

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ

О. В. Устянська, А. М. І. Шкодовська

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ТА КЛАСИФІКАЦІЯ
СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

**Медична візуалізація
Звукові методи дослідження в клініці**

Частина І

**ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних занять з дисципліни**

ОДЕСА
ОНУ
2022

**УДК 573.7:612.603
У832**

Автори:

О. В. Устянська, кандидат біологічних наук, доцент кафедри фармакології та технології ліків ОНУ імені І. І. Мечникова;

А. М. І. Шкодовська, аспірант кафедри органічної та фармацевтичної хімії ОНУ імені І. І. Мечникова.

Рецензенти:

О. І. Гріцук, доктор медичних наук, професор кафедри фармакології та технології ліків ОНУ імені І. І. Мечникова;

Л. В. Еберле, кандидат біологічних наук, доцент кафедри фармакології та технології ліків ОНУ імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою
факультету хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 7 від 12.04.2022 р.*

Устянська О. В.

У832 Загальна характеристика та класифікація сучасних методів дослідження біологічних систем. Звукові методи дослідження в клініці. Ч. I [Електронний ресурс] : метод. вказівки / О. В. Устянська, А. М. І. Шкодовська. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. – 60 с. – 2,3 МБ.

Методичні вказівки для проведення практичних занять з курсу «Сучасні методи дослідження біологічних систем» призначені для вивчення студентами методів дослідження біологічних систем та органів, що необхідні для діагностики різноманітних захворювань людини.

Методичні вказівки для лабораторних занять з дисципліни розроблені до розділу «Загальна характеристика та класифікація сучасних методів дослідження біологічних систем» та теми «Медична візуалізація. Звукові методи дослідження в клініці».

УДК 573.7:612.603

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторне заняття «Медична візуалізація. звукові методи дослідження в клініці аудіометри та слухові апарати»	5
Заходи безпеки під час виконання практичної роботи	5
ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.	
Будова і механізм роботи слухової системи людини	6
Теорія біжучої хвилі (теорія просторового кодування Бекеші)	12
Акустичний рефлекс. Електричні потенціали завитки	14
ЗВУКОВІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ.	16
МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СЛУХУ ЛЮДИНИ	21
Акустична імпедансометрія	21
Тимпанометрія	24
Акустична рефлексометрія	28
Отоакустична емісія	33
Отоакустична емісія на частоті продуктів спотворення	36
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	37
Частина 1. Призначення та принципи побудови слухових апаратів та кохлеарних протезів	37
Частина 2. Методи визначення гостроти слуху	41
Частина 3. Будова аудіометру поліклінічного АП-02 (АК-64). Принцип дії	47
Засвоєння порядку роботи з приладами	48
Протокол дослідження. Оформлення звіту та порядок його подання	50
Контрольні питання. Завдання для самостійної роботи	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	53
ДОДАТКИ	56

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Сучасні методи дослідження біологічних систем» вивчає методи дослідження біологічних систем та органів, що необхідні для діагностики різноманітних захворювань людини, які спрямовані на збереження, зміцнення й відновлення здоров'я людини, соціальних груп та суспільства в цілому.

Предмет дисципліни: методи дослідження біологічних систем та органів, що необхідні для діагностики різноманітних захворювань людини, що спрямовані на збереження, зміцнення і відновлення здоров'я окремої людини, соціальних груп та суспільства в цілому.

Мета викладання дисципліни: формування у майбутніх фахівців фармацевтичної галузі наукового світогляду в області сучасних методів дослідження та діагностики біологічних систем людини, що використовують в схемах діагностики та лікування поширених патологій людини.

Завдання дисципліни:

Ознайомити здобувачів вищої освіти із загальною характеристикою сучасних методів дослідження біологічних систем.

Скласти цілісну уяву про сучасні можливості діагностики поширених захворювань при вирішенні різноманітних задач професійної діяльності фахівців фармації.

Використовувати отримані знання з сучасних методів дослідження біологічних систем у практичній діяльності фахівців фармацевтичної галузі з метою надання хворим консультацій з приводу профілактики захворювань та можливостей діагностики для подальшого їх розвитку.

Зазначений модуль містить розділ «Загальна характеристика та класифікація сучасних методів дослідження біологічних систем, тему «Медична візуалізація. Звукові методи дослідження в клініці» згідно з якою і розроблені методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Сучасні методи дослідження біологічних систем» для студентів спеціальності 226 «Фармація. Промислова фармація.».

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ

ТЕМА: МЕДИЧНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ. ЗВУКОВІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ В КЛІНІЦІ АУДІОМЕТРИ ТА СЛУХОВІ АПАРАТИ

Мета лабораторної роботи: вивчити будову слухової системи людини, фізичні основи звукових методів дослідження та лікування слуху людини; проходження звукових коливань в слухових трактах; гармонічний спектр; відбиття сигналу від барабанної перетинки; фізичні основи діагностики; вивчитити принципи побудови аудіометра поліклінічного «АП-02» та слухових апаратів.

Заходи безпеки під час виконання практичної роботи

Виконувати лабораторну роботу студентам дозволено лише після інструктажу з техніки безпеки. Перед початком роботи проконтрольовано наявність протипожежних засобів, справність ізоляції приладів.

Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці. Нормативи розмірів та забезпечення робочою площею в аудиторії дотримано. Мікроклімат аудиторії відповідають нормам. У приміщенні для практичних занять освітлення змішане – не менше 110 лк. Забезпечення санітарно-гігієнічних умов в аудиторії досягається шляхом забезпеченням чистоти, гарного освітлення, вентиляції приміщення. Індивідуальна медична аптечка розміщена у кутку медичної допомоги.

Робота з комп'ютером та приладами. Не можна торкатися монітора руками, проводити вологе прибирання, хапати дроти живлення, пристрої заземлення, з'єднувальні кабелі коли комп'ютер та прилади ввімкнені. Забороняється некоректне вимкнення та ввімкнення [1].

При виконанні лабораторної роботи дотримувались санітарно-гігієнічних вимог та вимог з приводу пожежної безпеки. Після завершення роботи вимкнули прилади.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

БУДОВА І МЕХАНІЗМ РОБОТИ СЛУХОВОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ

Вухо складається з трьох частин: зовнішнього вуха, середнього і внутрішнього. Дві перші частини виконують передатну функцію і відповідають за підведення звукових коливань до слухового аналізатора, що знаходиться у внутрішньому вусі – завитці.

На рис. 1 зображена спрощена схема органу слуху людини. Звукові хвилі сприймаються акустичною рупорною антеною, функції якої виконує вушна раковина. Далі через зовнішній слуховий прохід, який виконує функції короткого хвилеводу, звук діє на барабанну перетинку. Ця перетинка увігнута всередину і натягнута. Ці три елементи (вушна раковина, зовнішній слуховий прохід і барабанна перетинка) утворюють *зовнішнє вухо*.

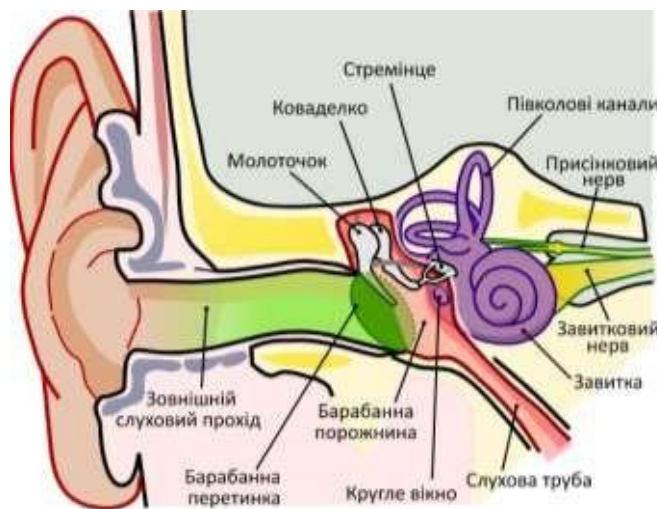


Рис. 1. Будова вуха людини [2]

Середнє вухо (рис. 2.) представлене барабанною порожниною, в якій розташовані три слухові кісточки: молоточок, коваделко і стремінце, які шарнірно сполучені між собою суглобами і оснащені м'язовою тканиною з двох м'язів – барабанного (напруження барабанної перетинки) і стремінцевого (адаптація до гучних звуків).

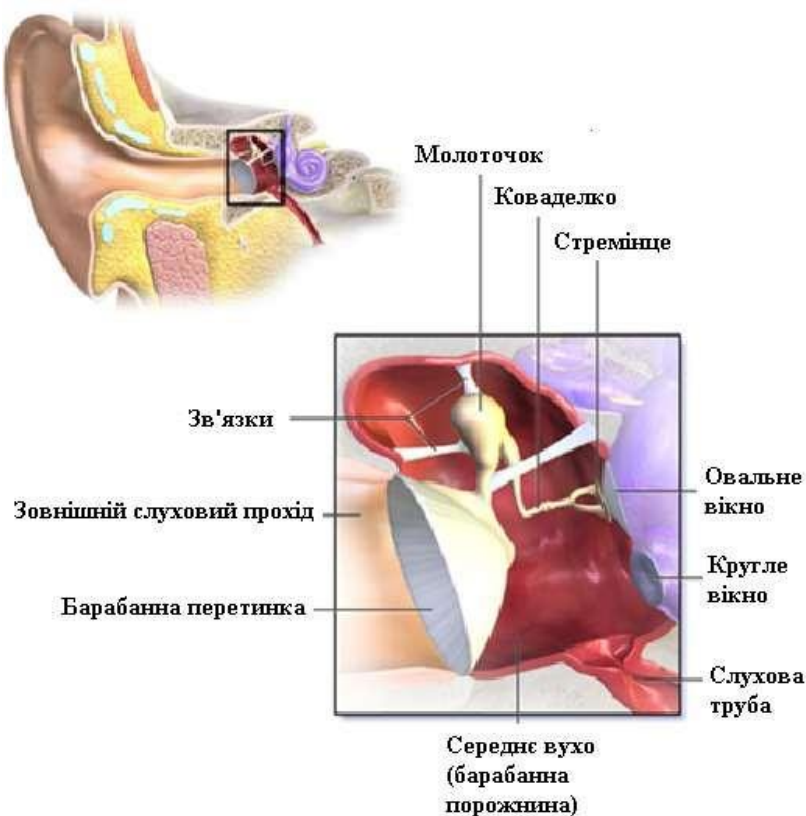


Рис. 2. Будова середнього вуха людини [2]

Руків'я молоточка прикріплене до барабанної перетинки. Основа стремінця закриває собою овальне вікно, яке веде до вестибулярної частини внутрішнього вуха. Стреміньце в овальному вікні закріплене не жорстко і може здійснювати зворотньо-поступальні рухи. Слухові кісточки утворюють систему важелів для передачі звукових коливань від барабанної перетинки з більшою поверхнею до овального отвору з меншою поверхнею. Цей механізм забезпечує передачу звукової енергії з повітряного середовища у середовище, заповнене рідиною у внутрішньому вусі (перетворює повітряні коливання з великою амплітудою коливальної швидкості і невеликим тиском в механічні коливання стремінця з невеликою амплітудою коливальної швидкості і високим тиском). Євстахієва (слухова) труба сполучає барабанну порожнину з носоглоткою і служить для вирівнювання статичних тисків по обидві сторони барабанної перетинки. Таким чином, середнє вухо виконує наступні функції: узгодження імпедансу повітряного середовища з рідким середовищем завитки внутрішнього вуха; захист від гучних звуків (акустичний рефлекс); підсилення

звукового тиску (майже на 38 дБ) звукового коливання.

Внутрішнє вухо сформовано кістковим лабіринтом, що об'єднує в собі орган рівноваги і орган слуху – завитку (рис. 3).

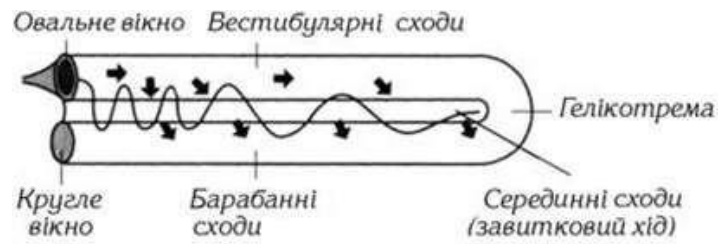


Рис. 3. Будова внутрішнього вуха людини [2]

Завитка відіграє основну роль в слуховому сприйнятті. Вона є трубкою змінного перерізу, згорнутою в 2,5 оберти. У розгорнутому вигляді вона має довжину 3,5 см. У середині завитки має надзвичайно складну структуру. По усій довжині вона розділена двома мембранами на три порожнини (називаються сходи): вестибулярні сходи, серединні сходи і барабанні сходи (рис. 4). Зверху серединна порожнина закрита мембраною Рейсснера, знизу – бациллярною мембраною. Усі порожнини заповнені рідиною.

