

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ  
МЕХАНИЗМЫ СЛУХОВОЙ И  
ВЕСТИБУЛЯРНОЙ  
СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ**

# **ПЛАН ЛЕКЦИИ**

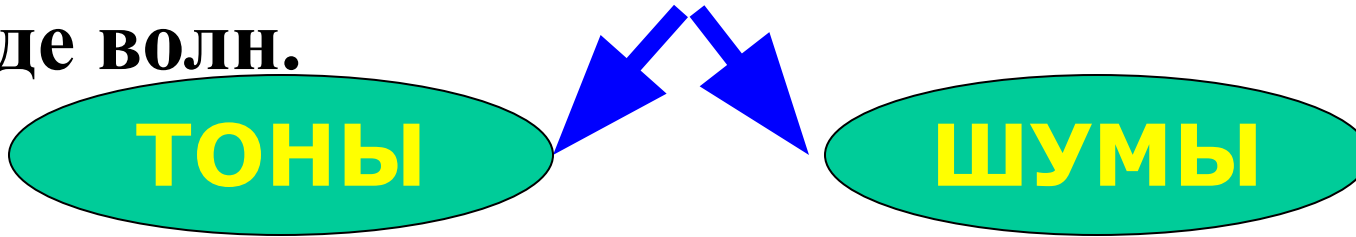
- 1. Физиология слухового анализатора**
- 2. Физиология вестибулярного анализатора**

# **СЛУХОВОЙ АНАЛИЗАТОР**

- **совокупность механических, рецепторных и нервных структур, воспринимающих и анализирующих звуковые колебания**

# ЗВУК

- колебательные движения упругих тел, распространяющиеся в различных средах в виде волн.



## ПАРАМЕТРЫ ЗВУКА

### ФИЗИЧЕСКИЕ

**ИНТЕНСИВНОСТЬ (I)**

Единица - **дБ**

**ЧАСТОТА**

Единица - **Гц**

**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ, сек**

**ФОРМА ВОЛНЫ**

- СИНУСОИДАЛЬНАЯ
- МНОГО ГАРМОНИК

### ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ

**ГРОМКОСТЬ (J)**     $J = k I^{0,3}$     2:10

Единица – **сон** – громкость при частоте 1000Гц и интенсивности 40дБ

**ВЫСОТА**

Единица – **мел** . Тон частотой 1000Гц при 60 дБ имеет высоту 1000 мелов.

