na kontrolowaniu natężenia dźwięku poprzez zmianę odległości pomiędzy osobą mówiącą i słuchającą. Wprowadzono także szepc w celu usunięcia różnic w słyszalności pomiędzy różnymi słowami. Pojawiły się także pierwsze zapisy słów na fonogramie (Edison w 1877 r.) oraz ustandaryzowane zbiory słów w języku angielskim i innych. Większość początkowych prac związanych z percepcją mowy była skierowana na badanie czułości zmysłu słuchu na mowę. Znaczny postęp prac można zauważyć na początku dwudziestego wieku dzięki pracom prowadzonym przez Bell Telephone Laboratories nad rozróżnialnością dźwięków mowy. Prace te stanowiły podstawę do zagadnień związanych z rozpoznawaniem mowy. Chociaż czysta audiometria tonalna dostarcza istotnej informacji dotyczącej czułości słyszenia oraz konfiguracji i rodzaju ubytków dostarcza mało informacji o umiejętnościach komunikacji badanej osoby. Próby przewidywania umiejętności rozpoznawania mowy na podstawie wyników badań czystej audiometrii tonalnej nie przyniosły spodziewanych rezultatów.

OPRZYRZĄDOWANIE

Audiometria słowna jest przeprowadzana u ustawieniu “tryb mowy” klinicznego audiometru. Słowa są prezentowane badanej osobie za pomocą takich samych przetworników jak w przypadku czystej audiometrii tonalnej. Żywa mowa, której poziom monitorowany jest za pomocą miernika VU, za pomocą mikrofonu, lub nagrana może być kierowana do przez audiometr do konkretnego ucha lub obu jednocześnie używając słuchawek lub głośników. Nagrane sygnały mowy zawierają także tzw. ton kalibracyjny, który pozwala dobrać poziom dźwięku do pożądaných wartości. Opracowano szereg testów w audiometrii słownej w postaci zapisanych zbiorów słów. Jednak badanie za pomocą „żywego” głosu jest bardziej uniwersalne i daje więcej możliwości. W ogólności audiometryczny test słowny jest przeprowadzany przez egzaminatora przebywającego w innym pomieszczeniu niż badana osoba, a impulsy słowne są prezentowane badanej osobie w ściśle określonych warunkach.

PRÓG ROZPOZNAWANIA MOWY

Próg rozpoznawania mowy (ang. speech recognition threshold, SRT) bada się prezentując badanemu dwusylabowe słowa z jednakowym akcentem na każdą sylabę. Użycie takich słów było szeroko badane, szczególnie pod kątem podobieństwa. Obecnie audiologowie wybierają słowa z listy słów zaakceptowanych i są one prezentowane z różną głośnością, podobnie jak w audiometrii tonalnej. Próg rozpoznawania mowy jest najmniejszą wartością natężenia, dla której pacjent odpowiada poprawnie (np. powtarza, zapisuje, wskazuje, itp.) około 50 % słów. Związek pomiędzy progami audiometrii tonalnej i słownej została ustalona na początku dwudziestego wieku. Próg rozpoznawania mowy powinien przyjmować wartość, z dokładnością do 6 dB w porównaniu ze średnią wartości progów otrzymanych dla częstotliwości 500, 1000 i 2000 Hz w audiometrii tonalnej. W przypadku, gdy badanie w audiometrii tonalnej wskazuje na gwałtowną zmianę progów to wartość progowa w audiometrii słownej jest zgodna ze średnią z zakresu 500 – 2000 Hz. Zgodność wartości audiometrii tonalnej i słownej wykorzystywana jest przez audiologów i badanie za pomocą audiometrii słownej jest traktowane jako potwierdzenie wyników w audiometrii tonalnej. Brak zgodności wyników otrzymywanych za pomocą obydwu metod może wynikać z wielu przyczyn. Na przykład brak takiej zgodności występuje u pacjentów nie rozumiejących wydawanych poleceń i wyjaśnień w trakcie badania. Podobnie brak zgodności może występować u małych dzieci, które mają wskazać podczas badania odpowiedni obrazek. Badanej osobie poleca się bowiem powtarzać usłyszane słowa. W audiometrii słownej, inaczej niż w tonalnej, bada się nie słyszenie a rozumienie dźwięków mowy. Próg słyszenia mowy, czyli natężenie dźwięku, przy którym słyhać, że ktoś wypowiada słowa, ale nie można ich zrozumieć znajduje się poniżej progu rozumienia. Aby była możliwość zrozumienia słów ich natężenie musi być większe od wartości progowej. Jako próg detekcji, słyszenia (ang. speech awareness threshold, SAT, speech detection threshold, SAD) mowy określa się natężenie, przy którym badana osoba rozumie 50 % wymawianych przez egzaminatora słów. Z reguły próg SAT jest większy od SRT od 9 do 15 dB. Rozpoznawanie wartości progów słyszenia jest także wykorzystywane jako badanie wstępne do określenia poziomu wartości nadprogowej mowy.