Між вестибулярними сходами і барабанною порожниною знаходиться овальне вікно, а між барабанними сходами і барабанною порожниною середнього вуха – кругле вікно, закрите пружною мембраною. Серединні сходи заповнені ендолімфою, інші – перилімфою. Перилімфатичні порожнини сполучаються між собою через отвір поблизу вершини завитки, що називається гелікотремою. Ендолімфа і перилімфа мають різні значення в'язкості і щільності.

Основна (базилярна) мембрана є аморфною неналягнутою перетинкою, закріпленою по краях. Довжина її приблизно 32 мм, ширина поблизу овального вікна, тобто у стремінця, близько 0,1 мм і поблизу вершини близько 0,5 мм.



а)



б)

Рис. 4. Завитка в розгорнутому вигляді

а) вертикальний переріз; б) поперечний переріз [2]

Основна мембрана складається з декількох тисяч волокон, натягнутих поперек завитки. Волокна слабо пов'язані між собою і тому можуть коливатися незалежно. З боку ендолімфи на основній мембрані розташований кортієв орган (рис. 5). Він містить близько 22 тисяч волоскових клітин – слухових рецепторів, чутливих до тиску і деформацій основної мембрани. З волосковими клітинами контактують закінчення нервових волокон, які об'єднуються в пучок, що називається слуховим нервом [2].

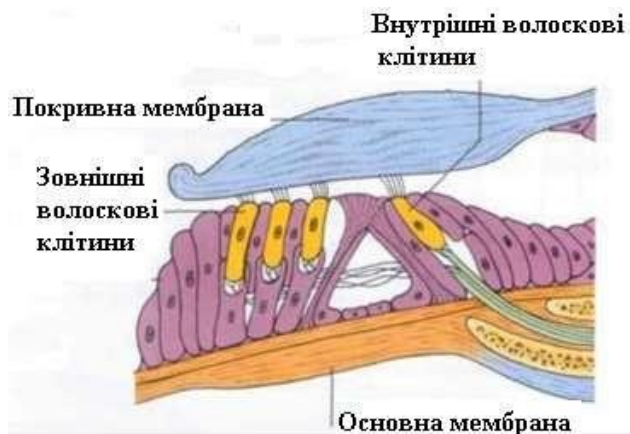


Рис. 5. Будова кортієвого органа [2]

У поперечному напрямі кортієв орган складається з одного ряду внутрішніх волоскових клітин і трьох рядів зовнішніх волоскових клітин. Між ними утворюється тунель. Волокна слухового нерва перетинають тунель і контактують з волосковими клітинами. При звукових коливаннях стремінце приводить в рух мембрану овального вікна. Під дією цих коливань мембрана круглого вікна коливається в такт з мембраною овального, оскільки лімфа практично нестискувана. Лімфа коливається дотично до поверхні основної мембрани, уперек її волокнам. На коливання лімфи реагують (резонують) залежно від частоти коливань тільки певні волокна. Біля гелікотреми розташовані найдовші волокна, резонансна частота яких лежить в області низьких частот. У основі завитки (між овальним і круглим вікнами) розташовані найкоротші волокна, які резонують на високих частотах. Складні звуки, що містять декілька частотних складових, збуджують декілька груп волокон. Таким чином, основна мембрана виконує роль частотного аналізатора.

Загальний механізм передачі звуку спрощено може бути представлений таким чином: звукові хвилі проходять звуковий канал і збуджують коливання барабанної перетинки. Ці коливання через систему кісточок середнього вуха передаються овальному вікну, яке штовхає рідину у верхньому відділі завитки, в ній виникає імпульс тиску, який примушує рідину переливатися з верхньої половини в нижню через барабанні сходи і гелікотрему і чинить тиск на перетинку круглого вікна, викликаючи при цьому його зміщення у бік, протилежний до руху стремінця. Рух рідини викликає коливання базилярної мембрани (біжуча хвиля). Перетворення механічних коливань мембрани в дискретні електричні імпульси нервових волокон відбуваються в органі Корті. Коли базилярна мембрана вібрує, війки на волоскових клітинах згинаються, і це генерує електричний потенціал, що викликає потік електричних нервових імпульсів, що несуть усю необхідну інформацію про звуковий сигнал, що поступив, в мозок для подальшої переробки і реагування [2].

Вушна раковина у людини (рис. 1) не відіграє суттєвої ролі для

слуху. Вона сприяє визначенню локалізації джерела звуку у разі його розміщення в сагітальній площині: звук від джерела потрапляє у вушну раковину. Залежно від положення джерела у вертикальній площині звукові хвилі будуть по-різному дифрагувати на вушний раковині через її специфічну форму.

Це призведе до різних змін у спектральному складі звукової хвилі, що потрапляє у слуховий прохід.

Людина в результаті досвіду навчилася асоціювати зміни спектра звукової хвилі з напрямком на джерело звуку (напрямки А, Б та В на рис. 6).

Володіючи двома звукоприймачами (вухами), людина і тварини здатні встановити напрямок на джерело звуку та й в горизонтальній площині (бінауральний ефект на рис. 6).

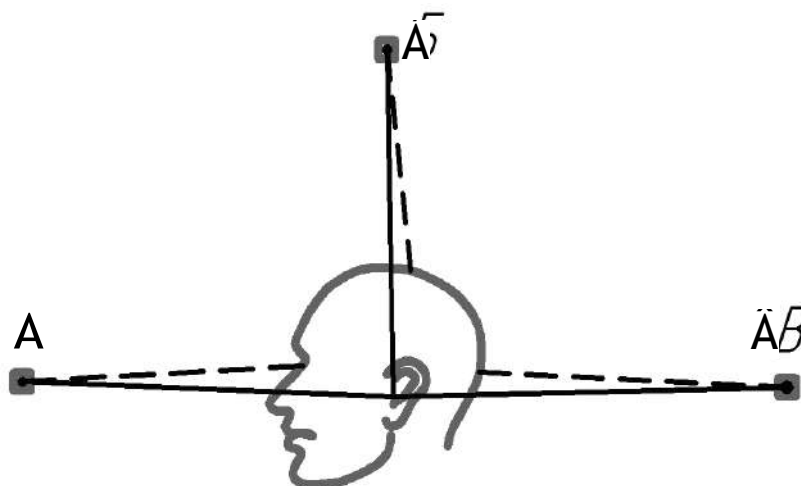


Рис. 6. Бінауральний ефект

А, Б, В – напрямки звукової хвилі [3]

Це пояснюють тим, що звук від джерела до різних вух проходить різну відстань і виникає різниця фаз для хвиль, які потрапляють у праву і ліву вушні раковини. Якщо джерело звуку перебуває прямо перед обличчям людини, то $\delta = 0$, і $\Delta\phi = 0$, якщо джерело звуку розміщене збоку проти однієї з вушних раковин, то в іншу вушну раковину він потрапить із запізненням.

Окрім фазової відмінності, бінауральному ефекту сприяє неоднакова інтенсивність звуку у різних вухах, а також «акустична тінь» від голови для одного вуха. На рис. 7 схематично показано, що

звук від джерела потрапляє в ліве вухо в результаті дифракції.

Звукова хвиля проходить через слуховий прохід і частково відбивається від барабанної перетинки. У результаті інтерференції падаючої та відображеної хвиль може виникнути акустичний резонанс. Це виникає тоді, коли довжина хвилі в чотири рази більша від довжини зовнішнього слухового проходу. Довжина слухового проходу в людини майже дорівнює 2,3 см; отже, акустичний резонанс виникає за частоти 3 кГц [3].

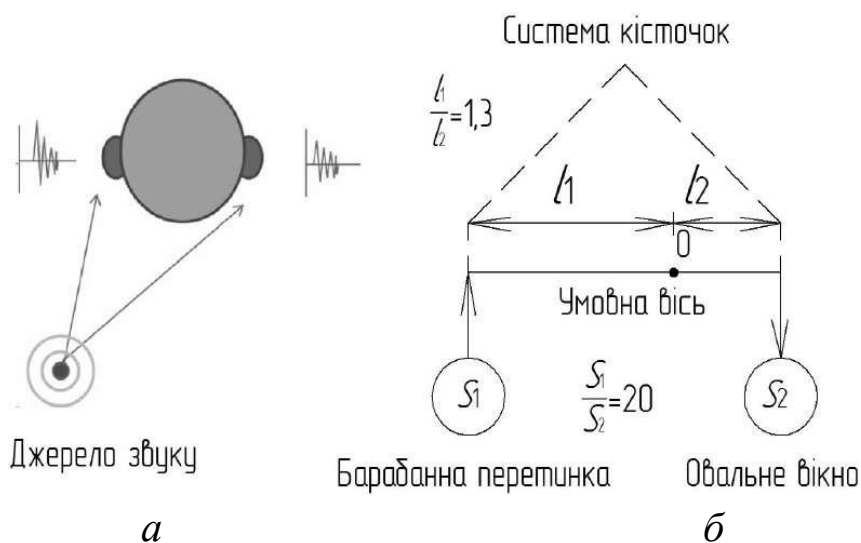


Рис. 7. Робота системи кісточок середньої частини вуха людини
 а – джерело звуку; б– фізична модель роботи системи кісточок вуха людини [3]

Теорія біжучої хвилі (теорія просторового кодування Бекеші)

Дану теорію ще називають гідродинамічною, теорією біжучої хвилі, місця. Теорією місця її називають тому, що сприйняття звуку певної частоти пов'язують з певною ділянкою базальної мембрани. Гідродинамічну назву вона отримала у зв'язку з тим, що збудження рецепторних клітин пов'язане з рухом рідини. Нарешті, теорією біжучої хвилі її називають у зв'язку з формуванням хвиль рідини, які поширюються вздовж ендокохлеарного каналу на різні відстані залежно від частоти звукових коливань. Суть теорії полягає в тому, що зміщення ендолімфи викликає формування хвилі, яка розповсюджується вздовж ендолімфатичного каналу. Оскільки

стремінце весь час коливається, то постійно виникають біжучі хвилі. Кожна хвиля спочатку слабка, а згодом досягає максимуму і зникає. Максимум біжучої хвилі для різних частот знаходиться в різних ділянках базальної мембрани завитки (рис. 8).

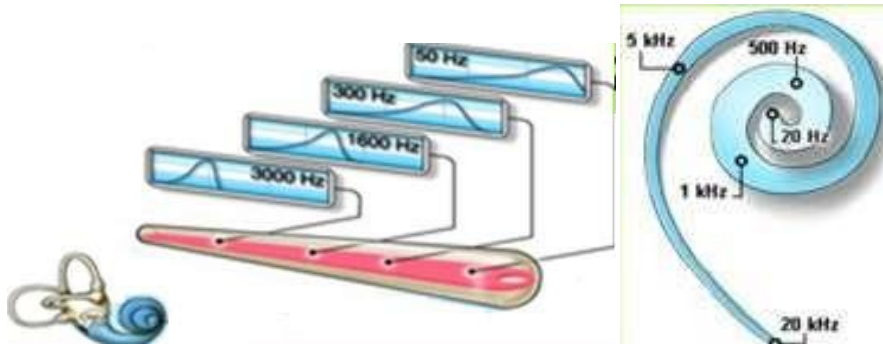


Рис. 8. Розташування біжучої хвилі при дії звуків різної частоти [2]

Для хвиль, викликаних звуками високих частот, – поблизу основи завитки, для середніх частот – у середній частині й для низьких частот – на верхівці завитки.

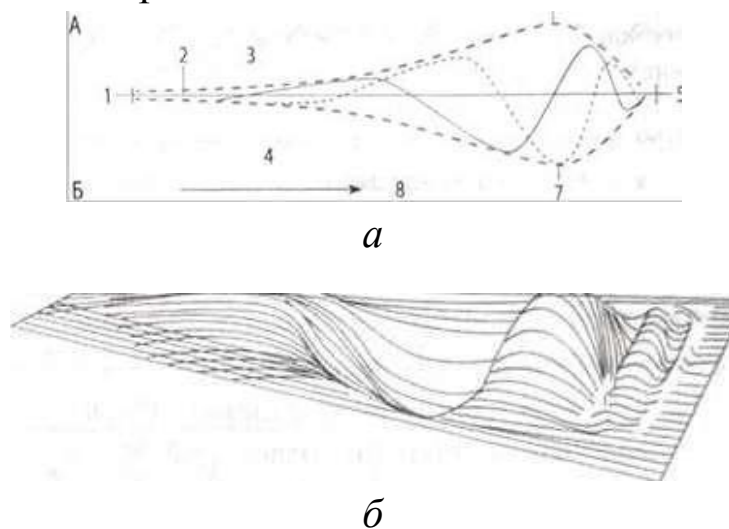


Рис. 9. Розповсюдження біжучої хвилі

а – обвідна показує максимальну амплітуду хвилі, викликану дією постійної частоти, у різних ділянках завитки; б – тривимірна реконструкція хвилі (1 – стремінце, 2 – базальна мембрана, 3 – вестибулярні сходи, 4 – барабанні сходи, 5 – гелікотрема, 6 – максимальна амплітуда хвилі, 7 – огибаюча хвиля, 8 – напрямок біжучої хвилі) [2]

Таким чином, при дії звуків високої частоти біжуча хвиля

коротка, при дії середніх частот – довга, і найдовша хвиля буде при дії звуків низьких частот – вона поширюється протягом всього ендокохлеарного каналу (рис. 9). Причина цього – жорсткість базальної мембрани. Вона найбільша біля основи завитки і поступово знижується в напрямку до гелікотреми. Відомо роль відіграють і пружні сили каналу, заповненого рідиною [2].