**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ, сек**

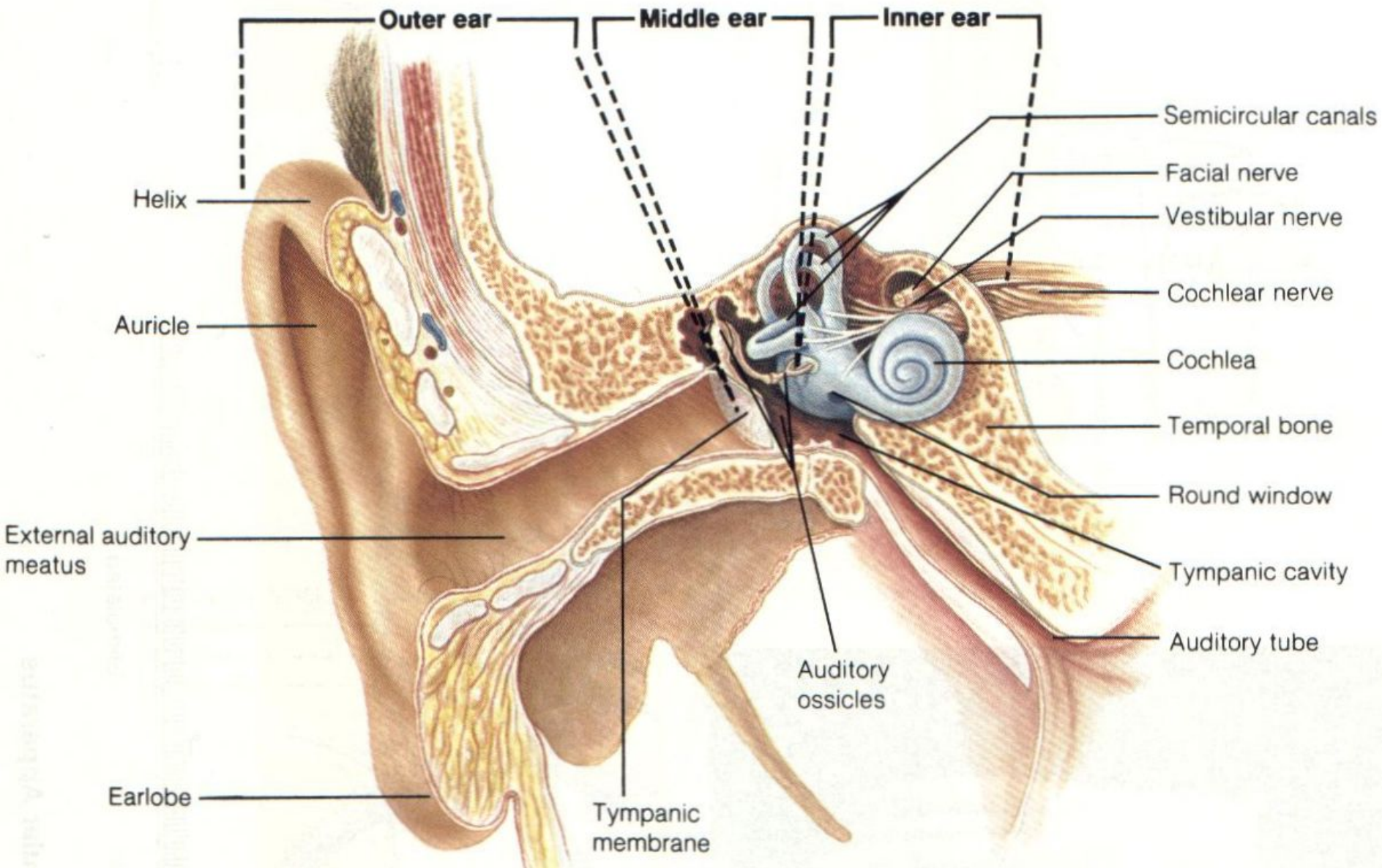
**ТЕМБР**

- СЛАБОУКРАШЕННЫЙ ЧИСТЫЙ ТОН
- ОКРАШЕННЫЙ ТОН

# ФУНКЦИИ СЛУХА

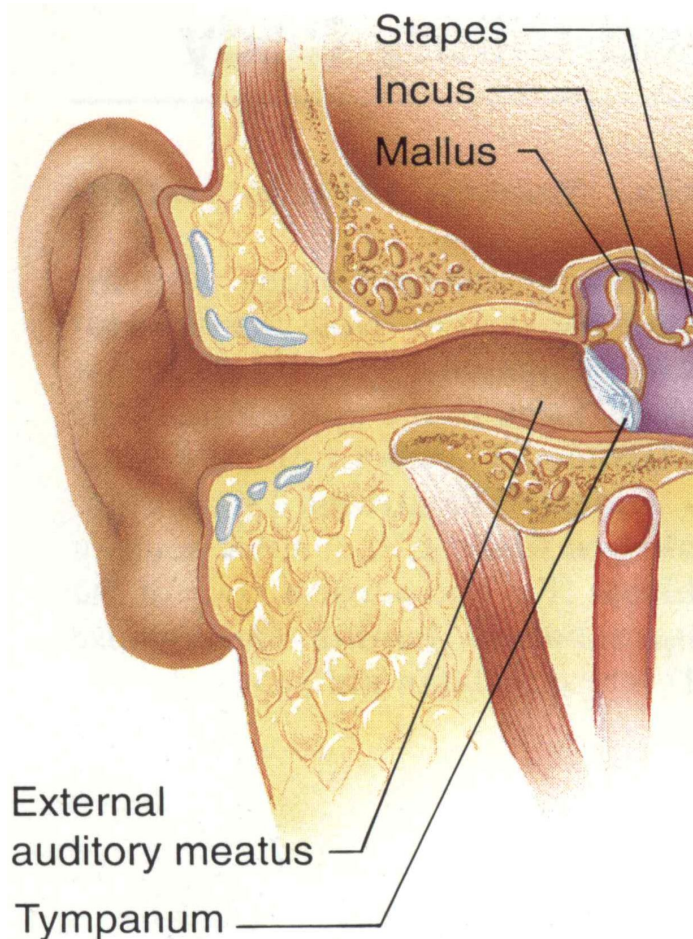
1. **Диапазон слышимых частот:** 16 – 20000 Гц, 300 000 разных по силе и частоте звуков. После 40 лет на 80Гц ↓ каждые полгода.
2. **Абсолютная чувствительность:** 1-4 кГц. Малая чувствительность к низким частотам предохраняет от шумов собственного тела.
3. **Дифференциальная чувствительность:** по частоте 1%, интенсивности 0,5-1,0 дБ, длительности < 1%, локализация источника звука –1-3°
4. **Пространственная разрешающая способность** за счет бинаурального слуха: низкие частоты (до 1300Гц) различаются по времени попадания звука в правое и левое уши (< 30 мкс), а высокие по интенсивности (1дБ)
5. **Временная разрешающая способность** за счет временной суммации (150мс) и минимального порогового интервала 2-5 мс.

# ОРГАН СЛУХА





# НАРУЖНОЕ УХО



**1. Ушная раковина** – эластический хрящ, жировая ткань

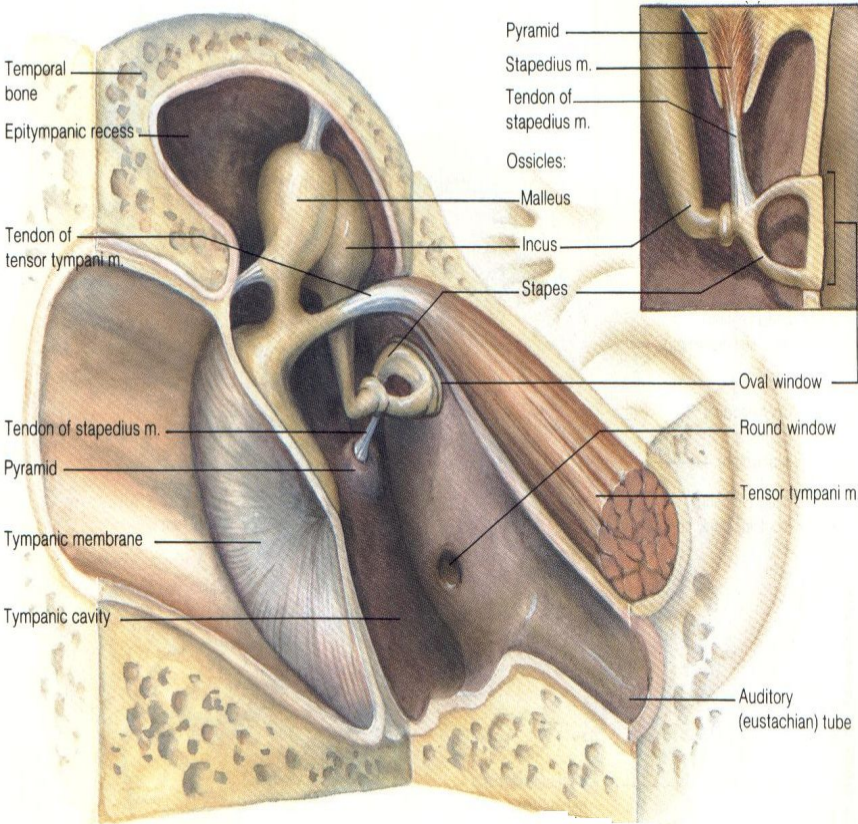
**2. Наружный слуховой проход** – 30-35 мм, хрящевой, костный отделы, многослойный плоский эпителий, сальные железы.

