



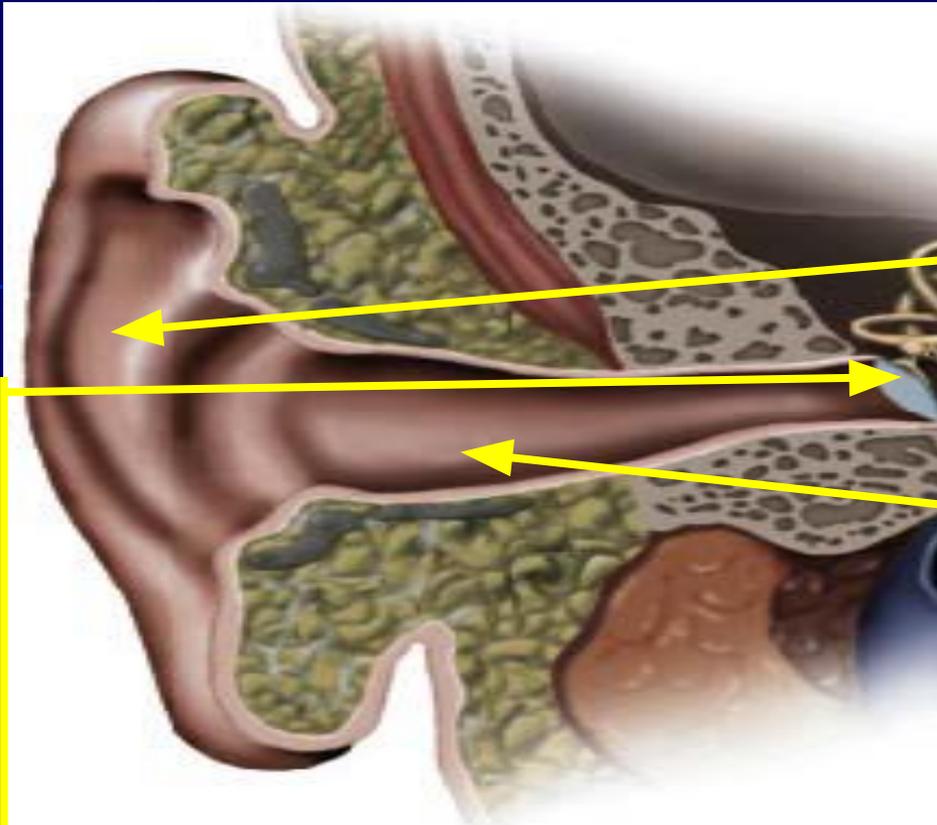
СЛУХОВАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕКА



Орган слуха
воспринимает
звуковые сигналы
и состоит из трех частей:

- **наружного,**
- **среднего**
- **внутреннего уха.**

Строение наружного слухового прохода



К наружному уху относят ушную раковину и наружный слуховой проход.

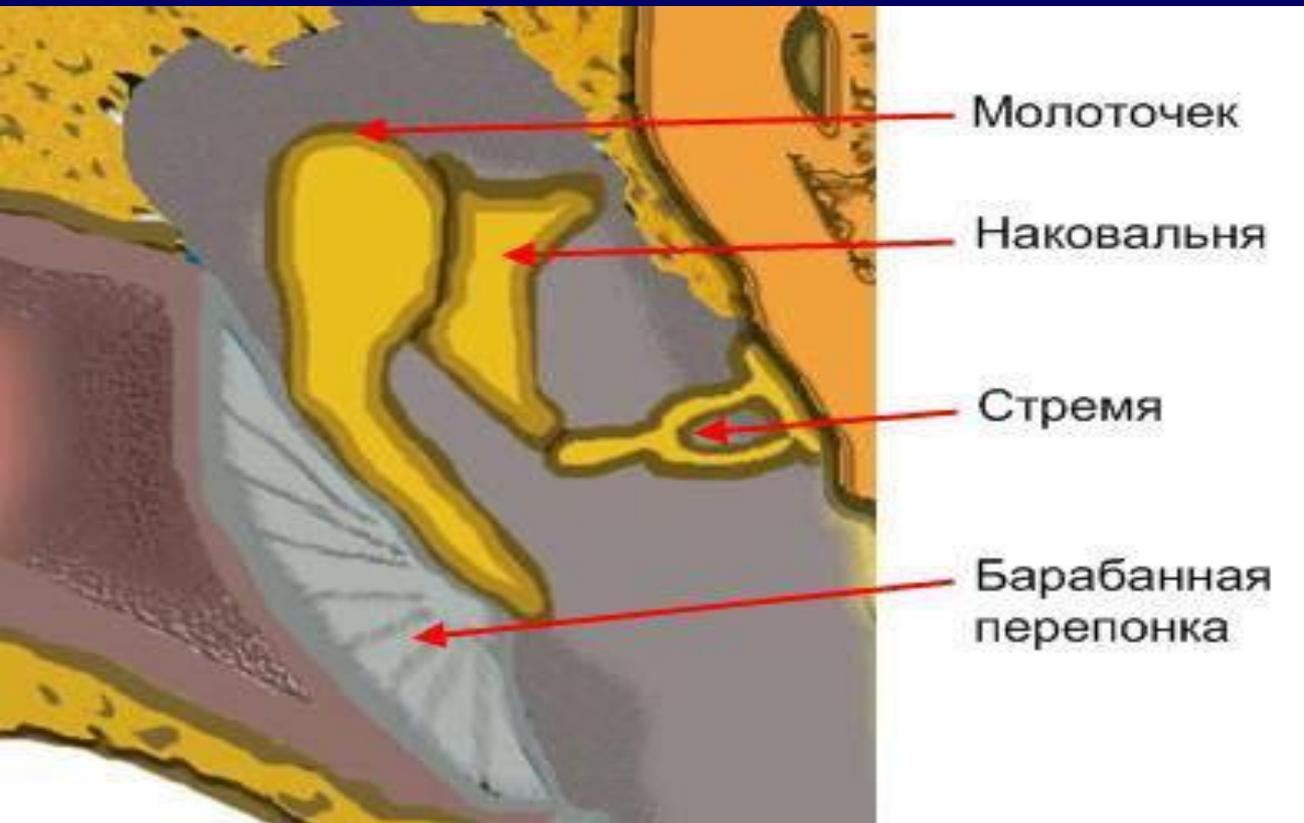
Ушная раковина улавливает звуки и направляет их в наружный слуховой проход. Построена она из покрытого кожей эластического хряща.

Наружный слуховой проход предстанет собой изогнутую трубку, снаружи — хрящевую, а в глубине — костную. Длина наружного слухового прохода у взрослого человека около 35 мм, а диаметр просвета 6 — 9 мм.

Кожа наружного слухового прохода покрыта тонкими редкими волосками. В просвете слухового прохода открываются протоки желез, вырабатывающих ушную серу. И волоски, и ушная сера выполняют защитную функцию.

В глубине наружного слухового прохода, на границе его со средним ухом, находится **барабанная перепонка**. Барабанная перепонка при действии на нее звуковых волн колеблется, ее колебательные движения передаются на слуховые косточки среднего уха, а через них — во внутреннее ухо.

Строение среднего уха



Среднее ухо состоит из барабанной полости и слуховой трубы, соединяющей эту слуховую полость с глоткой.

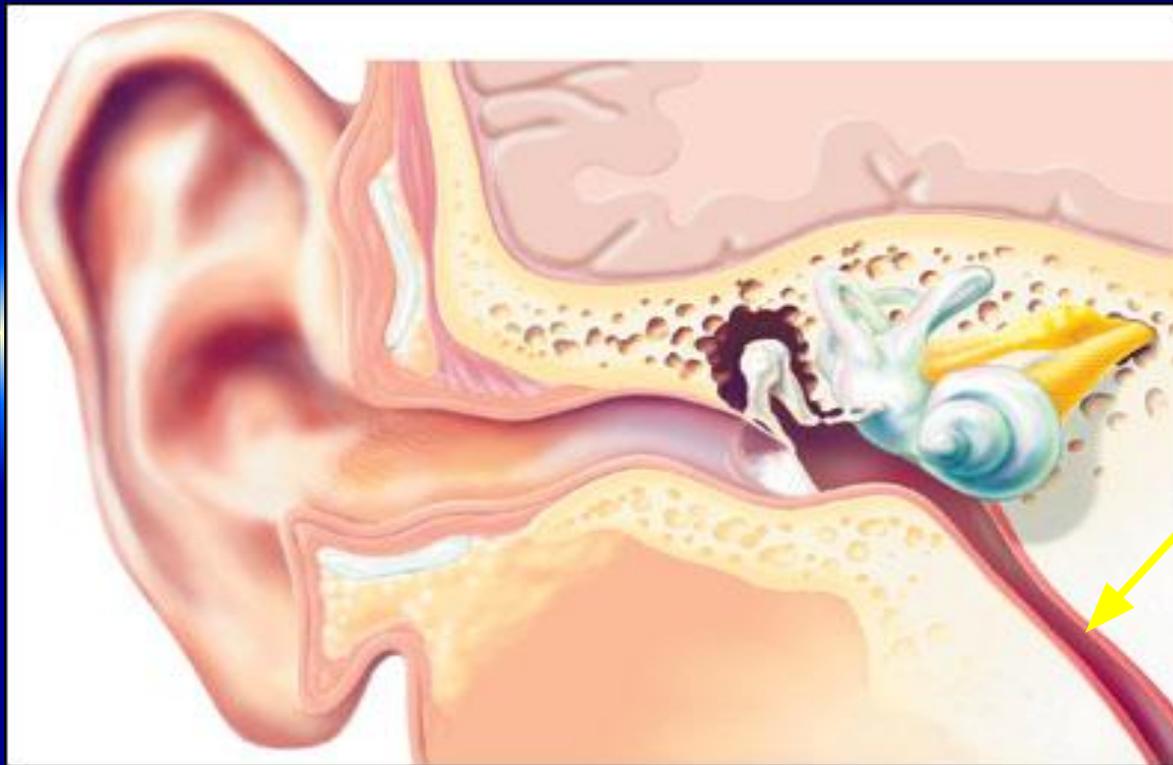
Барабанная полость лежит между наружным слуховым проходом (барабанной перепонкой) и внутренним ухом.

В барабанной полости располагаются три подвижные миниатюрные слуховые косточки: молоточек, наковальня и стремя.

Между собой косточки соединены подвижным суставом.

Молоточек сращен с барабанной перепонкой. Стремя соединено с наковальней и овальным окном, отделяющим барабанную полость от преддверия внутреннего уха.

Напряжение барабанной перепонки и давление стремени на овальное окно регулируется двумя маленькими мышцами, одна из которых прикрепляется к молоточку, другая — к стремени.

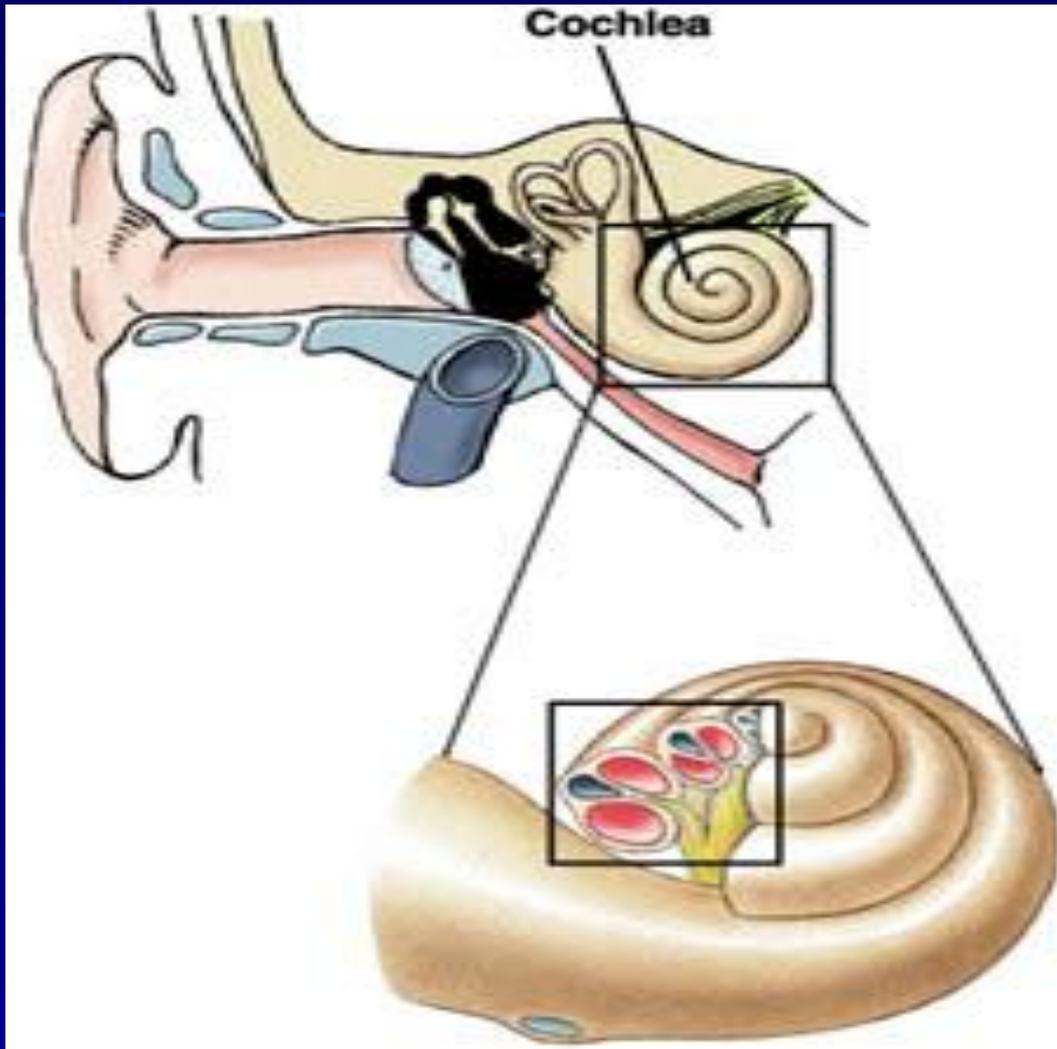


Евстахиева труба

Слуховая труба (евстахиева) соединяет барабанную полость с глоткой. Изнутри слуховая труба выстлана слизистой оболочкой. Длина слуховой трубы 35 мм, ширина — 2 мм.

Поступающий по трубе из глотки в барабанную полость воздух уравнивает давление воздуха на барабанную перепонку со стороны наружного слухового прохода.

Строение внутреннего уха



Внутреннее ухо (улитка)

помещается в
каменистой части
височной кости
вместе с органом
равновесия.

Улитка

представляет
спирально
закрученный
костный канал
(2,5 завитка).

Костный канал улитки разделен двумя мембранами – основной (базиллярной),

и

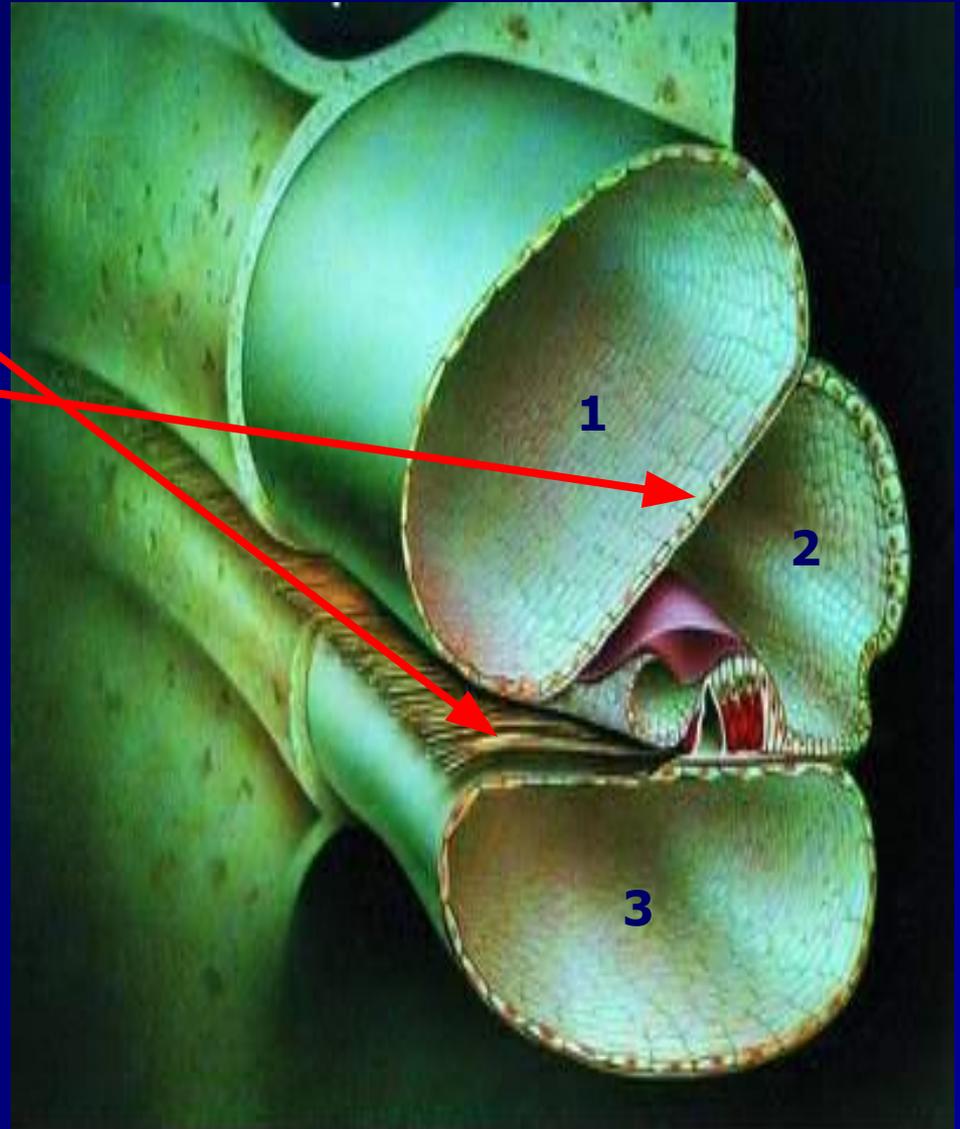
рейснеровой –

на три отдельных канала или лестницы:

1. Верхняя (вестибулярная или лестница преддверья)

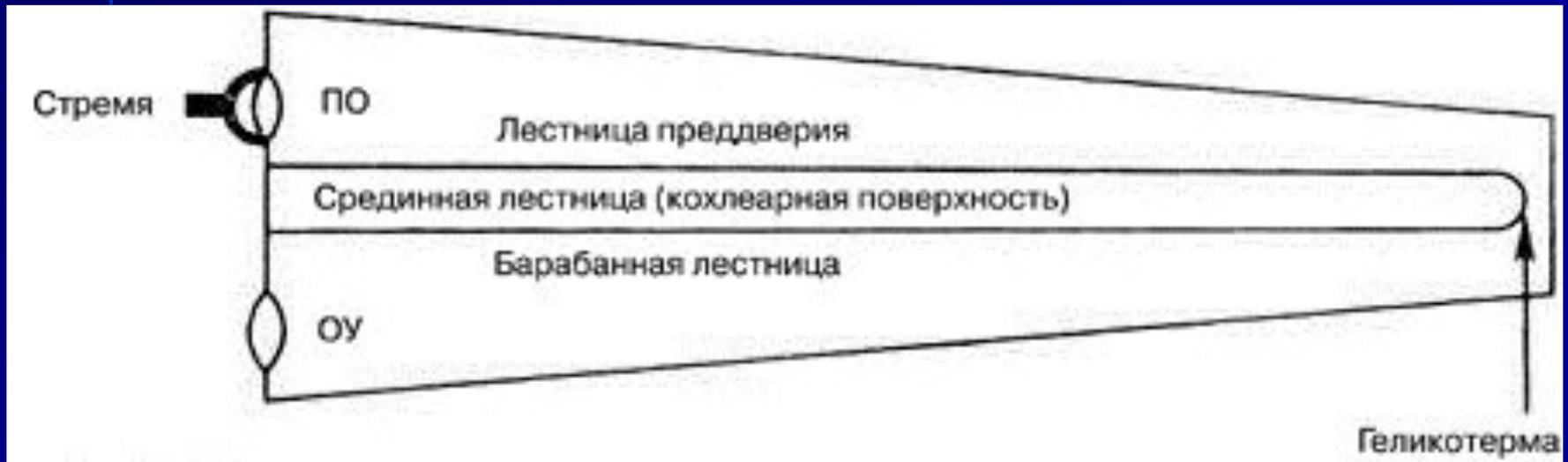
2. Средняя (улиточный проток)

3. Нижняя (барабанная)

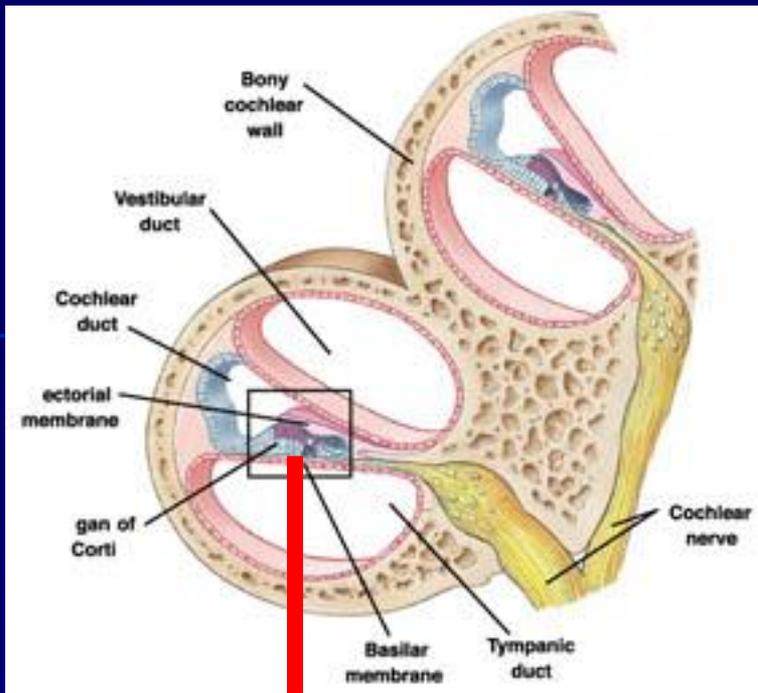


Улитка в разрезе

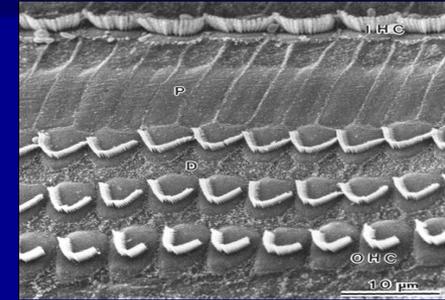
Вестибулярный и барабанный каналы соединяются между собой через отверстие - геликотрему и заполнены перелимфой, сходной по составу с внеклеточной жидкостью (много ионов натрия). Средняя лестница заполнена эндолимфой, которая сходна с внутриклеточной средой (много ионов калия).



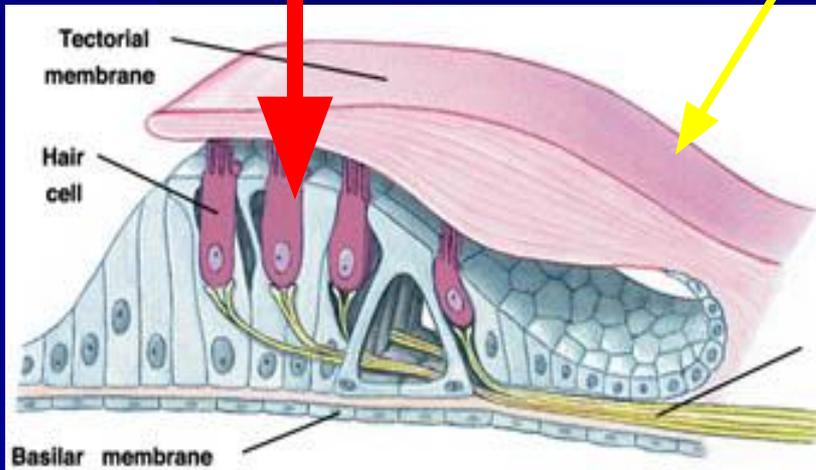
«Развернутая» улитка



Вдоль основной мембраны проходит утолщение - **кортиев орган**, он состоит из рецепторов (волосковых клеток) и поддерживающих клеток. Различают внутренние и наружные волосковые клетки. Внутренние волосковые клетки расположены в один ряд (около 3500 клеток), а наружные в три ряда (около 12000 клеток).



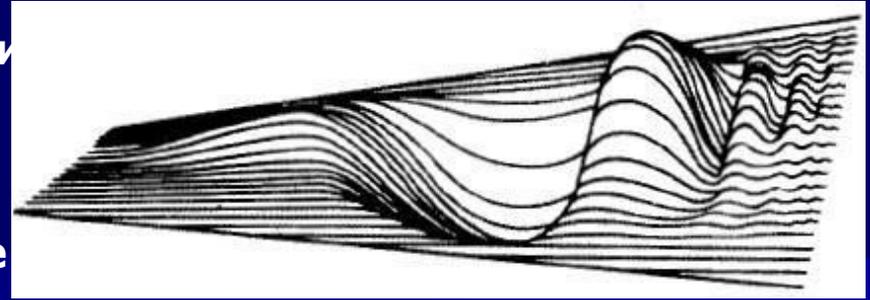
Над кортиевым органом лежит **текторальная (покровная) мембрана**. С одной стороны она соединена с внутренней стенкой улитки, а с другой – с кортиевым органом. Волосковые клетки вступают в контакт с текторальной мембраной, причем, в большей степени внутренние.



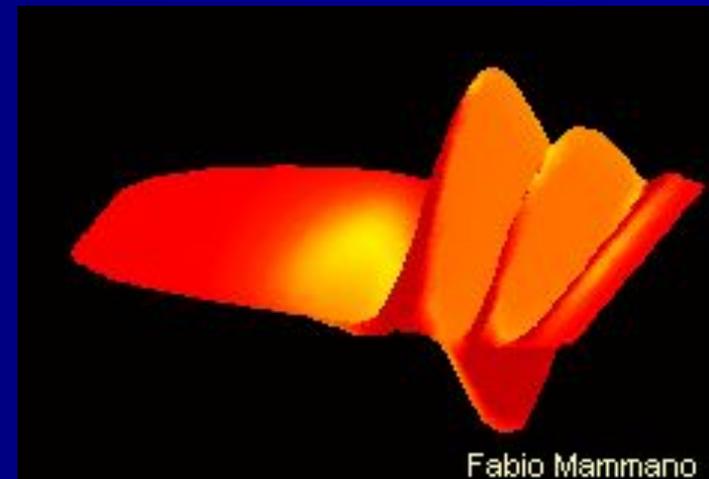
Афферентные нервные волокна, иннервирующие волосковые клетки, приходят от биполярных клеток спирального ганглия, который расположен в стержне костной улитки. Аксоны нейронов спирального ганглия направляются в ЦНС в составе **слухового нерва** (содержит около 30-40 тыс. афферентных волокон).

Среднюю лестницу вместе со связанными с ней мембранами называют **эндолимфатическим каналом**. Смещение эндолимфатического канала в области овального окна вызывает формирование волны, распространяющейся вдоль по направлению к геликотреме.

Установлено, что жесткость базилярной мембраны снижается от стремечка к геликотреме, поэтому скорость распространения волны постепенно падает, а длина волны уменьшается. При этом амплитуда волны сначала увеличивается, а затем постепенно снижается и полностью исчезает, часто не доходя до геликотремы. Между местом возникновения и затухания волны есть участок, где амплитуда волны максимальна.



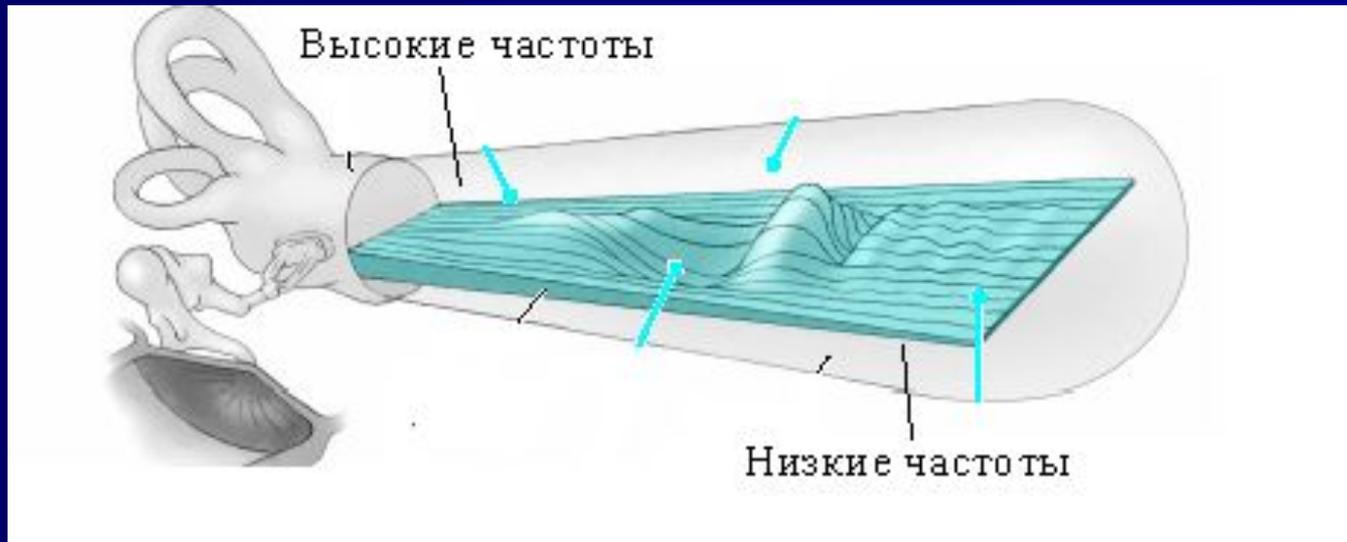
Из-за условий фиксации базилярная мембрана движется в продольном и поперечном направлениях



Fabio Mammano

Амплитудный максимум зависит от частоты звука:

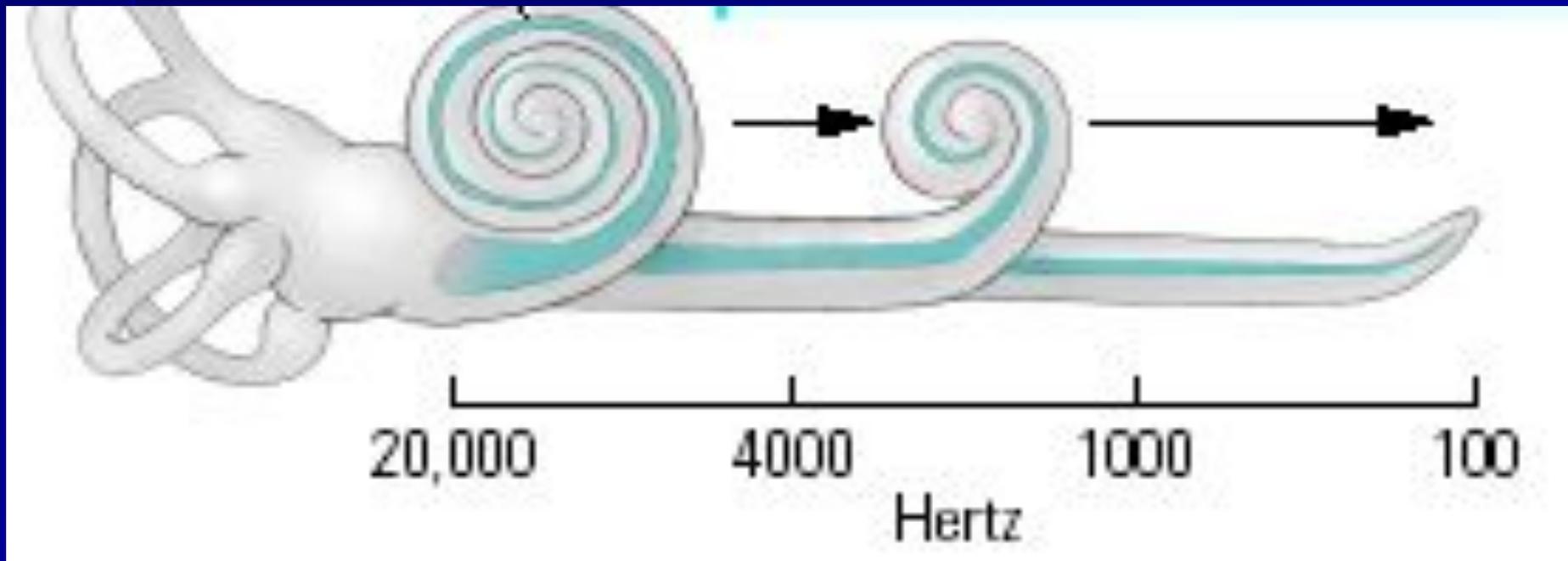
- при более высоких звуках он расположен ближе к стремечку,
- при более низких – к геликотреме.



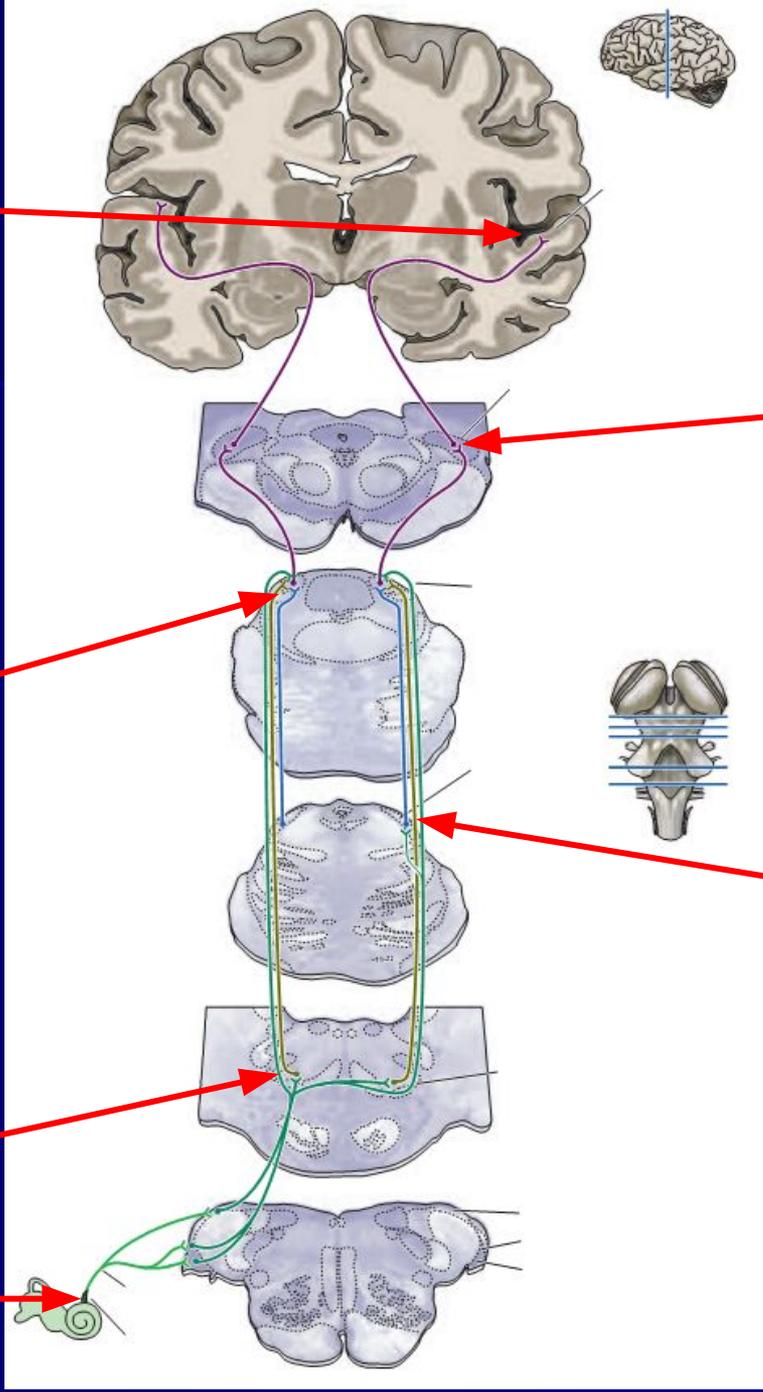
Волосковые клетки возбуждаются наиболее сильно там, где амплитуда колебаний максимальна, поэтому при действии различных частот возбуждаются и различные рецепторные клетки (теория места).

Каждое волокно слухового нерва приходит из строго определенного участка улитки, т.е. от определенных волосковых клеток. Так как каждый участок улитки соответствует определенной частоте, то каждое отдельное волокно слухового нерва возбуждается при предъявлении звука характерной для него частоты.

Таким образом, уже периферическая часть слухового анализатора имеет тонотопическую организацию, которая сохраняется вплоть до первичной слуховой коры.



Классическая афферентная слуховая система



Слуховая кора

Средний мозг
нижние бугры
четверохолмия

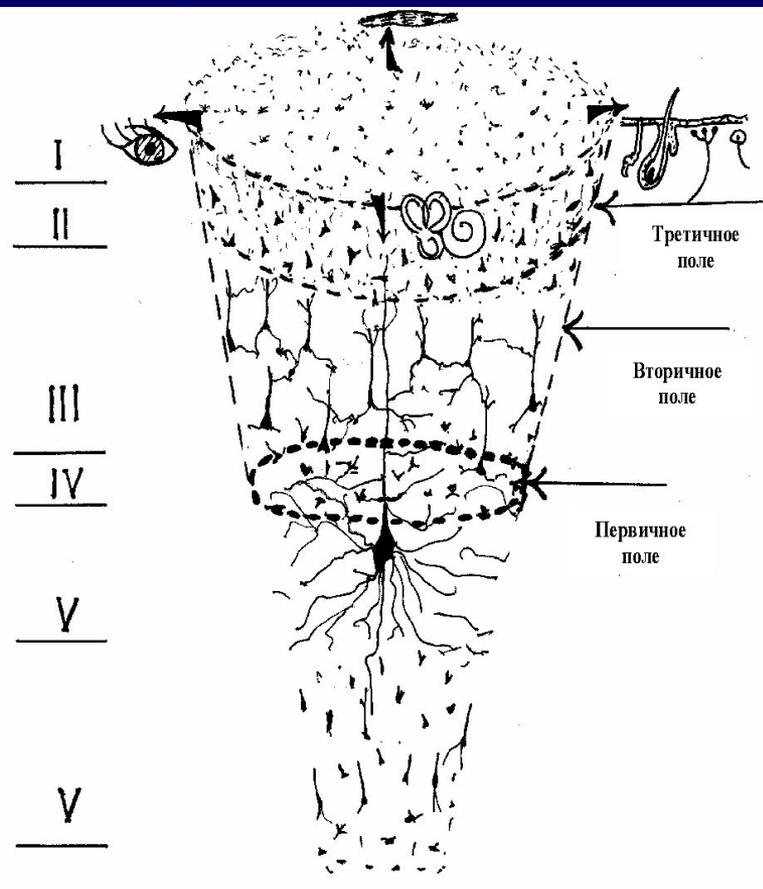
Продолговатый мозг
улитковые ядра
(вентральное и
дорзальное)

Слуховой нерв

промежуточный мозг
медиальные
коленчатые тела

ядро латерального
лемниска

Центральный отдел слухового анализатора



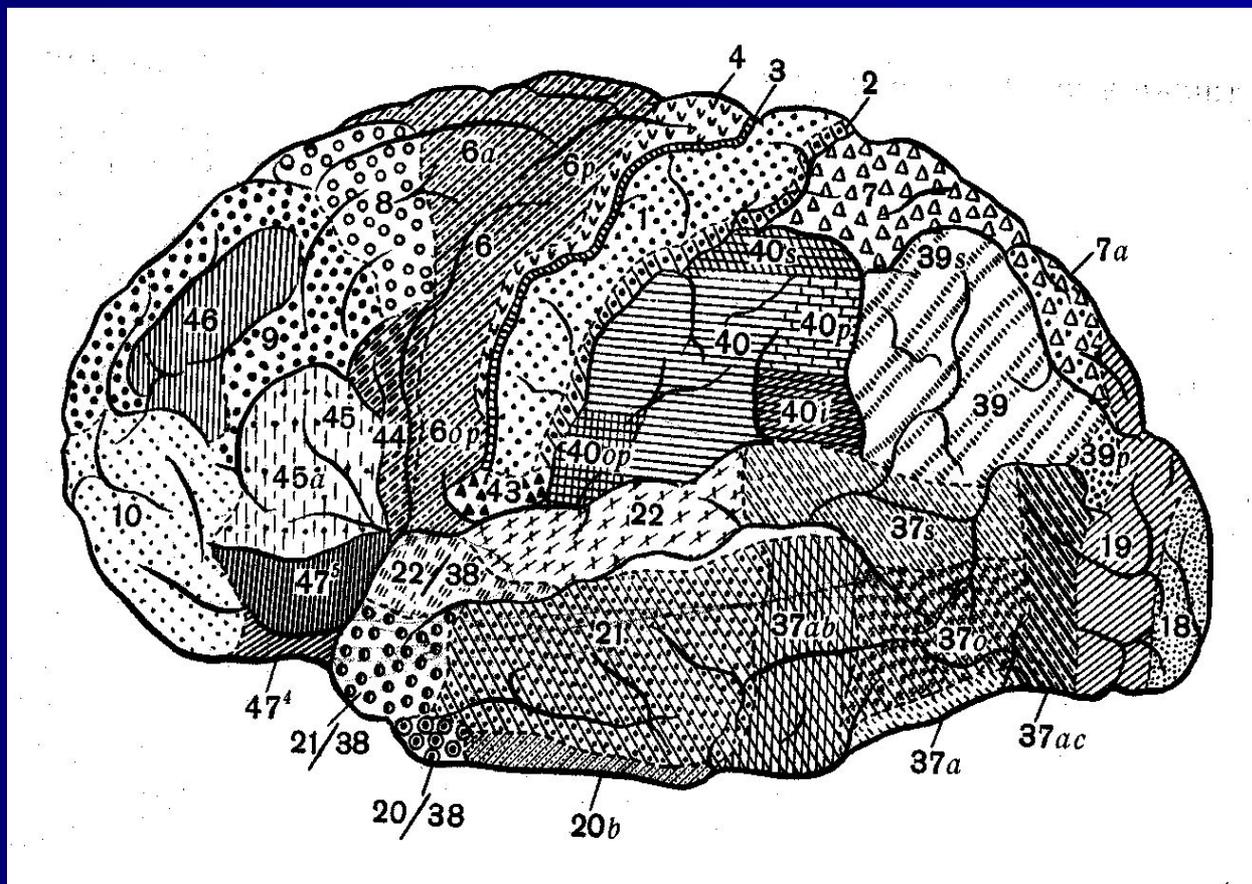
Кора височной доли, относящаяся к слуховому анализатору имеет типичное строение и состоит из шести слоев :

- 1. Зональный слой** – молекулярный (мелкозернистый) – содержит небольшое количество мелких мультиполярных ассоциативных нейронов и множество отростков нижележащих слоев клеток. Считается, что этот слой является связующим отдельные области коры.
- 2. Наружный зернистый слой** состоит из мелких мультиполярных поливалентных клеток, похожих на зерна, которые имеют синаптические связи с нейронами молекулярного слоя на всем протяжении коры.
- 3. Пирамидный слой** – содержит пирамидные клетки разной величины, а также звездчатые клетки. Часть отростков этих клеток достигает первого слоя, другие погружаются в белое вещество полушарий мозга.
- 4. Внутренний зернистый слой** – состоит из мелких, разнообразных по форме клеток, имеющих дугообразные возвратные коллатерали. Аксоны этих нейронов проникают в выше- и нижележащие слои. Звездчатые клетки представляют систему переключений с афферентных нейронов на эфферентные (с 3 на 5 слой). Этот слой является местом окончания основной массы афферентных волокон слухового тракта.
- 5. Ганглионарный слой** – внутренний пирамидный – образован крупными пирамидными клетками Беца. Из этого слоя в основном формируются двигательные произвольные пути (проекционные эфферентные волокна).
- 6. Полиморфный слой** – образован малыми пирамидными, веретенообразными нейронами с короткими извитыми верхушечными дендритами, заканчивающимися в 5 и 4 слоях коры. Аксоны многих нейронов объединяются в возвратные волокна, проникая в 5 слой. Полиморфный слой прилежит к белому веществу больших полушарий.

Височная доля имеет три поверхности, на каждой из которых располагается по несколько полей, относящихся к слуховой системе .

- 1) На верхней поверхности, расположены 41 и 42 поля,
- 2) на латеральной поверхности – 21, 22 поля,
- 3) на базальной – 20 поле.

21, 22, 20 поля сходятся к височному полюсу, накладывая на его структуру отпечаток своего строения, поэтому поле 38 делят на три самостоятельных – 22/38, 21/38, 20/38.



Тонотопическая организация слуховой коры

Корковый аппарат слуховой системы имеет иерархическое строение, распределяясь на первичные, вторичные и третичные зоны.

Первичным (проекционным) зонам коры соответствует поле 41 (лежащее в области извилин Гешля) и частично поле 42.

Нейроны первичной зоны представлены преимущественно высокодифференцированными и модально специфичными клетками IV слоя коры, которые имеют четкую тоно-топическую организацию, т.е. реагируют только на раздражители определенной частоты или тона. В целом нейроны первичной зоны принимают информацию и дробят ее на мельчайшие составные части (анализ).

Retractor

Первичная
слуховая
кора



проекция
верхушки
улитки

проекция
основания
улитки

Вторичным (проекционно-ассоциативным) зонам коры соответствуют поле 22, и частично 42 и 21. Нейроны этой зоны преимущественно состоят из клеток III и II слоев и обеспечивают интеграцию деятельности высокоспецифичных клеток первичной проекционной коры (они объединяют деятельность первых, участвуя в создании звукового образа). Вторичные поля осуществляют фонематический разбор, выделяя в звуковом раздражителе сигнальные и смысловые фрагменты.

Третичные (ассоциативные) зоны коры, или зоны перекрытия целиком состоят из клеток I и II слоев. Их считают «специфически человеческими образованиями» (А.Р.Лурия) т.к. их функция сводится к интеграции возбуждений, приходящих от разных анализаторов. Третичные зоны являются аппаратами, участие которых необходимо для превращения наглядного восприятия в отвлеченное мышление.

Указанное деление коры на зоны работает по принципу убывающей модальной специфичности и возрастающей функциональной латерализации.

Слуховые поля двух полушарий соединяются комиссуральными волокнами, которые проходят в мозолистом теле и передней спайке.

ЧАСТОТУ ЗВУКА (f) оценивают количеством звуковых колебаний в секунду, получившее обозначение Герц (сокращенно Гц).

Исходя из диапазона воспринимаемых человеком частот звуковых колебаний, частоты в диапазоне 16 - 20000 Гц (слышимый диапазон частот) называют **звуковыми**, более низкие частоты ($f < 20$ Гц) называют **инфразвуковыми**, а более высокие ($f > 20000$ Гц) - **ультразвуковыми**.

Диапазон звуковых частот воспринимаемых человеком иногда условно делят на :

- низкие - ниже 500 Гц,
- средние 500 - 4000 Гц
- высокие 4000 Гц и выше.

абсолютный порог слышимости -минимальная сила звукового раздражителя, способная вызвать слуховое ощущение

Абсолютную слуховую чувствительность характеризует минимальная интенсивность звука, при которой вероятность его обнаружения равна 0,75.

Наибóльшая чувствительность у человека наблюдается на частотах 1-4 кГц.

Начиная с 35-40 лет, происходит постепенное повышение порогов слышимости на высоких частотах.

ГРОМКОСТЬ ЗВУКА – это психологическая характеристика восприятия звука, определяющая ощущение силы звука.

Громкость звука, хотя и жестко связана с интенсивностью, но нарастает непропорционально увеличению интенсивности звукового сигнала.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗВУКА — (от лат. itesio - напряжение - усиление), средняя по времени энергия, которую звуковая волна переносит в единицу времени через единицу площади поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению распространения волны

На громкость влияет

- частота звукового сигнала.
- длительность звукового сигнала.

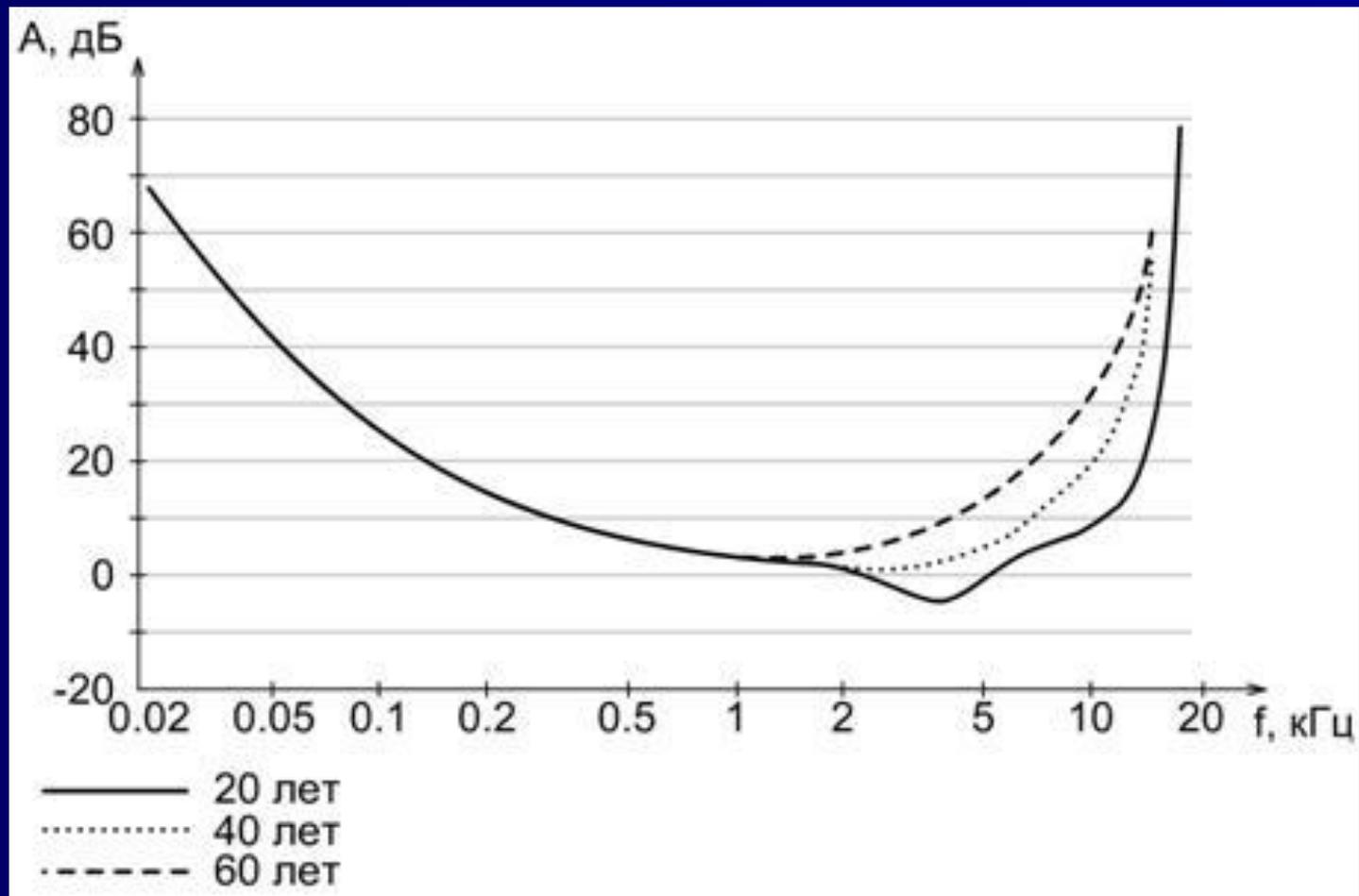
Например, порог слышимости сигнала на частоте около 3 кГц составляет чуть менее 0 дБ, а на частоте 200 Гц – около 15 дБ.

**Интенсивность звука (I) –
мера мощности звука (p).
Интенсивность измеряется
в децибелах, которые
являются относительной, а
не абсолютной единицей**

I =

$$\begin{aligned} &= 10 \log(p_1/p_2)^2 \\ &= 2 \times 10 \log(p_1/p_2) \\ &= 20 \log(p_1/p_2) = \text{dB}. \end{aligned}$$

изменение остроты слуха с возрастом



Различные звуковые сигналы и уровень их интенсивности

0 dB наиболее тихий звук, воспринимаемый человеком с нормальным слухом

10 dB : дыхание

20 dB : шопот

50 dB : дождь

60 dB : обычный разговор

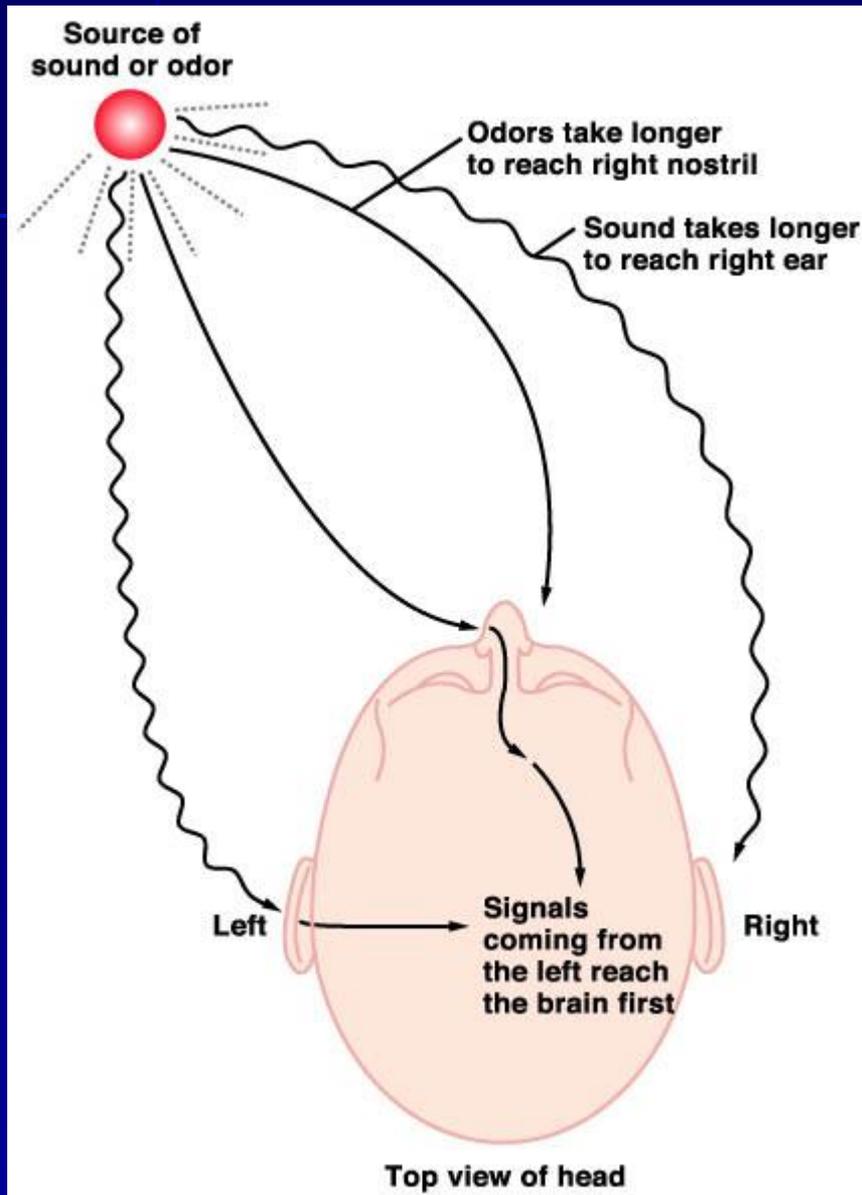
110 dB : удар по уху

120 dB: гром

140 dB : мгновенное повреждение слуховой системы

Под *порогом болевого ощущения* понимается минимальная интенсивность звука, вызывающая ощущение боли в ушах. Эта величина в среднем равна, примерно, **140 дБ**

Пространственный слух



Способность человека и животных локализовать источник звука, т.е. определять его местоположение в пространстве, называется **пространственным слухом**. Данное определение предполагает способность локализовать источник звука в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также определять степень его удаленности от организма.

У большинства животных и человека локализация источников звука происходит с помощью симметричных половин слуховой системы (**бинауральный слух**).

При исследовании пространственного слуха обычно пользуются двумя основными методическими приемами. Первый прием состоит в перемещении источника звука в свободном звуковом поле, он получил название **диотической стимуляции**.

Предъявление двух сигналов отдельно на два уха при наличии межушных различий стимуляции получило название **дихотического раздражения**.

Основой бинаурального механизма локализации в горизонтальной плоскости являются междушные (интерауральные) различия стимуляции по времени (фазе) и по интенсивности.

Для человека интерауральную задержку по времени создают частоты до 1,5 кГц. При частотах источника звука выше 1,5 кГц у - интерауральная разность по интенсивности.

Это возникает в связи с тем, что частоты выше 1,5 кГц уже не огибают голову слушателя, а поглощаются и отражаются головой как экраном (экранирующий или теневой эффект головы).

Локализация тонов и шумов в вертикальной плоскости происходит с большими ошибками, если в них отсутствуют частотные компоненты выше 7 кГц. При наличии в сигнале частот выше 7 кГц ошибка локализации составляет примерно 4 град. Было установлено, что очень важную роль в локализации источника звука по вертикали играет ушная раковина.

механизмы помехоустойчивости пространственного слуха

1. Если два источника звука, расположенные на одинаковом расстоянии от средней линии головы слушателя, излучают одинаковые звуки и один из излучателей включается раньше второго, то воспринимается один звуковой образ, локализуемый раннее включенного источника звука. Этот эффект получил название «эффекта предшествования».

2. Выделение одного источника звука на фоне действия других источников, не представляющих в данный момент интереса для слушателя. Так, например, удастся выделить речь собеседника в обществе одновременно разговаривающих людей (отсюда название этого явления – эффект коктейльной партии).



3. "бинауральной разностью уровня маскировки" проявляется в ухудшении слышимости одного звука (маскируемый звук) в присутствии другого (маскер).

Спасибо за внимание!