В останні роки вважають, що у відповідь на звукове подразнення реагує не вся система внутрішнього вуха, а відбувається поздовжнє скорочення окремих чутливих клітин. Механізм цього процесу – біохімічні процеси (активація білка міозину) [2].

Акустичний рефлекс. Електричні потенціали завитки. Нелінійні властивості слуху

Акустичний рефлекс – це рефлекторне скорочення стремінцевого м'яза при звуковому подразненні. Основна функція рефлексу – захисна. Дозволяє захистити рецептори завитки від пошкоджуючої дії гучних звуків, особливо низькочастотних. Скорочення стремінцевого м'яза відбувається одразу в обох вухах (двосторонній ефект), незважаючи на те, на яке вухо подається гучний звуковий подразник. Акустичний рефлекс виникає також, якщо подути людині в око або якщо людина співає.

Однак захисна функція акустичного рефлексу має певні обмеження: він не захищає від раптових інтенсивних шумів та довготривалих впливів. Це обумовлено особливостями протікання м'язових скорочень: час очікування скорочення становить порядку 10 мс, а максимальне скорочення настає мінімум через 100 мс. Через декілька секунд після початку впливу сила скорочення м'язу досягає 50 % свого максимального значення.

Поріг акустичного рефлексу (ПАР) – це рівень звукового тиску акустичного подразника заданої частоти, при якому виникає акустичний рефлекс. ПАР – функція рівня звукового тиску і частоти. У людей з нормальним слухом ПАР становить 70-100 дБ. Зазвичай це значення на 10-20 дБ нижче больового порогу.

У випадку відсутності акустичного рефлексу середнє вухо не

проводить акустичні коливання і передача звуку можлива лише за рахунок кісткової провідності. В даному випадку рівень сигналу, що доходить до завитки на 50-60 дБ нижче.

Електричні потенціали завитки

У завитці можна зареєструвати п'ять видів електричних потенціалів. Розрізняють сталі потенціали (спокою) і потенціали, що виникають при звуковому подразненні.

1) ***Мембранний потенціал слухової рецепторної клітини*** – це потенціал спокою (реєструється у відсутності звукових подразників). Відображає наявність різниці потенціалів між зовнішньою і внутрішньою поверхнею мембрани слухової рецепторної клітини. Реєструється при введенні у волоскову клітину мікроелектрода і дорівнює 80 мВ.

2) ***Потенціал ендолімфи*** (у серединних сходах) – реєструється у відсутності звукових подразників; обумовлений рівнем окислювально-відновних процесів в каналах завитки і дорівнює +80 мВ. Ендолімфа, що містить багато іонів калію, має позитивний заряд по відношенню до перилімфи вестибулярних і базиллярних сходів. Він є джерелом енергії для процесу перетворення звукового подразнення в нервовий імпульс. Оскільки волоскові клітини омиваються позитивно зарядженою ендолімфою, то між внутрішньою і зовнішньою поверхнями різниця потенціалів становить 160 мВ.

Наступні три потенціали пов'язані з дією звуку на слуховий аналізатор.

3) ***Мікрофонний потенціал завитки*** – це змінний потенціал, який генерується на мембрані волоскової клітини кортієвого органу в результаті деформації волосків при зіткненні з покривною мембраною. Був відкритий Вевером та Бреєм у 1930 р. Частота мікрофонних потенціалів відповідає частоті звукових коливань, а амплітуда мікрофонних потенціалів відповідає силі звуку, тобто повністю відображає форму звукових хвиль. Цей потенціал аналогічний вихідній напрузі мікрофону і, якщо його подати на підсилювач і пропустити через гучномовець, то отримаємо

відтворення мови. Походження мікрофонного ефекту пов'язують з механіко-хімічними перетвореннями у волоскових клітинах кортієвого органу, ушкодження якого призводить до зникнення мікрофонного ефекту. Реєструється вздовж слухового нерва і далі на всіх ділянках перемикання нервових волокон аж до кори головного мозку.

4) **Сумаційний потенціал** виникає в результаті накладання мікрофонного потенціалу на потенціал ендолімфи. На відміну від мікрофонного, відтворює не форму звукової хвилі, а її обвідну. Можна сказати, що це сталий електричний потенціал, що виникає у відповідь на звукове подразнення. Розрізняють усереднений та різницевий сумаційний потенціал.

5) **Потенціал дії** слухового нерва виникає через передачу збудження від волоскової клітини на волокна слухового нерва. При цьому частота генерованих потенціалів дії дорівнює частоті звукових хвиль, якщо вона не перевищує 1000 Гц. При збільшенні частоти звукових хвиль вище 1000 Гц збільшення потенціалу дії нервових волокон слухового нерва не відбувається, оскільки для слухового нерва лабільність дорівнює 1000 потенціалів дії за сек. Тому при дії на вухо більш високих тонів частота потенціалу дії в слуховому нерві багато нижче частоти звукових хвиль [2].

ЗВУКОВІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ

Звуки, як і світло, є основними джерелами інформації середовища, в якому перебуває людина. Звуки навколишнього природного середовища, людська мова, шум вулиці та автомобілів, що проїжджають, мають велику інформативну складову життя людини. Звукові явища в самому організмі людини є об'єктивним джерелом знань про її здоров'я. Щоб уявити значення звуку для людини, достатньо тимчасово позбавити себе можливості сприймати звук – закрити вуха. Природно, що звук може бути і джерелом інформації про стан внутрішніх органів людини.

Прослуховування і аналіз тонів та шумів, які виникають під час функціонування внутрішніх органів, називається **аускультациєю**. Цей

метод відомий ще з II ст. до н. е. Для аускультаций використовували спочатку слухову трубку, потім стетоскоп або фонендоскоп. Його дія ґрунтується на резонансному підсиленні звуку.

Фонендоскоп (рис. 10) містить акустичну голівку, де в замкнутій порожнистій капсулі відбувається багатократне відбиття від стінок капсули звуку, що надходить від мембрани, яку прикладають до тіла хворого. Багатократне відбиття звуку призводить до його природного підсилення, і ці звукові коливання проходять гумовими трубками оголів'я до слуху лікаря. Так, у закритій порожнистій, ізольованій капсулі виникає акустичний резонанс звуків у стовпі повітря, внаслідок чого посилюється звучання і поліпшується роздільна здатність сприйняття аускультатії.



Рис. 10. Фонендоскоп [3]

Для одночасного вислуховування хворого кількома дослідниками з навчальною метою або під час консилиуму використовують систему, в яку входять мікрофон, підсилювач та гучномовець або декілька телефонів.

Для діагностики стану серцевої діяльності застосовують метод графічної реєстрації тонів та шумів серцево-судинної системи, який отримав назву **фонокардіографія (ФКГ)**.

Цей метод заснований на реєстрації та аналізі звуків, що виникають при скороченні і розслабленні серця. Фонокардіографія об'єктивно відображає та уточнює результати амплітудного і частотного аналізу звуків, вимірювання їхньої тривалості й інтервалів між ними (рис. 11).

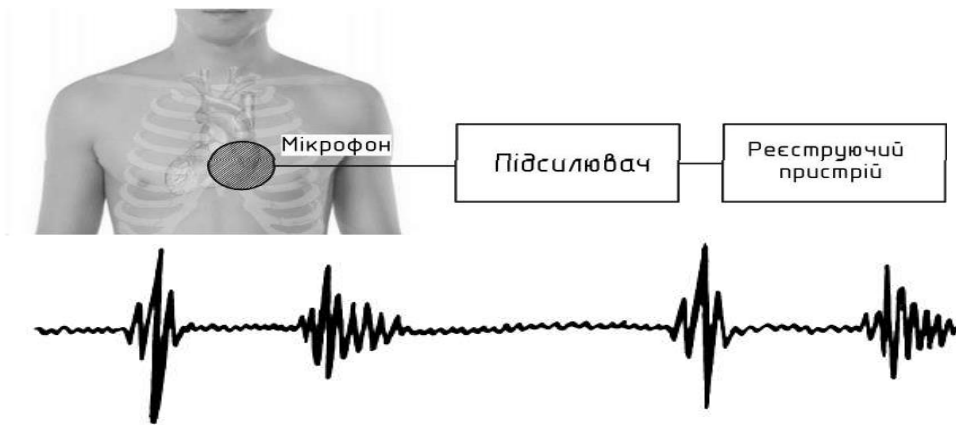


Рис. 11. Метод фонокардіографії (ФКГ) [3]



Рис. 12. Фонокардіограма (цифри I, II, III, IV позначені відповідно перший, другий, третій і четвертий тони серця) [4]

Для фонокардіографії використовують спеціальні прилади – фонокардіографи або фонокардіографічні приставки, основними елементами конструкції яких є мікрофон, що перетворює звукові коливання в електричні; частотні фільтри, з'єднані з підсилювачами сигналів, що надходять від мікрофона; пристрій, що реєструє та забезпечує запис коливань до 1000 Гц при швидкості реєстрації 50 і 100 мм/с [4] (рис. 13).

Використання різних типів мікрофонів (лінійного, стетоскопічного, логарифмічного) і смугових фільтрів дозволяє для виділення діагностично значимих звукових феноменів реєструвати звукові коливання як у практично повному та аускультуючому, так і в спеціально обраному діапазоні частот.



Рис. 13. Фонокардіограф комп'ютерний «Сфера» [4]

Принципово відмінним від цих методів є метод «перкусія». **Перкусія** – це аналіз перкуторних звуків, що виникають при постукуванні молоточком по плесиметру (рис. 14) або кінчиком зігнутого пальця однієї руки по фаланзі пальця другої руки, прикладеної до певної ділянки тіла хворого [4] (рис. 15).



Рис. 14. Плесиметр для опосередкованої перкусії [5]



Рис. 15. Положення рук лікаря при перкусії пальцем по пальцю за Герхардтом [6]

При постукуванні резонують порожнини всередині організму, по-різному реагують на стук молоточка або пальця м'які, пружні, тверді та порожнисті органи. При ударі по пружних тканинах або тканинах, що оточують порожнини тіла, заповнені повітрям, внутрішній звук підсилюється і стає дзвінким (тимпанічним). Якщо черевна порожнина містить багато рідини (водянка), перкуторний звук буде коротким і глухим.

Таблиця 1

Характеристика перкуторних звуків [6]

Перкуторний звук	Голосність (сила)	Тривалість	Висота	Тембр	Місце визначення
Ясний легеневий	Голосний	Тривалий	Низький	Нетимпанічний	Легені
Приглушений	Проміжний стан між голосним і тихим	Короткий	Високий	Нетимпанічний	Прикордонні зони: легені/серце, легені/печінка, печінка/кишечник
Тимпанічний	Голосний	Тривалий	Високий або низький	Тимпанічний	Шлунок, кишечник
Глухий (тупий)	Тихий	Короткий	Високий	Нетимпанічний	М'язи, паренхіматозні органи

Добре резонують порожнини тіла, заповнені повітрям, кістки та еластичні перетинки (ясний звук).

У цьому методі вислуховують внутрішні звуки порожнин та звучання окремих частин тіла під час їх простукування. У замкнутій порожнині, заповненій повітрям, у середині якого-небудь тіла виникають звукові коливання. За умови накладання частот звуку в середовищі порожнини груднини людини виникає акустичний резонанс, розділяючи та посилюючи тони, що відповідають природному розміру, складу і положенню порожнини. Так, анатомічно тіло людини є сукупністю газонаповнених (легень), рідких (внутрішні органи) і твердих (кістка) об'ємів. Під час

створення звукових коливань у результаті ударів на поверхні порожнин тіла, в її череві виникають коливання різних частот. Коливання одних частот загаснуть досить швидко, тоді як для інших, що збігаються з власними коливаннями порожнин, – підсиляться і внаслідок акустичного резонансу і сприймаються вухом. *Лікар за тоном перкуторних звуків визначає стан, топографію та характер процесу функціонування внутрішніх органів [3].*

МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ СЛУХУ ЛЮДИНИ

Втрату слуху досліджують методом аудіометрії. З цією метою визначають поріг чутності для різних тонів на спеціальному приладі – аудіометрі. Отримана крива називається аудіограмою. Порівняння аудіограми хворої і здорової людини дозволяє діагностувати захворювання органів слуху.

Акустична імпедансометрія

Акустична імпедансометрія (АІ) – об'єктивний метод діагностики слуху, що полягає в автоматизованому вимірюванні зміни акустичної провідності (адмітанса) середнього вуха при зміні тиску повітря в закритому слуховому проході або при впливі звукового стимулу.