**3. Барабанная перепонка** –  $d=75\text{мм}^2$  слабоэластичная мембрана,  $t=0,1\text{мм}$ , собственный размах колебаний при низких частотах от  $10^{-2}$  до  $10^{-9}$  см. При резонансе амплитуда гасится за счет соединения со слуховыми косточками.

## ФУНКЦИИ НАРУЖНОГО УХА:

- **резонатор**, с собственной частотой колебаний 3000Гц.
- **↓ величину давления** на барабанную перепонку (только +10дБ)
- **постоянство T**
- **постоянство влажности**

# СРЕДНЕЕ УХО



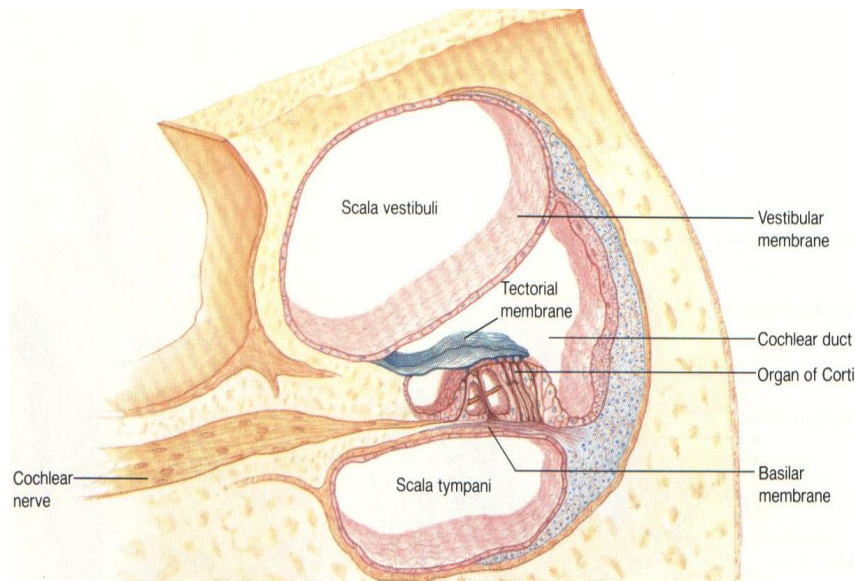
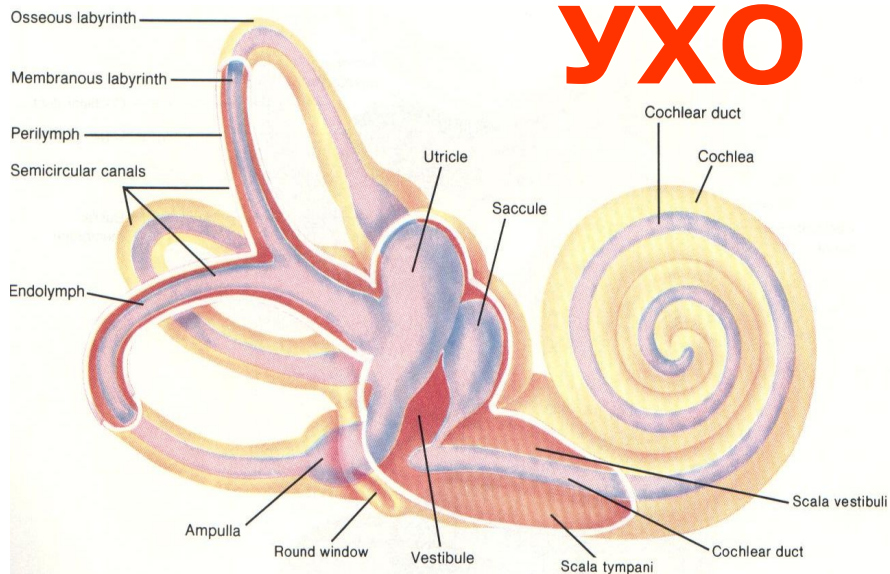
1. **Косточки:** **молоточек** (к перепонке), **наковальня**, **стремечко** (к овальному окну)
2. **Мышцы и связки:** **m.tensor tympani** (к молоточку), **m.stapedius** (к стремечку)
3. **Евстахиева труба** – от носоглотки к среднему уху

## ФУНКЦИИ:

- **Эффективная передача звуковых колебаний**
- **Косточки  $\uparrow P$  на овальное окно в 20 раз по сравнению с  $P$  на перепонку**
- **Мышцы  $\downarrow A$  и  $P$  сверхсильных раздражителей на овальное окно**
- **Евстахиева труба уравнивает  $P$  с атмосферным**



# ВНУТРЕННЕЕ УХО



1. **Вестибулярный аппарат** (преддверие и полукружные каналы)
2. **Слуховой** (улитка и кортиев орган).

## УЛИТКА

**35 мм, 2,5 завитка, 3 канала**  
(лестницы):

верхний - *scala vestibuli*, нижний -  
*scala tympani*, средний - *scala media*

**Геликотрема** – s.vestibuli с s.tympani

**Овальное окно** – s.vestibuli, **круглое** –  
s.tympani

**Перилимфа** – ↑Na, s.vestibuli, s.tympani,

**Эндолимфа** – ↑K, средний канал,

**2 мембраны: вестибулярная и**  
**базиллярная** (рейснерова):

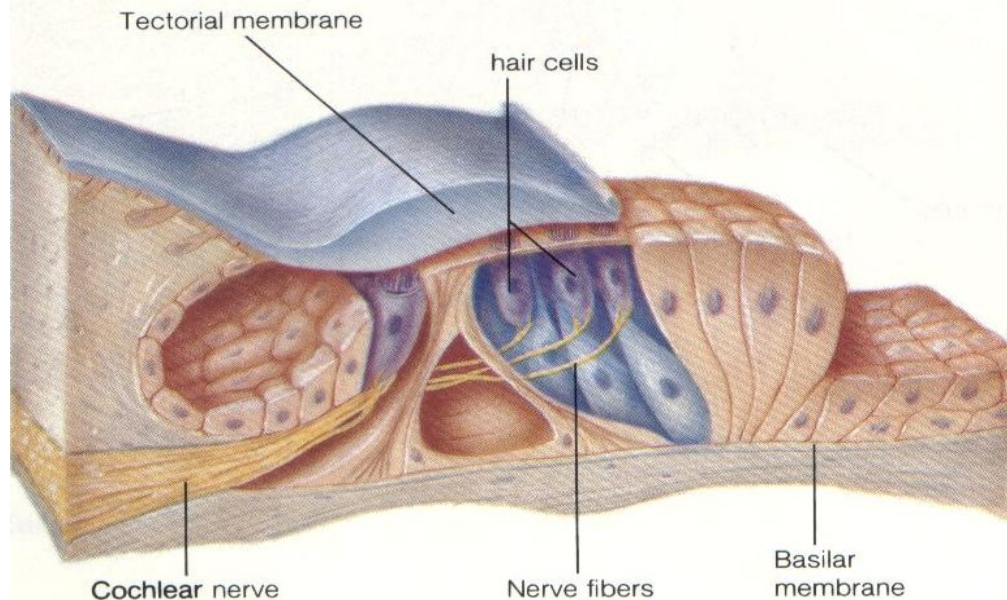
**кортиев орган** (на основной мембране)

**звукоспринимающие рецепторы :**

- **4 ряда волосковых клеток**, покрытых  
**текториальной мембраной** и  
**эндолимфой**.

# МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПД

**Звуковая волна** → система слуховых **косточек** → колебание мембраны **овального окна** → волнообразные перемещения **перилимфы** (-заряд) → колебания **вестибулярной мембраны** → колебания **эндолимфы** (+ заряд) → колебания **базилярной мембраны** → смещение **волосков** **волосковых клеток** относительно



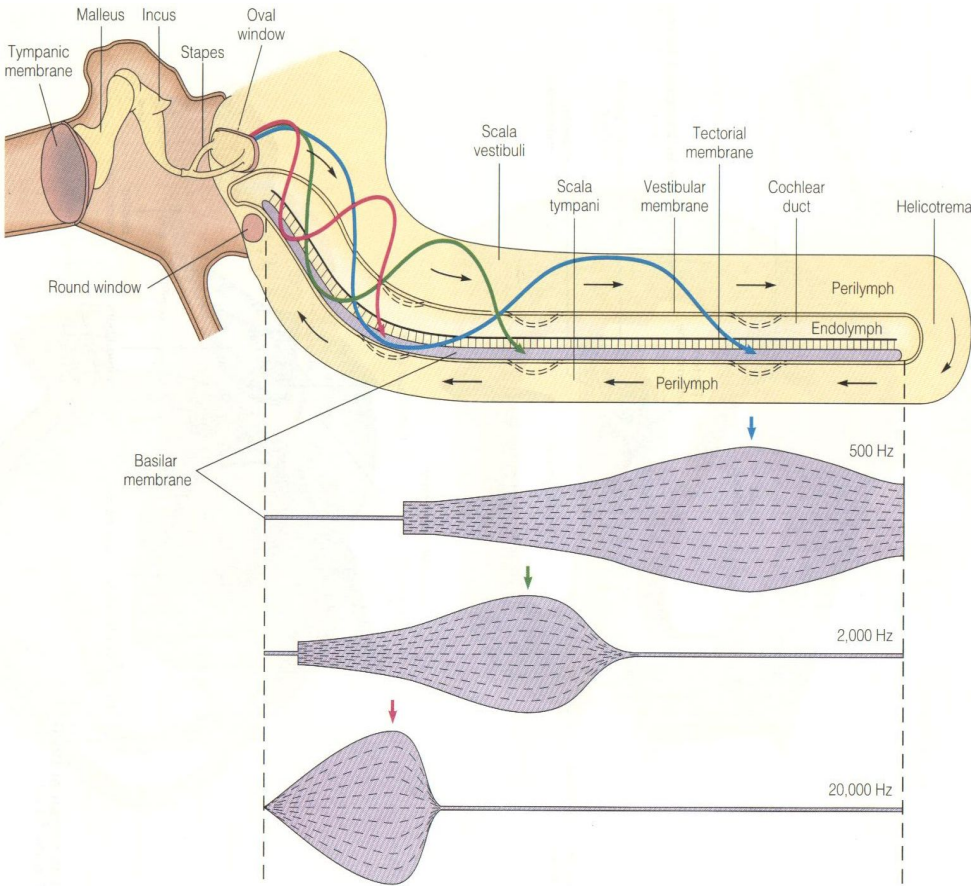
**текториальной мембраны**  
→ изменение **МП** → ↓ **КУД**  
→ возникновение  
электрического разряда  
(**эндокохлеарного  
потенциала**)

# ВИДЫ ПОТЕНЦИАЛОВ В УЛИТКЕ

1. **Микрофонный потенциал** – возникает в области корешков волосков волосковых клеток при смещении текториальной мембраны. Колебания накладываются на эндокохлеарный потенциал модулируя его *по форме и частоте*, в соответствии с параметрами нанесенного звукового раздражителя. Некоторое время сохраняется после смерти.
2. **Суммационный потенциал** отражает не форму звуковой волны, а ее *оггибающую* и возникает при действии на ухо высокочастотных звуков.
3. **ПД слухового нерва** при возбуждении в волосковых клетках, передается на волокна слухового нерва через химические синапсы.



