

Слуховой анализатор

- Совокупность центральных и периферических структур,
- обеспечивающих восприятие, кодирование и декодирование ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ.

- Ухо человека воспринимает звуки от 16 до 20000гц.
- максимальная чувствительность от 1000 до 4000 Гц

Главное речевое поле

- находится в диапазоне 200 – 3200 Гц.
- Старики часто не слышат высокие частоты.

- **Тоны** - содержат звуки одной частоты.
- **Шумы** – звуки, состоящие из несвязанных между собой частот.
- **Тембр** – это характеристика звука, определяемая формой звуковой волны.

Амплитуда звуковой волны

- Это сила звука, интенсивность. Воспринимается как громкость, измеряется в $\text{эрг}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$.
- Громкость звучания определяется взаимодействием силы и частоты.

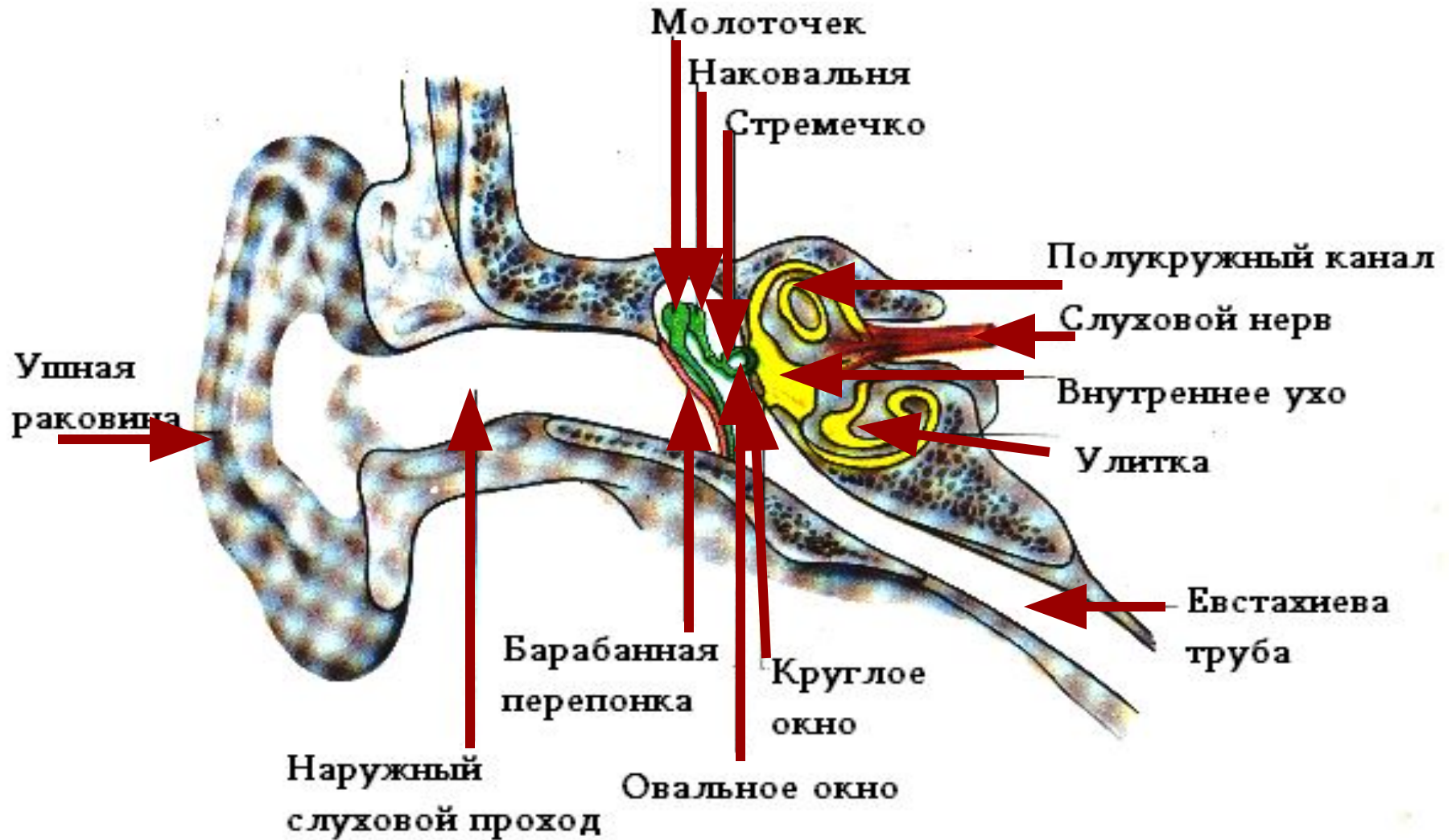
Единицей громкости звука

- является бел.
- Это десятичный логарифм действующей интенсивности звука I
- к пороговой его интенсивности I_0
- В практике обычно пользуются в качестве единицы громкости децибелом, т.е. 0,1 бела.

Психологические корреляты громкости звука.

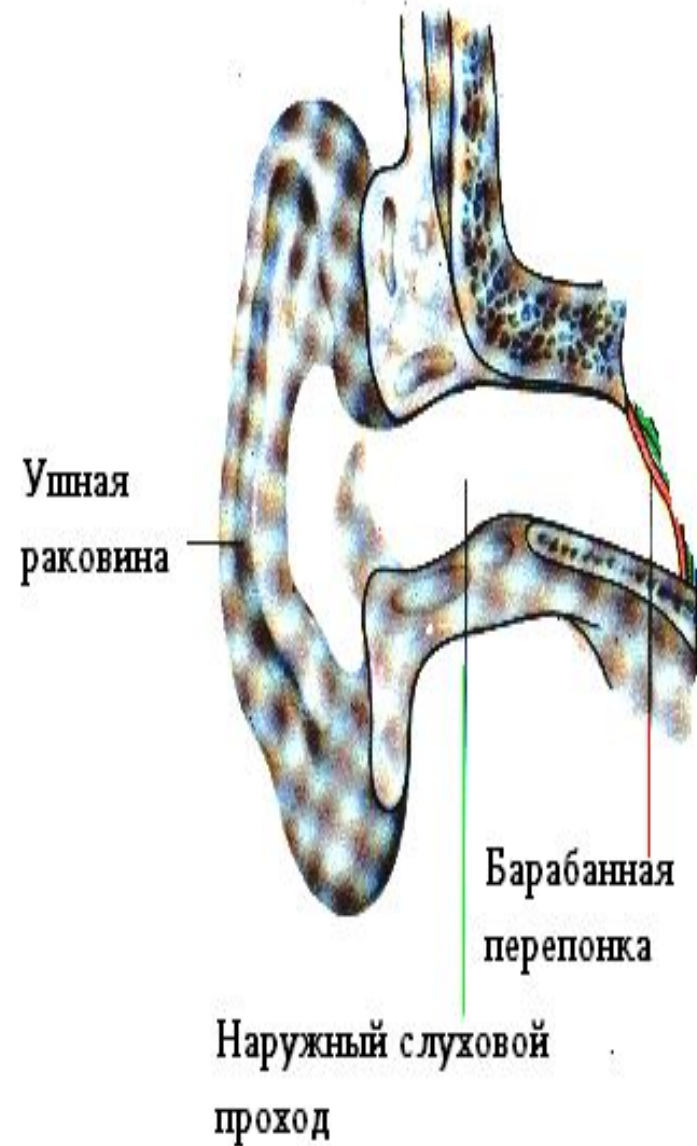
- шепотная речь – 30 дБ
- разговорная речь – 40 – 60 дБ
- уличный шум – 70 дБ
- крик у уха – 110 дБ
- громкая речь – 80 дБ
- реактивный двигатель – 120 дБ
- болевой порог – 130 – 140 дБ

Строение уха



Наружное ухо

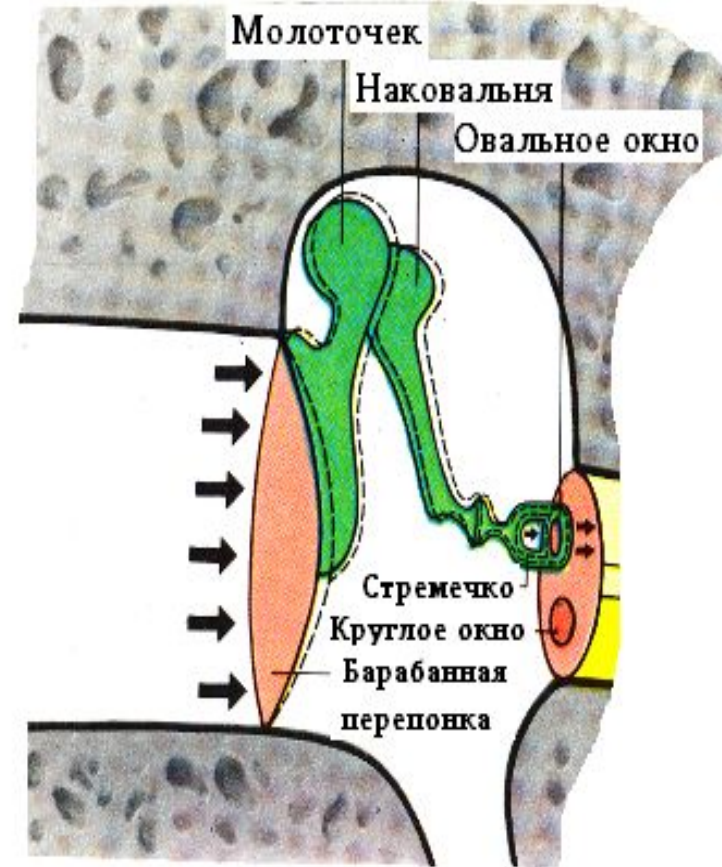
- Ушная раковина – это улавливатель звука, резонатор.
- Барабанная перепонка воспринимает звуковое давление и передает его к косточкам среднего уха.



- Не имеет собственного периода колебаний, т.к. ее волокна имеют разное направление.
- Не искажает звук. Колебания мембраны при очень сильных звуках ограничивает **musculus tensor timpani**.

Среднее ухо

- Рукоятка молоточка
вплетена в барабанную
перепонку.
- Последовательность
передачи информации:
- БП →
- Молоточек →
- Наковальня →
- Стремечко →
- овальное окно →
- перилимфа →
вестибулярной
лестницы улитки



- Отношение поверхности стремечка и барабанной перепонки равно 1:22.
- Это обеспечивает усиление давления звуковых волн на овальное окно \approx в 22 раза и уменьшение амплитуды колебаний.

- **musculus stapedius.**
ограничивает колебания
стремечка.
- Рефлекс возникает через
10мс после действия
СИЛЬНЫХ ЗВУКОВ на ухо.

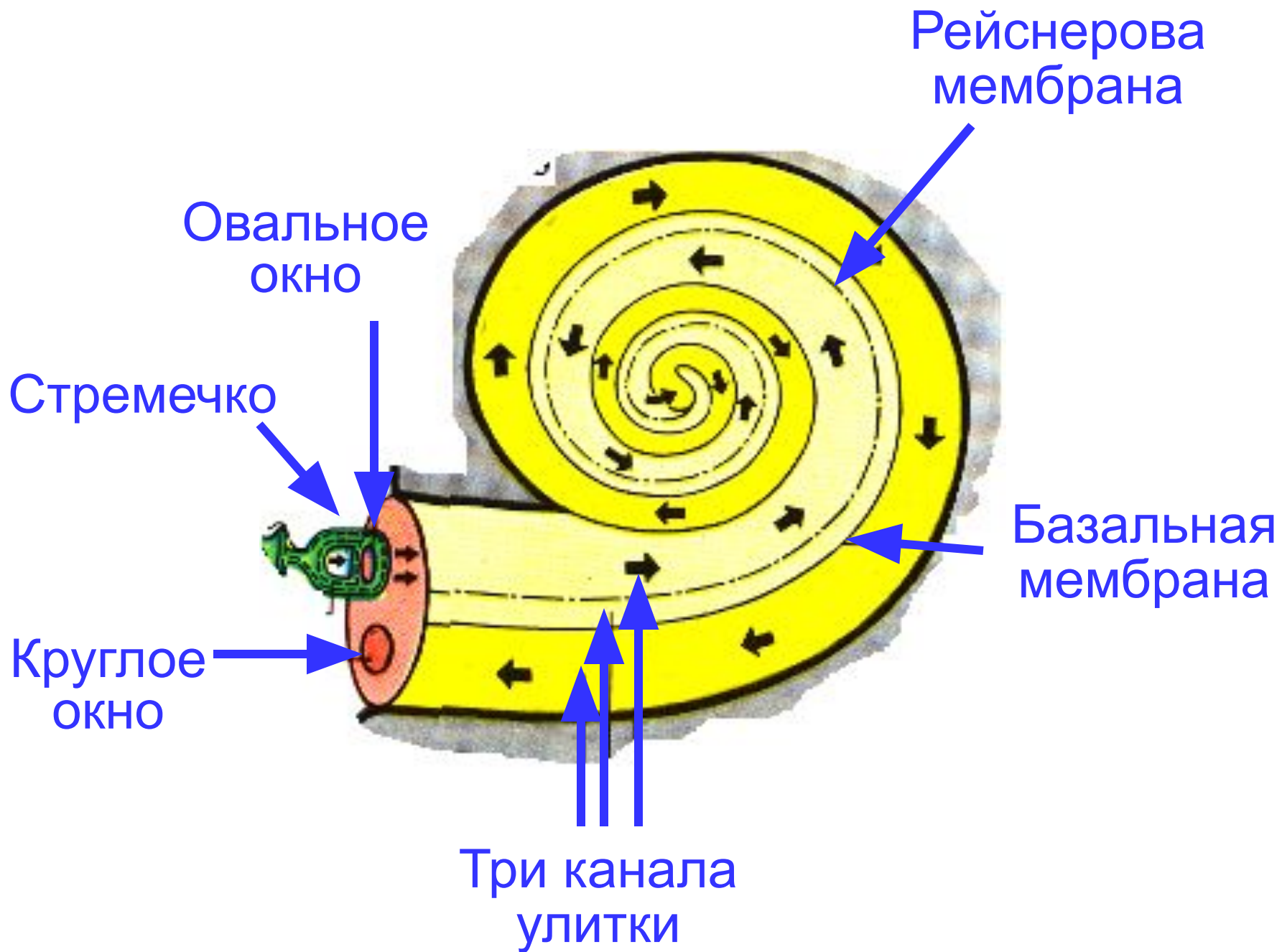
- Передача звуковой волны в наружном и среднем ухе происходит в воздушной среде.

- Благодаря евстахиевой трубе,
- давление в этой полости равно атмосферному.
- Это создает наиболее благоприятные условия для колебаний барабанной перепонки.

Внутреннее ухо. Улитка

- Находится в пирамиде височной кости.
- Здесь звук переходит в жидкую среду.
- **Улитка** - костный, спиральный (2,5 витка), постепенно расширяющийся канал.
- Диаметр улитки у **основания 0,04 мм**, на вершине - **0,5мм**.

- Костный канал разделен двумя мембранами: тонкой вестибулярной мембраной (Рейснера)
- и плотной, упругой основной мембраной.
- На вершине улитки обе эти мембраны соединяются, в них имеется отверстие *helicotrema*.
- 2 мембраны делят костный канал улитки на 3 хода.



Каналы улитки

- 1) Верхний канал вестибулярная лестница (от овального окна до вершины улитки).
- 2) Нижний канал – барабанная лестница (от круглого окна).
Каналы сообщаются, заполнены **перилимфой** и образуют единый канал.
- 3) Средний или перепончатый канал заполнен **ЭНДОЛИМФОЙ**.

- Эндолимфа образуется сосудистой полоской на наружной стенке средней лестницы.

Кортиев орган

Находится на основной мембране.

Это рецепторный аппарат слухового анализатора.

- Фонорецепторы являются механорецепторами.
- Это волосковые клетки.
- Различают внутренние и наружные. Разделены кортиевыми дугами.

Внутренние

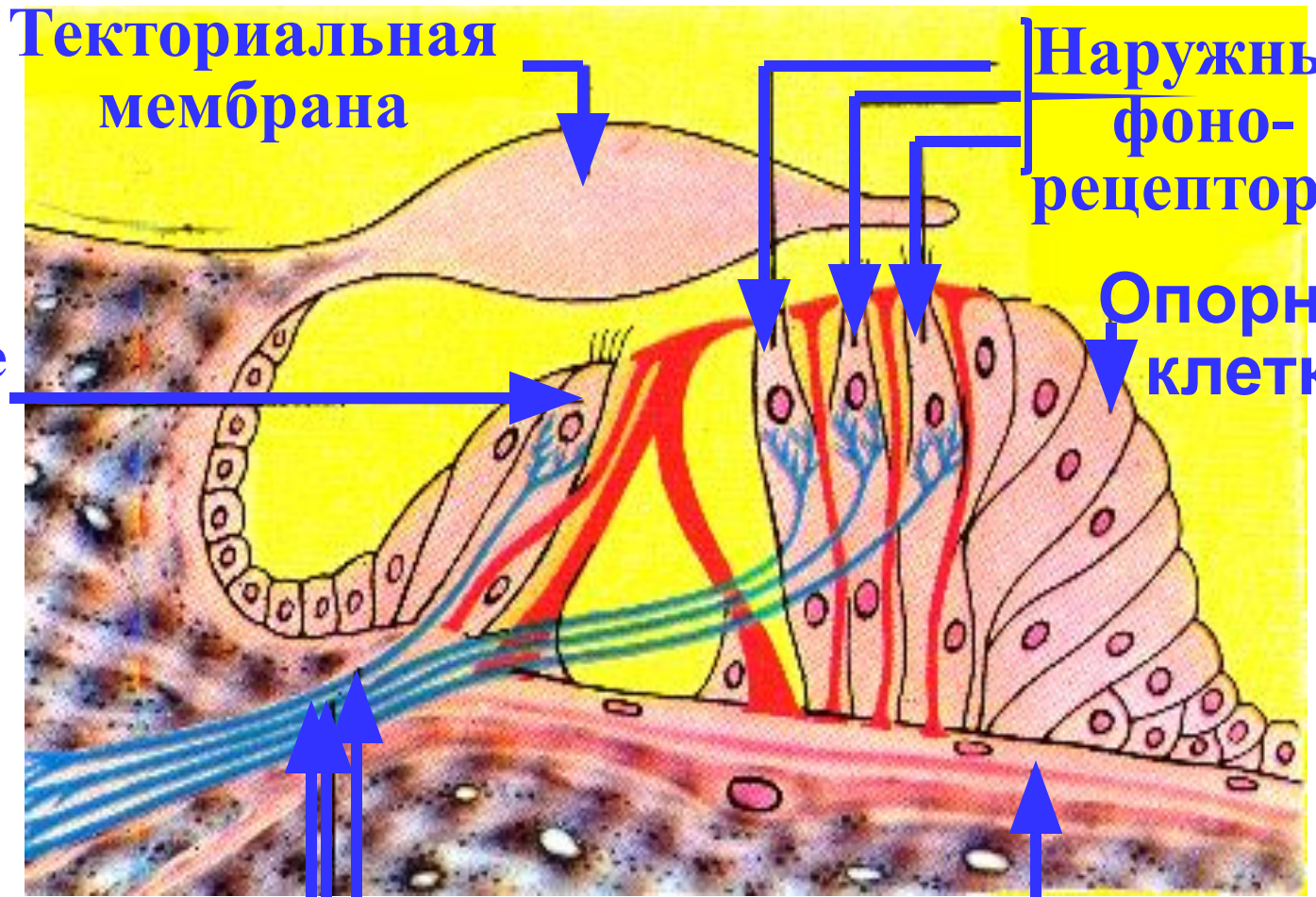
- располагаются в один ряд,
- их около 3500 клеток.
- Имеют 30 – 40 толстых и очень коротких волосков (4 – 5 МК).

Наружные

- располагаются в 3 – 4 ряда,
- их 12000 – 20000 клеток.
- Имеют 65 – 120 тонких и длинных волосков.

- Волоски рецепторных клеток омываются эндолимфой и контактируют с текториальной мембраной.

Строение кортиева органа



Текториальная мембрана

Наружные фонорецепторы

Внутренние фонорецепторы

Опорные клетки

Нервные волокна

Базальная мембрана

Возбуждение фонорецепторов

- При действии звуков основная мембрана начинает колебаться.
- Волоски рецепторных клеток касаются текториальной мембраны
- и деформируются.

- В фонорецепторах возникает рецепторный потенциал и слуховой нерв возбуждается по схеме вторичночувствующих рецепторов.
- Слуховой нерв образован отростками нейронов спирального ганглия.

Электрические потенциалы улитки

- 5 электрических феноменов:
- 1. мембранный потенциал фоторецептора.
- 2. потенциал эндолимфы (оба не связаны с действием звука);
- 3. микрофонный,
- 4. суммационный
- 5. потенциал слухового нерва
- (возникают под влиянием звуковых раздражений).

Характеристика потенциалов улитки

- 1) Мембранный потенциал рецепторной клетки - разность потенциалов между внутренней и наружной стороной мембраны. МП= -70 - 80 мВ.

- 2) Потенциал эндолимфы или эндокохлеарный потенциал.

Эндолимфа имеет положительный потенциал по отношению к перилимфе. Эта разность равна 80 мВ.

- 3) Микрофонный потенциал (МП).
Регистрируется при расположении электродов на круглом окне или вблизи рецепторов в барабанной лестнице.
- Частота МП соответствует частоте звуковых колебаний, поступающих на овальное окно.
- Амплитуда этих потенциалов пропорциональна интенсивности звука.

- 4) Суммационный потенциал.
- Это сдвиг исходной разности потенциалов при записи МП во время действия сильного или высокочастотного звука.



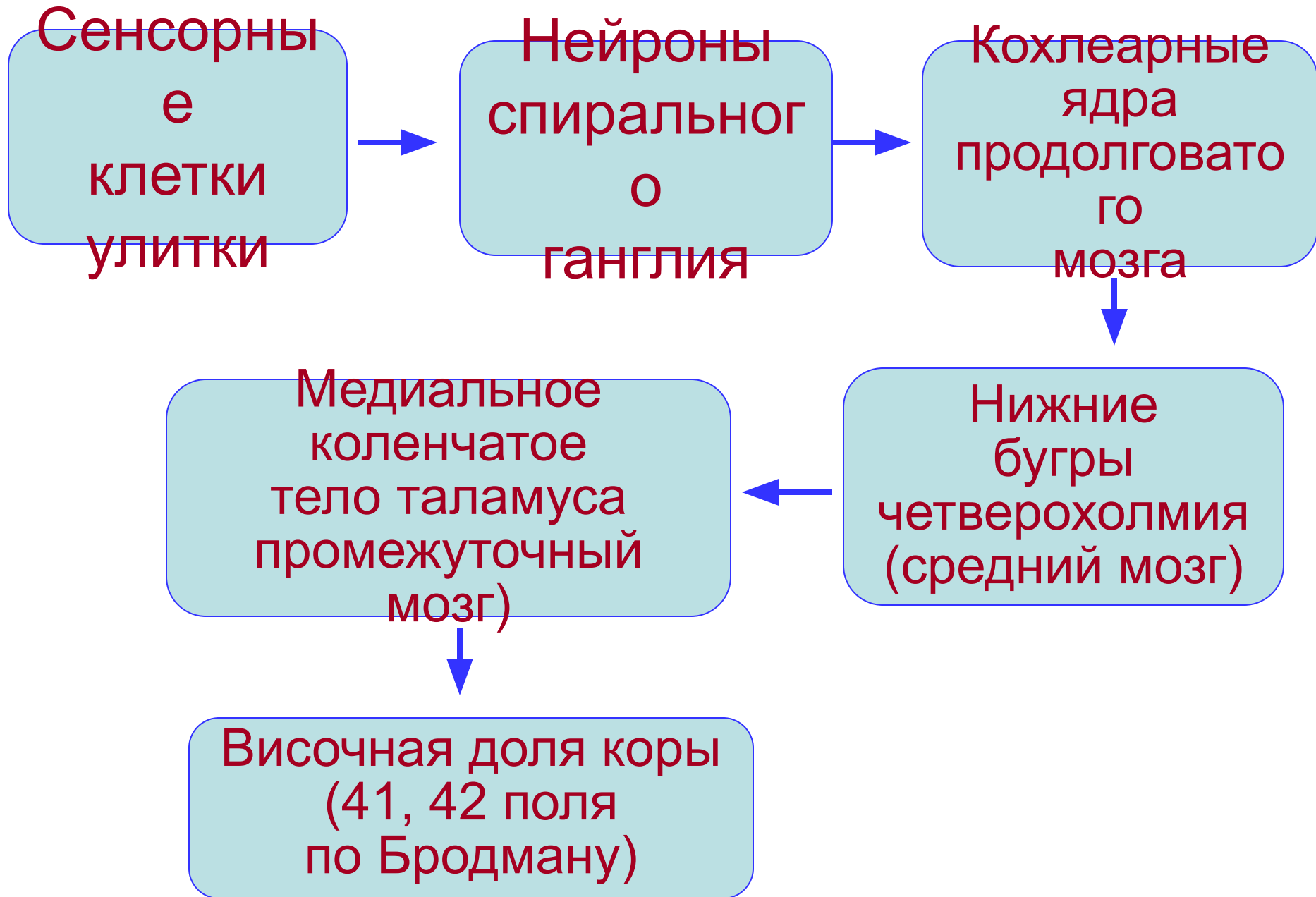
5) Потенциал действия волокон слухового нерва

- Является следствием возникновения в волосковых клетках микрофонного и суммационного потенциалов. Количество зависит от частоты действующего звука.

- Если действуют звуки до 1000гц,
- то в слуховом нерве возникают ПД соответствующей частоты.
- При более высоких частотах – частота ПД в слуховом нерве снижается.

- При низких частотах ПД наблюдаются в большом, а при высоких – в небольшом количестве нервных волокон.

Блок-схема слуховой СИСТЕМЫ



Роль различных отделов ЦНС

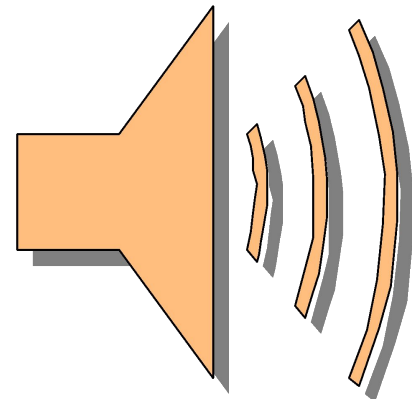
- Кохлеарные ядра – первичное распознавание характеристик звуков.
- Нижние бугры четверохолмия обеспечивают первичные ориентировочные рефлексы на звук.
- Слуховая область коры обеспечивает:
 - 1) реакцию на двигающийся звук;
 - 2) выделение биологически важных звуков;
 - 3) реакцию на сложный звук, речь.

Теории восприятия звуков различной высоты (частоты)

- **1. Резонансная теория Гельмгольца.**
- **2. Телефонная теория Резерфорда.**
- **3. Теория пространственного кодирования.**

Резонансная теория Гельмгольца

- Каждое волокно основной мембраны улитки настроено на свою частоту звука:
 - на **низкие частоты** – длинные волокна у верхушки;
 - на **высокие частоты** - короткие волокна у основания.



Теория не нашла подтверждения потому что:

- Волокна мембраны не натянуты и не имеют «резонансных» частот колебаний.

Телефонная теория Резерфорда (1880г.)

- Звуковые колебания
→ овальное окно → колебание перилимфы вестибулярной лестницы → через геликотрему колебание перелимфы барабанной лестницы → колебания основной мембраны
- → возбуждение фонорецепторов

- Частоты ПД в слуховом нерве соответствуют частотам действующего на ухо звука.
- Однако это справедливо только до 1000гц.
- Более высокую частоту ПД нерв не может воспроизвести

Теория пространственного
кодирования Бекеша.
(Теория бегущей волны,
теория места)

Объясняет восприятие
звука с частотами выше
1000 Гц

- При действии звука стремячко непрерывно передает колебания на перилимфу.
- Через тонкую вестибулярную мембрану они передаются на эндолимфу.

- Вдоль
эндолимфатического
канала к геликотреме
распространяется
«бегущая волна».

- Скорость ее
распространения
постепенно падает,

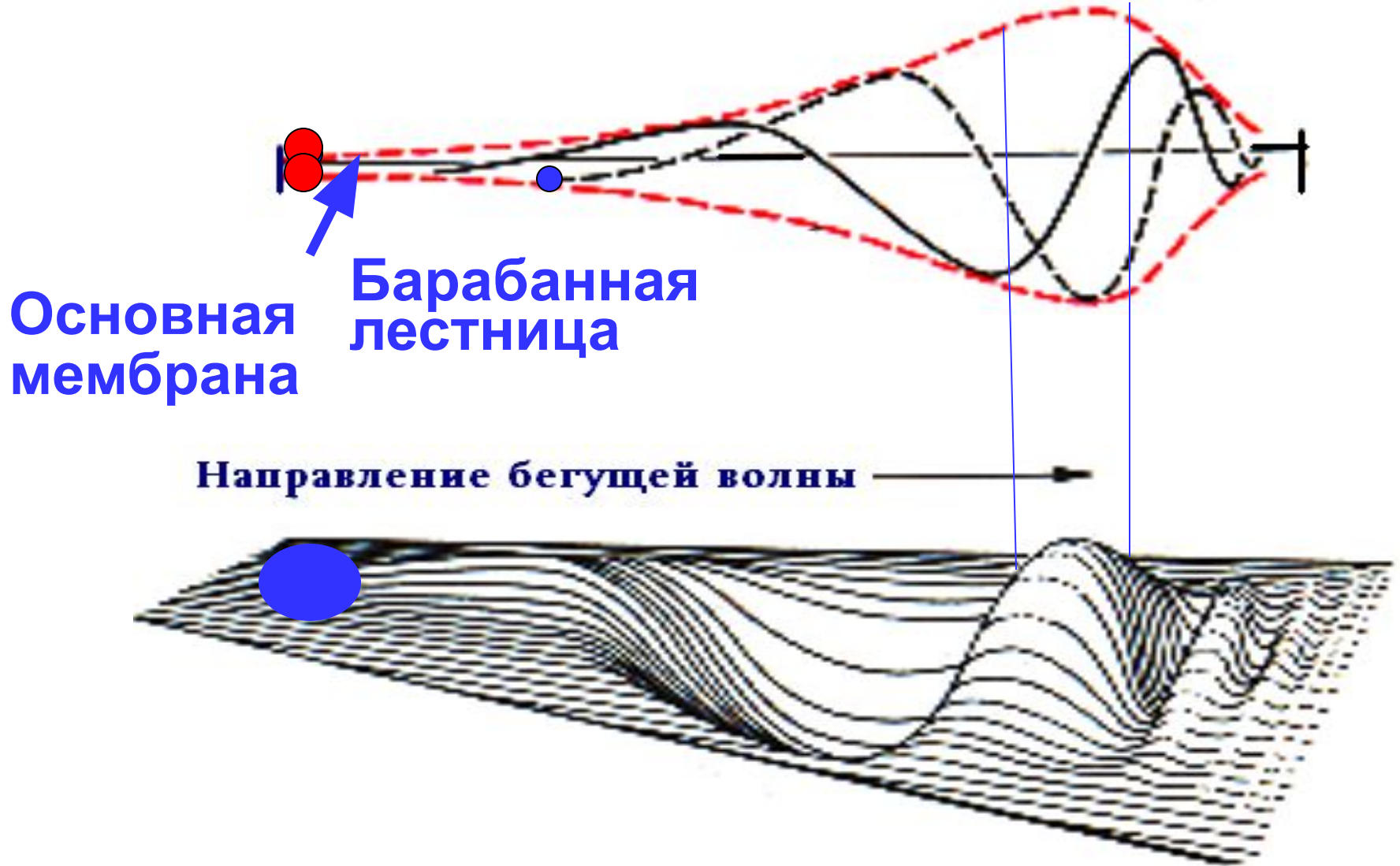
- Амплитуда волны сначала увеличивается,
- затем снижается и ослабеваает
- не доходя до геликотремы.
- Между местом возникновения волны и точкой ее затухания лежит амплитудный максимум.

- Амплитудный максимум локализуется в различных участках основной мембраны в зависимости от частоты.
- Сенсорные клетки возбуждаются наиболее сильно в области амплитудного максимума.

- Для высоких частот амплитудный максимум находится в области овального окна.
- Для низких частот – в области верхушки улитки.

- Для средних частот — в средней части основной мембраны.
- Эта теория справедлива при звуковых колебаниях выше 800 – 1000 Гц.

Вестибулярная лестница



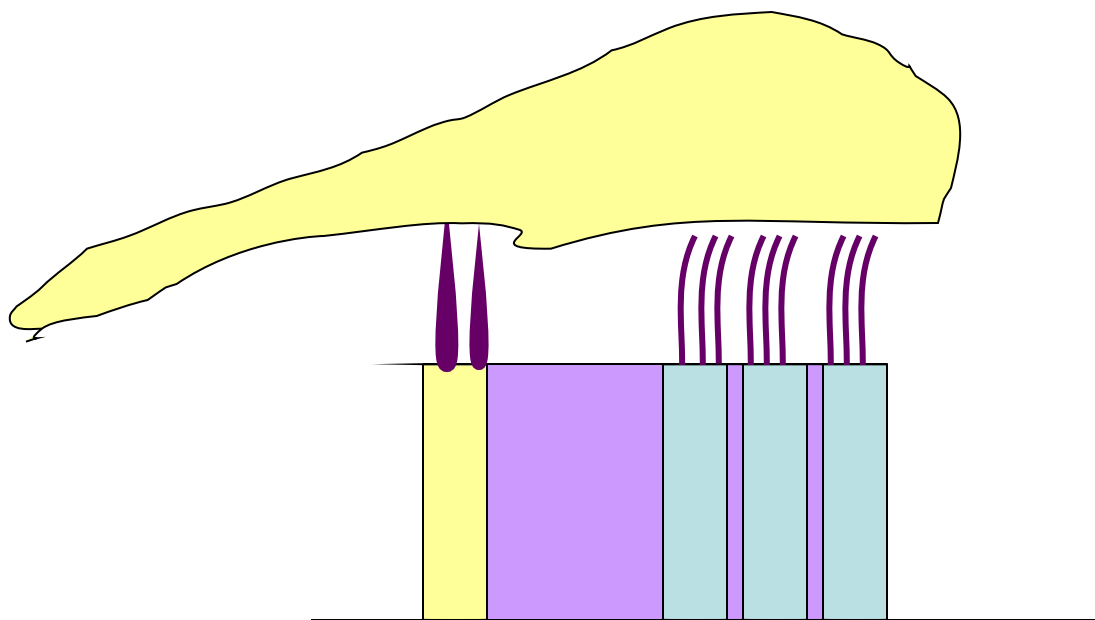
Кодирование интенсивности звука

осуществляется путем
раздражения внутреннего
и наружного слоев
рецепторных клеток
кортиева органа.

- Наружные фонорецепторы имеют тонкие и длинные волоски и деформируются текториальной мембраной при более слабых звуках.

- Внутренние
фонорецепторы с
ТОЛСТЫМИ И КОРОТКИМИ
ВОЛОСКАМИ
возбуждаются при
СИЛЬНЫХ ЗВУКАХ.

- В зависимости от интенсивности звукового раздражения имеется разное соотношение числа возбужденных внутренних и наружных фонорецепторов.



Внутренние

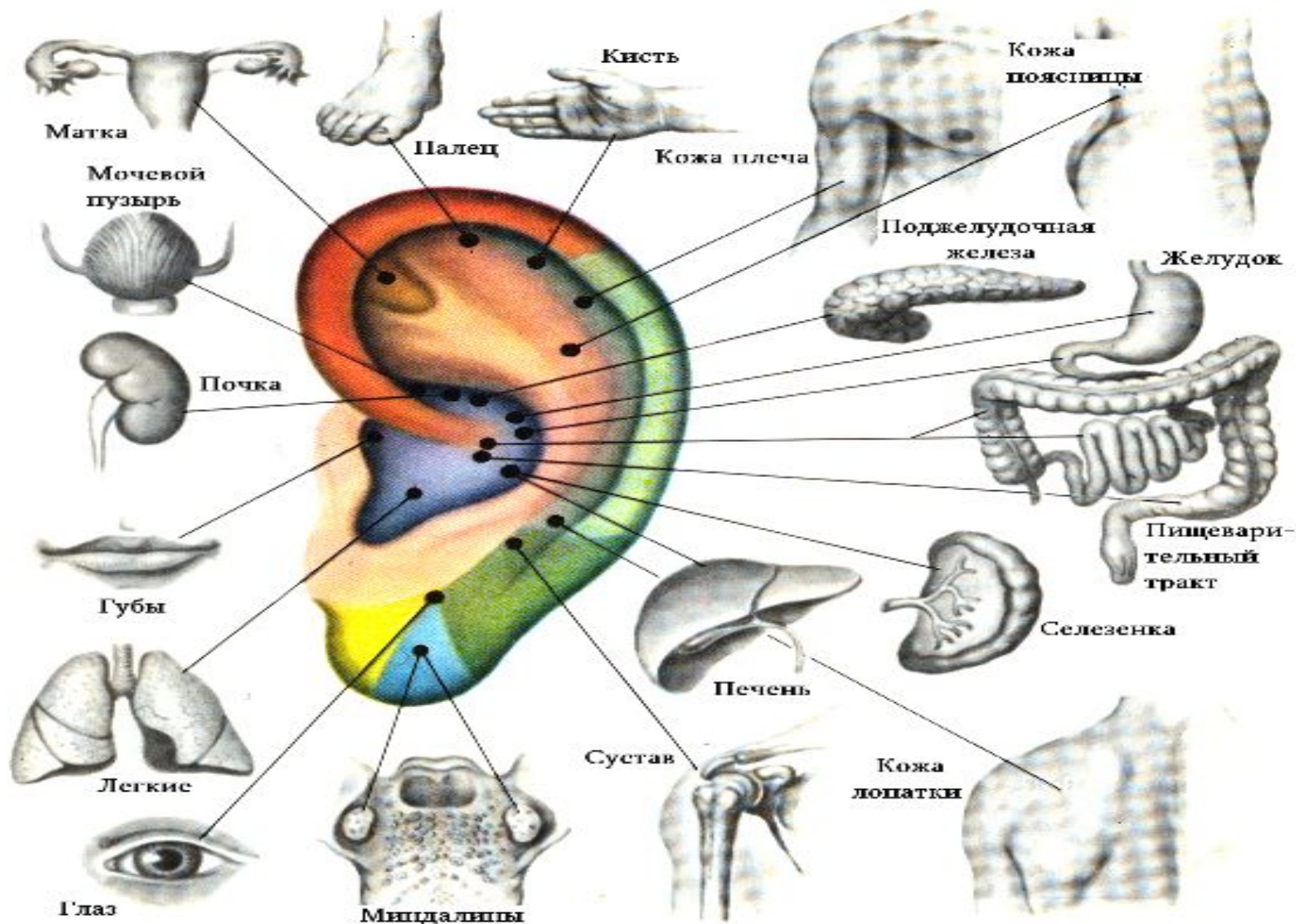
Наружные

Слуховая система как регулятор функций

- 1) За счет коллатеральных связей звуковая информация изменяет активность ретикулярной формации,
- а она по восходящим и нисходящим путям активирует другие отделы ЦНС, в том числе АНС, ЖВС.
- 2) За счет связей с двигательными ядрами способствует изменению тонуса мышц, позы, движений.
- 3) Специально подобранная музыка повышает работоспособность.

- 4) Бодрая и маршевая музыка снимает утомление.
- 5) Шум выше 95дб снижает работоспособность, ухудшает работу внутренних органов.
- 6) Ушная раковина имеет много БАТ.

БАТ на ушной раковине



Методы исследования слухового анализатора

- 1) Определение остроты слуха шепотом, речью.
- 2) Тональная аудиометрия.
- 3) Время костной и воздушной проводимости звука.
- 4) Бинауральность слуха.

Аудиограмма