Адмітанс – це акустична провідність структур зовнішнього слухового проходу і середнього вуха, а їх *акустичний опір* – це **акустичний імпеданс**. Адмітанс середнього вуха залежить від перепаду тиску повітря між середнім вухом і зовнішнім слуховим проходом.

АІ використовується для отримання **інформації про функціональний стан середнього вуха, слухової труби, завитки, слухових і лицьових нервів.**

У поєднанні з іншими діагностичними методами *АІ дозволяє діагностувати у дітей і дорослих:*

- наявність рідини в середньому вусі;
- ушкодження (перфорацію) барабанної перетинки;
- тимпаносклероз;

- гіперрухливість барабанної перетинки;
- порушення прохідності слухової труби;
- секреторний середній отит;
- отосклероз;
- розриви ланцюга слухових кісточок;
- різноманітні патологічні стани слухового нерва;
- патологічні стани лицьового нерва тощо.

На практиці найчастіше використовуються два різновиди АІ:

а) тимпанометрія;

б) акустична рефлексометрія.

Для проведення АІ використовують спеціальний електроакустичний прилад – **імпедансометр (аналізатор середнього вуха)**. Імпедансометр складається з акустичного зонда з вушною вкладкою, додаткового аудіометричного телефону і цифрового аналізатора звуку з вбудованими в нього регулятором тиску повітря, пультом управління, екраном і принтером (рис. 16, 17).



Рис. 16. Аудіометр поліклінічний АА-02 [4]



Рис. 17. Аналізатор середнього вуха Interacoustics AA222 (фото компанії Інтеракустикс) [2]

В зонді розташовані мініатюрні телефони і мікрофон, також через зонд проходить тонка еластична трубочка від регулятора тиску. Один мініатюрний телефон надсилає звук (зондуючий тон) в закритий вушною вкладкою зовнішній слуховий прохід. Частота зондуючого тону повинна бути 1000 Гц для дітей у віці до 12 місяців і 226 Гц для пацієнтів всіх інших вікових груп.

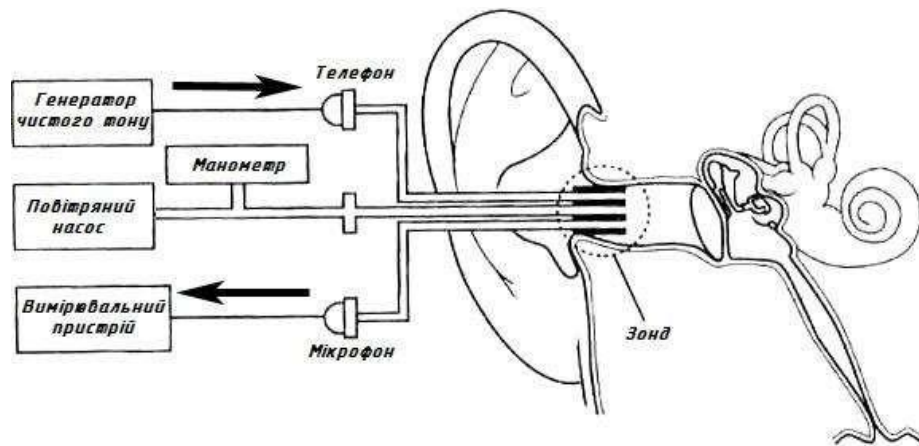


Рис. 18. Принцип роботи акустичного імпедансометра [2]

Мініатюрний мікрофон приймає зондуючий тон, а також відбитий від барабанної перетинки сигнал. При акустичній рефлексометрії другий мініатюрний телефон подає стимулюючий звук в досліджуване вухо (іпсилатеральний стимул), а аудіометричний головний телефон – в протилежне вухо (контралатеральний стимул) (рис. 18, 19).

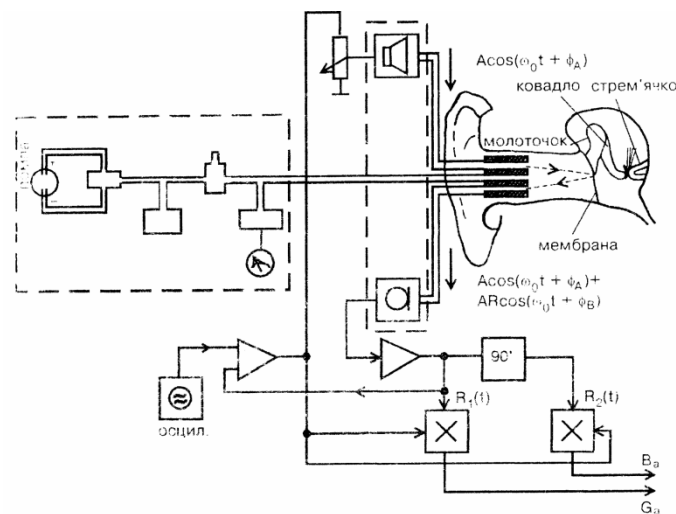


Рис. 18.1. Схема вимірювань акустичного імпедансу вуха [7]

Електроакустичні мости, що використовували раніше, наприклад, у 60-х роках «Madsen Z061»), дозволяли вимірювати лише абсолютне значення цього імпедансу (не вимірюючи його фазу). Пристрої нової концепції (принцип квадратурної демодуляції у частотній області для відбитого сигналу) (рис. 18.1.) дозволяють вимірювати складові акустичного адмітансу Y_a : тобто G_a і B_a .

Тимпанометрія

При тимпанометрії регулятор тиску повітря змінює тиск в зовнішньому слуховому проході, герметично закритому вушною вкладкою, відносно навколишнього атмосферного тиску. Спочатку знижує тиск, потім підвищує, а потім вертає його до значення навколишнього атмосферного тиску. Цифровий аналізатор обчислює акустичний адмітанс і його зміни при зміні тиску повітря (при тимпанометрії) або при звуковій стимуляції (при акустичній рефлексометрії). Параметри дослідження задаються пультом управління. Результати показуються на екрані і роздруковуються на принтері.

АІ абсолютно безболісна для пацієнта. Вона є одним з найбільш широко застосовуваним діагностичним методів у дітей і дорослих і обов'язкова у всіх розвинених країнах.

Основним методом дослідження функції євстахієвої труби серед об'єктивних методів діагностики слуху є багаточастотна тимпанометрія.

Вона проводиться з метою виявлення деяких видів порушень слуху, що носять функціональний характер, а також дозволяє встановити тиск в середньому вусі, ступінь рухливості барабанної перетинки, оцінити стан євстахієвої труби, цілісність і ступінь рухливості слухових кісточок.

Тимпанометрією називається реєстрація зміни акустичного адмітанса при зміні тиску в зовнішньому слуховому проході. Прибор – тимпанометр (рис. 19).

Прибор дозволяє виконувати повноцінну діагностику середнього вуха та аудіометричні тести, потрібні в клініці. Додаткова

h-ліцензія для AA222 містить високочастотні тони зонду (678, 800 та 1000 Гц), за допомогою яких можна оптимізувати обстеження немовлят, ручну тимпанометрію, вимірювання латентності рефлексів, тестування функції Євстахієвої труби при відкритій барабанній перетинці. AA222 дозволяє створювати тестові імпедансометричні протоколи, комбінуючи різні тести в потрібному порядку.



Рис. 19. Аудіометр-тимпанометр AA222, Interacoustics, Данія [8]

Імпедансометричні тести: тимпанометрія 226 Гц. тимпанометрія 678, 800 та 1000 Гц. Ручна тимпанометрія (h-ліцензія). Іпсілатеральні рефлексі. Контралатеральні рефлексі. Тест ETF 1 (ціла барабанна перетинка). Тест ETF 2 (пошкоджена барабанна перетинка). Тест ETF 3 (відкрита барабанна перетинка) (h-ліцензія). Затухання рефлексу. Латентність рефлексу (h-ліцензія)

Аудіометричні тести: Аудіометрія повітряним та кістковим шляхом. Тест Стенгера. Тест ABLB. Тест SISI. Модифікований тест Хьюсона-Вестлейка. Тест Вебера. CD з записом мовлення, звукові файли та живе мовлення. Бінауральне мовлення (h-ліцензія).

Процедура проведення тимпанометрії полягає у введенні зонда в зовнішній слуховий прохід і створенні герметичного ущільнення за допомогою вушної вкладки. Зонд містить мініатюрний телефон, мікрофон і повітряний насос. Повітряний насос змінює тиск в зовнішньому слуховому проході. Телефон вводить калібрований тональний сигнал, який змінюється по частоті (226, 660, 880 і 1000 Гц) і гучності в зовнішній слуховий прохід. У нормі, велика частина звуку, яку відтворює динамік, буде проходити через середнє вухо, в той час як менша частина звуку буде відбиватися від барабанної перетинки. Мікрофон реєструє рівень звукового тиску, відбитий

барабанною перетинкою і стінками слухового проходу. Отримані дані про сумарне значення фізичного об'єму зовнішнього слухового проходу і еквівалентний об'єм середнього вуха відображаються графічно на тимпанограмах (рис. 20 - 20.3).

Тимпанограма – графічне зображення змін адмітанса в залежності від тиску в зовнішньому слуховому проході (в мілісіменсах (мСм)) (рис. 20).

Важливими характеристиками тимпанограми є крутизна і монотонність кривої та її асиметрія. Для оцінки патології слухового тракту важливо знати градієнт акустичної пружності при зміні тиску повітря.

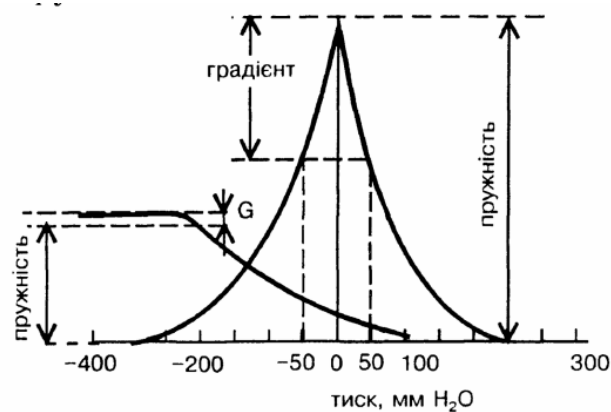


Рис. 20. Тимпанограма людського вуха [8]

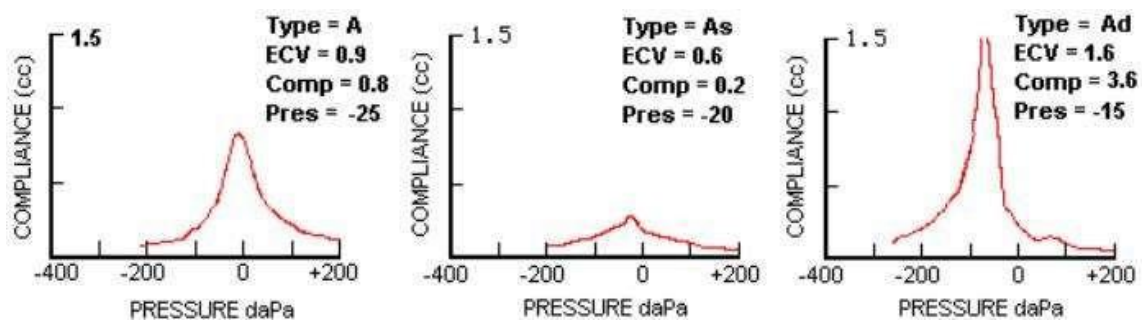


Рис. 20.1. Тимпанограми типу А [2]

Найбільший адмітанс (піддатливість) в нормальному вусі досягається при однаковому тиску по обидва боки барабанної перетинки (нульовому перепаді тиску). Це демонструє «під» тимпанограми, що знаходиться на нульовому тиску (що дорівнює атмосферному). При підвищенні і зниженні тиску в ЗСП адмітанс знижується приблизно рівномірно. Нормальна тимпанограма має

форму літери «Λ» характерної амплітуди (висоти) і ширини. Форма і амплітуда тимпанограми (що характеризує тип тимпанограми) змінюється при зміні жорсткості системи (наприклад, за рахунок розриву кола слухових кісточок, середнього отиту тощо).

Класифікацію тимпанограм розробив видатний американський вчений і клініцист Джеймс Джергер. Класичні категорії тимпанограм, які є загально прийнятими:

а) тип А – свідчить про нормальний тиск в середньому вусі, нормальну рухливість барабанної перетинки і провідність слухових кісточок.

б) тип В (рис. 20.2.) немає піків тиску повітря. Тимпанограма типу В спостерігається при досить товстій барабанній перетинці; перфорації барабанної перетинки або синдромі зяяння євстахієвої труби; закупорці слухового проходу сірчаною пробкою або стороннім тілом.

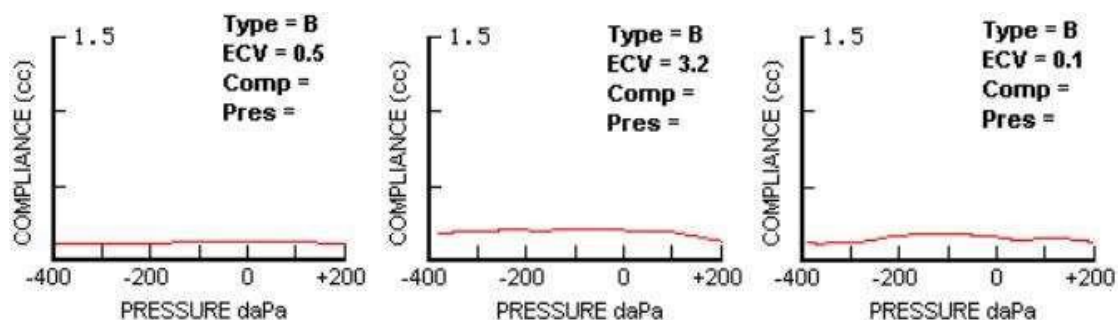


Рис. 20.2. Тимпанограми типу В [2]

в) тип С (рис. 20.3.) свідчить про негативний тиск в середньому вусі з дисфункцією євстахієвої труби.

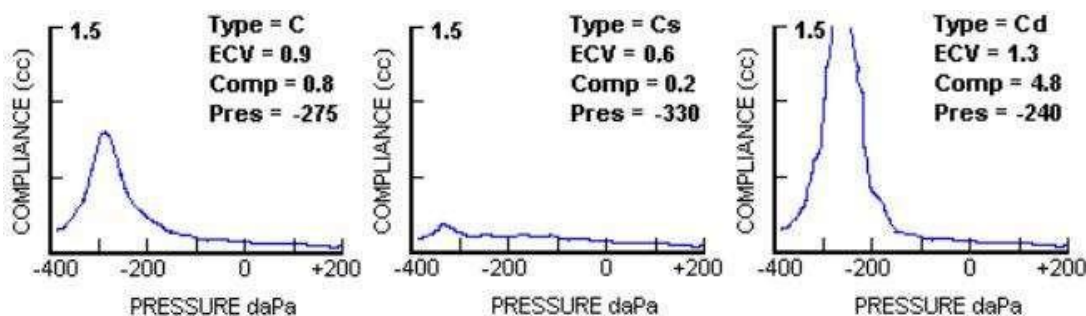


Рис. 20.3. Тимпанограми типу С [2]

Порушення функції євстахієвої труби – повне або часткове її закриття – виникає при аденоїдах, у щелині піднебіння, пухлини носоглотки, набряку слизової носоглотки в результаті інфекції. У дітей грудного та молодшого віку можуть бути функціональні порушення – спадання стінок євстахієвої труби внаслідок зниження еластичності, неповного розкриття глоткового отвору євстахієвої труби внаслідок дисфункції м'язу, що натягує м'яке піднебіння.

Акустична рефлексометрія

Акустичний рефлекс внутрішньо вушних м'язів – це рефлекторне скорочення під впливом звуку стремінцевого м'язу середнього вуха, а при дуже сильному звуці – м'язу, що натягує барабанну перетинку. Акустичний рефлекс являє собою двосторонній рефлекс, тобто виникає в обох вухах, навіть якщо звук надходить тільки в одне вухо. Цей рефлекс – безумовний, тобто виникає мимовільно, не залежно від волі слухача. При гучному звуці (близько 70 дБ) спрацьовує акустичний рефлекс стремінцевого м'язу. Він скорочується і змінює рух стремінця таким чином, щоб захистити внутрішнє вухо від надмірного навантаження.

Акустичний рефлекс змінює адмітанс середнього вуха. Ця зміна реєструється за допомогою імпедансометра (рис. 21). Дуже важливо мати на увазі, що напрям зміни адмітанса в разі акустичного рефлексу стремінцевого м'язу і м'язу, що натягує барабанну перетинку, протилежні. Цей факт часто не береться до уваги, що призводить до діагностичних помилок.



Рис. 21. Імпедансометр діагностичний Maico MI 34 [9]

Прилад для реєстрації викликаної отоакустичної емісії MAICO ERO SCAN. Система MAICO ERO SCAN розроблена для швидкого автоматичного тестування новонароджених, дітей і дорослих і призначена для використання в різних медичних установах. Після декількох секунд тестування на екрані дисплея приладу з'являється інтегральна відповідь PASS або REFER, а також кількісна оцінка тесту в діапазоні частот від 0,7 до 4 кГц для TEOAE, від 1,5 до 12 кГц для DPOAE. Роздруківка результатів здійснюється відразу після того, як прилад кладеться на підставку. Можливості: реєстрація викликаної отоакустичної емісії методом TEOAE і DPOAE. Вага (300 г). Результати тестування подаються як в короткій відповіді PASS / REFER, так і в розширеній – пропонується докладна роздруківка результатів. Швидке автоматичне тестування тривалістю близько 7 с. Роздруківка результатів дослідження. Додатковий зовнішній міні-зонд. Зв'язок з комп'ютером через порт RS-232. Швидка автоматична процедура реєстрації OAE.



Рис. 22. Портативний автоматизований аудіометр Serainteracoustics [10] **Призначення:** для швидкого скринінгового обстеження слуху новонароджених.



Рис. 23. Аудіометр SentieroDesktop (тимпанометр/імпедансметр 1-го класу: мультичастотна тимпанометрія, іпсі- та контралатеральні акустичні рефлексії, ETF тест: неперфорована та перфорована барабанна перетинка, зяяння Труби Євстахія, Деау-тест), (Виробник: PATH MEDICAL GmbH-H) [10]



Рис. 24. Аудиометр НЕЙРО-АУДИО – 2-канальний прилад для проведення об'єктивної аудіометрії і дослідження затриманої викликаної отоакустичної емісії. Прилад для аудіологічного скринінгу новонароджених.

Призначення: Рання діагностика порушень слуху у новонароджених і дітей перших років життя за допомогою скринінгових методик отоакустичної емісії (ОАЕ), поглиблена перевірка стану слуху методом коротколатентних слухових викликаних потенціалів (КСВП) [4].

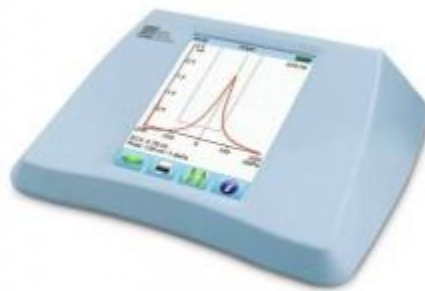


Рис. 25. Аудиометр SentieroDesktop (тимпанометр/імпедансметр класу 2: тимпанометрія, іпсі- та контралатеральні акустичні рефлекси+ отоакустична емісія DPOAE або TEOAE). Виробник: RATH MEDICAL GmbH – Німеччина [11]



Рис. 26. Мікропроцесорний портативний аудіометр GSI -17

Прибор дозволяє проводити тональну аудіометрію по повітряному звукопроведенню на 11 фіксованих частотах в діапазоні 125-8000 Гц з інтенсивністю від -10 до 100 дБ з індикацією в цифровому вигляді на вбудованому рідкокристалічному дисплеї.

Призначення: проведення масових скринінгових досліджень для виявлення порушень слуху без диференціальної діагностики типу туговухости. Область застосування: медпункти, поліклініки, приймальні відділення лікарень і шпиталів [4].

Фізіологічне призначення акустичного рефлексу, головним чином, полягає в оберіганні органу слуху від інтенсивних звукових перевантажень, які можуть привести до акустичної травми.

Акустична рефлексометрія – реєстрація акустичного рефлексу. Мінімальний рівень звуку, необхідний для викликання скорочення стремінцевої м'язи називається порогом акустичного рефлексу. У нормі поріг акустичного рефлексу знаходиться на рівні 65-90 дБ. Акустичний рефлекс в нормі виявляється по обидва боки (бінаурально), навіть при ізольованій стимуляції одного вуха.

Акустична рефлексометрія важлива для діагностики кондуктивної (порушення слуху, при якому ускладнене проведення звукових хвиль по шляху зовнішнє вухо – барабанна перетинка – слухові кісточки середнього вуха – внутрішнє вухо) і сенсоневральної при глухуватості (втрата слуху, викликана поразкою звукоприймального апарату: структур внутрішнього вуха, присінково-завиткового нерва або центральних відділів слухового

аналізатора).

За допомогою зонда, введеного в зовнішній слуховий прохід, створюється порожнина обмеженого об'єму, в яку подається звуковий сигнал. Відбита звукова енергія реєструється мініатюрним мікрофоном, введеним в зовнішній слуховий прохід. Величина відбитої звукової енергії порівнюється з вихідною величиною.

Акустична рефлексометрія використовується, перш за все, при дослідженні порогів чутності у дітей і у випадках, коли визначення аудіометричних порогів неможливо. Звуковими стимулами при даному виді дослідження служать тони частотою 500, 1000, 2000, 4000 Гц і широкосмуговий шум. Імпедансометр автоматично підвищує силу (рівень) стимулу і знаходить поріг акустичного рефлексу і визначає зростання амплітуди акустичного рефлексу за мірою підсилення стимулу [2, 7].

Отоакустична емісія

Отоакустична емісія використовується для оцінки кохлеарної цілісності і вимірювань реакції зовнішніх волоскових клітин на дію акустичних стимулів; використовується в якості швидкого об'єктивного скринінгу кохлеарної функції (рис. 27, 28).

Отоакустична емісія являє собою надзвичайно слабкі звукові коливання, генеровані завиткою, які можуть бути зареєстровані в зовнішньому слуховому проході за допомогою високочутливого мікрофона. Ці коливання виникають в результаті активних механічних процесів, що протікають в зовнішніх волоскових клітинах кортієвого органу. Активні рухи волоскових клітин, що підсилюються за рахунок позитивного зворотного зв'язку, передаються базилярній мембрані, і обумовлюють виникнення біжучих хвиль, спрямованих у зворотньому напрямку. Останні досягають підніжної пластинки стремінця і призводять до відповідного коливального процесу в системі слухових кісточок, барабанній перетинці і стовпі повітря в зовнішньому слуховому проході [2, 15].

Вчені виявили кілька видів отоакустичної емісії, але клінічне

застосування знайшли два з них:

- 1) отоакустична емісія на частоті продуктів спотворення;
- 2) затримана викликана отоакустична емісія.

Коливання базилярної мембрани на додаткових частотах, які були відсутні в звуковому стимулі, називаються **продуктами спотворення**. А викликана ними отоакустична емісія називається **отоакустичною емісією на частоті продуктів спотворення**.

У осіб з нормальним слухом порогови виникнення обох видів отоакустичної емісії дуже близькі до суб'єктивних порогів чутності. Відмінною особливістю даного діагностичного методу є те, що при наявності порушення слуху, що супроводжується підвищенням порогів чутності до 30 дБ і більше, емісія перестає реєструватися.

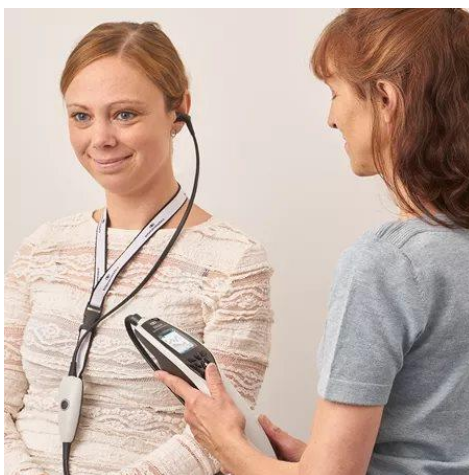


Рис. 27. Отоакустична емісія (ОАЕ). Аналізатори отоакустичної емісії. *Аудиометр для об'єктивного дослідження слуху Titan [12]*

Обидва види отоакустичної емісії доповнюють один одного, але мають деякі відмінності і різне клінічне застосування.

Затримана викликана отоакустична емісія як правило застосовується для скринінгу новонароджених, діагностики слуху в обмеженому діапазоні частот до 5000 Гц і для виявлення «мертвих зон» завитки [7].

Отоакустична емісія на частоті продуктів спотворення застосовується для діагностики в розширеному діапазоні частот до 8000 Гц, а також для моніторингу і раннього виявлення порушення функції зовнішніх волоскових клітин з метою профілактики

незворотного зниження слуху.

Прилад для реєстрації отоакустичної емісії (аналізатор отоакустичної емісії) працює наступним чином (рис. 28).

Акустичний процесор генерує первинні тони при реєстрації отоакустичної емісії на частоті продуктів спотворення або серії широкосмугових клацань при реєстрації затриманої викликаної отоакустичної емісії. Ці тони або клацання надходять на мініатюрні телефони, розташовані в електроакустичному зонді приладу. Мікротелефони створюють відповідні звукові стимули. З зонда звукові стимули надходять в зовнішній слуховий прохід.