# РАЗЛИЧИЕ ВЫСОТЫ ТОНА



Effect of Sound Frequency on the Basilar Membrane

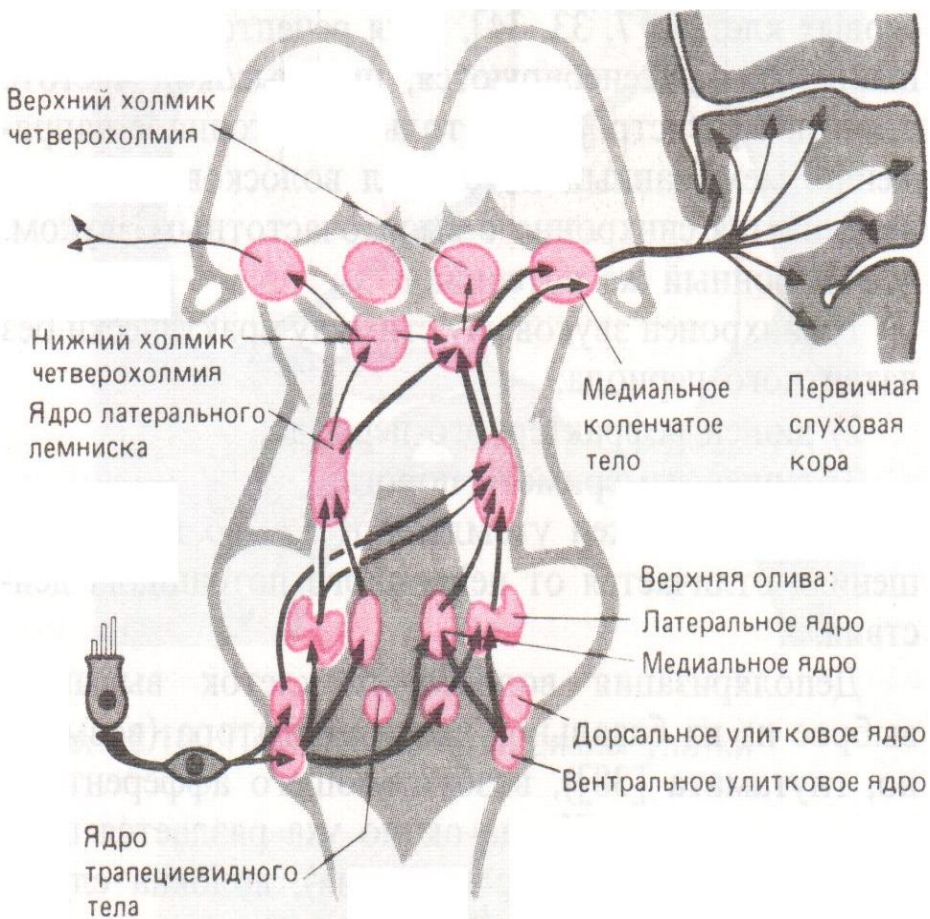
Начальная (жесткая) часть мембраны - высокочастотный фильтр:  
При действии звуков **низкой частоты** (до 1000Гц) базилярная мембрана смещается *на всем протяжении* улитки.  
При **увеличении частоты** звукового сигнала происходит перемещение укороченного по длине колеблющегося столба жидкости *ближе к овальному окну* и наиболее жесткому и упругому участку базилярной мембраны.

# ТЕОРИИ ВОСПРИЯТИЯ ЗВУКА

1. **Гельмгольца** (XIX) – **теория резонанса**.  
**Волокна** основной мембраны **разные по длине** и настроены на восприятие разных длин волн.
2. **Бекеши** (XX) – при воздействии звуков невысокой частоты реагирует весь **столб жидкости**, при воздействии **высоких звуков** – **только основание**.
3. **Резерфорда** – **телефонная теория**. Если звук низкий – до 1000Гц, то передается столько же ПД, если высокий – **кодирование**.
4. **Теория «места»** : **волосковые клетки**, расположенные на базилярной мембране в различных участках улитки, обладают **разной лабильностью**, что оказывает влияние на восприятие звуков высокой и низкой частоты (настройку волосковых клеток на звуки различной частоты

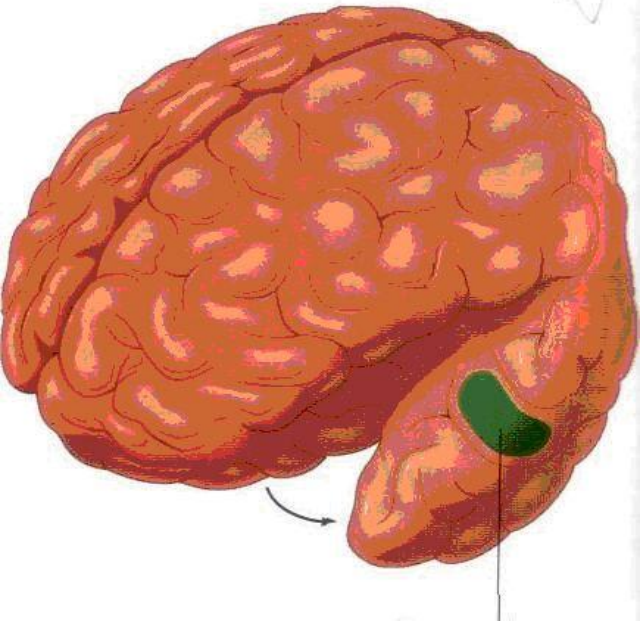


# ПРОВОДЯЩИЕ ПУТИ



Дендриты от кортиевого органа → тела **I нейронов** в *спиральном ганглии* улитки → их аксоны (слуховой (кохлеарный) нерв (VIII) в *продолговатый мозг* к комплексу трех кохлеарных ядер (**II нейроны**) → ипси и контрлатеральный восходящие слуховые пути → *к верхним оливам* → их аксоны образуют латеральную петлю. Одна часть волокон латеральной петли к ядрам *нижних бугров четверохолмия* (тела **III, IV, V нейронов**). Другая часть латеральной петли в *медиальное коленчатое тело* зрительного бугра данной стороны → слуховая кора - верхняя часть *височной доли* мозга (поля 41,42 по Бродману)

# АНАЛИЗ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ



1. Кортиев орган – кодирование

2. Нижние бугры четверохолмия – воспроизведение *ориентировочного рефлекса на звук* 2 путями:

1- определение местоположения предмета (*первичная локализация*),

2 – восприятие *отраженных* от различных объектов звуковых волн. (чаще в темноте или при потере зрения).

3. **Слуховая кора** – анализ коротких звуковых сигналов, дифференцировка звуков, фиксация начального момента звука, создание комплексного представления о звуке, поступающем в оба уха отдельно, пространственная локализация звуков.

**Нейроны - детекторы:** 1. вычленяют информацию о чистых звуках; 2. анализируют последовательность звуков; 3. амплитуду звуков; 4. локализуют источник и направление звука.

**Ассоциативные нейроны:** представление о мелодии, адаптация.

# **ВЕСТИБУЛЯРНЫЙ АНАЛИЗАТОР**

# ПЕРИФЕРИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

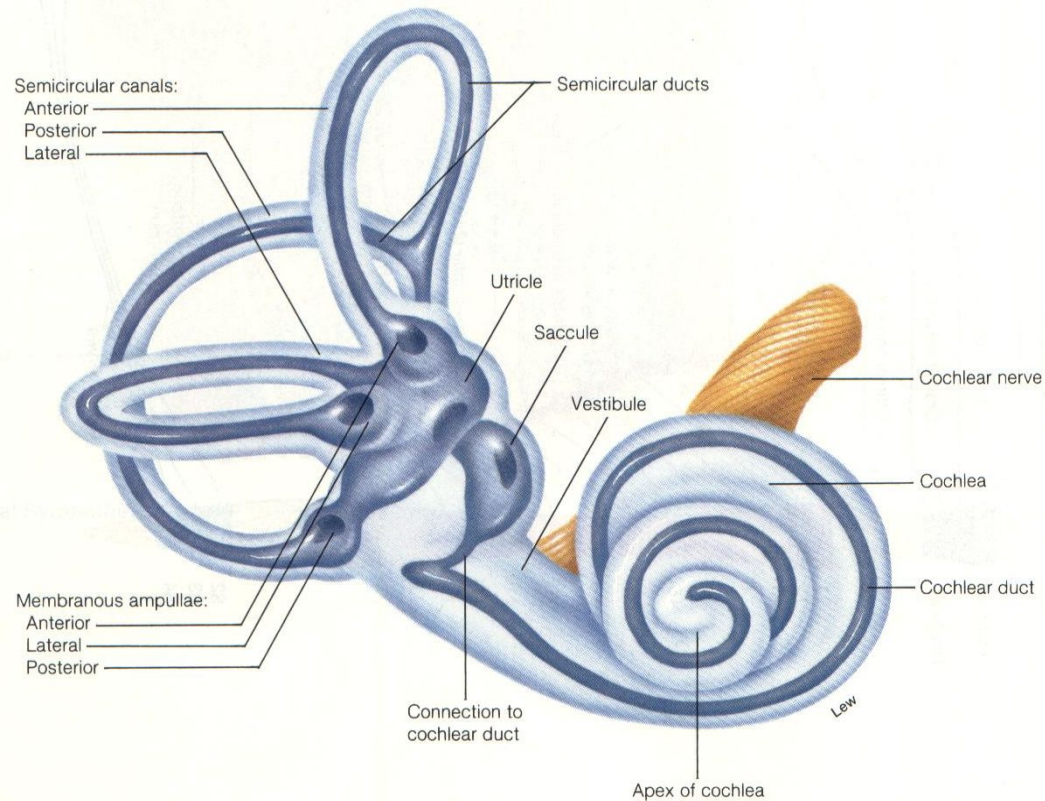
Локализация – височная  
кость

Представлен  
вестибулярным  
органом:

- отолитовый аппарат –  
маточка и мешочек

- ампульный аппарат в  
полукружных  
каналах:

сагитальном,  
горизонтальном,  
фронтальном.

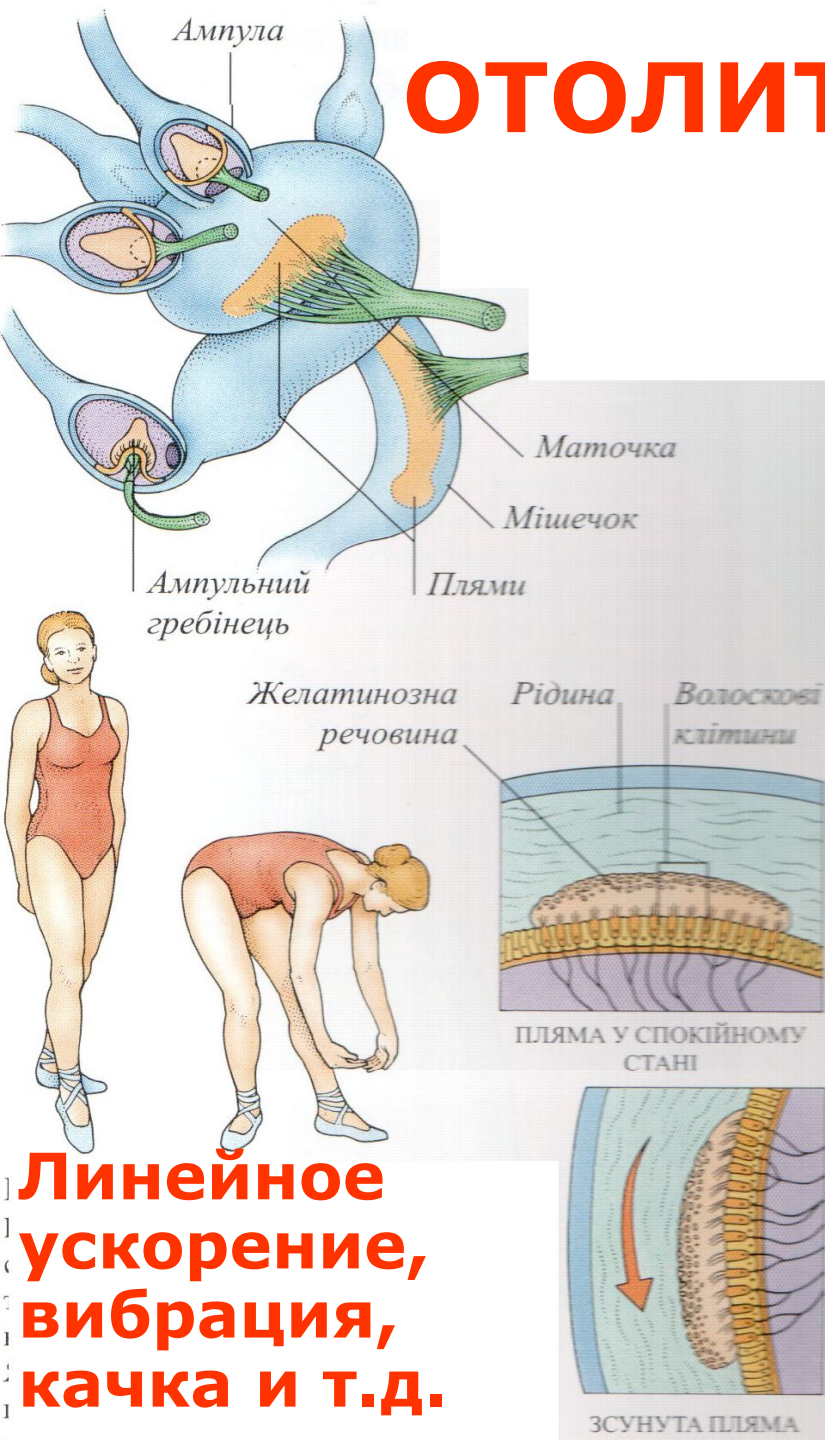




# ОТОЛИТОВЫЙ АППАРАТ

Рецепторные клетки – волосковые, *вторичночувствующие* в макулах маточки и мешочка.

- Волоски в желеобразной массе из кристаллов соли (**ОТОЛИТОВ**).
- **При наклоне** головы влево изменяется положение маточки (в N условиях положения головы она лежит горизонтально) → **смещение ОТОЛИТОВ** → смещение **ВОЛОСКОВ** клеток → **деполяризация волосковой клетки (РП)** → выделение ею медиатора (**АХ**) → деполяризация (**ГП**) окончаний дендрита **афферентного нейрона**



**Линейное ускорение, вибрация, качка и т.д.**



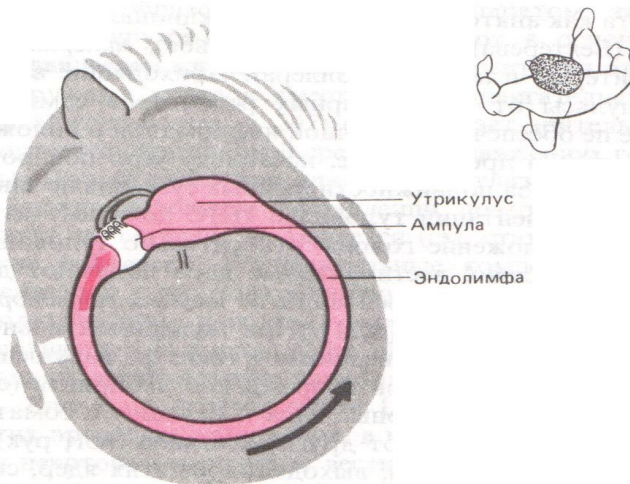
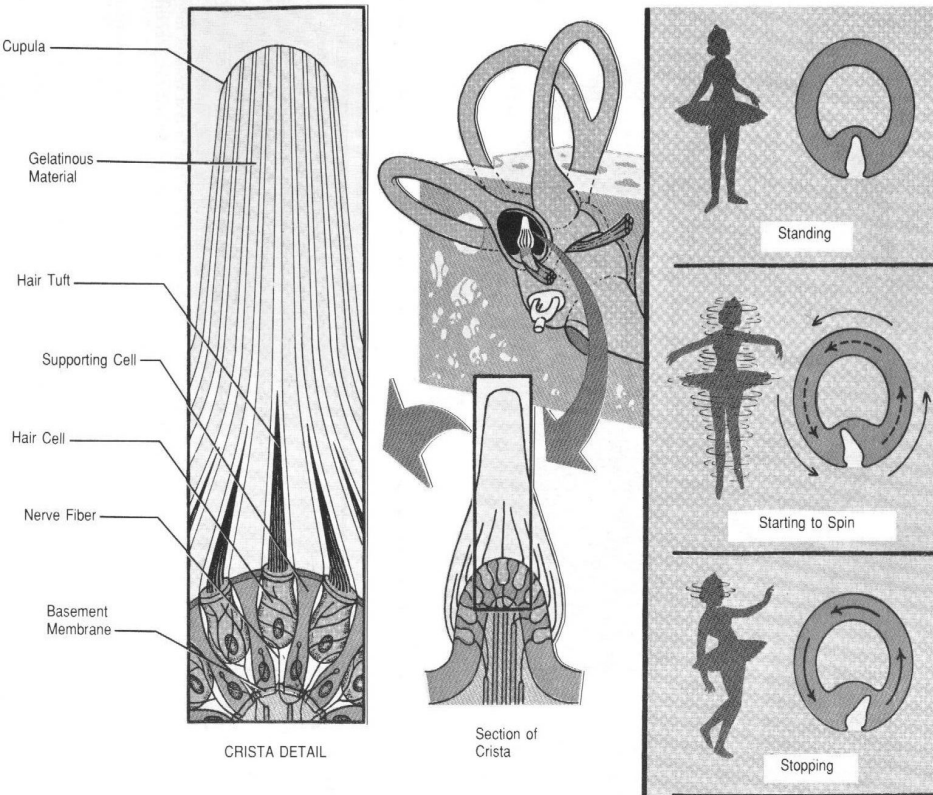
# АМПУЛЬНЫЙ АППАРАТ

*Рецепторные клетки -*

ресничные, в ампулах полукружных каналов *вторичночувствующие.*

Волоски в желатинозной массе – **купуле**, омываемой **эндолимфой**.

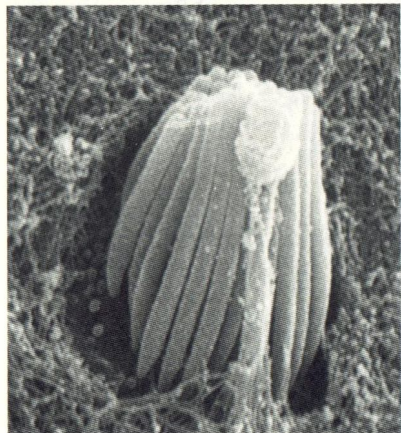
При **угловом ускорении** **эндолимфа** в силу инерции в начале движения **остается неподвижной**, а каналы вместе с **рецепторами** уже **движутся**. → **купула** отклоняется в сторону, **противоположную движению**, реснички



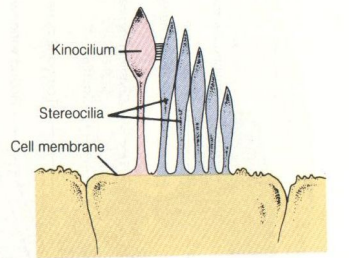
# МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВЕСТИБУЛОРЕЦЕПТОРОВ

Рецепторная клетка содержит 1 длинный волосок – **киноцилий** и 50-60 коротких – **стереоцилий**.

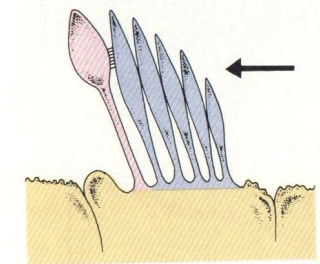
При сгибании пучка стереоцилий **в сторону киноцилия** в мембране клетки  $\uparrow$  проницаемость для  $\text{Na}^+$   $\rightarrow$  **деполяризация волосковой клетки (РП)**  $\rightarrow$  выделение ею медиатора (**АХ**)  $\rightarrow$  **деполяризация (ГП) окончаний дендрита афферентного нейрона (Г)**



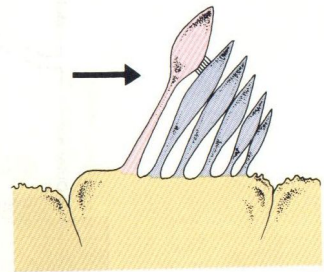
(a)



(b) At rest



(c) Stimulated

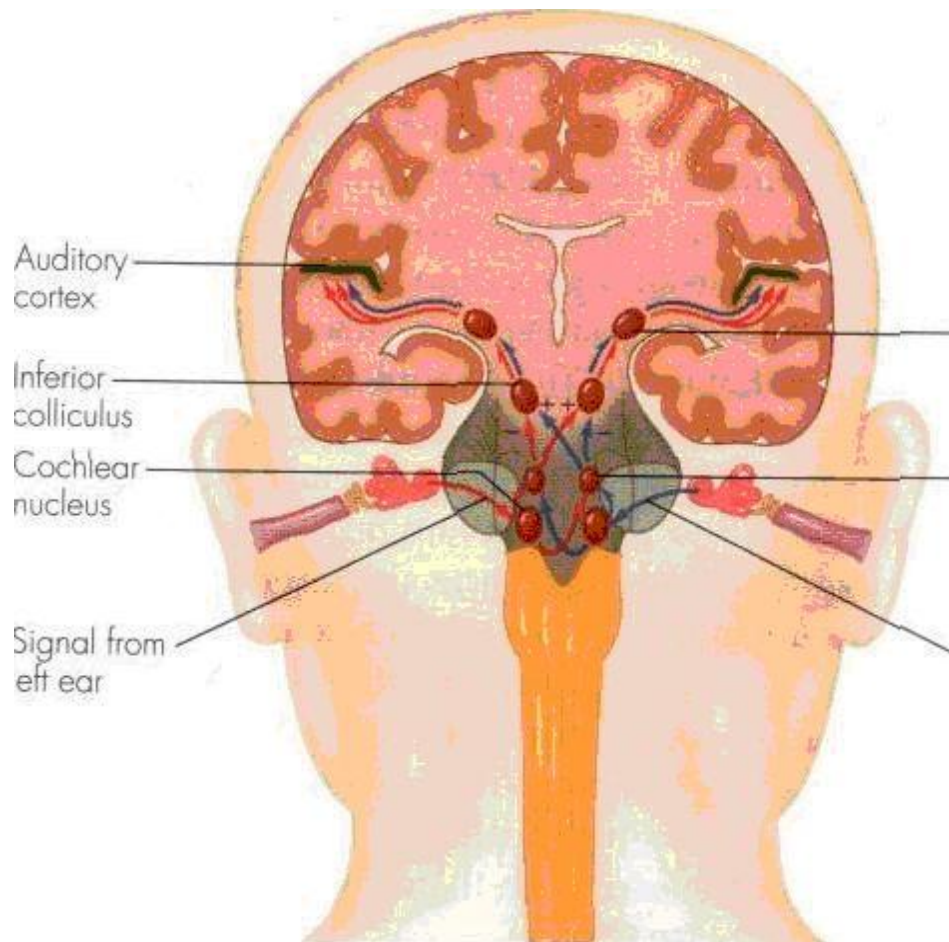


(d) Inhibited

# ПРОВОДЯЩИЕ ПУТИ

- Афферентный нейрон в **вестибулярном ганглии** → **продолговатый мозг** 4 вестибулярных ядра: верхнее ядро – **Бехтерева**, нижнее ядро – **Роллера**, медиальное ядро – **Швальбе** и латеральное ядро – **Дейтерса**. От них:
1. **Вестибулоспинальный** путь – к мотонейронам спинного мозга (равновесие при движении).
  2. **Вестибулоокулярный** путь – регуляция активности мышц глаза во время движения (на сетчатке сохраняется объект наблюдения).
  3. **Вестибуломозжечковый** – регуляция мышечного тонуса во время перемещения. Часть нейронов идут к мозжечку напрямую, не прерываясь в продолговатом мозге.
  4. **Лемнисковый** – к *специфическим* ядрам таламуса, а от них в кору – сенсорные зоны в постцентральной извилине (область проекции лица).
  5. От вестибулярных ядер идут коллатерали к **ретикулярной формации**, а от нее к *неспецифическим* ядрам таламуса, откуда диффузно ко многим участкам коры,

# ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ



Первичная сенсорная зона коры - **постцентральная извилина** (область проекции лица).

Вторичные и третичные зоны – **диффузно** во многих участках коры



**БЛАГОДАРЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ**