

M5

## **Podstawy biofizyki zmysłu słuchu. Badanie progu pobudliwości ucha ludzkiego.**

### **Zagadnienia:**

- Drgania mechaniczne.
- Fala mechaniczna – powstawanie, mechanizm rozchodzenia się, własności, równanie fali harmoniczej.
- Interferencja fal, fala stojąca.
- Fala akustyczna jako przykład fali mechanicznej, własności fali akustycznej, równanie fali akustycznej, krzywe izofoniczne.
- Zjawisko rezonansu.
- Efekt Dopplera.
- Budowa ucha i zasada odbierania wrażeń słuchowych, próg słyszalności, próg bólu.
- Audiometria obiektywna i subiektywna.
- Prawo Webera-Fechnera.
- Cechy dźwięku, poziom natężenia dźwięku.

Organizm kontaktuje się z otoczeniem za pomocą receptorów. Receptory przekształcają odbierany bodziec (np. mechaniczny, optyczny czy chemiczny) na bodźce elektryczne, czyli potencjały czynnościowe błon komórek nerwowych. Następnie informacja przekazywana jest do mózgu. Przy odbieraniu wszystkich rodzajów bodźców, obowiązuje schemat receptor – przewodnik (nerwy) – odbiornik (mózg), gdzie bodziec jest przetwarzany na nasze odczucia.

Ludzki zmysł słuchu odbiera bodźce mechaniczne, których źródłem jest fala dźwiękowa w zakresie częstotliwości 16 – 20 000 Hz. Właściwe komórki receptorowe znajdują się w uchu wewnętrznym, na błonie podstawnej ślimaka. To tam drgania mechaniczne zamieniane są na potencjały czynnościowe błon komórkowych. Pozostałe części ucha, ucho zewnętrzne i środkowe pełnią przede wszystkim funkcję „wzmacniaczy” odbieranego bodźca.

**Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z biofizycznymi podstawami odbioru wrażeń słuchowych.**

**Celem szczegółowym jest wyznaczenie, w badaniu audiometrycznym, progu pobudliwości ucha dla różnych częstotliwości fal akustycznych.**

Fala akustyczna w trakcie pokonywania drogi w układzie słuchowym jest wielokrotnie wzmacniana dzięki zjawisku rezonansu. Pierwszym zbiorem rezonatorów jest ucho zewnętrzne. Małżowina uszna wzmacnia dźwięki o częstotliwości 4-7 kHz o ok. 5-7 dB, natomiast przewód słuchowy zewnętrzny i błona bębenkowa stanowią komorę o częstotliwości rezonansowej ok 2,5 kHz, wzmacniającą dźwięki z przedziału 2 - 4 kHz o ok. 10 dB.

W uchu środkowym drgania cząsteczek powietrza zamieniane są na drgania mechaniczne kosteczek słuchowych, które to z kolei pobudzają do drgań cieczy ślimaka w uchu wewnętrznym. Drgania te są przenoszone przez cieczę ślimaka na błonę podstawną ślimaka, gdzie zamieniane są na potencjały czynnościowe włókien nerwów słuchowych w narządzie Cortiego. Drgania mechaniczne są wzmacniane zarówno w uchu środkowym, jak i wewnętrznym.

### **Dźwięk**

Odczuwane przez nas wrażenie słuchowe, czyli dźwięk, jest sumą wielu nakładających się czynników. Każdy dźwięk składa się z wielu tonów podstawowych. Ton ma swoją określoną częstotliwość i poziom natężenia. Czysty ton można uzyskać np. za pomocą kamertonu. Dźwięki dochodzące do naszych uszu złożone są z wielu nakładających się na siebie tonów i dlatego trudno je obiektywnie opisać. Odczuwamy je subiektywnie i staramy się charakteryzować np. poprzez głośność, barwę czy wysokość słyszanego dźwięku.

### **Natężenie i poziom natężenia dźwięku**

Cechą charakterystyczną każdej fali jest jej natężenie. W przypadku fali akustycznej natężenie jest definiowane jako stosunek mocy  $P$  fali padającej na jednostkę powierzchni. Natężenie fali wyrażane jest w  $W/m^2$ .

Najmniejsza wartość natężenia sygnału, wywołująca wrażenie słuchowe, dla częstotliwości 1 kHz to ok.  $10^{-12} W/m^2$ . Największa wartość, która nie wywołuje jeszcze trwałego uszkodzenia słuchu to ok.  $1 W/m^2$ . Stosunek tych dwóch wartości wynosi  $10^{12}$  i nazywany jest zakresem dynamicznym ucha. Zakres ten jest bardzo duży i dlatego niewygodny do stosowania, np. natężenie dźwięku mowy podczas rozmowy wynosi  $10^{-5} W/m^2$ . Do opisu natężenia dźwięku przyjęto wygodniejszą skalę logarytmiczną.