Рис. 28. Прилад для реєстрації викликаної отоакустичної емісії MAICO ERO SCAN [13]

В зонді також розташований високочутливий мініатюрний мікрофон. Він приймає звук в зовнішньому слуховому проході, перетворює його в електричний сигнал і передає цей сигнал в аналого-цифровий перетворювач. Аналого-цифровий перетворювач перетворює аналоговий електричний сигнал в цифрову форму і передає цифровий сигнал в цифровий процесор. Цифровий процесор аналізує сигнали, виділяє отоакустичну емісію з шуму і стимулів і показує результати на екрані приладу. Результати вносяться в пам'ять приладу і роздруковуються на принтері [2, 7].

Отоакустична емісія на частоті продуктів спотворення

Найбільше значення для отримання інформації про слухову чутливість має реєстрація отоакустичної емісії на частоті продуктів спотворення, яка виявляється при спектральному аналізі активності, зареєстрованої у відповідь на одночасну стимуляцію двома первинними тональними сигналами з частотами f_1 і f_2 .

Реєстрація отоакустичної емісії на частоті продуктів спотворення можлива в розширеному діапазоні частот – до 8000 Гц. Це має особливе значення, оскільки, по-перше, дозволяє об'єктивно виявити високочастотне порушення слуху і, по-друге, виявити пригнічення функції зовнішніх волоскових клітин ще до того, як знизиться слух. Саме ця властивість даного виду отоакустичної емісії дозволяє запобігти незворотне зниження слуху у людей, що піддаються впливу шкідливих для слуху факторів – виробничого і сільськогосподарського шуму, шуму гелікоптерів та іншої військової техніки, шуму на рок-концертах, антибіотиків, протиракового лікування, інфекційних захворювань тощо [2, 12].

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Світова медицина наводить дані, що в наш час у світі більше, ніж 42 мільйони людей мають глибокі або малі порушення слуху [7].

Частина 1. Призначення та принципи побудови слухових апаратів та кохлеарних протезів

Одна з функцій середнього вуха – ослаблення передавання коливань у разі звуку великої інтенсивності, що здійснюється рефлекторним розслабленням м'язів кісточок середнього вуха, яке з'єднується з атмосферою через слухову (євстахієву) трубу. Зовнішнє і середнє вухо належать до звукопровідних систем. Звукоприймаючою системою є внутрішнє вухо.

Головною частиною внутрішнього вуха є завитка, що перетворює механічні коливання на електричний сигнал. Окрім завитки до внутрішнього вуха належить вестибулярний апарат, який до слухової функції відношення немає.

Деякі форми глухоти зумовлені ураженням рецепторного апарата завитки. У цьому разі завитка не генерує електричних сигналів під дією механічних коливань. Для лікування глухих людей необхідно імплантувати електроди в завитку, і на них подавати електричні сигнали, відповідні тим, що виникають під впливом механічного стимулу [3].

Таке протезування основної функції завитки (кохлеарне протезування) розробляють у розвинутих країнах [3] (рис. 29).

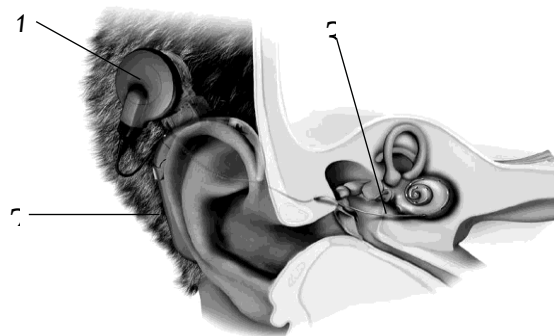


Рис. 29. Кохлеарний протез 1—основний корпус; 2 — заушина з мікрофоном; 3 — вилка електричного роз'єму [3]

Система складається з двох частин, які між собою жодними фізичними методами не пов'язані. Одну частину кріплять за зовнішнім вухом, яка складається з мікрофона і процесора (у сучасних моделях вони об'єднані), а також передавача, який кріпиться на шкірі, як магніт. Друга частина – внутрішня, і становить приймач, який фіксують біля скроневої кістки. Власне, в установленні приймача і полягає ця операція – кохлеарна імплантація.

Функція кохлеарного імпланта полягає в отриманні цифрової інформації, що передається від головного передавача, і перетворенні її на електричний сигнал, який надходитиме електродною решіткою, вмонтованою в равлик або внутрішнє вухо. Електроди решітки стимулюють слуховий нерв, завдяки якому імпульси надходять до головного мозку, де вони розпізнаються як звук [3].

Слухові апарати

Основне призначення слухового апарату полягає в перетворенні сигналу, що створюється джерелом звукової інформації, таким чином, щоб цей сигнал міг бути сприйнятим людиною, яка погано чує, з достатньо високим ступенем слухового відчуття. У ряді випадків слухові апарати знаходять застосування в якості засобів послаблення неприємних відчуттів від суб'єктивного вушного шуму. Перетворення акустичного сигналу, що здійснюються слуховим апаратом, можуть носити різний характер [7]. У простому випадку – це **підсилення звуків**. В багатьох практичних випадках підсилення може супроводжуватися низько- і/чи високочастотною фільтрацією сигналів, штучним обмеженням динамічного діапазону сигналу, який підсилюється. Існують слухові апарати з нелінійним перетворенням амплітудно-частотного спектру вхідного сигналу, антишумовою обробкою суміші «сигнал-шум», паралельною обробкою сигналу в декількох частотних діапазонах тощо.

Загальна функціональна схема слухового апарату приведена на рис. 30. Вхідний сигнал слухового апарату може бути акустичним або електромагнітним. Згідно з цим перетворювачами вхідного сигналу є

мікрофон або котушка індуктивності. Крім того, часто слухові апарати забезпечуються електричним входом, через який вхідний сигнал, наприклад, з виходу телевізора або іншої побутової техніки може через кабельний перехідний пристрій подаватися безпосередньо на блок обробки сигналу. В якості вихідного перетворювача сигналу використовується мініатюрний телефон або кістковий вібратор в залежності від того, для якого виду звукопроведення – повітряного чи кісткового – призначений слуховий апарат. Звуковий сигнал, що випромінюється телефоном, вводиться у слуховий прохід. Механічні коливання звукової частоти, що створюються кістковим вібратором через сосцевидний відросток, передаються в області середнього і внутрішнього вуха і викликають слухові відчуття [7].

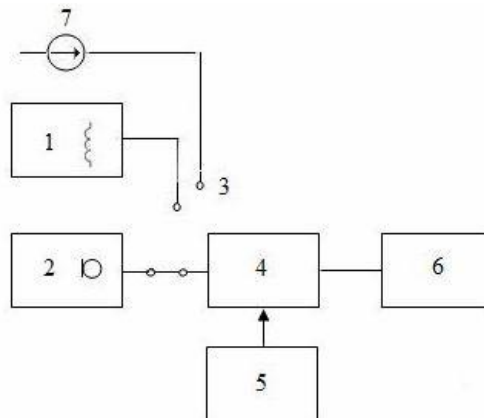


Рис. 30. Функціональна схема слухового апарату

1, 2 – перетворювачі вхідного сигналу; 3 – перемикач; 4 – блок обробки сигналу; 5 – блок живлення; 6 – вихідний перетворювач сигналу; 7 – електричний вхід [7]

Режим роботи слухового апарату від мікрофону являється, як правило, основним і дозволяє безпосередньо сприймати мову співрозмовника і оточуючі звуки, важливі для користувача слуховим апаратом. Можливість переключення на режим від індукційної котушки дозволяє слабочуючим вести телефонні переговори, слухати без перешкод звукове супроводження при перегляді фільму в кінотеатрах, на театральних виставах, звукове супроводження телевізійних передач. Принцип передачі сигналів, що використовуються в цих випадках, заснований на індуктивному

зв'язку між джерелом сигналу і індуктивною котушкою [7].

Велике поширення отримав заушний слуховий апарат, який являє собою конструкцію дугоподібної форми, розташовувану за вушною раковиною (рис. 31). Утримується слуховий апарат за допомогою дужки із пластмаси, що виходить із корпусу апарата та огинає верхню частину вушної раковини. Ця дужка служить одночасно й твердим звукопроводом, один кінець якого зістикований з вихідним акустичним отвором слухового апарата, а на інший надівається гнучка трубка з органічного матеріалу, що закінчується м'яким або твердим вушним вкладишем. Трубка, що називається гнучким звукопроводом, забезпечує разом із твердим звукопроводом передачу посиленних звукових коливань від телефону. Безпосереднє введення звуку в слуховий прохід здійснюється за допомогою вушного вкладиша. Телефон у цьому випадку є вбудованим і розташовується у середині корпусу слухового апарата. Існує варіант конструкції слухового апарата «заушина», у якому застосований виносний телефон пов'язаний з підсилювачем апарата гнучким проведенням і розташований безпосередньо у вушній раковині. З метою найбільшого камуфляжного ефекту кольори пластмаси, з якої виготовляється корпус «заушини», робиться близьким до тілесного [7].

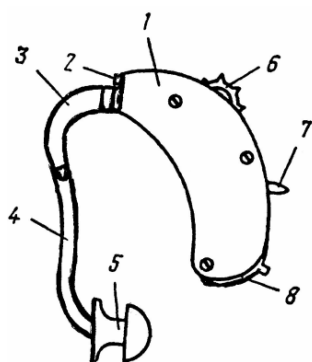


Рис. 31. Заушний слуховий апарат: 1 – корпус слухового апарата;
2 – акустичний (мікрофонний) вхід; 3 – твердий звукопровід; 4 – гнучкий звукопровід; 5 – вушний вкладиш; 6 – регулятор акустичного посилення; 7 – перемикач режиму роботи; 8 – обійма джерела живлення [7]



Рис. 32. Завушний слуховий апарат Axon D-322. Цифровий акумуляторний з зарядним пристроєм. Підсилювач слуху звуку.
Виробник – Axon [14]

Завдяки цифровій обробці звуків, ці пристрої усувають сторонній свист і шум, дають чітку розбірливість мови, забезпечують м'яку передачу гучних звуків і плавний перехід між високими і низькими тонами, володіють повним набором необхідного для комфорту функціонала, а також мають кращу сумісність з телефонами.

Максимальна вихідна потужність (Дб) 132.

Ступінь втрати слуху – легкий ступінь (26-40 Дб).

Максимальне підсилення (Дб) – 40.

Кількість каналів частоти – 1.

Діапазон частот (Гц) – 450.

Вид навушника – Завушний.

Частина 2. Методи визначення гостроти слуху

Розрізняють **глухоту** – це повна або часткова втрата слуху. Якщо слух втрачається у визначеній смузі частот (наприклад, на частотах, вищих за 4 кГц), говорять про **недочутливість**.

Ступінь недочутливості у медичній практиці оцінюють за відстанню, з якої хворий розуміє голосну мову або шепотіння. Якщо людина сприймає голосну мову лише на відстані 6 м, або розуміє шепотіння на відстані 4 м, то говорять про **малу недочутливість**.

При **середньо-тяжкій недочутливості** відстань від джерела

голосної мови скорочується до 2-4 м. Якщо людина погано чує на відстані, меншій ніж 2 м, говорять про **тяжку недочутливість**. Якщо хворий не розуміє слова, які йому кажуть прямо до вуха, мова йде про **практичну глухоту**. При **повній глухоті** людина не чує і екстремально сильні звуки [7].

Для порівняння кісткового та повітряного сприйняття звуку використовують **тест Рійне**. Базу збудженого камертона прикладають до *processus mastoideus* (кістка, що лежить за зовнішнім звуководом вуха) і чекають, поки камертон замовкне. Після цього над звуководом знов збуджують камертон, і пацієнт визначає, у якому випадку він довше чув звук.

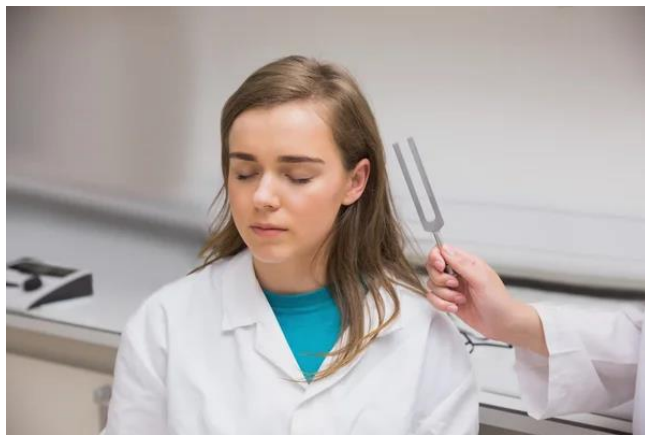


Рис. 33. Студент робить тест на слух [15]

При **тесті Вебера** збуджений камертон (частота 256 або 440 Гц) базою (п'яткою) прикладається до чола або темені. Людина зі здоровим слухом має симетричне слухове сприйняття. При передаточній ваді звук буде голоснішим у хворому вусі, а при перцепційній ваді – у вусі здоровому або чутливішому [7].

Також визначають гостроту слуху за допомогою годинника:

1. Приставити до вуха механічний годинник.
2. Відставляти його від себе до тих пір, поки чути його цокання.
3. У момент зникнення звуку виміряти відстань (у см) між годинником і вухом. Чим воно більше, тим краще слухова чутливість [16].

При **аудиометричному дослідженні** використовують стимул в області порогу, тобто визначають межу між ще не чутним і тільки-но

вже чутним звуками. Для вимірювань порогових кривих слуху необхідно мінімізувати як звукові сигнали ззовні (транспорт тощо), так і від досліджувального пристрою (за допомогою акустичної ізоляції). Контакт між пацієнтом і лікарем-оператором здійснюється за допомогою звукоізовованого вікна (кабіни) або телефонним каналом (рис 34).



Рис. 34. Модульні звукоізововані кабінки Puma [17]

Максимально допустимий фон у кімнаті становить 20 Фн у діапазоні частот від 10 до 200 Гц; 10 Фн – для смуги від 200 до 500 Гц; для вищих частот – 5 Фн.

Тоновий аудіометр

Звуковий аудіометр повинен забезпечувати генерування чистого тону з регулюванням його частоти, причому гучність звуку або підстроюється «вручну», або змінюється програмно.

При визначенні часових характеристик слухового сприйняття встановлюється вибрана частота, і пацієнт порівнює тривалість вимірюваного сигналу з тривалістю опорного тону (від 300 до 1000 мс). Пацієнт повинен визначити, коли послідовності імпульсів мають однакову тривалість. Опорний тон можна вибирати:

- у часовій послідовності;
- одночасно;
- монаурально зі зміною вух;
- з двома частотами.

В адаптограмметрії Фельдмана протягом п'яти хвилин

відтворюють тривалий тон з інтенсивністю 80 дБ. Кожну хвилину вимірюють рівень білого шуму, який потрібен для маскуванню тону (при деяких хворобах слуху змінюється рівень маскуючого білого шуму).

За типом медичного обладнання встановлюються якісні показники на технічні параметри аудіометрів (табл. 2). Точність досліджень звичайно забезпечується з похибкою, не більшою, ніж ± 5 дБ.

Таблиця 2

Головні параметри аудіометрів [7]

Параметр	Робоче місце		
	Дільницький отоларинголог	Клініка	Наукові дослідження
Нижня частота, Гц	250	125	64
Максимальне значення нелінійних спотворень, %	0,1	0,05	0,02
Мінімальний рівень шуму, дБ	– 60	–66	–74
Вихід сигналу на:	Слухавки	Слухавки	Вільне звукове поле

Втрату слуху визначають таким чином: для окремих частот поступово збільшують інтенсивність звуку, доки не буде досягнуто порогової чутливості.

Аудіометрія мовна

Мовна аудіометрія – це метод аудіометрії, який застосовують у разі, якщо пацієнт скаржиться на те, що замість членороздільних слів він чує лише шум і йому складно визначити на слух, що кажуть люди пошепки. Суть цього виду аудіометрії полягає в тому, що пацієнт слухає або лікаря, який говорить на певній дистанції конкретний текст, або слухає записаний на цифровий носій текст диктора і повторює почуте. Результати діагностики фіксуються на

спеціальному графіку, де у відсотковому співвідношенні показується рівень мовної розбірливості.

При мовній аудіометрії (якщо пацієнт слухає записаний на цифровий носій текст диктора) з пам'яті пристрою відтворюють фонетично виважені частини мови (числа, склади, слова, речення) і тестують пацієнтів із слухавками на вухах. Низькочастотний підсилювач мусить бути каліброваним у децибелах, бо розуміння мови значною мірою залежить від гучності звуку. Відношення кількості вірно сприйнятих фонетичних елементів до їх загального числа (вони утворюють безсенсові сукупності) називають **роздільною здатністю**. Від цієї величини важливо відрізнити розпізнавальну **здатність**, яка є мірою вірного розпізнавання чисел, слів, речень, змістовної сукупності. Для числової оцінки роздільної здатності використовують 10 сукупностей по 10 дворозрядних чисел (наприклад, 42, 35, 97, 17, ...). Для оцінки односкладової (дво- і п'ятискладової) роздільної здатності використовують 20 сукупностей по 20 односкладових слів.

Більш ніж 30 років тому були розроблені **тести бінаурального синтезу**. Їх базою є поділ частотного діапазону на дві смуги:

- 1) **глибока** смуга (від 500 до 800 Гц);
- 2) **висока** смуга (від 1500 до 2500 Гц).

У високій смузі знаходяться головні форманти вокалу, форманти більшості приголосних вилучені. Пацієнту задають питання. При цьому глибоку смугу підводять до правого вуха, високу – до лівого. Оцінюється роздільна здатність (на базі відповіді) для різних гучностей. У цьому тесті використовують інтегрування сприйняття з обох слухових органів [7].

Рефлексна аудіометрія

Рефлексна аудіометрія є відносно новим методом, відповідно якому реєструють акустично викликану реакцію на різних ступенях слухового шляху, яка без відома досліджуваної особи проходить рефлексно або сомато-моторичною, або вегетативною нервовою системою. У пацієнта, що лежить в акустично ізольованій кімнаті,

оцінюють відгуки (табл. 3), які спричинені відповідним звуковим стимулом.

Таблиця 3

Найважливіші методи у рефлексній аудіометрії [7]

Вид реакції	Вимірювана величина	Орган	Метод
Сомато-моторична	Збудження	М'яз кістковий	Електробалістографія
	Рух очного вікна	Поперечні очні м'язи	ЕОГ, ЕНГ
	Напруга м'язів	Кістковим'язи	ЕМГ
Вегетативна (реакції автономних нервів)	Частота дихання	Легені	Ел. імпеданс, плетизмографія
	Шелести дихання	Легені	Фонографія
	Вентиляція легенів	Легені	Спірометрія, термістографія
	Серцева частота	Серце	ЕКГ, МКГ
	Кровонаповнення	Кров'яний обіг у периферійних судинах	Плетизмографія
	Електричний опір шкіри	Потові залози в шкірі	Реографія

Розміщення активного зчитувального електрода залежить від виду аудіометрії. Неактивний (або «земляний») електрод є на вусі або шиї.

За латенцією розрізняють:

1. Ранній потенціал – латенція до 10 мс – або у внутрішньому вусі, або у мозку. Частотний спектр перевищує 100 Гц.

2. Пізній потенціал – латенція приблизно 50-500 мс. Акустичні відгуки кори (частотний спектр, як і у електроенцефалограми, до 30 Гц) [7].

Частина 3. Будова аудіометру поліклінічного АП-02 (АК-64)

Принцип дії

У роботі для зняття аудіограми використовується аудіометр поліклінічний АП-02 (або АК-64) (рис. 35). Аудіометр АП-02 генерує частоти чистих тонів: 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 (10000) Гц. Зміна рівня інтенсивності здійснюється дискретно через $(5,0 \pm 1,5)$ дБ. Нульове положення шкали «Понижение слуха, дБ» для всіх частот відповідає порогу слухового відчуття [6].

Будова аудіометру поліклінічного АП-02 (АК-64)

1.	Мережевий вимикач	8.	Перемикач частоти модуляції
2.	Показчик відповіді пацієнта.	9.	Перемикач частоти генератора тону (у Гц).
3.	Перемикач програми (1 або 2 вуха)	10.	Вимикач і регулятор гучності двостороннього зв'язку
4.	Внутрішній мікрофон.	11.	Перемикач виду маніпуляції
5.	Показчик виду випробування	12.	Оптичний показник сигналу
6.	Перемикач «Магнітофон-Тон-Мікрофон»	13.	Переривач сигналу
7.	Перемикач глибини модуляції		

УВАГА! Перед початком виконання роботи ознайомтесь з принципом роботи й будовою приладу АП-02 і правилами роботи з ним.

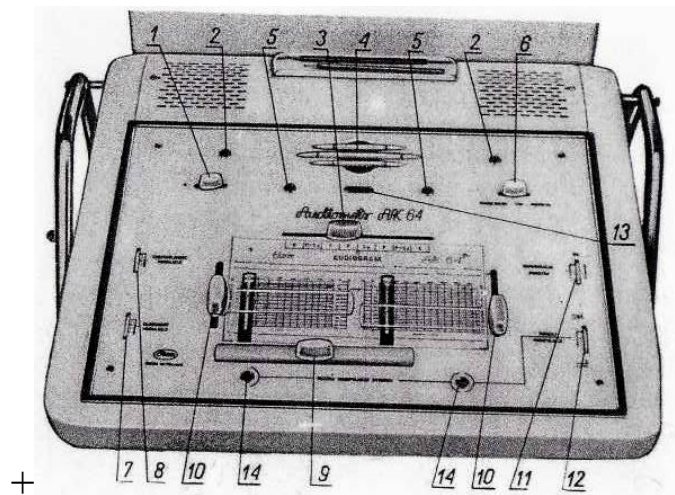


Рис. 35. Будова аудіометру поліклінічного АК-64 (АП-02) [6]



Рис. 36. Аудіометр поліклінічний АП-02 (або АК-64) [18]

Засвоєння порядку роботи з приладами

1. Увімкнути прилад в мережу. За час прогрівання приладу (3 хв) встановити бланк аудіограми. Ручку «**Тон**» встановити на зелений або червоний телефон, маскуючий шум вимкнути.

2. Пацієнту одягнути навушники, планку перемикача частот встановити на одну із частот і за допомогою перемикача інтенсивності тону подати через телефон на досліджуване вухо чітко відчутний пацієнтом тон.

3. Поступово зменшувати інтенсивність тону до тих пір, поки пацієнт перестане відчувати тон, знайти те положення перемикача, яке відповідає порогу слухового відчуття. В цьому місці на бланку аудіограми поставити олівцем крапку.

4. Повторити процедуру визначення порогу слухового відчуття на інших частотах. Рекомендується такий порядок чергування частот у процесі дослідження: 1000, 2000, 3000, 4000, 8000, 500, 250, 125 Гц.

5. З'єднати точки, що відповідають порогу слухового відчуття на різних частотах, лінією і таким чином одержати аудіограму для даного вуха.

6. Повторити дослідження на іншому вусі, для чого ручку «Тон» перевести в інше положення.

7. Розрахувати залежність $I = f(v)$ і подати її у вигляді графіка. Розрахунок інтенсивності провести за формулою:

$$I = I_0 \cdot 10^{\Delta L/10},$$

де I_0 – інтенсивність, яка відповідає порогу слухового відчуття ($I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$),

ΔL – втрата слуху в дБ, визначається за аудіограмою [6].

Таким чином, *метод тональної порогової аудіометрії* – це метод дослідження слуху пацієнта, який ґрунтується на визначенні втрати слуху за підвищенням рівня інтенсивності, який відповідає рівню слухового відчуття у порівнянні з нормою. Для оцінки втрати слуху будується аудіограма.

Аудіограма – це графік, який показує втрату слуху в децибелах залежно від частоти коливань. Блок-схема аудіометра наведена на рисунку 37, де T – телефон, K_1 – перемикач інтенсивності маскуючого шуму, K_2 – перемикач і кнопка подачі тону.

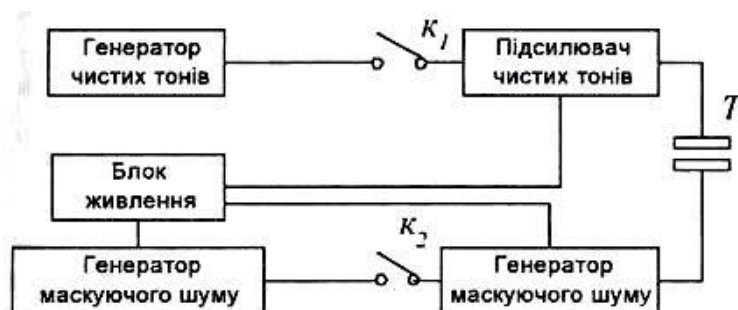


Рис. 37. Блок-схема аудіометра [6]

Протокол дослідження (Приклад)

1. Зняти аудіограму лівого і правого вуха для повітряної і кісткової провідності. На рис. 38 зображені аудіограми правого (а) та лівого (б) вуха.

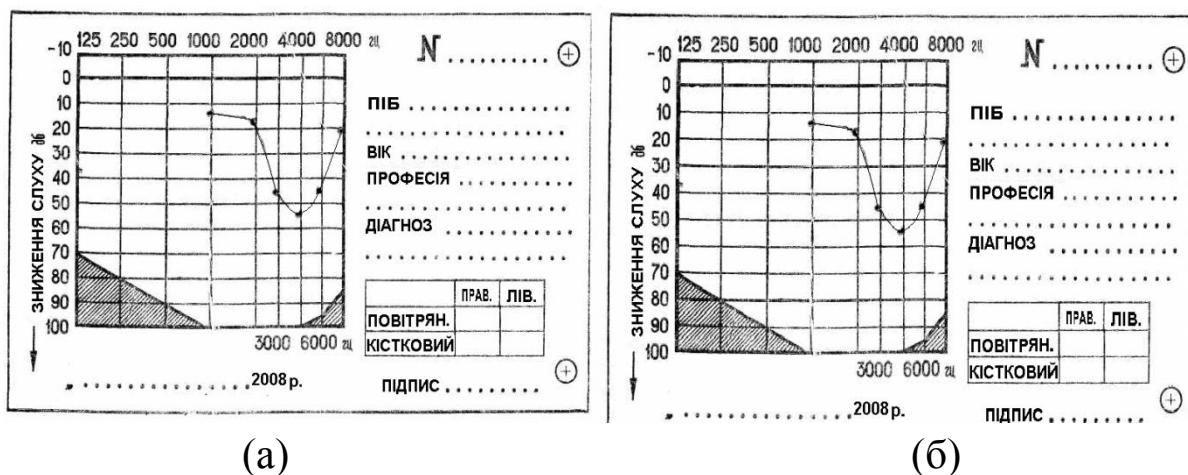


Рис. 38. Графік аудіограми правого (а) та лівого (б) вуха [2]

Оформлення звіту та порядок його подання:

П.І.Б _____

Група _____

Дата _____

Тема _____

Завдання:

Дослідження № 1 «Визначення гостроти слуху» (метод з годинником).

Хід дослідження:

1. _____
2. _____
3. _____

Результати дослідження:

1. _____
2. _____
3. _____

Дослідження № 2 «Визначення гостроти слуху» Тест Вебера
(метод з камертоном).

Хід дослідження:

1. _____
2. _____
3. _____

Результати дослідження записати.

1. _____
2. _____
3. _____

Дослідження № 3. Метод «Мовна аудіометрія»

Хід дослідження:

1. _____
2. _____
3. _____

Результати дослідження:

1. _____
2. _____
3. _____

Зробити висновки.

Контрольні питання

1. Слухова система людини.
2. Види аудіометрії, їх відмінності та методики реєстрації.
3. Призначення, принципи побудови слухових апаратів, протезів, їх функціональна схема.
4. Принцип роботи і будова аудіометра.
5. Порядок зняття аудіограм та обробка результатів виміру.
6. Методи визначення гостроти слуху.

Завдання для самостійної роботи

1. Природа звуку, види звуку, фізичні і фізіологічні характеристики звуку та зв'язок між ними.
2. Рівень інтенсивності (звукового тиску), рівень гучності. Одиниці їх вимірювання.
3. Поріг слухового відчуття та його діагностичне значення, поріг больового відчуття, область слухового відчуття, криві однакової гучності.
4. Закон Вебера-Фехнера.
5. Втрата слуху, аудіометрія, аудіограма та її призначення.

Список літератури

1. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах (для студентів усіх спеціальностей) // Гвоздій С. П. – Одеса: ОНУ, 2011. – 16 с.
2. Акустика слуху: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: К. С. Дрозденко, О. І. Дрозденко. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,67 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 99 с. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35008/1/Akustyka.pdf>
3. Терещенко М. Ф. Біофізика: підручник / М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 444 с. ISBN 978-966-622-942-0. <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27589/1/Biophysics.pdf>
4. Дідух В. Д. Біологічна фізика з фізичними методами аналізу : навч. пос. / В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, О. А. Багрій-Заяць. – Тернопіль, 2021. – 305 с. https://repository.tdmu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/17212/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B7%20%D0%A4%D0%9C%D0%90_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%96%D1%8F>
6. <https://studfile.net/preview/8746596/>
7. Терещенко М. Ф. Акустичні медичні прилади: метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт / Уклад.: М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик– К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 124 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26439/1/Akustychni-medychni-prylady_met.vkaz.2014.pdf
8. <https://prom.ua/p975794494-audiometr-timpanometr-aa222.html>
9. https://med-magazin.ua/item_n7514.htm

10. <https://medservice.net.ua/p955228077-portativnyj-avtomatizirovannyj-audiometr.html>
11. <https://sluh.com.ua/ru/product/impedansometr-timpanometr-sentiero-desktop-2-path-medical-gmbh-100497-us3>
12. <https://www.audiometers.aurora.ua/wp-content/uploads/2018/01/xtitanOae-cover450.jpg>
13. https://med-magazin.ua/ua/item_n7958.htm
14. <https://prom.ua/ua/brands/Axon>
15. https://www.medtechnika.com.ua/kamerton-128hz.html?gclid=Cj0KCQjwwJuVBhCAARIsAOPwGATZD2lmozxJa2ZLYAx9VPAuiVTNp5ksg77JkdFIcpN5zV6ZICzM2oaAjM5EALw_wcB
16. Гвоздїй С. П., Устянська О. В. Основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії. Частина 1. Санітарно-гігієнічні вимоги до показників шуму. Дія шуму на організм і здоров'я людини: методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці» для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / С. П. Гвоздїй, О. В. Устянська – Одеса : Одес. нац. ун-т імені І.І. Мечникова, 2019. – 32 с.
17. <https://www.audiometers.aurora.ua/wp-content/uploads/2019/12/Basic-noise-reduction-booth-ideal-for-a-quiet-environment-2.jpg>
18. https://www.audiometers.aurora.ua/vsi-priladi/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=audiometr&utm_term=%2B%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80&gclid=CjwKCAjw46CVBhB1EiwAgy6M4uoz2qGcnkh_YbWS8kpArfKO7bPGkN9igVqETQsWKGC8LcA3PEzJxxoC6mQQAuD_BwE
19. Бекас О. О. Лабораторний практикум з курсу вікової анатомії та фізіології / Навчально-методичний посібник рекомендований студентам факультету фізичного виховання і спорту. ВДПУ ім. М. Коцюбинського. Вінниця, 2020. – 148 с.
20. Федів В. І., Олар О. І., Микитюк О. Ю., Остафійчук Д. І.,

Боєчко В. Ф. Медична та біологічна фізика. Навчальний посібник для студентів вищих медичних навчальних закладів. Чернівці. «Буковинський державний медичний університет. 2018. –194 с.

21. Біофізика. Практикум / М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, І. О. Яковенко – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 288 с.

22. Біофізика і фізичні методи аналізу: Навчальний посібник для студентів фармацевтичного факультету / Е. І. Сливко, О. З. Мельнікова, О. З. Іванченко, Н. С. Біляк, О.Є. Прокопченко. – Запоріжжя, 2018. – 234 с.

23. Лепіх Я. І. Прикладна акустика в медицині : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Я. І. Лепіх; Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. – О.: АстроПринт, 2005. – 206 с.

24. Дідковський В. С., Лейко О. Г., Савін В. Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі (розрахунок, проектування, конструювання). Навч. посібник. – Кіровоград: Імекс-ЛТД, 2006. – 448 с.

25. Сторчун Є. В. Біофізичні та математичні основи інструментальних методів медичної діагностики : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Є. В. Сторчун, Я. М. Матвійчук; Ін-т інновац. технологій і змісту освіти МОН України. – Л.: Вид-во "Растр-7", 2009. – 215 с.

26. Грінченко В. Т., Вовк І. В., Маципура В. Т. Основи акустики. Навчальний посібник. – К.: Наукова думка, 2007. – 640 с.

ДОДАТКИ

Таблиця. Відношення інтенсивностей (сил) звуку, виражені в дБ
[4]

I_2/I_1	$\Delta\beta = 10 \lg (I_2/I_1)$	I_2/I_1	$\Delta\beta = 10 \lg (I_2/I_1)$
1	0	6	7,78
2	3,01	7	8,45
3	4,77	8	9,03
4	6,02	9	9,54
5	6,99	10	10,00

Таблиця. Характеристики різних видів
електромагнітного випромінювання [4]

Вид випромінювання	Характерна довжина хвилі	Частота, Гц	Енергія фотона
γ-випромінювання	10^{-13}	$3 \cdot 10^{21}$	12 МеВ
Рентгенівське	10^{-11}	$3 \cdot 10^{19}$	120 кеВ
Ультрафіолетове	10^{-7}	$3 \cdot 10^{15}$	12 еВ
Видиме світло	$6 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{14}$	2 еВ
Інфрачервоне	10^{-5}	$3 \cdot 10^{13}$	0,12 еВ
Ультракоткороткохвильове	10^{-2}	$3 \cdot 10^{10}$	$1,92 \cdot 10^{-23}$ Дж
Радіохвилі	300	10^6	$4 \cdot 10^{-9}$ еВ

Таблиця. Основні одиниці SI [4]

Величина			Одиниця				
Назва	Символ	Розмірність	Назва	Позначення		Рекомендовані кратні та частинні одиниці	
				укр.	міжн.		

Довжина	l, L	L	метр	м	m	км; см; мм; мкм; нм; пм;ф м	km; cm; mm; μm ; nm; pm;f m
Маса	m	M	кілограм	кг	kg	кг; г; мг; мкг	kg; g; mg; μ g
Час	t, T	T	секунда	с	s	кс; мс; мкс; нс	ks; ms; μs ;ns
Сила електрич ного струму	I	I	ампер	A	A	кА; мА;м кА; нА	kA; mA; μA ;n A
Термоди намічна температ ура	T, Θ	Θ	кельвін	K	K	МК; кК; мК; мкК	MK; kK; mK; μK
Сила світла	I_v	J	кандела	кд	cd		
Кіль кіст ь речо вини	N	N	моль	моль	mol	кмоль;м моль; мкмоль	mol;m mol; μmol

Примітка 1. Одиницю кельвін та її позначення К можна використовувати для вираження інтервалу чи різниці температури.

Примітка 2. Додатково до термодинамічної температури (символ T), поданої у кельвінах, використовують температуру за Цельсієм (символ t), яка визначається співвідношенням $t = T - T_0$, де за визначенням $T_0 = 273,15\text{K}$.

Дозволено використовувати вираз «температура за Цельсієм» та одиницю «градус Цельсія». За розміром градус Цельсія дорівнює кельвіну. Інтервал чи різницю теператур за Цельсієм можна виражати у кельвінах так само, як у градусах Цельсія.

**Таблиця. Розмірність деяких фізичних величин, які
найчастіше застосовують у медико-біологічних
дослідженнях [4]**

Фізич на величи на	Позна- чення	Визначальне рівняння	Розмір- ність	Позначення одиниці в SI	
				укр.	міжн
Площа	S, A	$S = a^2$	L^2	m^2	m^2
Частота	ν	$\nu = 1/T$	T^{-1}	Гц	Hz
Об'єм	V	$V = a^3$	L^3	m^3	m^3
Сила	F	$F = m \cdot a$	$LM T^{-2}$	Н	N
Тиск	P	$P = F/S$	$L^{-1} M T^{-2}$	Па	Pa
Осмотичний тиск	Π	$\Pi = C_B R T$	$L^{-1} M T^{-2}$	Па	Pa
Енергія, робота	E, A	$A = Fd$	$L^2 M T^{-2}$	Дж	J
Гradient температури	$grad\ T$	$grad\ T = dT/dl$	$L^{-1} \theta$	К/м	K / m
Теплоємність	C	$C = \Delta Q / \Delta T$	$L^2 M T^{-2} \theta^{-1}$	Дж/К	J / K
Ентропія	ΔS	$\Delta S = \int \delta Q / T$	$L^2 M T^{-2} \theta^{-1}$	Дж/К	J / K
Молярна концентраці я речовини	C	$C = n / V_p$	$L^{-3} N$	моль/м ³	mol/m ³
Масова Концентраці я речовини	ρ	$\rho = m / V$	$L^{-3} M$	кг/м ³	kg/m ³
Молярність речовини в розчині	C_m	$C_m = n / m_s$	$M^{-1} N$	моль/кг	mol/kg
Молярна маса	M	$M = m / n$	$M N^{-1}$	кг/моль	kg/mol

Кількість електрики	Q	$Q=I \cdot t$	ПІ	Кл	С
Електричний опір	R	$R=U/I$	$L^2 M T^{-3} I^{-2}$	Ом	Ω
Електрична провідність	σ	$\sigma=1/R$	$L^{-2} M^{-1} T^3 I^2$	См	S
Електричний потенціал	φ, U	$\varphi=W/q$	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	В	V
Магнітна індукція	B	$B=F(qv)$	$M T^{-2} I^{-1}$	Тл	T
Світловий потік	Φ	$\Phi=I \cdot \omega$	J	лм	l m
Освітленість	E	$E=\Phi/S$	$L^{-2} J$	лк	l x
Активність радіонукліда	A	$A=N/T$	T^{-1}	Бк	B q

Навчальне видання

**Устянська Ольга Володимирівна
Шкодовська Анна Марія Ігорівна**

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ТА КЛАСИФІКАЦІЯ
СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

**Медична візуалізація
Звукові методи дослідження в клініці
Частина I**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних занять з дисципліни**

Електронне практичне видання

В авторській редакції

Затвердж. авт. 30.11.2022. Шрифт Times New Roman.
Обсяг 2,3 МБ. Зам. № 2533.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua