ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ СЛУХОВОЙ И ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

ПЛАН ЛЕКЦИИ

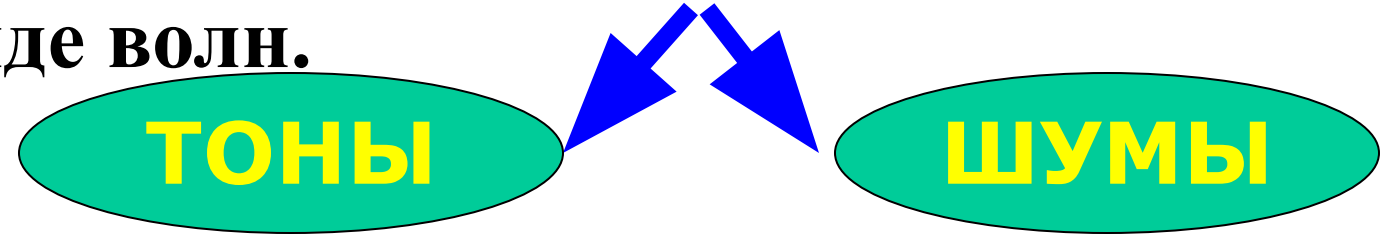
1. Физиология слухового анализатора
2. Физиология вестибулярного анализатора

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.

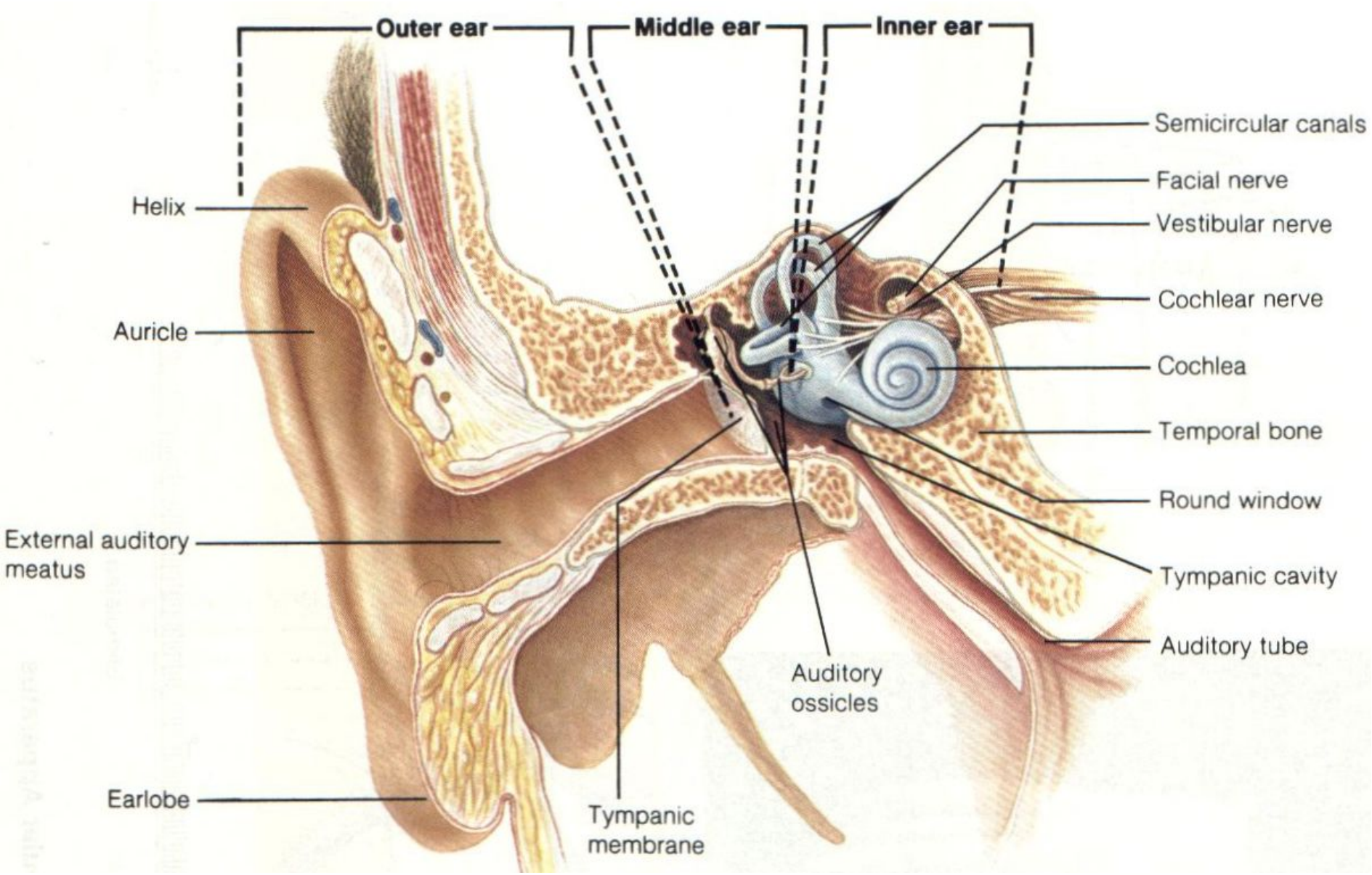


ПАРАМЕТРЫ ЗВУКА	
ФИЗИЧЕСКИЕ	**ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ**
ИНТЕНСИВНОСТЬ (I) Единица - **дБ**	**ГРОМКОСТЬ (J)** $J = k\, I^{0,3}$ 2:10 Единица – **сон** – громкость при частоте 1000Гц и интенсивности 40дБ
ЧАСТОТА Единица - **Гц**	**ВЫСОТА** Единица – **мел** . Тон частотой 1000Гц при 60 дБ имеет высоту 1000 мелов.
ДЛИТЕЛЬНОСТЬ, сек	**ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ, сек**
ФОРМА ВОЛНЫ - СИНУСОИДАЛЬНАЯ - МНОГО ГАРМОНИК	**ТЕМБР** - СЛАБООКРАШЕННЫЙ ЧИСТЫЙ ТОН - ОКРАШЕННЫЙ ТОН

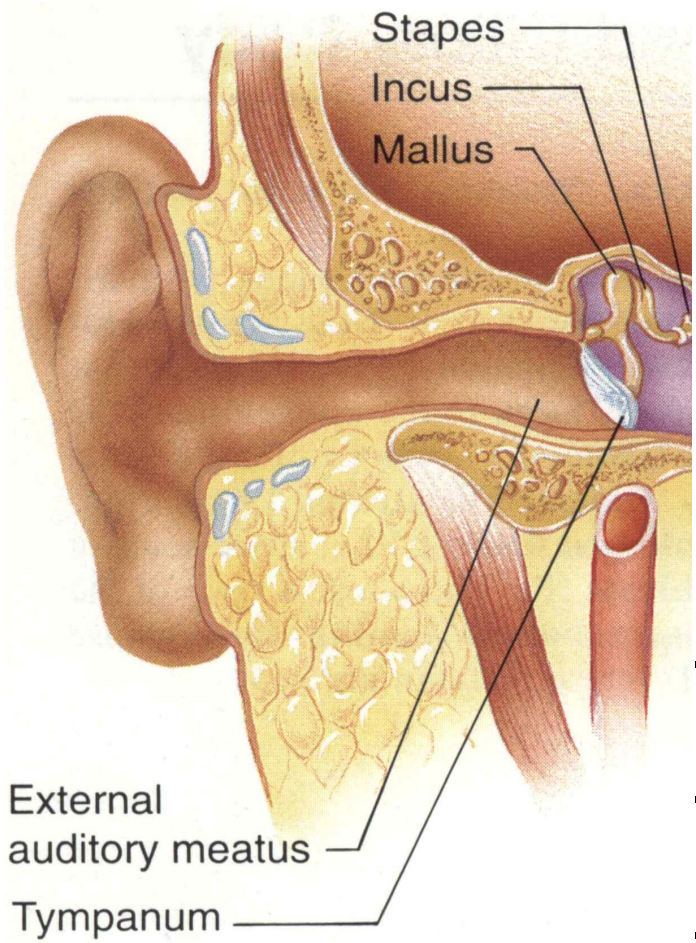
ФУНКЦИИ СЛУХА

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^{o}**
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


Outer ear
Middle ear
Inner ear
Helix
Auricle
External auditory meatus
Earlobe
Tympanic membrane
Auditory ossicles
Semicircular canals
Facial nerve
Vestibular nerve
Cochlear nerve
Cochlea
Temporal bone
Round window
Tympanic cavity
Auditory tube

НАРУЖНОЕ УХО



1. Ушная раковина – эластический хрящ, жировая ткань

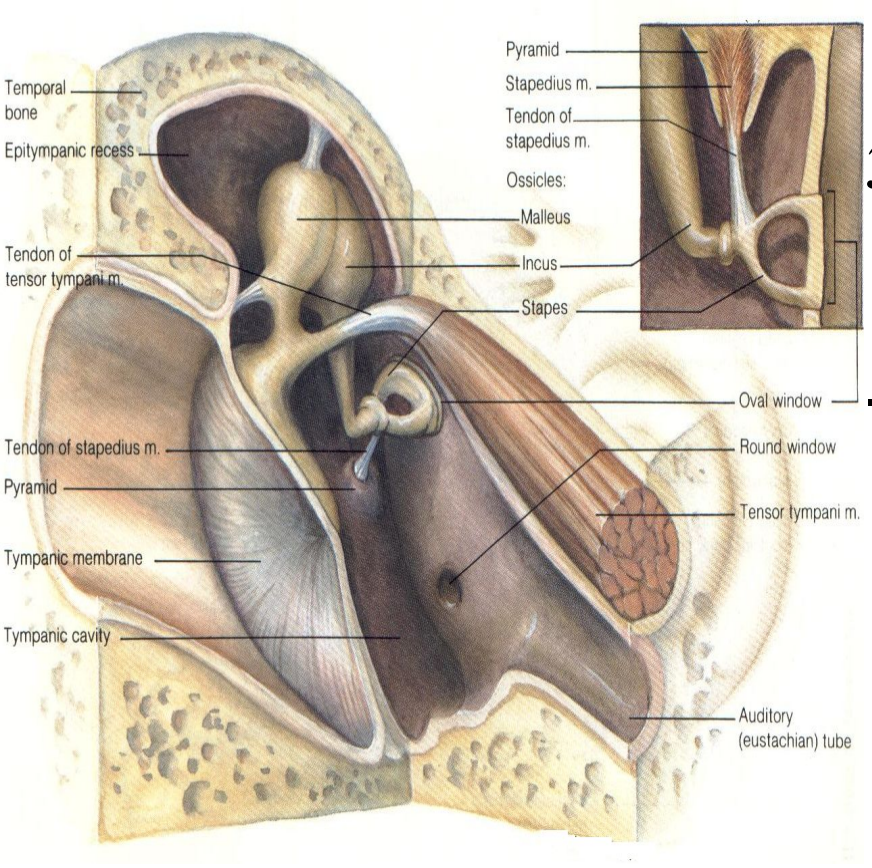
2. Наружный слуховой проход –30-35 мм, хрящевой, костный отделы, многослойный плоский эпителий, сальные железы.

3. Барабанная перепонка – d-75мм ^{2} слаборастяжимая мембрана,т =0,1мм, 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 Т**
- **постоянство влажности**

СРЕДНЕЕ УХО

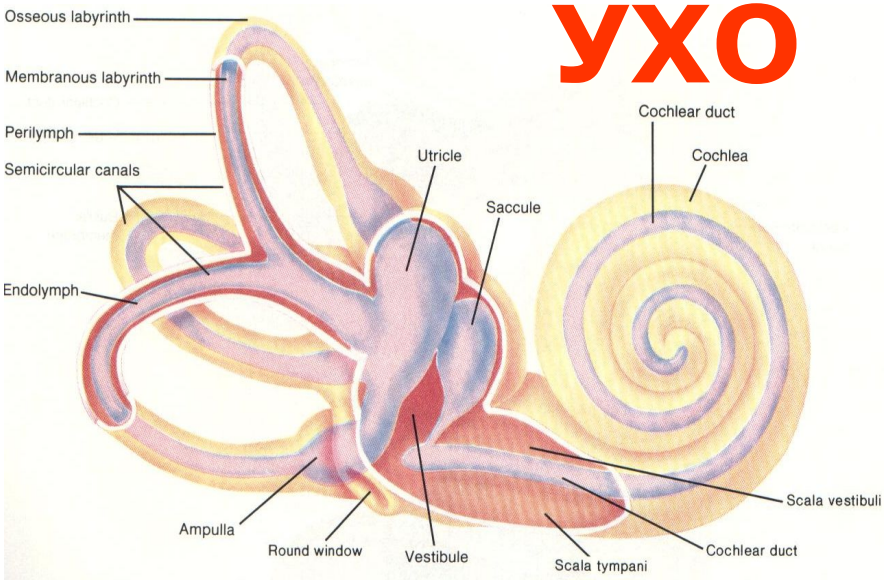


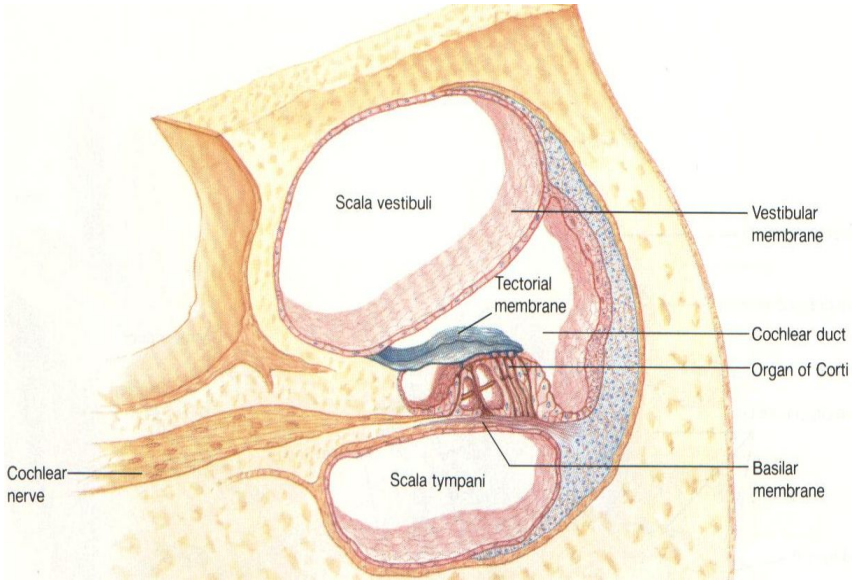
1. **Косточки**: молоточек (к перепонке), наковальня, стремечко (к овальному окну)
2. **Мышцы и связки**: m.tensor tympani (к молоточку), m.stapedius (к стремечку)
3. **Евстахиева труба** – от носоглотки к среднему уху

ФУНКЦИИ:

- Эффективная передача звуковых колебаний
- Косточки ↑Р на овальное окно в 20раз по сравнению с Р на перепонку
- Мышцы ↓А и Р сверхсильных раздражителей на овальное окно
- Евстахиева труба уравнивает Р с атмосферным

ВНУТРЕННЕЕ УХО





1. **Вестибулярный аппарат (предверие 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 *базилярная* (рейснерова):

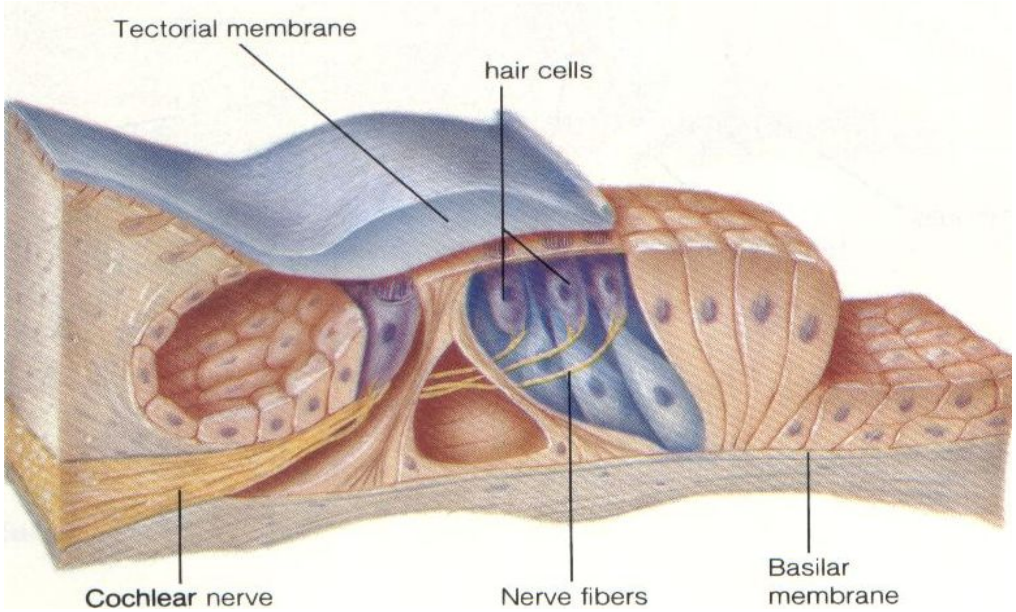
кортиев орган (на основной мембране)

***звуковоспринимающие 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)

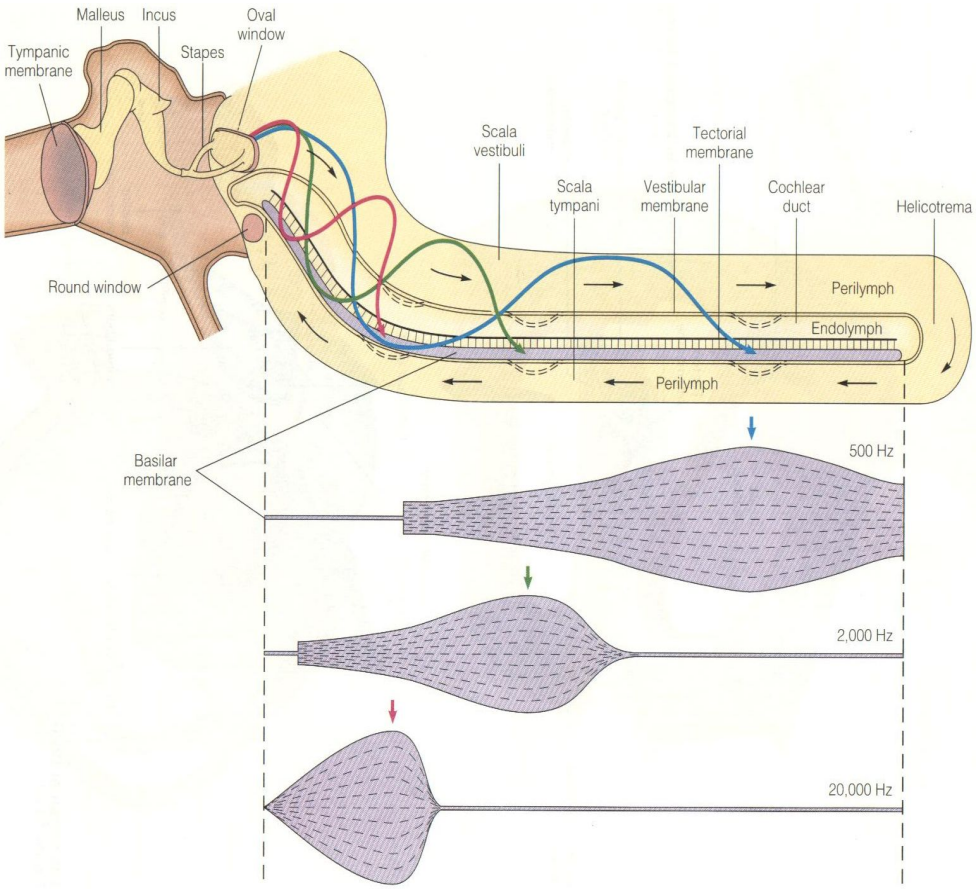
ВИДЫ ПОТЕНЦИАЛОВ В УЛИТКЕ

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 *огибающую* 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.**

РАЗЛИЧЕНИЕ ВЫСОТЫ ТОНА



Effect of Sound Frequency on the Basilar Membrane

Начальная (жесткая) часть мембраны - высокочастоный фильтр:

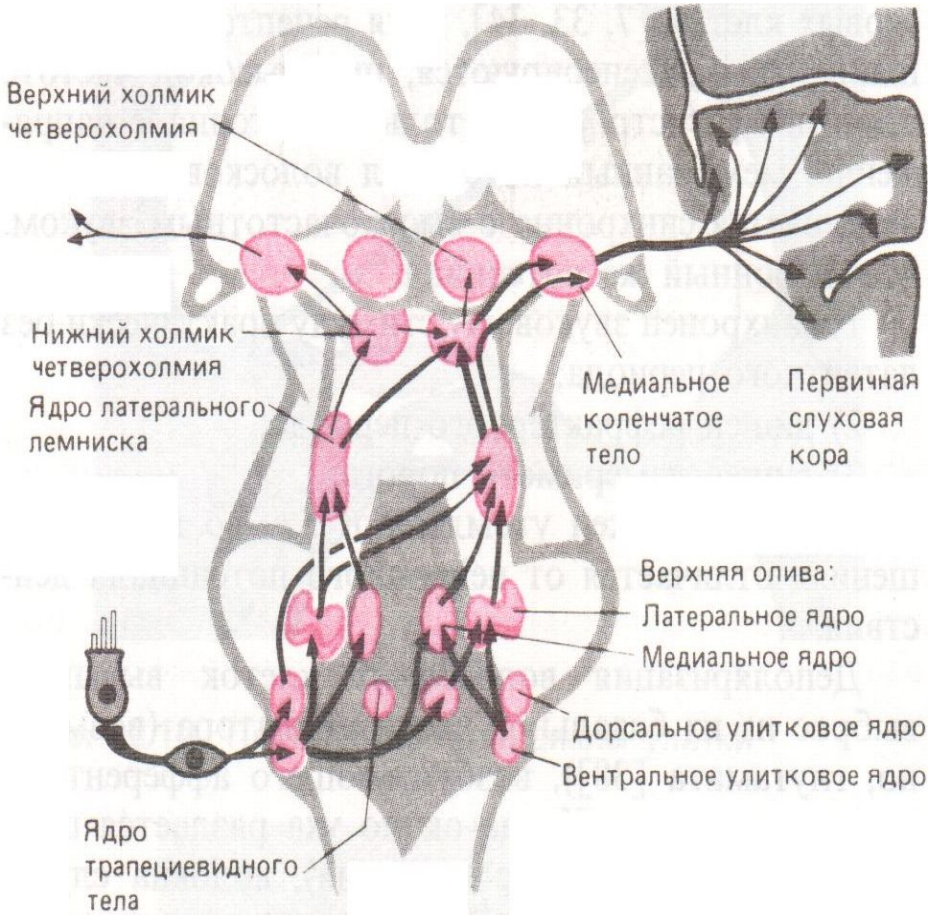
При действии звуков низкой частоты (до 1000Гц) базилярная мембрана смещается *на всем протяжении* улитки.

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

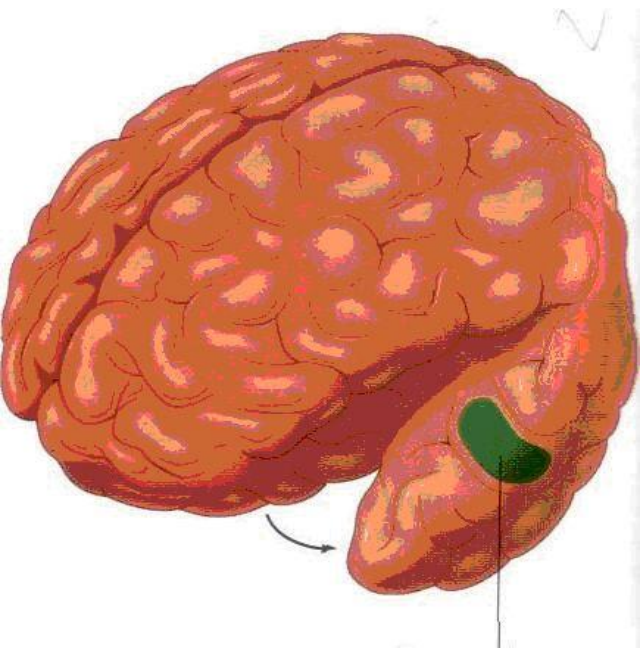
1. ***Гельмгольца*** (XIX) – ***теория резонанса***. ***Волокна*** **основной мембраны** ***разные по длине*** **и настроены на восприятие разных длин волн.**
2. ***Бекеши*** (XX) **– при воздействии звуков невысокой частоты реагирует весь** ***столб жидкости***, **при воздействии** ***высоких звуков – 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 базиллярной 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

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 раздельно, пространственная локализация звуков.

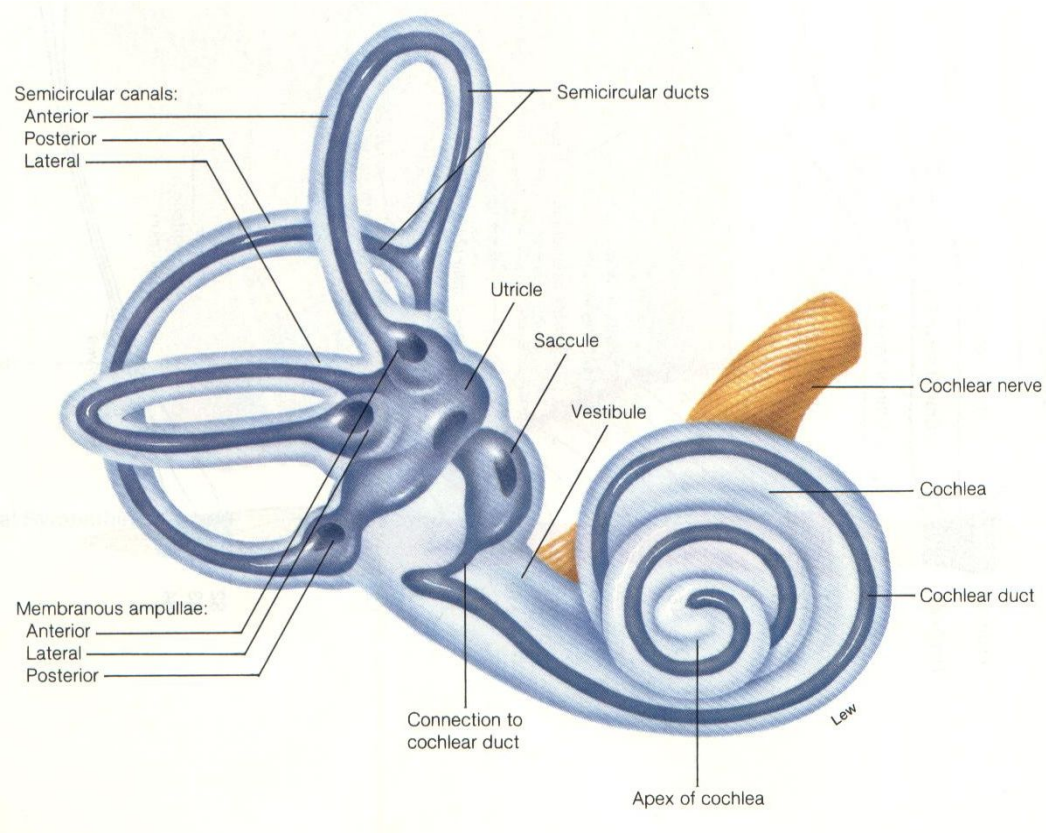
Нейроны - детекторы: 1. вычленяют информацию о чистых звуках; 2. анализируют последовательность звуков; 3. амплитуду звуков; 4. локализуют источник и направление звука.

Ассоциативные нейроны: представление о мелодии, адаптация.

ВЕСТИБУЛЯРНЫЙ

АНАЛИЗАТОР

ПЕРИФЕРИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

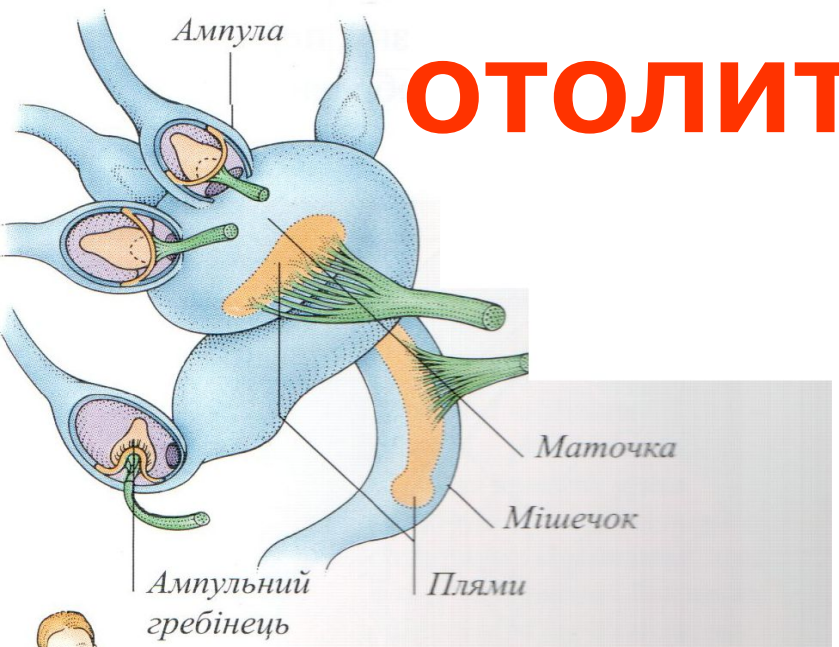


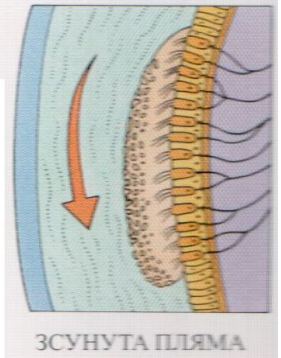
Локализация – височная кость

Представлен вестибулярным органом:

- **отолитовый аппарат – маточка и мешочек**
- **ампульный аппарат в полукружных каналах: сагитальном, горизонтальном, фронтальном.**

ОТОЛИТОВЫЙ АППАРАТ



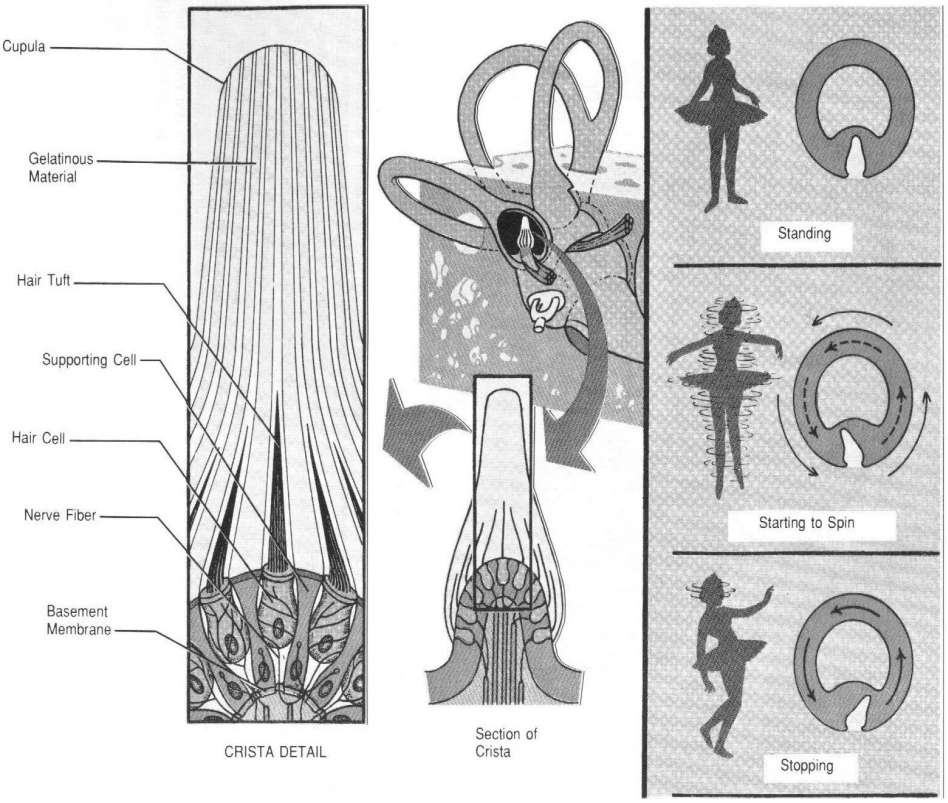


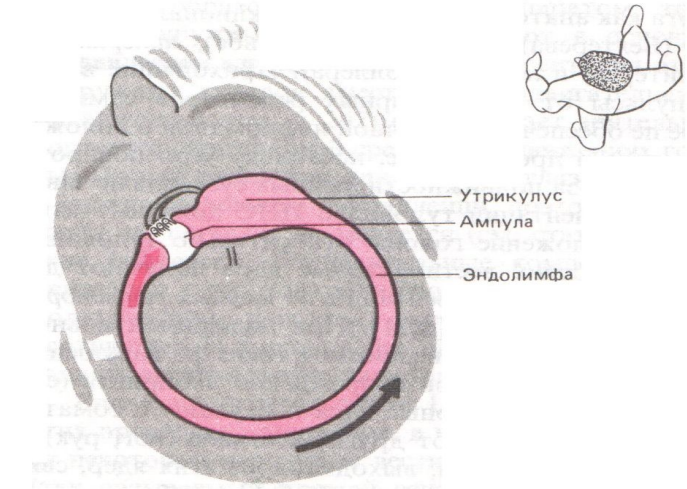
Линейное ускорение, вибрация, качка и т.д.

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**

АМПУЛЬНЫЙ АППАРАТ



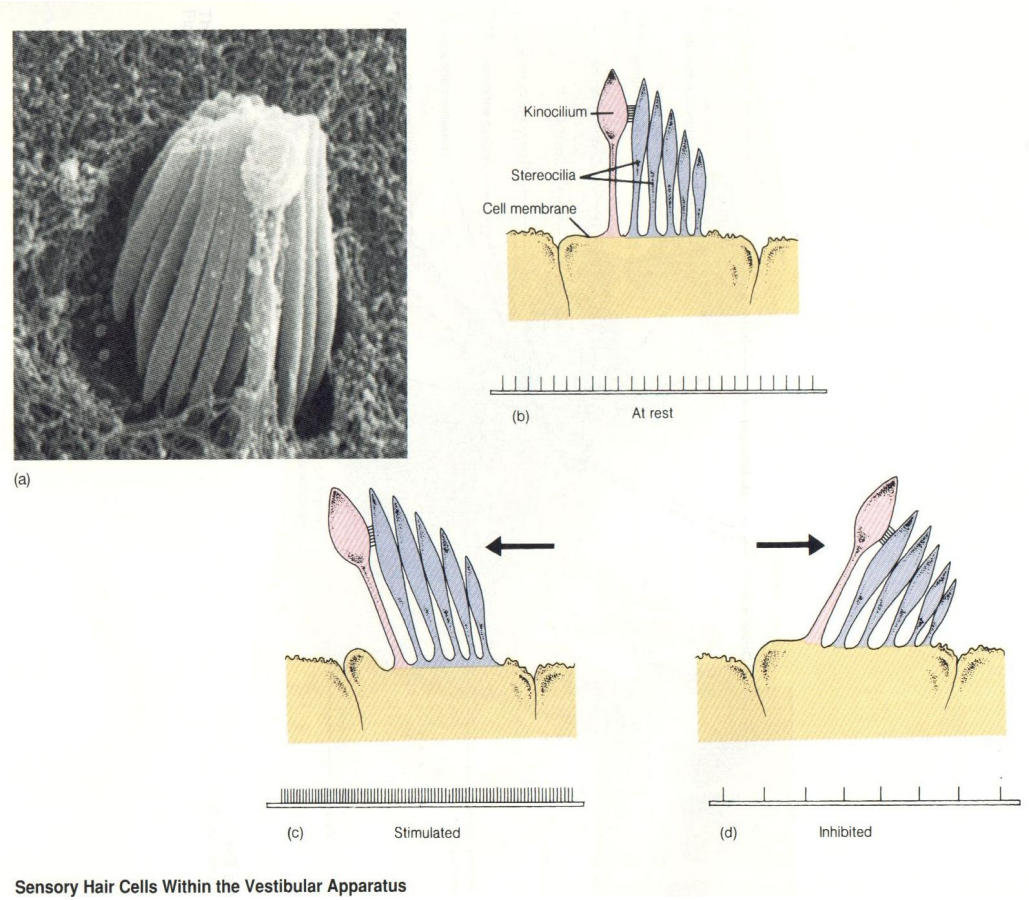


Рецепторные клетки **- ресничные, в ампулах полукружных каналов *вторичночувствующие*.**

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



Sensory Hair Cells Within the Vestibular Apparatus

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

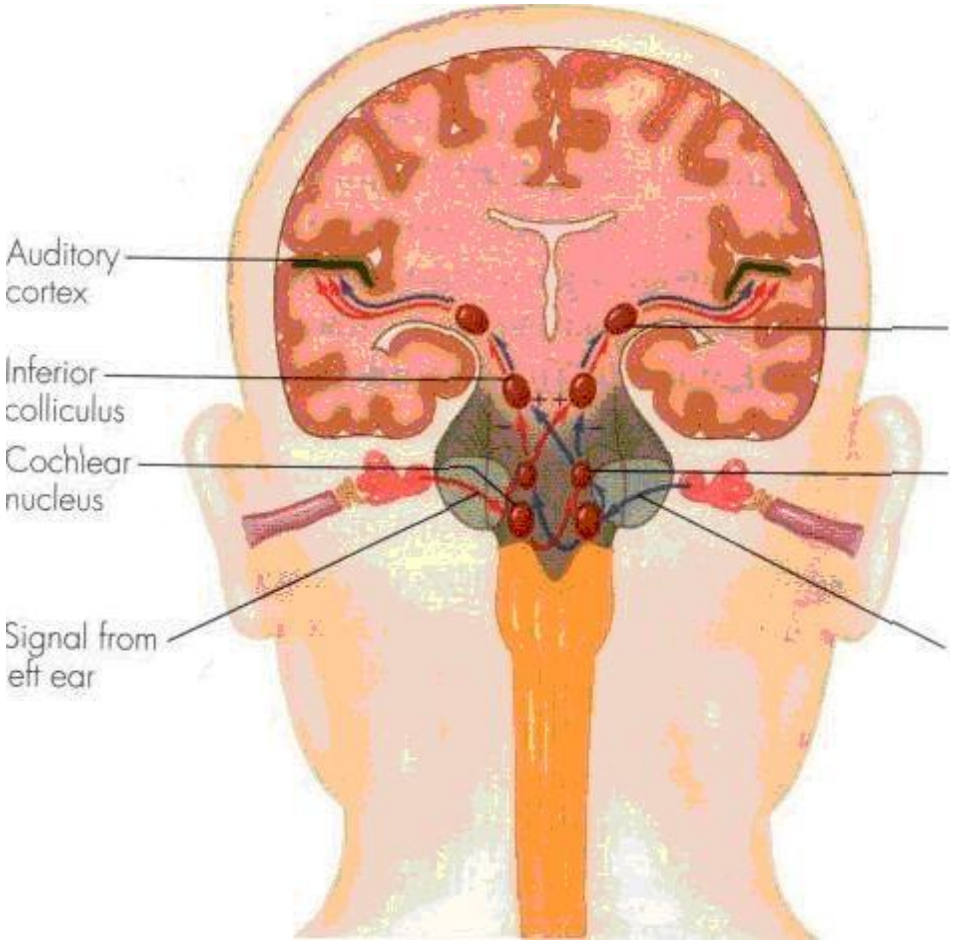
При сгибании пучка стереоцилий в сторону киноцилия в мембране клетки ↑проницаемость для Na→ деполяризация волосковой клетки (РП) → выделение ею медиатора (АХ) → деполяризация (ГП) окончаний дендрита афферентного нейрона (I)

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 даижении).**
2. **Вестибулоокулярный путь – регуляция активности мышц глаза во время движения (на сетчатке сохраняется объект наблюдения).**
3. **Вестибуломозжечковый – регуляция мышечного тонуса во время перпмещения. 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