Natężenie określające próg słyszalności,  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ , uznano za natężenie odniesienia  $I_0$ . Każde inne natężenie dźwięku jest wyrażane względem  $I_0$ .

$$\frac{I_1}{I_0}$$

Stosunkowi 10:1 odpowiada 1 bel

Liczbę beli otrzymuje się przez zlogarytmowanie przy podstawie 10 ilorazu natężeń.

$$\log_{10} \frac{I_1}{I_0} = B(\text{bel})$$

Bel jest jeszcze zbyt dużą jednostką, aby posługiwać się nią w codziennej praktyce, dlatego powszechnie używa się jednostki decybel.

$$10 \log_{10} \frac{I_1}{I_0} = dB(\text{decybel})$$

Wielkość charakteryzująca dźwięk wyrażona w decybelach nazywana jest **poziomem natężenia dźwięku**. Skala decybelowa nie jest skalą liniową, zatem nie można po prostu sumować poziomów natężenia dźwięku. Aby obliczyć poziom natężenia dźwięków dochodzących z różnych źródeł, trzeba najpierw wyliczyć natężenia dźwięków w  $\text{W/m}^2$ , zsumować i potem dopiero zlogarytmować.

### **Głośność dźwięku i prawo Webera-Fechnera**

Jak już wcześniej wspomniano, głośność jest wrażeniem subiektywnym, przypisywanym odbieranym dźwiękom. Na wrażenie głośności wpływ mają przede wszystkim dwa obiektywne czynniki – częstotliwość i poziom natężenia odbieranego dźwięku. Poziom głośności dźwięku jest wielkością porównawczą. Porównuje się głośność słyszanego dźwięku z głośnością tonu o częstotliwości 1 kHz i różnych poziomach natężenia. Jednostką poziomu głośności dźwięku jest fon. Poziom głośności badanego dźwięku jest liczbowo równy poziomowi ciśnienia akustycznego tonu standardowego (1 kHz), z którym jest on jednakowo głośny. Dźwięki o różnej częstotliwości i poziomie natężenia mogą wywoływać wrażenie o takim samym poziomie głośności. Nazywamy je izofonami.

Zależność między fizyczną miarą bodźca a odebrany wrażeniem zmysłowym wyraża prawo Webera-Fechnera. Prawo to dotyczy wszystkich zmysłów, nie tylko słuchu. Mówi ono,

że odpowiedź układu biologicznego zależy nie od bezpośredniej wielkości a od względnej zmiany działającego bodźca. W cichym pokoju, można usłyszeć brzęczącą muchę, jednak tej samej muchy nie usłyszymy, gdy będzie grała głośna muzyka.

$$W = k \ln \frac{B}{B_0}$$

gdzie:

W – wrażenie zmysłowe,

k – doświadczalnie wyznaczany współczynnik proporcjonalności,

B – wielkość bodźca,

B<sub>0</sub> – wielkość bodźca porównawczego.

W zależności od rozpatrywanego rodzaju bodźca, przyjmuje się odpowiedni bodziec porównawczy, zwykle umowną, najniższą wartość bodźca rejestrowaną przez dany zmysł. Na przykład, gdy bierzemy pod uwagę natężenie dźwięku, bodźcem porównawczym będzie próg słyszalności, czyli 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>.

### **Audiometria**

Audiometria jest metodą badania słuchu, określającą ubytek słuchu w stosunku do stanu prawidłowego. Wyróżnić można badania audiometryczne obiektywne i subiektywne. Badania obiektywne wykonywane są bez aktywnego udziału pacjenta, natomiast w testach subiektywnych pacjent określa, które dźwięki są dla niego słyszalne, a które nie.

W trakcie ćwiczenia będzie badany próg pobudliwości ucha ludzkiego dla różnych częstotliwości fal akustycznych (od 250 do 8000 Hz). Progi słyszenia mogą być określone za pomocą audiometrii przewodnictwa powietrznego i kostnego.

W badaniu przewodnictwa powietrznego sygnał testowy podawany jest pacjentowi poprzez słuchawki. W ćwiczeniu wykorzystamy test Hughson-Westlake'a. Jest to automatyczny test tonalny. Próg słyszenia jest tu określony jako 2 z 3 poprawnych odpowiedzi na tym samym poziomie natężenia i częstotliwości podawanego tonu. W automatycznej procedurze poziom natężenia tonu zwiększa się o 5 dB, a zmniejsza się o 10 dB. Celem audiometrii powietrznej jest określenie zdolności słyszenia dla różnych częstotliwości. Badanie może ujawnić utratę słuchu, lecz nie może określić rodzaju ubytku słuchu.

W audiometrii przewodnictwa kostnego sygnał testowy podawany jest przez wibrator

kostny umieszczony na wyrostku sutkowym kości potylicznej lub na czole badanego pacjenta. Celem jest podanie tonu bezpośrednio do ucha wewnętrznego za pośrednictwem kości czaszkowych, aby określić próg słyszenia dla ucha wewnętrznego. W teście przewodnictwa kostnego prawie zawsze powinno być stosowane maskowanie drugiego ucha.

### Instrukcja

1. Włączyć **w następującej kolejności**: audiometr (włącznik z tyłu), komputer (hasło: kliknąć ENTER), monitor i drukarkę (pomiąć ten punkt, gdy sprzęt jest już włączony).
2. Sprawdzić czy w drukarce znajduje się papier.
3. Włączyć program klikając ikonę **OtoAccess<sup>TM</sup>** na pulpicie.
4. Pojawi się okno programu. Odnaleźć żółty prostokąt z napisem **audio** po prawej stronie i kliknąć ten napis dwukrotnie.
5. Otworzy się okno Tone Audiogram i kliknąć **F4**. Na ekranie pojawi się niebieska ramka z wartościami częstotliwości i natężenia dźwięku, oraz migający kursor w lewym, szarym polu, które odpowiada uchu prawemu. (Jeśli otworzyło się inne okno – kliknąć F5, gdyby i to nie zadziało – poprosić o pomoc prowadzącego).
6. Przyciski: czerwony i zielony na audiometrze odpowiadają w kolejności: ucho prawemu i lewemu (przewodnictwo powietrzne). Naciskając przycisk wybieramy ucho (zapala się dioda wybranego przycisku).
7. Założyć słuchawki nauszne stroną czerwoną na prawe ucho.
8. Sprawdzić czy działa przycisk sygnalizujący usłyszenie dźwięku przez badanego poprzez wciśnięcie - powinna zapalić się dioda (response) na audiometrze.
9. Posługując się dwoma środkowymi, czarnymi przyciskami u dołu audiometru (frequency) wybierać pierwszą badaną częstotliwość (kolejność nieistotna) od 125 do 8000Hz. Następnie posługując się dwoma lewymi, czarnymi przyciskami H1dB ustawić najniższy poziom natężenia dźwięku (-10dB) i podać badanemu sygnał naciskając szary, okrągły przycisk TONE SWITCH u dołu audiometru. (Przycisk można naciskać wielokrotnie lub w trybie ciągłym). Potwierdzeniem nadania sygnału jest świecąca się, zielona dioda TONE na audiometrze.
10. Jeśli badany usłyszy dźwięk, naciska przycisk sygnalizujący, a osoba badająca wciska żółty przycisk STORE na audiometrze. Na ekranie pojawia się punkt wykresu. Jeśli natomiast osoba badana nie usłyszy dźwięku o zadanym poziomie natężenia należy

zwiększać ten parametr aż do skutku (dopiero wtedy można przejść do badania kolejnej częstotliwości).

11. Kontynuować badanie wybierając kolejne częstotliwości.
12. Zmienić ucho na lewe wciskając niebieski przycisk audiometru, co zasygnalizuje zapalenie się diody. Nie zmieniać położenia słuchawek nausznych!
13. Powtórzyć czynności 9-11 dla lewego ucha. Nie drukować wykresu.
14. Klikając zielony przycisk audiometru z napisem BONE zapalić diodę R (oznaczającą ucho prawe).
15. Ustawić podawanie szumu korzystając z prawych, czarnych klawiszy u dołu audiometru na poziomie **40dB**. Wartość ta wyświetla się w niebieskiej ramce (patrz punkt 5.) po prawej stronie.
16. Założyć słuchawkę kostną tak, aby część, z której wychodzi kabel opierała się krążkiem na wyrostku sutkowym prawej kości skroniowej. Drugi koniec słuchawki umieścić przeciwległe na kości czołowej (służy on wyłącznie do stabilizacji słuchawki kostnej).
17. Założyć słuchawki nauszne jak w punkcie 7.
18. Dalszy pomiar wygląda tak samo jak w przypadku przewodnictwa powietrznego, z tym, że zakres częstotliwości mieści się w przedziale od 250 do 8000Hz.
19. Zielonym przyciskiem audiometru zmienić ucho na lewe (L), analogicznie zmienić położenie słuchawki kostnej. Nie zmieniać położenia słuchawek nausznych.
20. Ustawić podawanie szumu jak w punkcie 16.
21. Wykonać badanie i wydrukować wykres dla dwóch rodzajów przewodnictwa.