

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕДИЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ФІЗІОЛОГІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ**

(курс лекцій)

Навчальний посібник для студентів 2 курсу

Рекомендовано методичною комісією  
Медичного інституту СумДУ

Укладачі:

**ЯНЧИК Г.В.**

Канд..мед.наук

Доцент кафедри фізіології та патофізіології

**ГАРБУЗОВА В.Ю.**

Канд..біол.наук

Доцент кафедри фізіології та патофізіології

Суми – 2011

## **ЗМІСТ:**

|  |    |
|--|----|
| 1. Характеристика сенсорних систем .....     | 3  |
| 2. Зоровий аналізатор .....                  | 7  |
| 3. Вестибулярний аналізатор .....            | 18 |
| 4. Звуковий аналізатор .....                 | 23 |
| 5. Сомато-вісцеральна сенсорна система ..... | 28 |
| 6. Больовий аналізатор .....                 | 33 |

# ХАРАКТЕРИСТИКА СЕНСОРНИХ СИСТЕМ

План лекції:

1. Поняття про сенсорні системи.
2. Вчення І. П. Павлова про аналізатори.
3. Функції аналізаторів.
4. Властивості аналізаторів.
5. Функціональні частини аналізатора.
6. Формування сенсорного відчуття.

Існування живого організму неможливе без інформації, яка має поступати як із зовнішнього світу, так і з внутрішнього середовища. Обидва потоки інформації взаємодіють і здійснюються завдяки функціонуванню спеціальних систем – сенсорних систем. Вони перетворюють адекватні подразнення в нервові імпульси, що йдуть в ЦНС. На різних рівнях мозку ця інформація фільтрується, аналізується, впізнається та перетворюється в сенсорні відчуття, які усвідомлюються і створюється образ подразника. Таким чином, сенсорні системи – це структури, які забезпечують сприйняття інформації, її переробку шляхом аналізу та синтезу, створюють образ подразника на основі його ознак і сенсорного досвіду, формують свідоме відчуття. Яка ж роль сенсорної інформації? На основі сенсорної інформації відбувається організація роботи всіх внутрішніх органів. Вона також являється важливою умовою активної діяльності людини, формування та розвитку її як особистості. Сенсорна інформація є важливим фактором формування поведінки людини, пристосування її до умов існування.

В організмі людини розрізняють такі види сенсорних систем: зорову, слухову, нюхову, смакову, вестибулярну, соматосенсорну та вісцеральну. Для нормального сприйняття зовнішнього світу потрібно, щоб інформація поступала безперервно в усі типи сенсорних систем. Сенсорні системи забезпечують:

1. Сприйняття сигналів зовнішнього середовища та генерацію збудження.
2. Виявлення та розпізнавання сигналів.
3. Кодування сигналів, їх детектування та створення образу джерела подразнення.
4. Здійснення контролю поведінкових реакцій та діяльності внутрішніх органів.
5. Створення певного рівня активності головного мозку.
6. Формування сенсорного досвіду.
7. Формування свідомого відчуття та уявлення про подразнення.

І.П. Павлов запропонував сенсорні системи називати аналізаторами і створив вчення про аналізатори. Згідно І.П. Павлову кожен аналізатор має такі властивості:

1. Аналізатори збуджуються тільки адекватним подразником, який визначає характер відчуття.
2. Мають високу збудливість.
3. Здатні до адаптації, крім вестибулярного аналізатора.

4. Мають постійну фонову активність.
5. Мають певні межі сприйняття сигналів.
6. Створюють специфічність відчуття (зір, слух, смак, дотик).
7. Мають абсолютний та диференціальний пороги відчуття, формують якість та інтенсивність відчуття.

8. Для кожного аналізатора існує свій часовий поріг подразнення (світло має діяти 50 мсек, звук – 180 мсек, дотик – 1,2 мсек, щоб виникло подразнення).

Сучасні уявлення про структуру аналізатора ґрунтуються на положеннях І.П.Павлова, але мають деякі відмінності: а) багат шаровість – розташування нервових клітин шарами, що забезпечує можливість спеціалізації різних рівнів по переробці окремих видів інформації; б) багатоканальність – інформація перетворюється та передається по низці паралельних каналів, які забезпечують точність та надійність аналізу; в) наявність сенсорних лійок – наявність розширення чи звуження системних зв'язків в напрямку до кори (звуження обмежує кількість інформації, розширення забезпечує більш складний аналіз ознак подразника); г) наявність зворотніх зв'язків, які чинять вплив на нижче розташовані рівні структур, змінюючи їхню активність. Результатом функціонування структур певного виду є формування модальності відчуття. Модальність – це вид чи характер відчуття. Існують такі модальності відчуття як зір, слух, смак, нюх, дотик, вібрація, біль, температура та інші. Якість відчуття – це вид сенсорних вражень у межах однієї модальності. Наприклад, буває смак гіркого, кислого, солоного. Інтенсивність відчуття – це кількісна характеристика відчуття, вона відповідає силі стимула. Властивості аналізаторів вивчали Вебер та Фехнер. Вони знайшли залежність між сенсорним відчуттям та їх порогами. Абсолютний поріг відчуття – це та найменша сила подразника, яка викликає вперше сенсорне відчуття (R).

Диференціальний поріг – це той найменший додаток подразнення до абсолютного порогу, який викликає зміну відчуття. Експериментально встановлено, що диференціальний поріг дорівнює 1/33 частині абсолютного порогу. Згідно закону Вебера –Фехнера, інтенсивність відчуття знаходиться в логарифмічній залежності від абсолютного та диференціального порогів відчуття. Таку залежність виражають наступною формулою:  $S = a \cdot \log \cdot (R+b)$ .

S – відчуття, a – коефіцієнт для даного виду подразника, R – абсолютний поріг, b – диференціальний поріг.

Часовий поріг – це найменший проміжок часу дії подразника, який потрібен для виникнення відчуття.

Кожен аналізатор структурно складається з трьох частин:

1. Периферичний або рецепторний відділ.
2. Провідниковий відділ.
3. Мозковий відділ.

**Рецепторний відділ** аналізатора – це «вікна» нервової системи. Вони являють собою спеціалізовані клітини або вільні нервові закінчення, розташовані на відкритих зонах шкіри, слизової оболонки і реагують в першу чергу на адекватні подразнення. Проте мозок повинен знати не тільки про зміни в навколишньому середовищі, але і про те, що відбувається всередині організму. Тому рецептори знаходяться в кожному внутрішньому органі і навіть в самому мозку (гіпоталамус,

довгастиї мозок). За місцем розміщення рецептори бувають контактні та дистантні. Контактні збуджуються при безпосередньому контакті з джерелом подразнення (тактильні рецептори). Дистантні рецептори отримують інформацію на деякій відстані від джерела подразнення (зорові, звукові, нюхові).

За локалізацією рецептори бувають: екстерорецептори – рецептори, розміщені в шкірі; пропріорецептори – рецептори, розміщені в м'язах, на суглобах і в сухожилках; інтерорецептори – рецептори, розміщені в внутрішніх органах. За адекватністю подразнення рецептори бувають: хеморецептори, механорецептори, фоторецептори, ноцірецептори. За механізмом збудження розрізняють первинновідчуваючі і вторинновідчуваючі рецептори.

Первинновідчуваючі рецептори – це вільні нервові закінчення. Вони сприймають подразнення, перетворюють його в збудження, при цьому виникає рецепторний потенціал відомий як різновид локального потенціалу. Рецепторний потенціал, досягнувши критичного рівня деполяризації, перетворюється в потенціал дії. До первинновідчуваючих рецепторів відносяться рецептори шкіри, нюху, смаку.

Вторинновідчуваючі рецептори функціонально та структурно інші. В їх складі є рецепторна клітина, навколо якої знаходяться чутливі нервові закінчення нервової клітини. Вони завжди мають свою фонову активність. При дії подразника подразнення сприймає рецепторна клітина, в ній виникає рецепторний потенціал (РП), який призводить до виділення медіатора. Останній викликає деполяризацію постсинаптичної мембрани, що породжує генераторний потенціал (аналог збуджуючого постсинаптичного потенціалу), при досягненні ним критичного рівня деполяризації виникає потенціал дії. До вторинновідчуваючих рецепторів відносяться зорові, слухові, вестибулярні рецептори.

Рецептори мають таке призначення:

1. Виявлення та розпізнавання сигналів.
2. Сприйняття подразнення.
3. Перетворення сигналів в потенціал дії та кодування подразника:

а) первинне кодування – це кодування виду подразника, його частоти та інтенсивності у вигляді пачок імпульсів певної частоти, тривалості, певних інтервалів між пачками, що створює певний малюнок або патерн;

б) вторинне кодування – це кодування якості подразнення, ознак подразника, стискання інформації в часі (часове кодування) та стискання інформації в просторі (просторове кодування). Інтенсивність стимулів кодується частотою імпульсів, характер подразнення позначається групуванням імпульсів, тобто імпульси йдуть пачками з певними інтервалами – створюється часовий малюнок (патерн). Він містить певне число імпульсів в пачці, для кожного подразника воно різне, так само різні інтервали між імпульсами в пачці та між пачками. Під час первинного кодування змінюється кількість збуджених нейронів, які локалізуються як в ЦНС, так і в корі великих півкуль.

4. Первинний аналіз отриманої інформації.
5. Відбір корисної інформації.

**Провідниковий відділ** кожного аналізатора включає, як правило, 3 нейрони.

Перший нейрон розміщується в спінальному ганглії чи в ганглії черепно-мозгового нерву, другий нейрон розміщується в структурах ЦНС, третій нейрон

знаходиться тільки в переключаючих ядрах таламуса. Провідниковий відділ здійснює виявлення та розпізнавання сигналів на основі чого відбувається виділення корисної інформації. Частина отриманої інформації повністю виключається, інша частина затримується на деякий час за рахунок гальмування, решта надходить до кори. З 10 мільйонів біт інформації, направленої до кори, приходиться лише 1 млн. В фільтрації інформації приймають участь ретикулярні ядра, неспецифічні шляхи. Структурно цей процес зумовлений багаточисельними розгалуженнями, колатераліями до різних відділів ЦНС та кори великих півкуль.

**Мозковий відділ** кожного аналізатора розміщений в корі. Він має ядерну та розсіяну частини. Ядерна частина аналізатора знаходиться у специфічному проєкційному полі кори, а розсіяна – у відповідній асоціативній ділянці. Мозковий відділ відповідає за декодування, детектування, впізнання сигналів, побудову образу подразника та формування сенсорного відчуття. Детектування – це вибіркового аналіз окремих ознак подразника. Цю роботу виконують нейрони детектори різних рівней, які збуджуються тільки певними ознаками подразника. Далі відбувається впізнання подразника чи сигналу за рахунок паралельного аналізу всіх ознак подразника. Після цього вищі детектори створюють образ подразника і одночасно формується певне відчуття. Формування відчуття відбувається на всіх відділах аналізатору і завершується в мозковому відділі. За модальністю подразника утворюються самостійні відчуття дотику, зору, слуху, нюху, смаку, холоду, тепла, болю, вібрації, положення тіла та кінцівок по відношенню до тулуба. На основі сукупності всіх відчуттів формується чуттєве сприйняття інформації, її усвідомлення, суб'єктивне відношення до неї у вигляді емоцій. Внаслідок всього виникає сенсорний досвід, тобто створюється пам'ять про дію подразника.

Сприйняття інформації – перцепція – це відображення в свідомості людини предметів та явищ дійсності при безпосередній дії їх на аналізатори в цілому.

### **Механізм сприйняття інформації**

Сенсорна інформація у вигляді потенціалу дії від рецепторів поступає в спеціалізовані зони кори великих півкуль, де міститься великий набір нейронів – детекторів, що спеціалізуються в розпізнаванні різних предметів чи явищ навколишнього світу. При цьому збуджується певна кількість нейронів-детекторів і створюється в корі «малюнок» (як на коврі). Обидві півкулі звертаються до структур пам'яті, де зберігається інформація про попередню дію таких подразників (сенсорний досвід). В результаті цього «малюнок» наповнюється змістом, тобто «оживає». Права півкуля на основі малюнка створює цілісне уявлення про предмет чи явище навколишнього світу. Ліва півкуля піддає тонкому аналізу і синтезу створений малюнок, включає мислення, відбувається абстрагування, сенсорна інформація усвідомлюється і з'являється сенсорне відчуття.

### **КЛАСИФІКАЦІЯ СЕНСОРНИХ СИСТЕМ**

1. Сенсорні системи, пов'язані з органами чуття (зорова, слухова, вестибулярна, смакова, нюхова).
2. Сомато-вісцеральні сенсорні системи (чутливість шкіри, глибока чутливість, чутливість внутрішніх органів)

# ЗОРОВИЙ АНАЛІЗАТОР

План лекції :

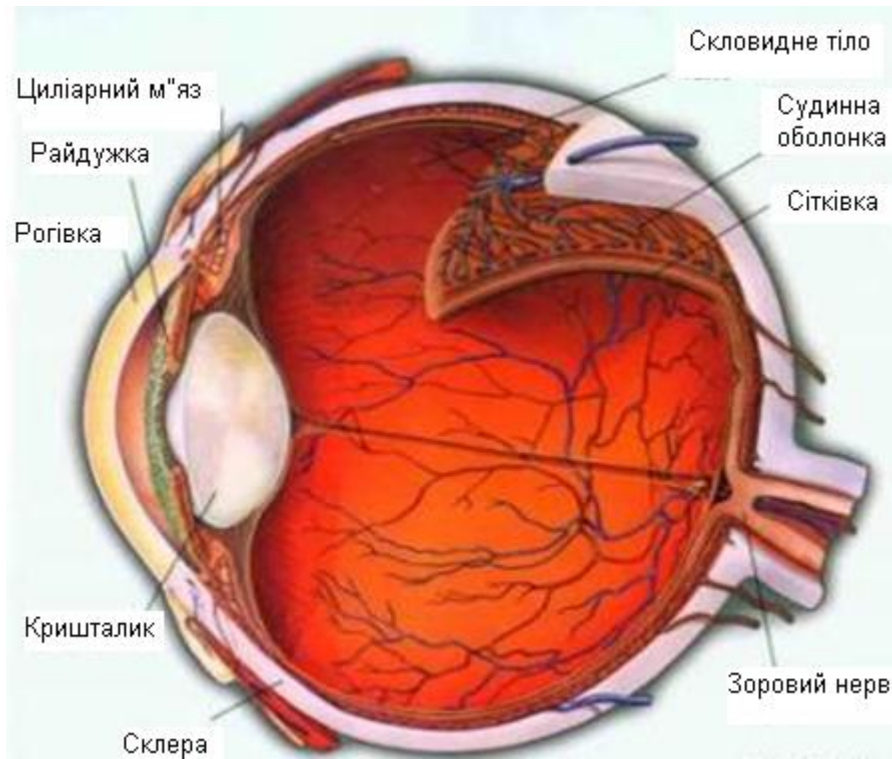
1. Загальна характеристика зорового аналізатору.
2. Відділи зорового аналізатору, їх призначення.
3. Ретино-моторні реакції ока.
4. Фотохімічні реакції в фоторецепторах.
5. Електричні реакції в фоторецепторах.
6. Оптична система ока.
7. Зіничний рефлекс, його значення в клініці.
8. Акомодація ока, її механізм.
9. Адаптація зорового аналізатора.
10. Механізм сприйняття кольорів.
11. Гострота зору.
12. Електроретинограма.

Зоровий аналізатор забезпечує надходження в організм людини з навколишнього світу до 80 % інформації. Він оцінює розмір, форму, об'єм та колір предметів, джерело світла, відстань до предметів, відрізняє світло від темряви, оцінює ступінь освітлення приміщення, розрізняє предмети під час руху.

Адекватним подразником для зорового аналізатору є розбіжні промені світла з довжиною хвиль 300 – 950 нм, частотою від  $4 \cdot 10^{14}$  до  $8 \cdot 10^{14}$  Гц. Найбільша чутливість його до світла знаходиться в діапазоні 400 – 700 нм. В складі очного яблука розрізняють 3 оболонки, кришталік, скловидне тіло, передня та задня камери ока, заповнені водянистою вологою. Зовні очне яблуко вкрите білковою оболонкою білого кольору, спереду вона переходить в склеру, а потім в прозору оболонку – рогівку. Рогівка немає власних кровоносних та лімфатичних судин, багата чутливими нервовими закінченнями трійчастого нерва. Трофіка її забезпечується речовинами з камер ока та за рахунок петлистої кров'яної сітки.

Зовнішня оболонка підтримує тургор та форму ока, забезпечує захисну реакцію викликаючи сльозотечу та блефороспазм. Крім того, рогівка має здатність заломлювати промені світла. Її оптична сила досягає 40 Діоптрій (Д), (мал.1).

Середня оболонка ока називається судинною. Вона включає власне судинну оболонку, ціліарне тіло. Судинна оболонка спереду переходить в кольорову частину – радужку. Колір радужки залежить від кількості хромофорів в пігментному шарі сітківки. В центрі радужки знаходиться дірка – це зіниця ока (мал.2). Вона регулює потік світла на сітківку за рахунок зміни ширини зіниці. Середня оболонка ока забезпечує кровопостачання ока, утворює вологу камер ока, приймає участь в адаптації.



Мал. 1 Будова ока.

Внутрішня оболонка називається сітківкою. Вона має 10 шарів клітин, з яких 3 є нейронами:

1 – пігментний шар, забезпечує колір очей, забезпечує виробку зорового пурпура, регулює інтенсивність світлового потоку на сітківку.

2 – шар фоторецепторів. Це палички та ковбочки, їх світлочутливі сегменти повернені в сторону протилежну джерелу світла.

3 – зовнішня погранична мембрана – дає тонкі волокна, які захищають фоторецептори від руйнування,

4 – зовнішній ядерний шар – це волокна і ядра фоторецепторів,

5 – зовнішній ретикулярний шар – вільні закінчення зорових клітин з'єднуються тут з відростками біполярних клітин,

6 – внутрішній ядерний шар клітин – це шар біполярних, амакринових та горизонтальних клітин,

7 – внутрішній ретикулярний шар – місце з'єднання біполярних і амакринових клітин з гангліозними,

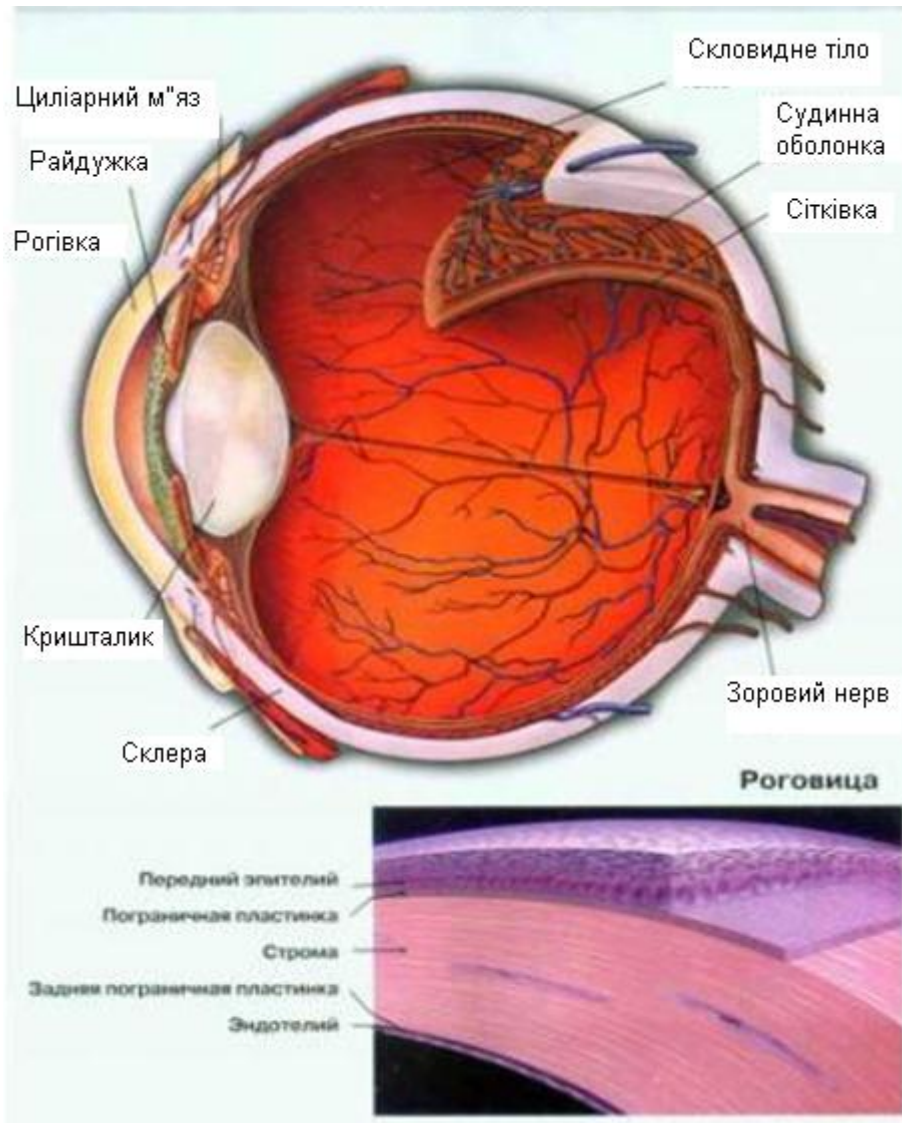
8 – шар гангліозних клітин та клітин нейроглії,

9 – шар нервових волокон – це аксони гангліозних клітин, що утворюють зоровий нерв,

10 – внутрішня погранична мембрана – відділяє сітківку від скловидного тіла.

На вхід кожної гангліозної клітини поступають сигнали від декількох біполярних клітин, від горизонтальних та амакринових клітин. Дендрити їх створюють структурну основу для конвергенції сигналів.





Мал. 2 Оболонки ока.

Разом з тим, з'єднання одного фоторецептора з декількома біполярними клітинами, а останніх з гангліозними створює основу для дивергенції сигналів.

Сітківка забезпечує гостроту зору, сприймає світло, колір предметів, забезпечує адаптацію ока.

Скловидне тіло – це желеподібна маса з ніжними фібрилами, вона виповнює порожнину ока, забезпечує заломлення світла, підтримує форму ока.

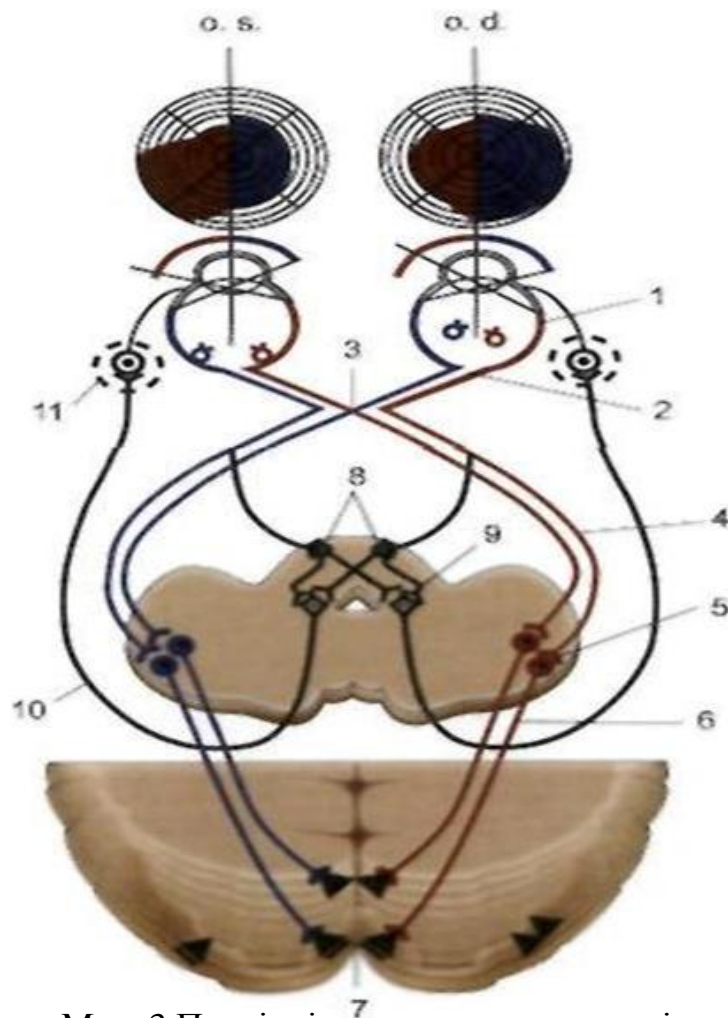
Кришталик – це двояко випукла лінза, здатна заломлювати промені світла, забезпечує акомодацию ока.

### Відділи зорового аналізатора

**1. Рецепторний відділ** – це палички та ковбочки, розміщені в сітківці (фоторецептори). Кожен з них складається з 2 сегментів: зовнішнього, в якому є пігменти (родопсин – в паличках, йодопсин – в ковбочках) та внутрішнього, де містяться ядро і мітохондрії з запасом енергії. **Палички** знаходяться по периферії, їх до 120 млн. в одному оці. Вони оцінюють кількість світла, являються рецепторами присмеркового (нічного), периферичного, безкольорового, нечіткого бачення. **Ковбочки** знаходяться переважно в центрі сітківки, їх біля 7 млн. в одному оці.

Найбільша щільність їх в жовтій плямі (140 000 на 1 мм<sup>2</sup>), має розмір 1,5 мм, розміщується на 4 мм назовні від сліпої плями. Сліпа пляма – це місце виходу зорового нерва, тут зовсім немає фоторецепторів. Ковбочки є елементами якісної оцінки світла, рецепторами центрального, денного, кольорового та чіткого бачення предметів. Протилежність у функціях фоторецепторів лягла в основу теорії двоїстості функції сітківки. Рецепторний відділ забезпечує сприйняття подразнення, його первинний аналіз та кодування інформації.

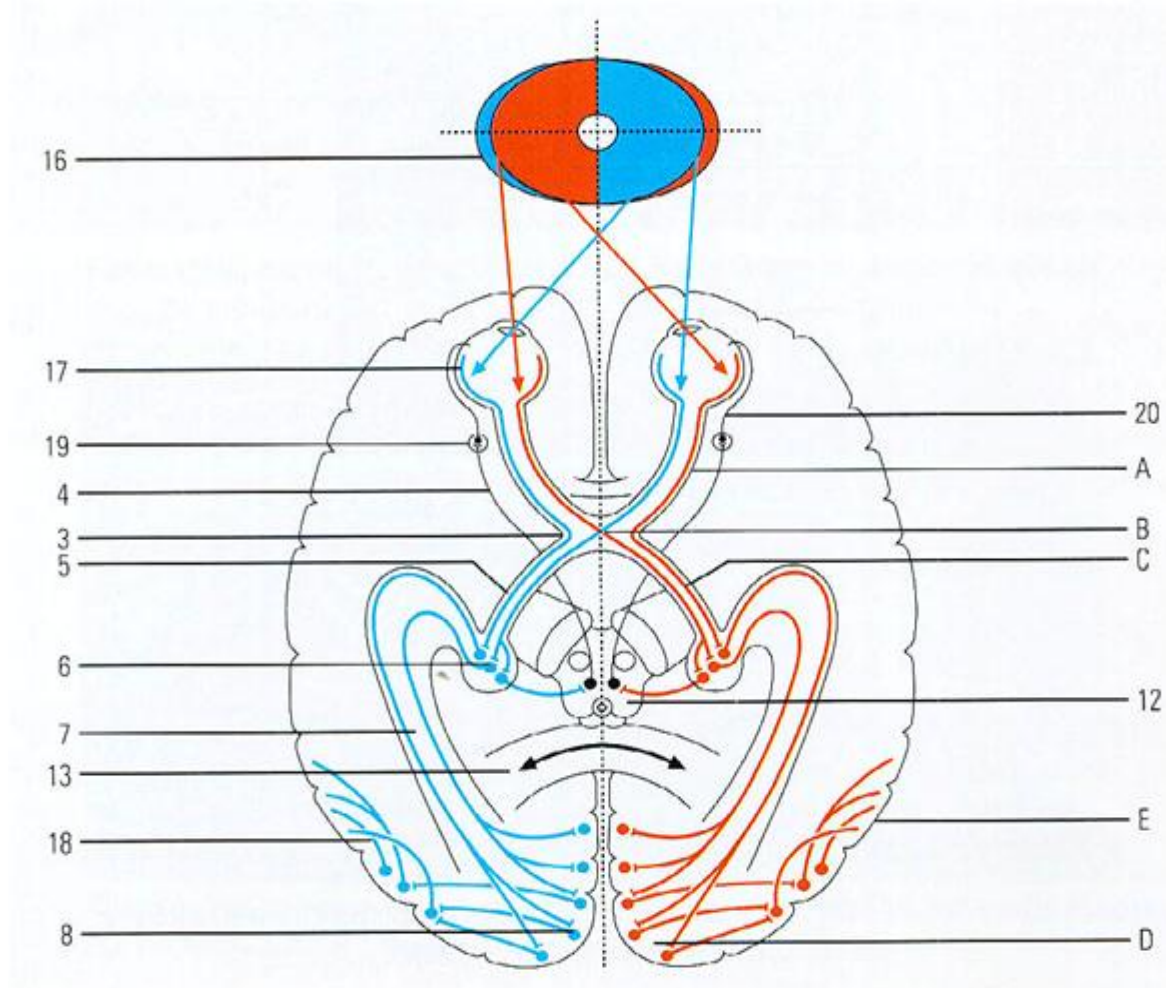
**2. Провідниковий відділ** (мал. 3) забезпечує відбір корисної інформації, здійснює оцінку рівня освітлення, сприйняття контрастних предметів, предметів, що рухаються, сприйняття кольорів. Цей відділ включає 3 нейрони : перший – знаходиться в шарі біполярних клітин, другий нейрон – це гангліозні клітини, їх аксони утворюють зоровий нерв, який після перехрестя (перехрещуються тільки медіальні пучки волокон над зоною турецького сідла) формують зоровий тракт, що йде в таламус. Третій нейрон – це латеральні колінчасті тіла та подушка, розміщені в таламусі. Третина волокон зорового тракту заходить в передні горбки четверогорб'я. Вони регулюють напрямок погляду і формують орієнтовний рефлекс на світло. Колінчасті тіла забезпечують розподіл інформації від правого і лівого ока, формують стереоскопічний зір (мал.4)



Мал. 3 Провідні шляхи зорового аналізатора

1 – очне яблуко; 2 – зоровий нерв; 3 – зоровий перехрест; 4, 6 – зоровий тракт; 5 – латеральні колінчасті тіла; 7 – потилична кора; 8 – передні горбки четверогорб'я.

3. **Мозковий відділ** знаходиться в потиличній корі навколо острогової борозни (*fissura calcarina*). Це проєкційне специфічне поле № 17, навколо якого розміщуються асоціативні поля. Зорові імпульси сприймаються відповідними ділянками сітківки обох очей і завдяки перехресту зорових нервів потрапляють в одну півкулю. Це забезпечує спільне поле зору. Кожне поле № 17 зв'язане з зовнішньою половиною сітківки цієї ж сторони та внутрішньою частиною протилежної сторони. Специфічні проєкційні поля допомагають розрізнити контури, величину і форму предметів, формують відчуття світла. Асоціативні поля допомагають впізнавати предмети, визначати джерело світла і відстань до нього, керують рухами очей і голови, фіксують погляд. Імпульси від фоторецепторів конвергують на одній гангліозній клітині (130:1), відбувається сумація збуджень. Взаємодія сусідніх нейронів сітківки забезпечується горизонтальними та амакриновими клітинами. Вони регулюють величину рецепторного поля. Для гангліозних клітин вони здійснюють латеральне гальмування. Одна ковбочка жовтої плями зв'язана з однією біполярною клітиною і однією гангліозною клітиною, яка має точкове представництво в проєкційному полі № 17, що забезпечує чіткість бачення предметів. А палички дещо інше – тільки 100 паличок мають точкове представництво в корі.



Мал.4 Зоровий перехрест.

**Акт зору** складається з декількох процесів: промені від розглядуваного предмету потрапляють на сітківку і викликають подразнення фоторецепторів, внаслідок чого виникають ретино- моторні, фотохімічні та електричні реакції. При цьому виникає збудження з одночасним кодуванням інформації, фільтрацією сигналів та створенням образу подразника. Все це формує зорове відчуття.

**Ретино-моторні реакції** регулюють інтенсивність освітлення зорових клітин. При сильному освітленні клітини пігментного шару витягують свої відростки між паличками та ковбочками. Палички втягують внутрішні членики, глибоко ховаються за відростки пігментних клітин, щоб не зруйнуватись потоком світла. Ковбочки виходять назустріч світлу і збільшуються в об'ємі.

**Фотохімічні реакції** відбуваються головним чином в зовнішньому сегменті і супроводяться розпадом пігменту на світлі чи ресинтезом його в темноті. Найкраще вивчено перетворення родопсину. Квант світла діє на сітківку і викликає поступове перетворення родопсину з втратою ним червоного кольору (родопсин  $\rightarrow$  прелюміродопсин  $\rightarrow$  люміродопсин  $\rightarrow$  метародопсин – 1  $\rightarrow$  метародопсин-2). Останній розщеплюється на трансретинен і опсин.

З трансретинену під впливом редуктази утворюється вітамін А.

В темноті з вітаміну А утворюється його альдегід, який є джерелом для ресинтезу родопсину. Це також ферментативний процес.

**Електричні реакції.** Через 1 мсек після дії кванта світла з'являється РРП (ранній рецепторний потенціал), в основі його лежить конформація молекули родопсину і деполяризація мембрани фоторецепторів. Він викликає інактивацію натрієвих каналів за рахунок впливу іонів кальцію і формує ПРП (пізній рецепторний потенціал), що призводить до гіперполяризації мембрани за рахунок виходу калію з клітини назовні. При цьому біполярні клітини виділяють медіатор, внаслідок чого виникає генераторний потенціал. Він електротонічно поширюється по аксону, інформує ЦНС про прибуття кванта світла, викликає зміни в іонних каналах і сприяє утворенню потенціалу дії. В темноті мембрана фоторецептора має велику проникливість для натрію за рахунок деполяризації. Світло зменшує кількість відкритих натрієвих каналів та виділення медіатора.

### **Оптичні середовища ока**

Здатність заломлювати світло мають рогівка, кришталик, волога камер ока та скловидне тіло. Заломлююча сила ока (рефракція) дорівнює 58,6 Д.

Найбільшу заломлюючу силу має рогівка ока (40 Д). В нормі довжина ока (відстань від переднього полюса ока до місця виходу зорового нерва) складає 22,5 – 24 мм, при цьому передня фокусна відстань дорівнює 7,5 мм, задня – 15 – 17мм. Зображення предмета буде на сітківці ока зменшене, дійсне, перевернуте. При цьому оптична сила ока складатиме 58,6 діоптрій. Таке око називають еметропічним. Спрощену модель ока з однією заломлюючою поверхнею оптичною силою в 58,6 діоптрій називають редукованим оком. Якщо змінюється довжина ока, то це призводить до зміни оптичної сили ока і переміщення зображення з сітківки. Так виникають аномалії рефракції ока (мал.5).

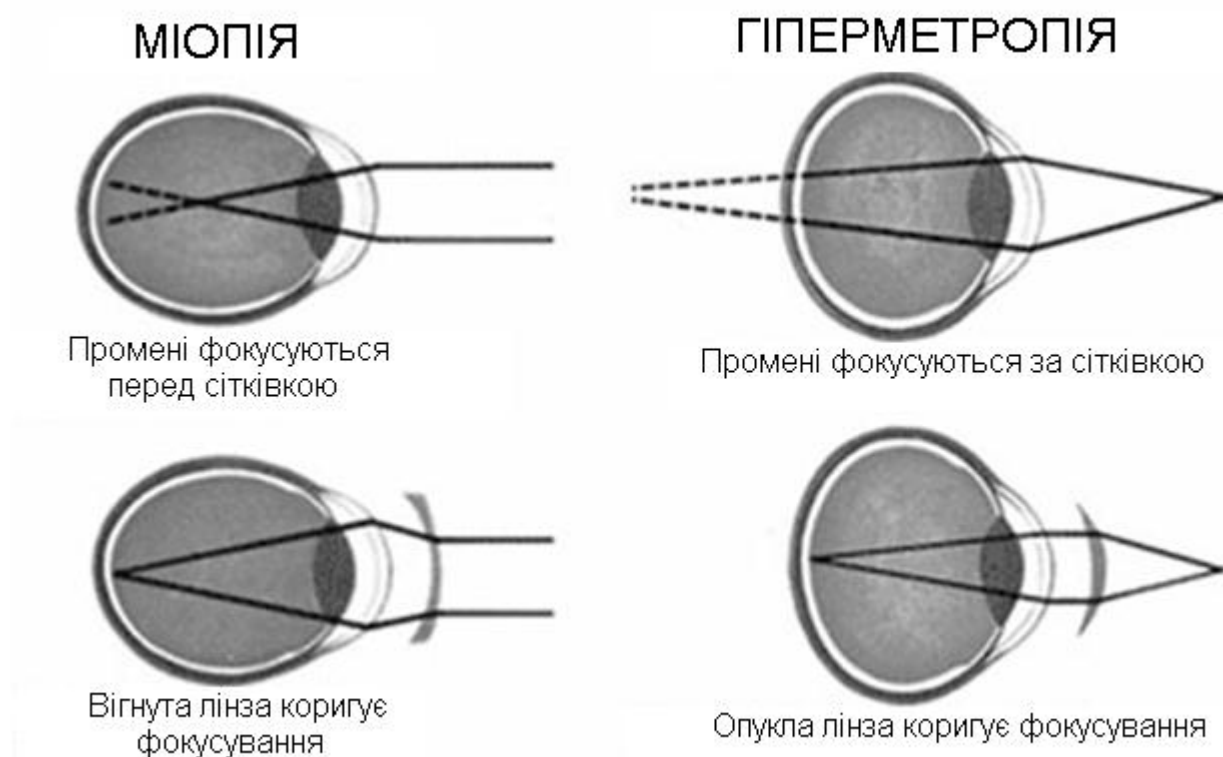
**Міопія** – короткозорість, пов'язана зі збільшенням довжини ока, збільшенням оптичної сили ока, віддалені предмети не фокусуються на сітківці. Зображення при



цій аномалії рефракції буде перед сітківкою. Для корекції виписують розсіюючі лінзи, щоб зменшити оптичну силу ока і повернути зображення на сітківку.

**Гіперметропія** – далекозорість, довжина ока менше 22 мм, зображення при цьому буде за сітківкою, оптична сила ока зменшена. Для корекції зору виписують випуклі збираючі лінзи.

**Астигматизм** – немає чіткого зображення на сітківці через нерівномірну заломлюючу силу рогівки ока по меридіанах, відбувається викривлення зображення. В цих випадках окуляри підбирають індивідуально (товсті випуклі лінзи, враховуючи відхилення для кожного меридіану відповідно). Астигматизм вимірюють спеціальним приладом (диск Плацидо). Лікар дивиться на рогівку пацієнта через отвір в центрі диска і бачить на ній мініатюрні відображення концентричних кілець. При астигматизмі кільця деформуються або набувають форми еліпсів.

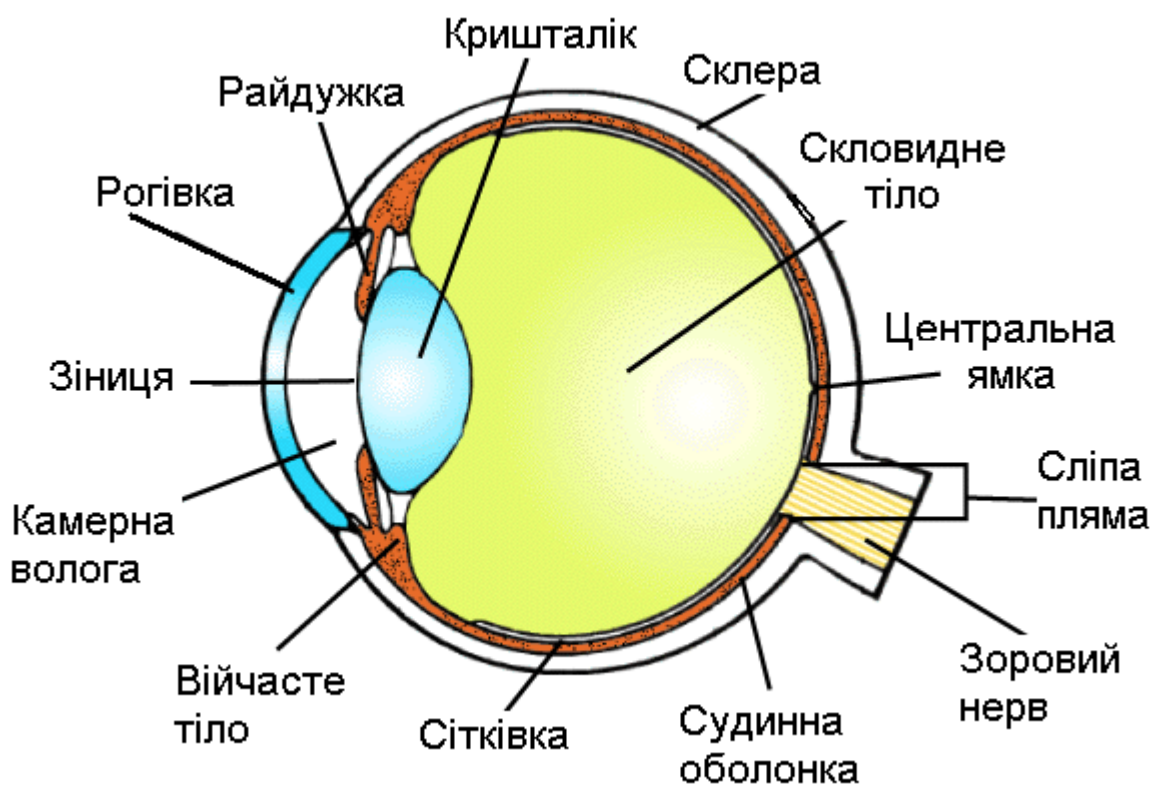


Мал.5 Зліва – міопія до і після корекції. Справа – гіперметропія до і після корекції.

### АКОМОДАЦІЯ ОКА

Це пристосування ока до чіткого бачення предметів на близьких відстанях. Акомодаційний апарат включає: кристалик, його капсулу, цинові зв'язки, ціліарні м'язи, нервові волокна. Механізм акомодатії ока рефлекторний. Адекватним подразником є розпливчасте зображення на сітківці від розсіяних променів світла, що йдуть від близьких предметів. Рецептори – фоторецептори, чутливим нервом є зоровий нерв, центр цього рефлексу знаходиться в ядрах Едінгера і Вестфалія – Якубовича середнього мозку; руховий нерв – парасимпатичні волокна, які

направляються до *m.ciliaris*, до якого прикріплюються цинові зв'язки, зв'язані з капсулою кришталика. При скороченні цього м'язу цинові зв'язки послабляються, що зменшує натягнення капсули кришталика і дає можливість йому стати більш випуклим. При цьому оптична сила ока збільшується на 14 діоптрій. Так включається акомодация при баченні предметів на близькій відстані. Погляд вдалину з відстані 5 метрів і більше виключає механізм акомодации. При цьому розслаблюється круговий м'яз, цинові зв'язки натягуються, кришталик стає плоским. Для нормального ока найближча точка чіткого бачення знаходиться на відстані 12 см. З віком акомодация погіршується, найближча точка бачення віддаляється. Це називається віковою далекозорістю (пресбіопія). Вона настає внаслідок ущільнення кришталика та втрати еластичності акомодацийним апаратом. В 75 років акомодация зникає. Люди любого віку, що працюють з дрібними предметами, багато читають з часом помічають, що акомодация погіршується, то для корекції виписують окуляри для читання у вигляді випуклих лінз.



Мал.6 Акомодацийний апарат ока.

### Зіничний рефлекс

Реакція ока на світло (звуження зіниці) являє собою рефлекторний механізм обмеження кількості світла на сітківку. В нормі ширина зіниці складає 1,5 – 8 мм. Ступінь освітлення приміщення може змінювати ширину зіниці в 30 разів. При звуженні зіниці зменшується потік світла, зникає сферична аберация, яка дає на сітківці кола саморозсіювання. При слабкому освітленні зіниця розширюється, що покращує бачення. Зіничний рефлекс приймає участь в адаптації ока. Він має діагностичне значення:

1. Розширення зіниці з відсутністю реакції на світло є ознакою біологічної смерті і показником гальмування стовбурових рефлексів.
2. Розширення зіниці може відбуватись внаслідок розвитку гіпоксії.
3. Розширення зіниці може бути ознакою наявності в організмі болю.
4. По ширині зіниці судять про глибину наркозу.

Рефлекторна дуга звуження зіниці: фоторецептори → зоровий нерв → ядро Якубовича → війковий ганглії → окоруховий нерв → скорочення сфінктера зіниці → звуження зіниці.

Рефлекторна дуга розширення зіниці: фоторецептори → симпатичні волокна → симпатичний ганглії → спинний мозок (С7, Т 1) → м'яз, що розширює зіницю (скорочення його) → розширення зіниці.

### Адаптація ока

Це пристосування ока до бачення предметів в умовах різної інтенсивності освітлення приміщення. Розрізняють світлову і темнову адаптації. **Світлова адаптація** розвивається, коли людина виходить з темного приміщення на світло. При переході від темноти до світла настає тимчасове осліплення. Світлова адаптація триває 5 – 10 хвилин. В основі її розвитку лежать такі механізми:

1. Зниження чутливості фоторецепторів до світла.
2. Звуження рецепторного поля за рахунок розриву зв'язків горизонтальних клітин з біполярними клітинами.
3. Розпад родопсину (0,001 сек.)
4. Звуження зіниці.

**Темнова адаптація** здійснюється при переході з освітленого приміщення в темноту. Вона триває 40 – 80 хвилин. При цьому відбуваються такі процеси :

1. Підвищення чутливості фоторецепторів до світла у 80 разів.
2. Ресинтез родопсину (0,08 сек.)
3. Розширення зіниці.
4. Збільшення числа зв'язків паличок з нейронами сітківки.
5. Збільшення площі рецептивного поля.

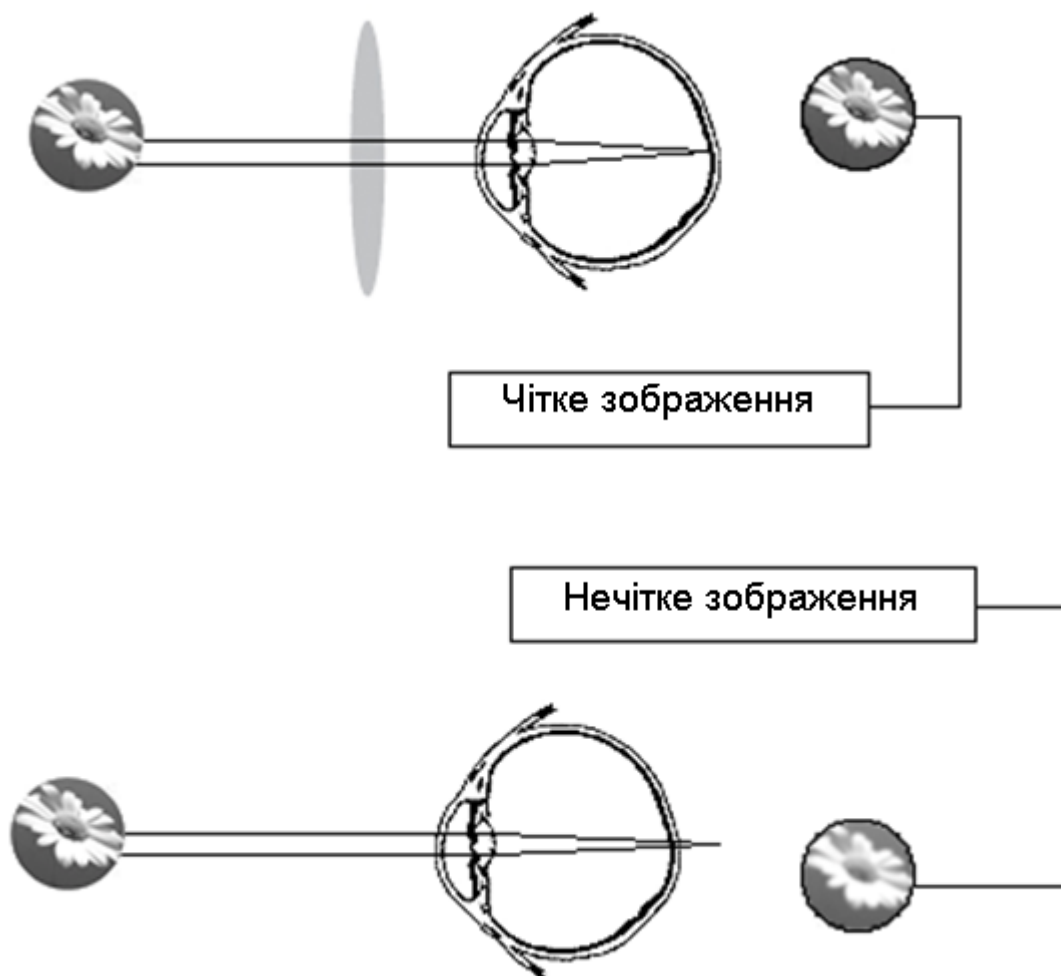
В темноті утворюються нові зв'язки між паличками і біполярними клітинами за рахунок відростків горизонтальних клітин. Внаслідок цього більше паличок конвергує на біполярні клітини. Відбувається просторова сумація. Збільшується площа рецепторного поля на гангліозні клітини. Крім того, амакринові клітини посилюють конвергенцію біполярних клітин на гангліозні. При недостатці вітаміну А в організмі не відбувається ресинтез родопсину, людина в сутінках погано бачить, настає куряча сліпота (геміралопія).

### ГОСТРОТА ЗОРУ

Це здатність ока бачити окремо 2 точки, якщо на сітківку діють паралельні промені світла. При цьому на сітківці збуджуються 2 ковбочки, між якими має бути 1 незбуджена ковбочка (відстань = 0,004 мм). Гострота зору дає кількісну оцінку зоровому сприйняттю (мал..7)

Промені падають на сітківку під кутом в одну хвилину. Якщо збуджуються дві

ковбочки, розміщені поряд, то буде розпливчата пляма. Визначення гостроти зору проводять за допомогою таблиці Сівцева з відстані 5м для кожного ока окремо. Таблиця має бути рівномірно освітленою боковим світлом інтенсивністю 700 люкс. Якщо людина вільно читає букви таблиці третього ряду знизу чи десятого ряду зверху, то гострота її зору = 1,0. При зниженні гостроти зору корекцію проводять підбираючи окуляри з відповідною оптичною силою.



Мал. 7

## СПРИЙНЯТТЯ КОЛЬОРІВ

Людське око сприймає 7 основних кольорів і 2000 різних відтінків. Механізм сприйняття кольорів пояснюється різними теоріями. Згідно трьох-компонентної теорії Юнга – Гельмгольца – Ломоносова на сітківці є 3 види ковбочок, які реагують на різну довжину променів світла. Це створює різні варіанти сприйняття кольорів. Перший тип ковбочок реагує на довгі хвилі довжиною 610 – 950 мкм і дає відчуття червоного кольору. Другий тип ковбочок реагує на середні хвилі довжиною 460 – 609 мкм і дає відчуття зеленого кольору. Третій тип ковбочок сприймає короткі хвилі довжиною 300 – 459 мкм, формує відчуття синього кольору. Одночасне збудження першого і другого типів формує відчуття жовтого та оранжевого кольорів, а другого і третього дають фіолетовий та голубуватий кольори. Одночасне



збудження всіх 3 видів ковбочок створює відчуття білого кольору, а гальмування їх формує чорний колір. Теорія опонентних кольорів Герінга свідчить про наявність в ковбочках трьох видів пігменту, розпад якого дає один колір, а ресинтез його забезпечує протилежний колір. В результаті цього утворюються пари кольорів: червоно – зелений, синьо – жовтий, біло – чорний. Гранітом експериментально доведено, що існує 7 груп гангліозних клітин, які реагують тільки на один колір, їх назвали модуляторами, решта клітин реагують на всі кольори, їх називають домінаторами. Зонна теорія Кріса об'єднує попередні теорії: на рівні фоторецепторів механізм сприйняття кольорів пояснює перша теорія (трьохкомпонентна), на рівні колінчастих тіл правомірною є теорія Герінга, а на рівні гангліозних клітин – теорія Граніта. Доказом трьохкомпонентної теорії являються аномалії сприйняття кольорів, що розвиваються у 7 – 8 % людей. У них спостерігається випадіння сприйняття певної довжини променів світла. Випадіння формує відчуття сірого кольору. Так, протанопи не сприймають червоний колір, мають випадіння сприйняття хвиль довжиною 490 мкм; дейтеранопи. не сприймають зелений колір, мають випадіння сприйняття хвиль довжиною 500 мкм; тританопи не сприймають синьо-фіолетовий колір, в них випадіння сприйняття хвиль довжиною 470 і 580 мкм. Повна втрата здатності сприймати кольори називається анопія, при цьому люди бачать все тільки в чорно – білому кольорі. Існує червоно – зелена сліпота – неможливість відрізнити червоний колір від зеленого – це дальтонізм. Визначення сприйняття кольорів у людини проводять за допомогою анімалоскопів або поліхроматичних таблиць Рабкіна. У тварин сприйняття кольорів різне: кішки розрізняють 6 кольорів, коні – лише 4 кольори, у собак кольоровий зір відсутній. Різниця потенціалів, що виникає на сітківці ока реєструється у вигляді електроретинограми.

# ВЕСТИБУЛЯРНИЙ АНАЛІЗАТОР

План лекції:

1. Функції вестибулярного аналізатора.
2. Характеристика відділів вестибулярного аналізатора.
3. Механізм збудження вестибулярного апарату.
4. Вестибулярні реакції.

Вестибулярний аналізатор виконує такі функції:

1. Забезпечує аналіз положення тіла в просторі під час руху.
2. Забезпечує збереження рівноваги під час руху.
3. Проводить аналіз частин тіла по відношенню до тулуба.
4. Забезпечує орієнтацію в просторі при виключенні зорового аналізатора.
5. Визначає напрямок дії сили тяжіння.
6. Створює антигравітаційні сили організму.

Рецепторний відділ цього аналізатора розміщений у внутрішньому вусі і представлений двома зонами: присінком та напівколовими каналами (мал.8). Чутливі клітини присінку розміщені в маточці (utricle) та мішечку (sacculus) Ці клітини мають волоски: один довгий волосок – кіноцілій, багато коротких волосків-статоцілій (по 60-80 на кожній рецепторній клітині). Волоски занурені в желатиноподібну масу з кристалами карбонату кальцію (мал.9). Це отолітова мембрана. Кристали називають статолітами або отолітами (вушні камінці). При вертикальному положенні тіла отоліти ніби сидять на волосках. Чутливі клітини оплетені нервовими закінченнями вестибулярного нерву.



Мал. 8 1, 2, 4 – присінок; 2 – маточка; 4 – мішечок; 6, 7, 9 – напівколові канали; 3 – равлик.

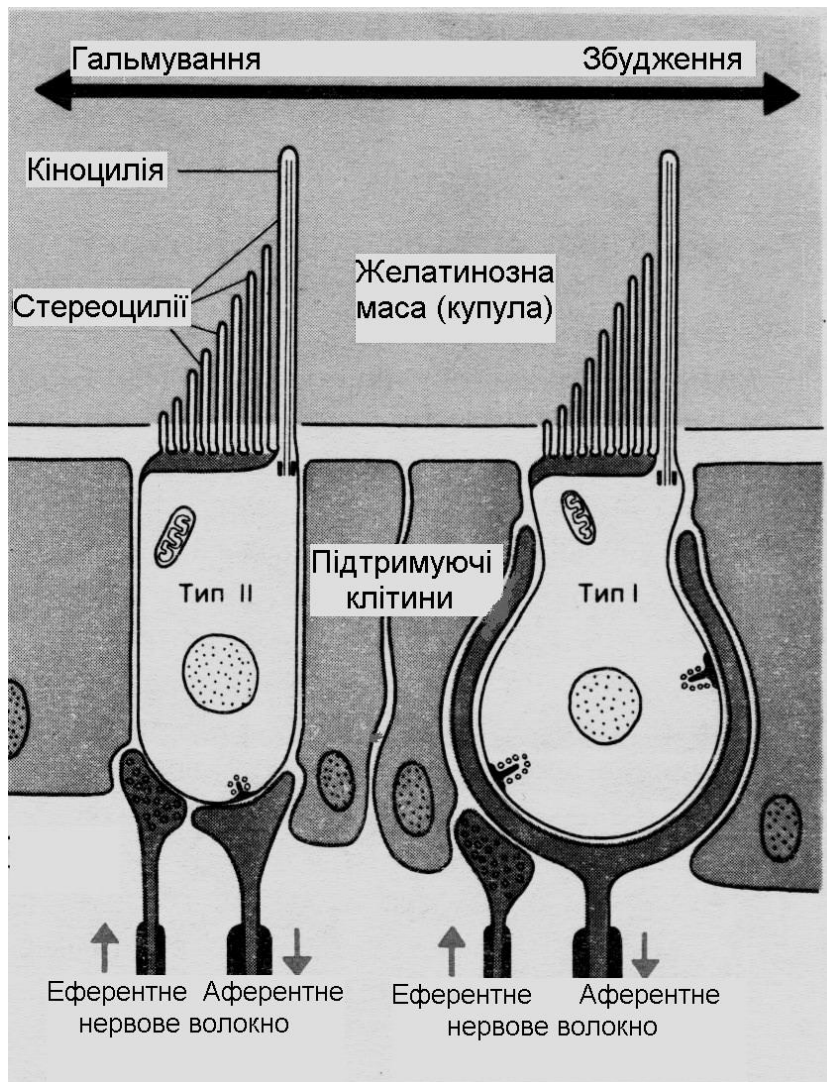
Адекватним подразником для рецепторів присінку є прискорення прямолінійного руху, нахили голови та тулуба, зміна напрямку гравітаційних сил, тряска, вібрація та качка, але основним подразником є прискорення сили тяжіння. При цьому відбувається зміщення отолітової мембрани, що призводить до натягування або деформації волосків чутливих клітин. Отолітова мембрана має вагу, тому подразнення викликає постійно формування потоку імпульсів у відповідні центри, що забезпечує орієнтацію в просторі. Інша рецепторна зона – напівколові канали (сагітальний, фронтальний та горизонтальний), які розміщені перпендикулярно по відношенню один до одного. Канали заповнені ендолімфою, яка містить багато іонів калію (мал.10). В розширеній частині кожного каналу (ампула) є підвищення (гребінець), на якому розміщені рецепторні клітини. Їх волоски також занурені в желеподібну масу багату мукополісахаридами, але без кристалів. Цю масу називають *cupula*. Адекватним подразником для цих рецепторів є прискорення обертальних рухів (кутове, доцентрове прискорення). Завдяки руху ендолімфи *cupula* змінює своє положення і викликає деформацію волосків рецепторних клітин. На початку руху ендолімфа відстає від руху тіла, бо канал вузький, а ендолімфа в'язка рідина. Це призводить до руху ендолімфи в протилежному напрямку. Повернення ендолімфи назад відбувається лише через 20 – 30 сек. При цьому тіло відхиляється назад, зберігаючи рівновагу. В кінці руху ендолімфа продовжує рухатись по інерції, хоч рух уже припинено, тому тіло нахилиється вперед. В рецепторних клітинах виникає рецепторний потенціал, який спричиняє виділення медіатора – ацетилхоліну. Останній викликає генерацію генераторного потенціалу в нервових закінченнях вестибулярного нерва, які оплітають рецепторні клітини. Внаслідок сумачії імпульсів генераторний потенціал зростає, досягає критичного рівня деполяризації, перетворюючись в потенціал дії. Далі інформація йде по провідниковому відділу, який має три нейрони (мал.11).

Перший нейрон розміщується в вестибулярному ганглії (*g. Scarpea*). Звідси аферетні волокна направляються в довгастих мозок до вестибулярних ядер (верхнє – ядро Бехтерева, нижнє – ядро Роллера, латеральне \_ ядро Дейтерса, медіальне – ядро Швальбе). Тут знаходиться другий нейрон провідникового відділу цього аналізатора. Третій нейрон знаходиться в задніх вентральних ядрах таламуса. Звідси сигнали від вестибулярного апарату поступають в мозковий відділ аналізатора – в супрасільвієву та ектосільвієву звивини (нижній край передньої та задньої центральних звивин). Кора забезпечує усвідомлення вестибулярної інформації та певну орієнтацію в просторі. Інформація про положення голови відносно тіла поступає від рецепторів шийних суглобів в вестибулярні ядра. ЦНС одержує інформацію про положення голови відносно тулуба і враховує її при визначенні положення тіла в цілому. Нервові волокна, що виходять з вестибулярних ядер, утворюють звязки з різними відділами мозку: з гама-мотонейронами спинного мозку, мозочком, ретикулярною формацією середнього мозку, гіпоталамусом. Ці зв'язки забезпечують формування моторних реакцій потрібних для підтримки пози, рівноваги, перерозподілу тону м'язів та відповідних око – рухових реакцій без участі свідомості. При тривалому подразненні вестибулярного апарату виникають вестибулярні реакції, комплекс яких називають кінетозами. Вестибулярна реакція

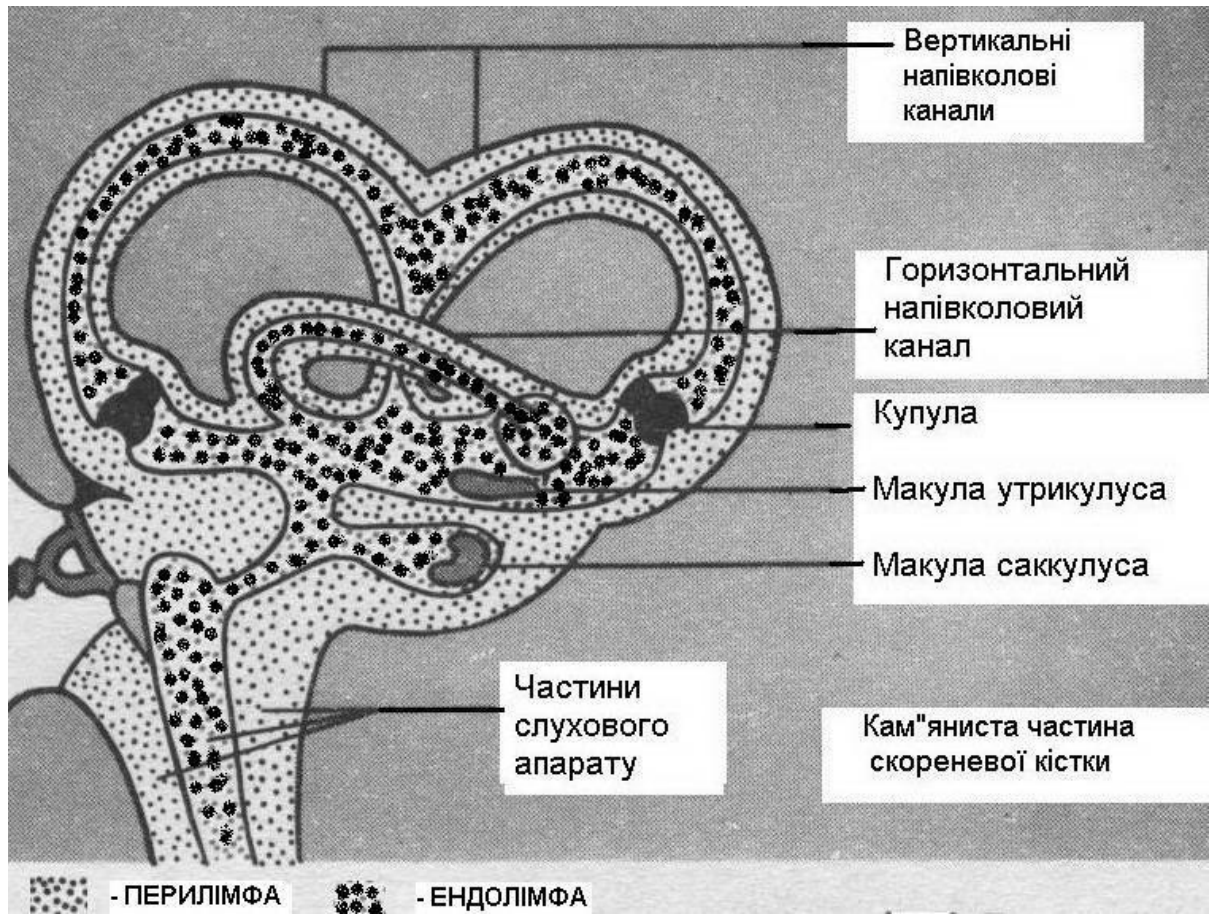
має 3 компоненти: сенсорний, моторний та вегетативний. Сенсорний компонент супроводжується головокружінням, нудотою, втратою орієнтації в просторі.

Моторний компонент включає ністагм, перерозподіл тону м'язів та порушення

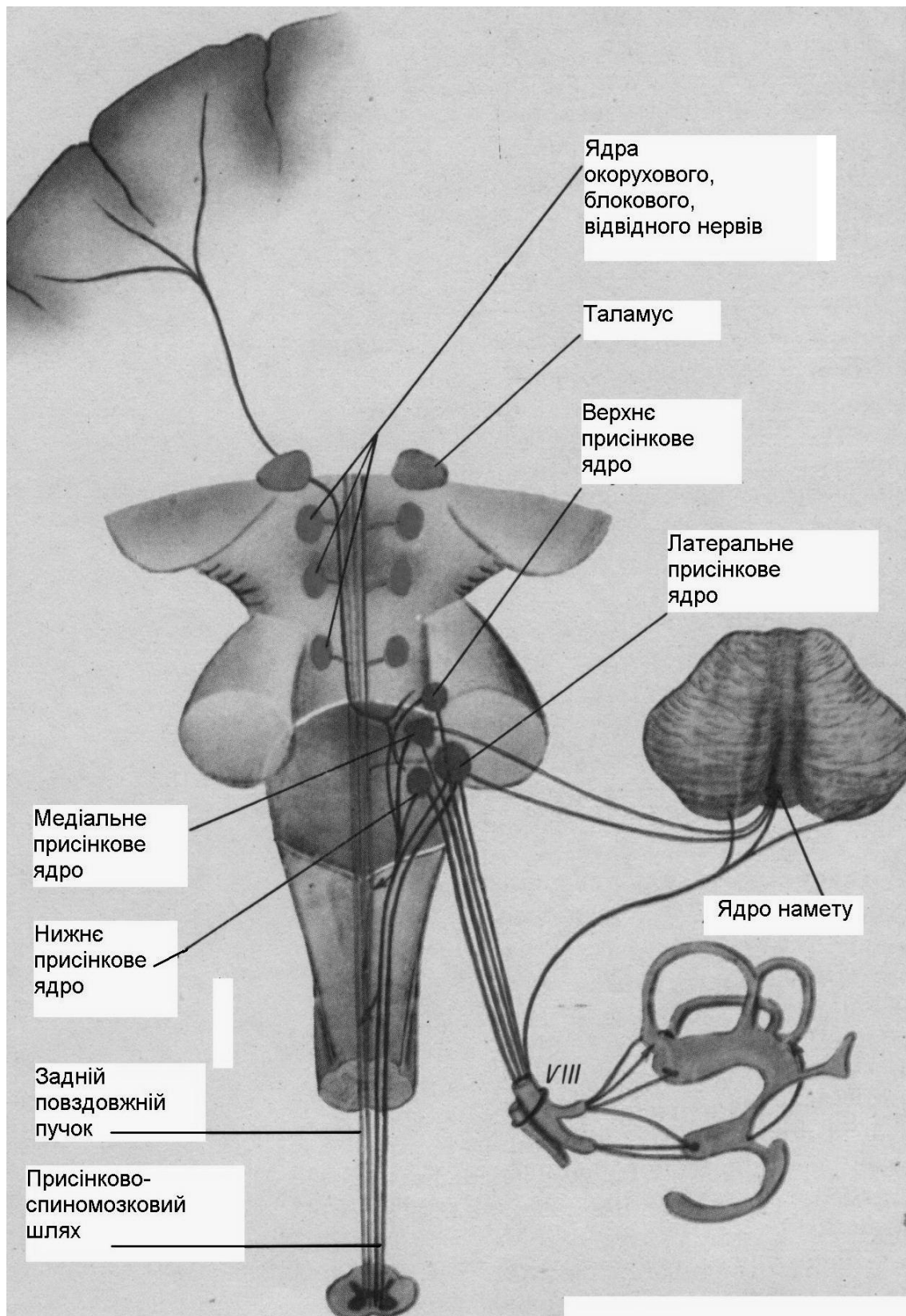
рівноваги. Ністагм – це ритмічні рухи очей спочатку в сторону протилежну обертанню (швидкий компонент, триває до 10 – 15 сек.), а потім рухи очей в сторону обертання (повільний компонент, триває до 25 сек.). Тонус м'язів розподіляється таким чином, що на стороні, в яку обертають пацієнта, підвищується тонус згиначів, а на протилежній стороні підвищується тонус розгиначів. Вегетативний компонент пов'язаний зі зміною роботи внутрішніх органів: тахікардія, підвищення кров'яного тиску, посилення потовиділення. В стані невагомості подразнюються лише рецепторні клітини присінку. Невагомість не впливає на напівколові канали.



Мал.9 Рецепторні клітини вестибулярного аналізатора



Мал. 10 Вестибулярний апарат.



Мал. 11 Провідниковий відділ вестибулярного аналізатора



# ЗВУКОВИЙ АНАЛІЗАТОР

План лекції:

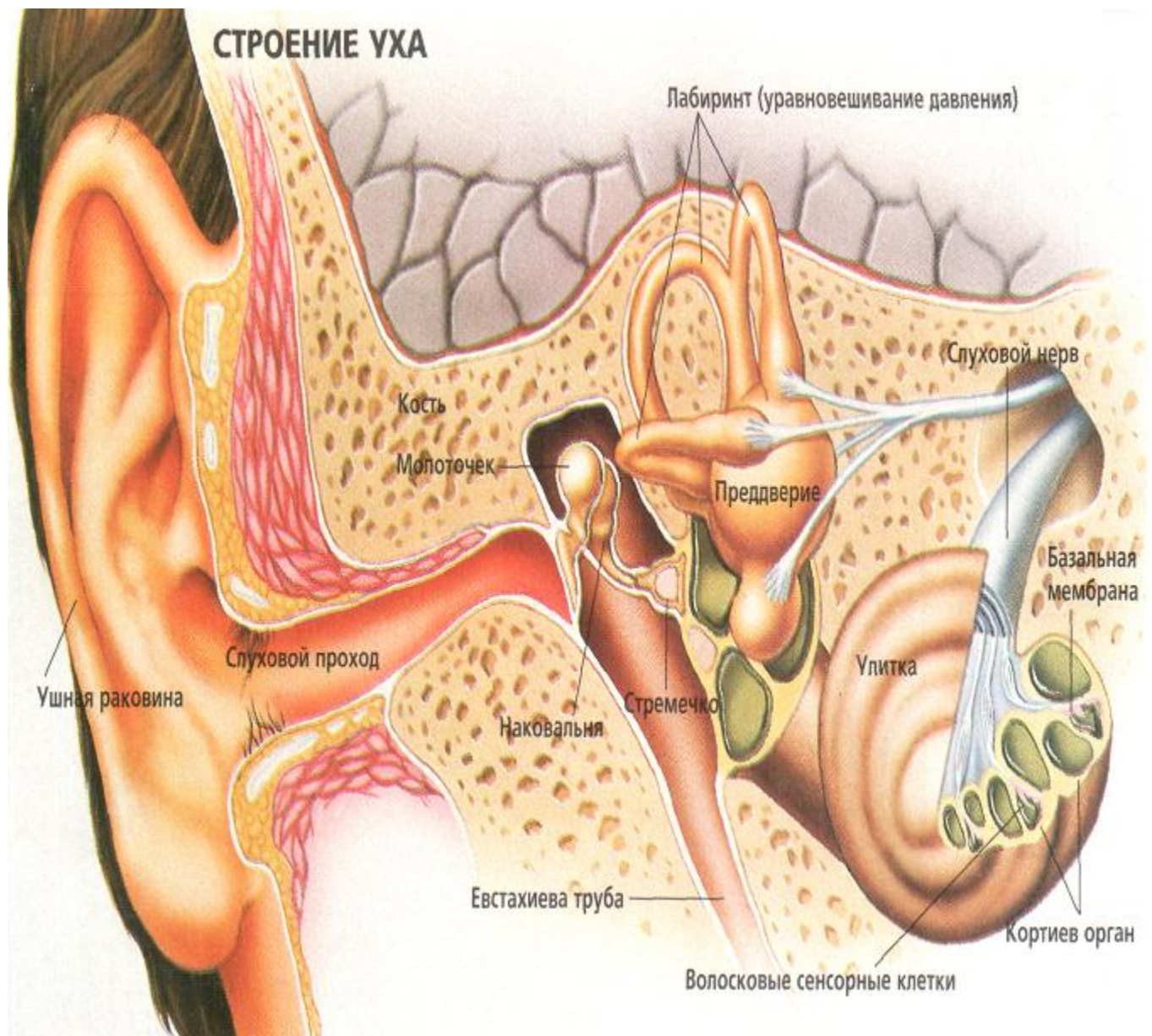
1. Загальна характеристика звукових хвиль.
2. Особливості рецепторного відділу звукового аналізатора.
3. Особливості провідникового та мозкового відділів звукового аналізатора.
4. Механізм сприйняття звуків.
5. Аудиометрія.

Звук є відчуттям, яке виникає у випадку потрапляння на барабанну перетинку поздовжніх коливань повітря від згущення чи розрідження молекул навколишнього середовища. Результатом цих рухів являється зміна тиску на барабанну перетинку за одиницю часу у вигляді звукових хвиль. Вони поширюються в повітрі над рівнем моря зі швидкістю 344 м/сек, а у водному середовищі набагато скоріше – 1450 м/сек. Сила звука корелює з амплітудою звукової хвилі і вимірюється в децибелах (дБ). Вухом людини сприймає звуки інтенсивністю від 0 до 140дБ. (спокійна розмова – 40 дБ, крик – 80 дБ, грім – 120 дБ). Висота тону звуку корелює з її частотою. Чим більша частота, тим вищий тон. Пересічна людина розрізняє до 2000 тонів звуків. Музичні вправи цю здатність можуть значно збільшувати. Порогом слухового відчуття прийнято тиск в  $0,000204 \text{ Н/см}^2$ . Людина сприймає звуки частотою 16 – 20000 Гц. Кажани та собаки чують звуки до 30 000 Гц. Максимальна чутливість вуха людини до звуків лежить в діапазоні 2000 – 4000 Гц.

Звуковий аналізатор виконує такі функції:

1. Сприймає звуки частотою 16 – 20 000 Гц.
2. Оцінює звуки по висоті, інтенсивності та тембру.
3. Оцінює джерело звуків та їх напрямок.
4. Оцінює відстань до джерела звуків.

**РЕЦЕПТОРНИЙ ВІДДІЛ** аналізатора знаходиться у внутрішньому вусі (мал.12.). Це Кортієв орган. Він лежить на базальній мембрані і складається з 4 рядів волоскових клітин (чутливих клітин). Зовні розміщені три шари волоскових клітин, в яких налічується від 12000 до 20 000 клітин. Їх волоски занурені у вязку покривну мембрану, що нависає над ними. У внутрішньому шарі знаходиться 3500 клітин в один ряд, волоски яких не досягають покривної мембрани. До 90% внутрішніх рецепторних клітин та 10 % зовнішніх клітин підходять чутливі волокна слухового нерву. По формі частина внутрішнього вуха нагадує равлик (cochlea). Равлик має 2,5 завитка. При поперечному розрізі равлика видно 3 канали : верхній (scala vestibuli), середній (canalis cochlearis), нижній (scala tympani). Верхній та нижній канали заповнені перилімфою, яка містить багато іонів натрію, сполучаються на верхівці равлика через отвір – helicotrema. Середній (перепончатий) канал заповнений ендолімфою, де в 100 разів більше калію, ніж в перилімфі. При коливанні покривної мембрани волоски внутрішніх рецепторних клітин торкаються її, в них виникає рецепторний потенціал, виділяється медіатор ацетилхолін, який сприяє формуванню генераторного потенціалу, якщо останній досягне критичного рівня, виникає потенціал дії, який поширюється по слуховому нерву.



Мал. 12 Будова вуха.

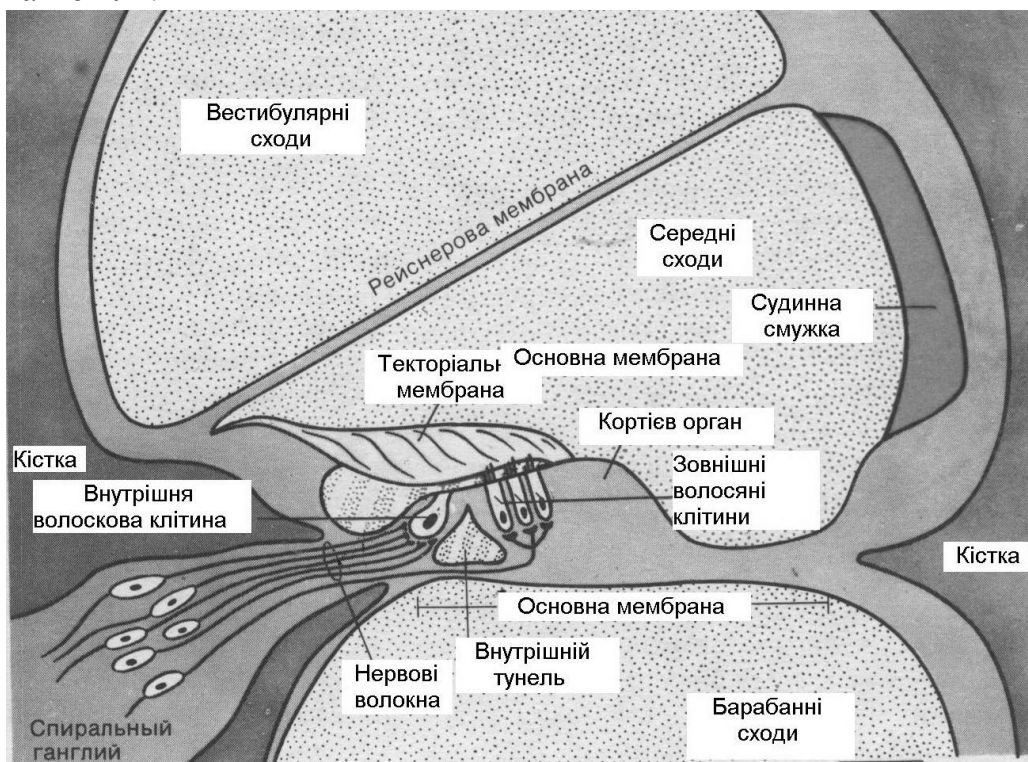
Рецепторний відділ має додаткові анатомічні утворення: зовнішнє та середнє вухо, кожен з них виконує певні функції (мал. 13). Зовнішнє вухо вловлює звуки, концентрує їх, направляє на барабанну перетинку і підсилює силу звука на 10 дБ та передає їх на середнє вухо. Барабанна перетинка рухається всередину і назовні. Вона немає власної частоти коливань, тому діє як резонатор. Вона має короткий період критичного згасання звуку. В барабанній порожнині (середнє вухо), заповненій повітрям, знаходяться 3 слухові кісточки, з'єднані суглобами рухомо: молоточок, коваделко, стремінце. Слухові кісточки діють як система важелів, яка перетворює резонансні коливання барабанної перетинки у рухи стремінця. Скорочення м'язів слухових кісточок тягнуть молоточок досередини, а основу стремінця назовні. При цьому амплітуда звуку зменшується в 22 рази, а сила звуку зростає ще на 20 дБ. Звідси звук передається на овальне віконце в scala vestibuli, а потім через gelicotrema в scala tympani (мал.13). Від них коливання передаються на ендолімфу в кохлеарний канал. Першою починає коливатись покривна мембрана,



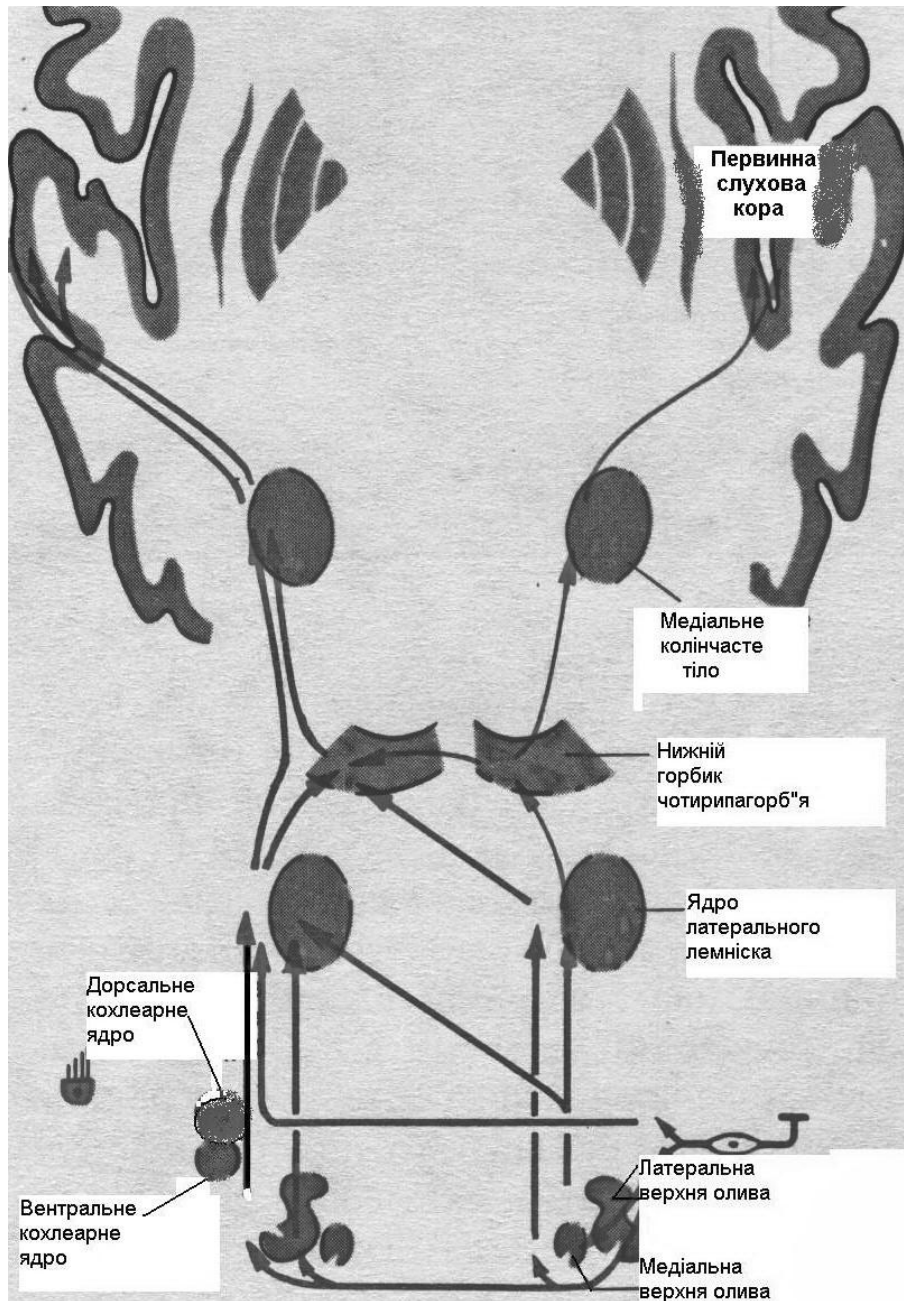
коливання ж основної мембрани запізнюється на 0,5 фази. Внаслідок цього покривна мембрана торкається волосків внутрішніх рецепторних клітин і спричиняє подразнення. Барабанна порожнина через євстахієву трубу з'єднується з носоглоткою. При ковтанні євстахієва труба відкривається, завдяки чому вирівнюється тиск в середньому вусі до величини атмосферного тиску. Поширення звуків через барабанну перетинку і слухові кісточки називають кісточковою провідністю. Звукові хвилі, що викликають коливання барабанної перетинки і перетинки овального вікна називають повітряною провідністю. Передавання коливань звуків із зовнішнього середовища до рідини внутрішнього вуха кістками черепа називають кістковою провідністю. В повсякденному житті кісткова провідність має значення лише при слуханні власного голосу. Повітряна провідність довша, кісткова провідність – краща.

**ПРОВІДНИКОВИЙ ВІДДІЛ** звукового аналізатора має 3 нейрони (мал.14). Перший нейрон розміщується в спіральному ганглії. Це біполярні клітини з двома довгими відростками. Один з них йде до рецепторних клітин, інший направляє в складі n.stato-acusticus до ядер довгастого мозку Другий нейрон розміщується в n.cochlearis dorsalis et ventralis довгастого мозку. Третій нейрон знаходиться в медіальних колінчастих тілах таламуса. Одночасно третина волокон з довгастого мозку йде в задні горбики четверогорб'я, де замикається орієнтовний рефлекс на звуки. Дві третини волокон йдуть в оліви довгастого мозку, утворюючи латеральну слухову петлю. Це забезпечує визначення напрямку звуків. Оліво-завитковий пучок – це волокна слухового нерву, який закінчується на зовнішніх волоскових клітинах.

**МОЗКОВИЙ ВІДДІЛ** звукового аналізатора знаходиться в скроневій корі – звивина Гешля.



Мал. 13 Рецепторний відділ звукового аналізатора



Мал. 14 Провідниковий відділ звукового аналізатора.

### Механізм сприйняття звуків

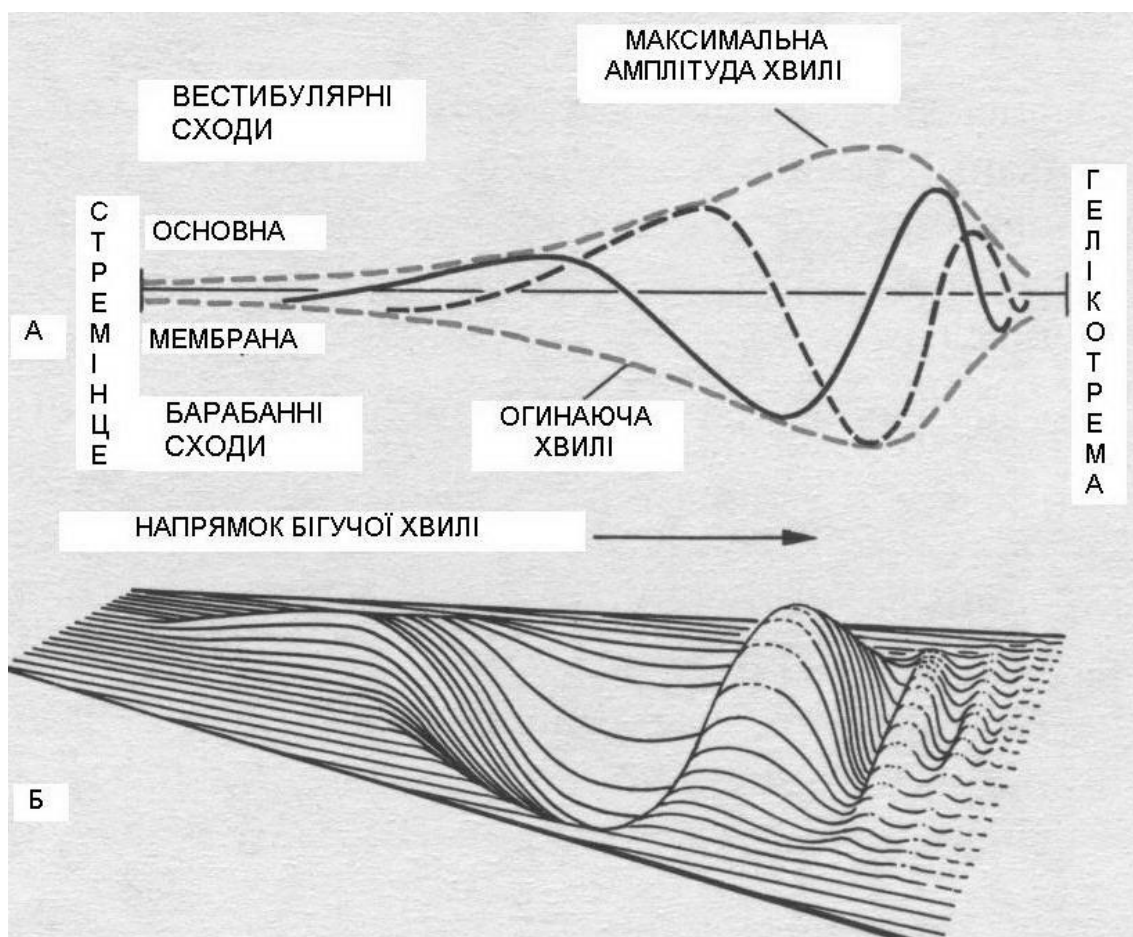
Звуки низької частоти до 2000 Гц відтворюються слуховим нервом. Вища частота звуків має складніший механізм сприйняття звуків, який визначається особливостями будови основної мембрани, де розміщується Кортієв орган. Основна мембрана має три особливості :

1. Пружність вздовж мембрани різна. Біля основи базилярної мембрани вона велика, посередині вона зменшується, а на верхівці знову зростає.

2. Різна ширина основної мембрани: біля основи вона вузька, складає 40 мкм, а на верхівці вона широка, досягає 500 мкм.

3. Різна ступінь натягнення волокон в структурі мембрани : на верхівці значно менша.

Звуки викликають коливання всієї основної мембрани, але амплітуда коливання буде максимальною тільки в певному місці мембрани в залежності від частоти звуків. Під тиском основна мембрана прогинається більше на верхівці, менше біля основи. Завдяки цим особливостям низькі звуки створюють максимум коливань на верхівці основної мембрани, а високі звуки – біля основи мембрани. Якщо хвиля максимум якої має місце біля основи, накладається на таку ж, то відбувається сумація хвиль і амплітуда коливань зростає. Такий механізм назвали механізмом сплеску або механізмом «бегущей волны» (мал.15). З віком знижується слух на високі частоти. Це явище називають пресбіакузисом. Звуковий аналізатор забезпечує слухову орієнтацію в просторі, тобто точне визначення напрямку джерела звуків. Передумовою для цього є бінауральний слух, тобто слухання обома вухами. При цьому у віддалене вухо звук приходить пізніше, різниця складає 0,000025 сек.



Мал.15 Механізм сприйняття звуків.

## АУДИОМЕТРІЯ

Аудиометрія – це вимірювання гостроти слуху. Обстежувана особа сприймає звуки певної частоти через навушники. Джерелом звуків є аудіометр. Для кожної частоти звуків визначають поріг чутності, значення якого наносять на діаграму у вигляді співвідношення до нормальної чутності. Діаграма відображає ступінь глухоти і дає якісну характеристику діапазонів тональності звуків.

# СОМАТО-ВІСЦЕРАЛЬНІ СЕНСОРНІ СИСТЕМИ

План лекції :

1. Загальна характеристика сомато-вісцеральних систем.
2. Сомато-вісцеральна чутливість.
3. Особливості провідникового відділу сомато-вісцеральних систем.
4. Формування відчуття дотику, тиску, вібрації, оцінка температури, відчуття болю.

Сомато-вісцеральна сенсорна система включає всі види шкірної чутливості, пропріоцептивну та вісцеральну чутливості. Ця система не утворює спеціальних органів чуття і спеціальних нервових волокон. Вона має широке рецепторне поле, в якому розміщуються спеціалізовані рецепторні клітини. Проведення сомато-вісцеральної інформації забезпечують лемніскова, антеролатеральна та екстралемніскова системи.

Шкірна чутливість забезпечує формування відчуття тиску, дотику, вібрації, лоскотання, болю, температури.

Глибока чутливість здійснює аналіз інформації з м'язів, суглобів, сухожилків і формує пропріочуття :

1. чуття положення кінцівок по відношенню до тулуба;
2. чуття напрямку і швидкості руху кінцівок ;
3. чуття сили, необхідної для утримання тіла чи кінцівок, а також сили для руху.

Основними пропріорецепторами являються :

1. М'язові веретена, які реагують на зміну довжини м'язів та швидкість її зміни.
2. Сухожилльні рецептори Гольджи, що реагують на зміну напруги м'язів та швидкість її зміни.
3. Рецептори суглобів, які реагують на об'єм руху.

Чутливість внутрішніх органів забезпечують інтерорецептори. Вони здійснюють надходження інформації в ЦНС про зміни внутрішнього стану організму, передають інформацію про перебіг регуляторних процесів, необхідних для підтримки гомеостазу і забезпечують взаємодію та взаємозв'язок між внутрішніми органами.

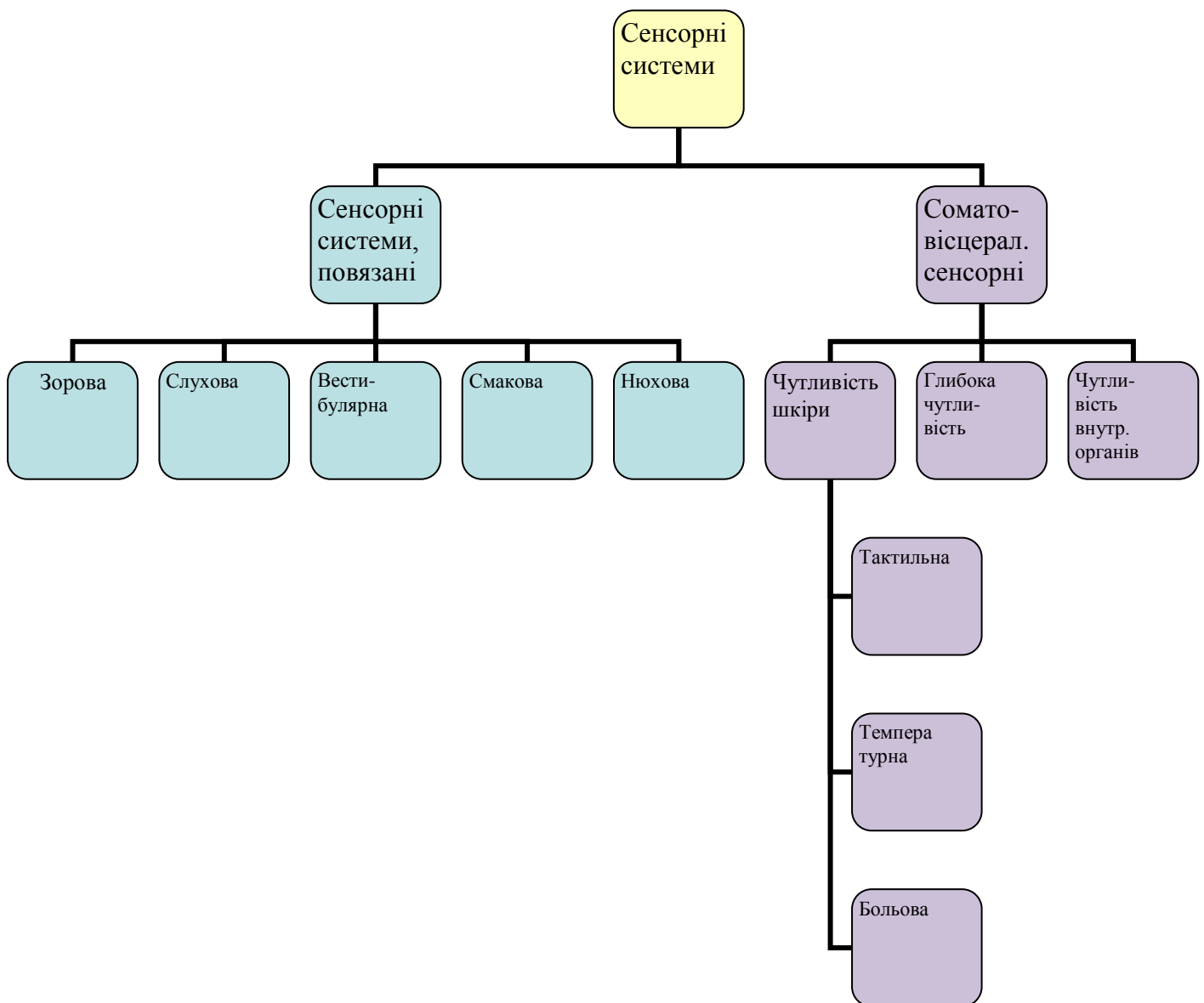
## Шкірна чутливість

Чутливість шкіри включає механорецепцію, терморецепцію, ноцірецепцію. Механорецепція забезпечує декілька модальностей чуття : дотик, тиск, вібрацію, лоскотання, які формуються під впливом механічних стимулів, що діють на шкіру. В клініці механорецепцію прийнято називати тактильною чутливістю, перевірка здійснюється включаючи білатеральне порівняння.

До механорецепторів на неволосистій шкірі відносяться тільця Мейснера, диски Меркеля, тільця Пачіні, а на волосистій частині шкіри містяться рецептори волосяного фолікула, тільця Руффіні, тільця Пачіні та тактильні диски. (мал.16) За механізмом збудження вони є рецепторами інтенсивності, швидкості та

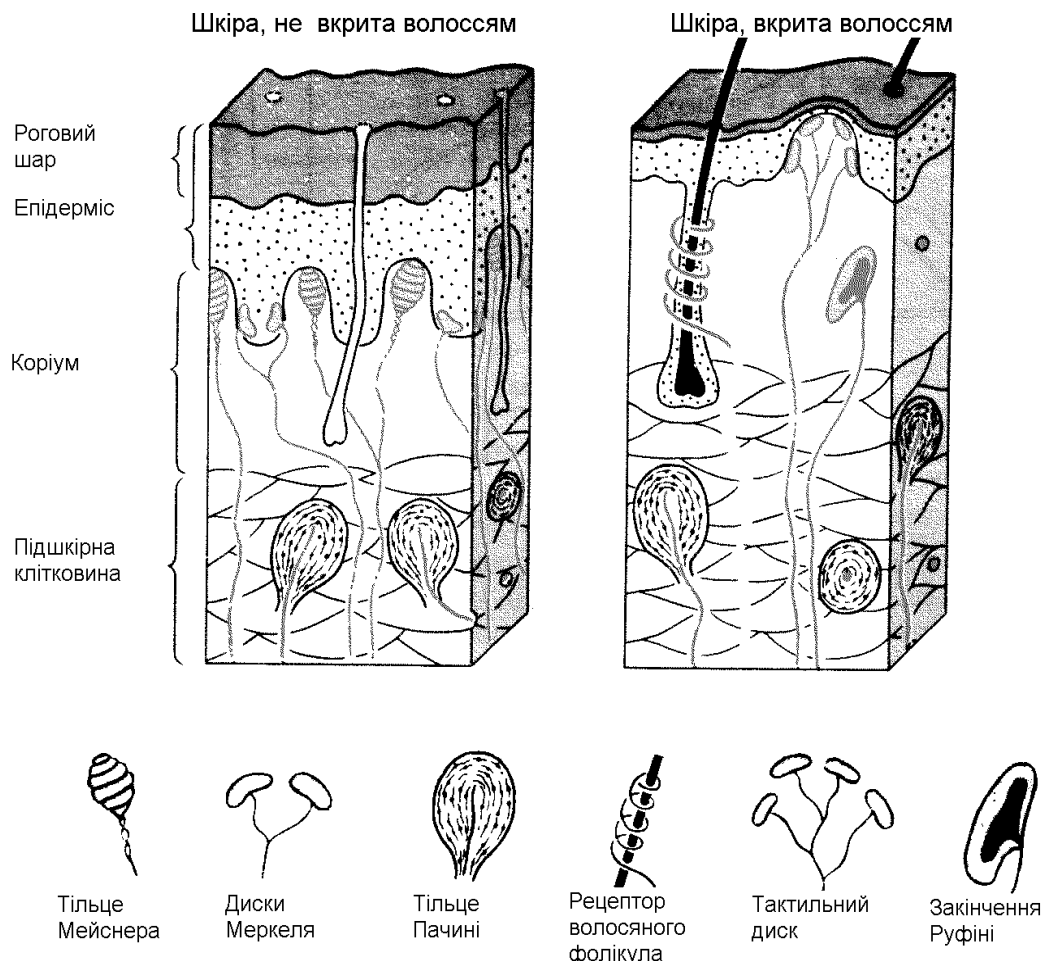
прискорення і тому відповідають не за одне відчуття. Наприклад, тільця Руффіні та диски Меркеля є одночасно рецепторами дотику, датчиками інтенсивності та тривалості дії подразника. Рецепторами дотику і датчиками швидкості є тільця Мейснера і рецептори волосяних фолікул. Датчиками прискорення є тільця Пачіні, які реагують на прискорення зміщення шкіри. Крім вказаних рецепторів, до механорецепторів відносяться механочутливі вільні нервові закінчення. Вони є пороговими датчиками про наявність стимулу в даному місці шкіри, несуть інформацію про слабкі стимули (повзе комаха), формують відчуття лоскотання. Особливістю їх є здатність викликати різні реакції, проводити інформацію по безмієлінових волокнах, не надавати точних відомостей про інтенсивність стимулу.

## Класифікація сенсорних систем



Відчуття терморцепції формує дві модальності: холод і тепло. Кількість терморцепторів на шкірі менша, ніж механорцепторів. Щільність терморцепторів в різних ділянках шкіри різна: найбільша щільність холодних рецепторів в шкірі спини, а теплових – в шкірі передньої черевної стінки. В шкірі містяться спеціалізовані терморцептори у вигляді тілець Руффіні, що сприймають тепло і колб Краузе, що сприймають холод. Від них аферентна інформація поширюється зі швидкістю 0,4 – 20 м/сек. Холодових рецепторів більше, ніж теплових. Наприклад, на 1 см шкіри лица знаходиться 16 – 19 холодних рецепторів та 1 – 5 теплових.

Мал. 16 Види рецепторів шкіри



Крім цього, існують неспеціалізовані терморцептори – це рецептори тиску, датчики інтенсивності стимулу. Терморцептори адаптуються до нової температури через декілька секунд, а суб'єктивна адаптація шкіри здійснюється лише через декілька хвилин. Холодові рецептори розташовані безпосередньо в епідермісі, а теплові в верхньому шарі власне шкіри.

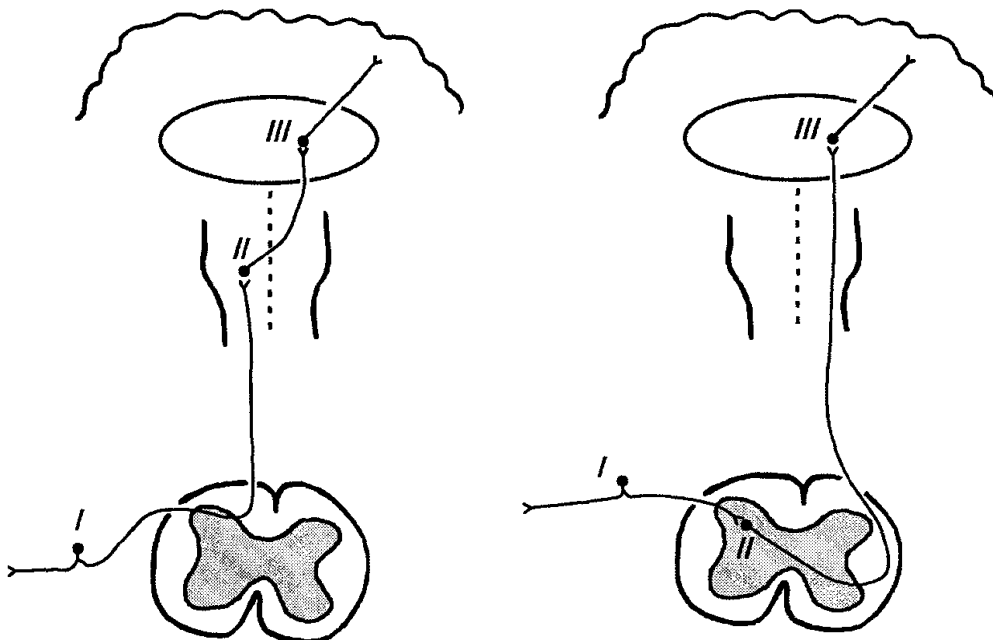
Ноціцепція – це формування відчуття болю. Більшість вчених вважають, що спеціальних рецепторів болю не існує. Для формування відчуття болю використовуються вільні нервові закінчення або любі рецептори шкірної та вісцеральної чутливості, які здатні збуджуватись сильними подразниками температурного, механічного, хімічного характеру.

Чутливість внутрішніх органів забезпечують інтерорецептори. Вони можуть бути хеморецепторами, механорецепторами, осморорецепторами, волюморецепторами, терморецепторами, ноцірецепторами. Провідниковий відділ сомато-вісцеральної системи включає лемніскову, антеролатеральну та екстралемніскову системи.

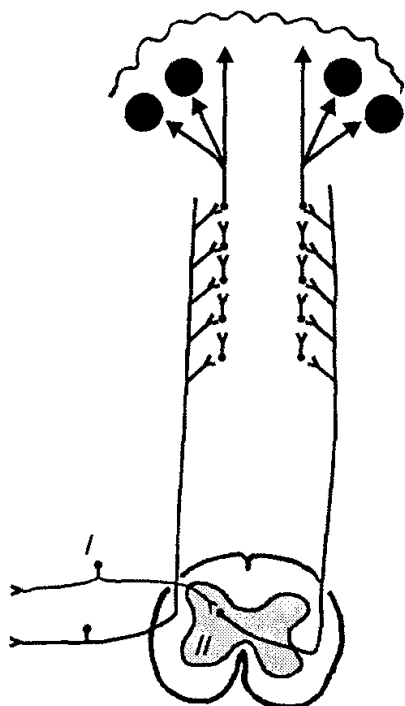
Лемніскова система проводить тактильну і пропріоцептивну чутливість по такому шляху: рецептори – спинно-мозговий ганглії – tractus spino-corticalis – довгастий мозок (n.gracilis n.cuneatus) – медіальна петля – вентро- базальні ядра таламуса – верхні три тім'яні долі кори справа і скроневі зони кори.

Лемніскова система

Антеро-латеральна система



Екстралемніскова система



Мал. 16 Провідникові відділи сомато – вісцерального аналізатора.

Дотик, тиск, вібрація проводяться по іншому шляху: тактильні рецептори – спінальний ганглії – вентральний спинно-таламічний шлях – вентро-базальні ядра таламуса – задня центральна звивина.

Температура, біль мають свій маршрут: терморекцептори, вільні нервові закінчення – спинно-мозговий ганглії – дорзальний спинно-таламічний шлях – неспецифічні ядра таламуса і ретикулярні ядра середнього мозку – орбіто-фронтальна і тім'яна кора.

Антеролатеральна система (неоспинно-таламічний тракт) також проводить прості види тактильної чутливості, гострий біль, температурну чутливість. Перший нейрон розміщується в спинно-мозговому ганглії. Тіла других нейронів розміщуються в задніх рогах спинного мозку. Їх аксони посементно переходять на протилежний бік спинного мозку, що забезпечує тонкий просторовий аналіз. Інформація від обох частин тіла поступає в передню частину екстосільвієвої звивини.

Екстралемніскова система проводить інформацію про повільний біль та інформацію від інтерорецепторів. Тіло першого нейрону розміщується в спинно-мозговому ганглії, звідси інформація поступає в задні роги спинного мозку, де розміщується другий нейрон. Його аксони частково йдуть в складі вентролатерального тракту і спинно-ретикулярного тракту до ретикулярної формації стовбура мозку, а частина волокон переходить на протилежний бік. Третій нейрон розміщується в задніх ядрах таламуса. По колатералях інформація поступає в лімбічну систему та гіпоталамус. З таламуса інформація йде в орбіто-фронтальну та тім'яну кору.

На різних рівнях ЦНС відбувається взаємодія аферентних сигналів вісцерального та соматичного походження. Вісцеральні сигнали блокуються соматичними на конвергуючих нейронах за рахунок їхньої більшості, що обмежує доступ інформації з внутрішніх органів до кори, тому ми не відчуваємо стану своїх органів. Посилення вісцеральної аферентації привертає нашу увагу до внутрішніх органів. Це помітно при наповненні сечового міхура, патологічних відхиленнях.

Аналіз інформації, отриманих від рецепторів відбувається в специфічних і асоціативних зонах кори. До специфічних сенсорних зон кори відносяться дві соматосенсорних зони ( $S_1$  і  $S_{11}$ ). Перша локалізована в постцентральної звивині, вона отримує інформацію від протилежної частини тіла і має виражену соматотопічну організацію та впорядковане просторове представництво. Обробка інформації в цій зоні забезпечує її тонкий просторовий аналіз. Друга зона знаходиться з латерального кінця постцентральної звивини на верхній частині сільвієвої борозни. Вона отримує інформацію від обох частин тіла, має менш чітку соматотопію. До асоціативних зон кори надходить інформація від асоціативних ядер таламуса. Виділяють 2 асоціативні зони: перша в ділянці лобної частки перед центральною звивиною, друга – в ділянці тім'яної частки на межі між тім'яною, потиличною та скроневою зонами. Асоціативні зони забезпечують більш точну і всебічну оцінку будь-якого сигналу, визначення його біологічної значущості. Слід зазначити, що завершення формування відчуття відбувається внаслідок взаємодії специфічних і асоціативних зон кори і ряду підкоркових структур.



# БОЛЬОВИЙ АНАЛІЗАТОР

План лекції:

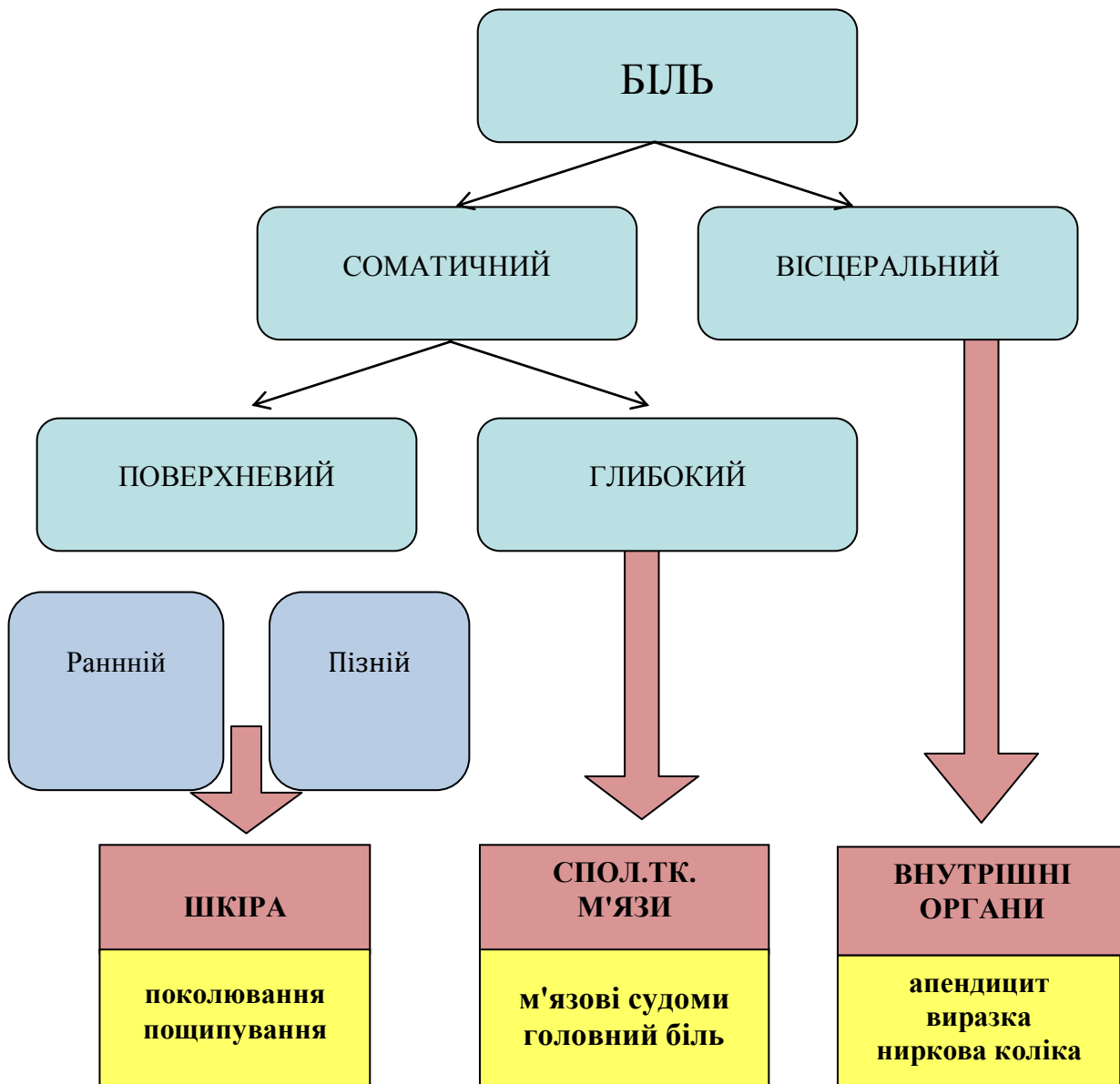
1. Загальна характеристика болю.
2. Епікритичний біль.
3. Протопатичний біль.
4. Антиноціцептивна система.

Біль – це системна реакція організму направлена на захист від пошкодження.

Причини виникнення болю:

1. Пошкодження мембрани рецепторної клітини.
2. Порушення метаболізму клітини (зміна рН, надлишок брадикінінів, гістаміну, простагландинів).
3. Гіпоксія тканин – недостача кисню.

## Класифікація болю



В складі больового синдрому є декілька компонентів:

1. Сенсорний компонент – негативні емоції та відповідні відчуття, страх, депресія

2. Руховий компонент – крик, страждання, плач, прийняття спеціальної пози для полегшення страждань (наприклад при переломі шийки стегна хворий набуває пози жаби).

3. Вегетативний компонент – розширення зіниці, холодний піт, тахікардія, підвищення артеріального тиску, збільшення частоти дихання.

4. Ендокринний компонент – активація симпато-адреналової системи, збільшення виділення гормонів наднирниками.

5. Мотивація – виникнення поведінкової реакції, направленої на усунення болю.

6. Активація пам'яті – використання попереднього досвіду усунення болю.

Більшість вчених вважають, що спеціальних рецепторів для сприйняття болю не існує. Це вільні нервові закінчення або звичайні рецептори, пристосовані до інших подразників, які збуджуються сильними подразниками температурного, електричного, механічного та хімічного характеру. Хімічним чинником виникнення болю може стати надлишок в організмі АТФ, капсаїцину, субстанції P, кінінів, серотоніну, простагландинів, гістаміну, накопичення кислих продуктів обміну речовин. Це алгогенні речовини, вони здатні стимулювати виникнення болю. В основі їх дії лежить деполяризація неселективних каналів з підвищенням проникності мембрани для натрію та кальцію. Це сприяє передачі потоку інформації в відповідні зони кори: лобну та поясну звивини, мозочок, острівцеву кору та зону S – II кори. Видалення префронтальної кори (лобектомія) призводить до того, що людина не відчуває болю, але відчуття дотику зберігається. Видалення поясної звивини зменшує відчуття болю, але цей біль людину не турбує.

Розрізняють 2 види болю:

1. Гострий або епікритичний біль.

2. Повільний або протопатичний біль.

**Епікритичний біль** виникає швидко, він нетривалий, має точну локалізацію, швидко зникає після припинення дії подразника, проводиться по A – дельта волокнах зі швидкістю 5 – 15 м/сек. → формується в сенсорних зонах кори за участю СНС. Цей вид болю має захисне значення, бо попереджує про небезпеку пошкодження тканин.

Маршрут гострого болю здійснюється по шляхах лемніскової системи: збудження ноцірецепторів → чутливі волокна → спінальний ганглії → клітини задніх рогів спинного мозку → передній латеральний пучок спинно-таламічного тракту → медіальна петля → паравентрикулярні ядра гіпоталамуса і вентро-базальні ядра таламуса → передня частина ектосільвієвої звивини (S -11).

**Протопатичний біль** – виникає повільно, триває довго, немає точної локалізації, має високий абсолютний поріг відчуття, зникає повільно, проводиться безмієліновими волокнами (C – волокна) зі швидкістю 0,5 – 3 мсек., формується в задніх вентральних ядрах таламуса за участю ПСНС. Цей вид болю грає патогенну роль, нагадує про наявність пошкодження тканин і організує захисні реакції. При

цьому біль супроводиться виділенням кінінів, гістаміну, простагландинів E.

Маршрут повільного болю здійснюється шляхами екстралемніскової системи: збудження ноцірецепторів → чутливі волокна → вентро-латеральний тракт → ретикулярні ядра довгастого і середнього мозку → задні вентральні ядра таламуса → орбіто-фронтальна та тім'яна кора.

В організмі людини існує спеціальна система, яка захищає організм від болю-це **антиноціцептивна система**. Вона включає три групи речовин, які виробляються в ЦНС, шлунково-кишковому тракті:

1. Опіюїдні речовини (енкефаліни, ендорфіни, динорфіни, дерморфіни, В-ліпотропін).

2. Неопіюїдні пептиди (нейротензин, соматостатин, бомбезин, ангіотензин-2, вазопресин).

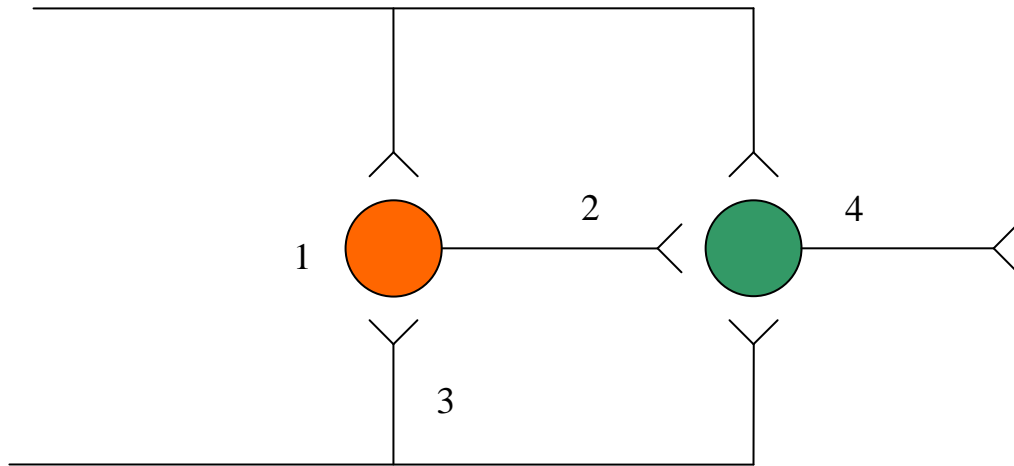
3. Катехоламіни (адреналін, норадреналін, дофамін).

**Опіюїдні речовини**, виділені вперше з тканин мозку, виробляються сірою речовиною мозку, гіпофізом, гіпоталамусом, наднирниками. По механізму дії вони подібні до морфіну, мають здатність зв'язуватись з опіюїдними рецепторами та викликати в них постсинаптичне гальмування, внаслідок чого виникає аналгезія (зменшення болю) і пригнічується виробка алгогенних речовин, які стимулюють виникнення болю. Опіюїди в основному припиняють діяльність аферентних структур ноціцептивної системи : ноцірецепторів, передавання інформації по чутливих шляхах.

**Неопіюїдні пептиди** гальмують проведення ноціцептивних сигналів по А-дельта та С-волокнах. Механізм їх дії пов'язаний з впливом на желатинозну субстанцію спинного мозку. Мельзак і Уолл (1965 р.) створили модель пептидного механізму припинення болю. Суть моделі полягає в тому, що збудження желатинозної субстанції спинного мозку припиняє потік сигналів болю по А-дельта волокнах внаслідок розвитку пресинаптичного гальмування. Гальмування желатинозної субстанції викликає полегшення передачі інформації ноціцептивного характеру до клітин задніх рогів, де розміщується другий нейрон цього шляху. Неопіюїдні пептиди стимулюють збудження желатинозної субстанції і виникає аналгезія.

## Модель Мельзака і Уолла

A – дельта волокна



C – волокна

1 – желатиозна субстанція; 2, 4 – гальмівні синапси; 3 – збуджуючі синапси;  
4 – клітини задніх рогів.