

Биофизические процессы  
в наружном, среднем  
и внутреннем ухе.

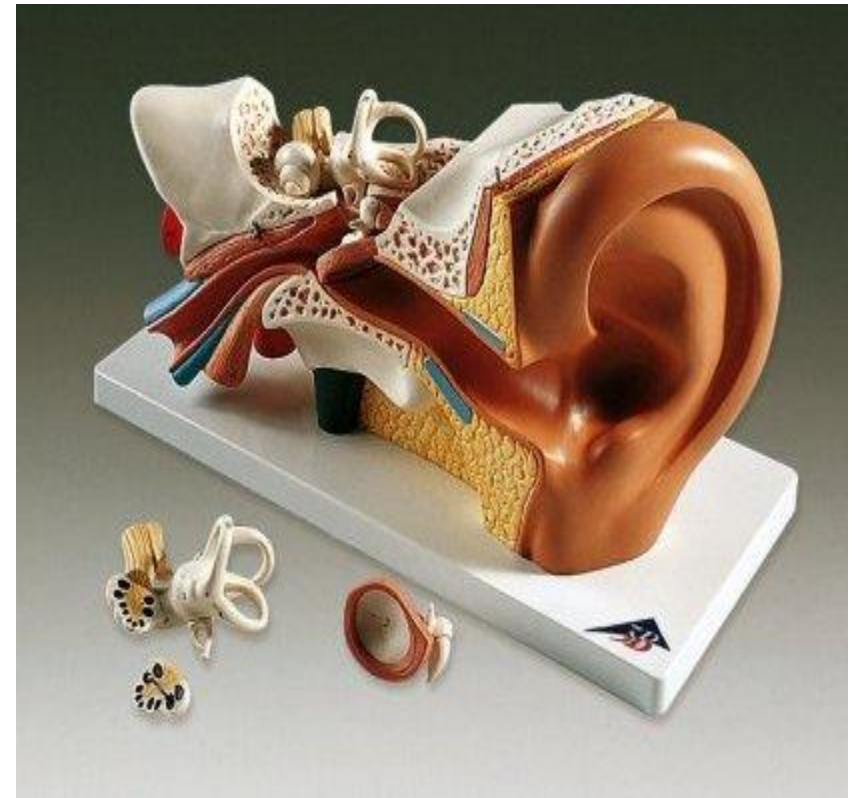
# Слуховая сенсорная система

## включает :

- Структура наружного уха. Функции наружного уха.
- Направленность слухового восприятия.
- Среднее ухо (барабанная полость, Евстахиева труба, слуховые косточки)
- Функции среднего уха
- Уравнение Релея
- Внутреннее ухо (Кортиев орган рецепторный аппарат)
- Пространственное кодирование звуковых сигналов в улитке
- Рецепторные генераторные потенциалы волосковых клеток
- Нейронная сеть проводникового отдела
- Нейронная сеть коркового отдела

# Слуховая сенсорная система

**Слуховая сенсорная система** — сенсорная система, обеспечивающая кодирование акустических стимулов и обуславливающая способность ориентироваться в окружающей среде посредством оценки акустических раздражителей.



**Слуховая система является одной из важнейших дистантных сенсорных систем человека, так как она является средством межличностного общения. Акустические (звуковые) сигналы, представляющие собой колебания воздуха с разной частотой и силой, возбуждают слуховые рецепторы, которые находятся в улитке внутреннего уха. Эти рецепторы активируют первые слуховые нейроны, после чего сенсорная информация передается в слуховую область коры большого мозга.**



# Структура наружного уха

Наружный слуховой проход проводит звуковые колебания к барабанной перепонке, которая отделяет наружное ухо от барабанной полости, или среднего уха. Она представляет собой тонкую (0,1 мм) перегородку и имеет форму направленной внутрь воронки. После того, как через наружный слуховой проход действуют звуковые колебания, перепонка начинает колебаться.



# Функции наружного уха:

- протекторная (защитная);
- проведение и избирательное усиление акустических колебаний;
- локализация источника звука.

# Направленность слухового восприятия

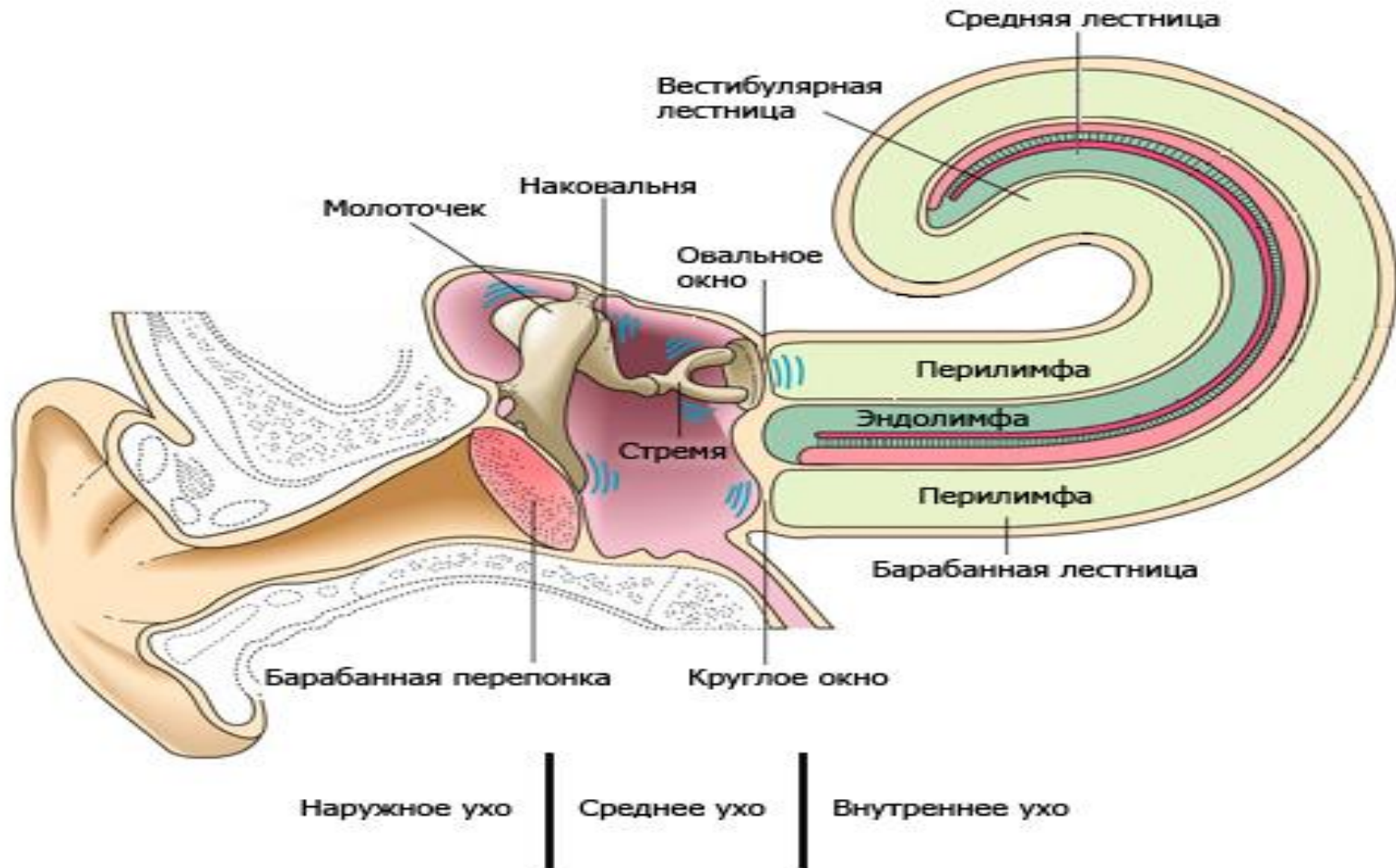
- **Слуховое восприятие** - процесс, включающий выработку поведенческих реакций на простые и сложные акустические стимулы: чистые тона, музыку, речь и шум.
- Развитие слухового восприятия идет, как известно, в двух направлениях: с одной стороны, развивается восприятие речевых звуков, т. е. формируется фонематический слух, а с другой — развивается восприятие неречевых звуков, т. е. шумов.

# Среднее ухо

- В среднем ухе находятся три косточки: молоточек, наковальня и стремечко. Они последовательно передают колебания барабанной перепонки во внутреннее ухо. Рукоятка молоточка вплетена в барабанную перепонку, а другая его сторона соединена с наковальней. Сама наковальня передаёт колебания стремечку, которое передаёт колебания барабанной перепонки уменьшенной амплитуды, но увеличенной силы. В среднем ухе расположены две мышцы: стременная (m. stapedius) и напрягающая барабанную перепонку (m. tensor tympani). Первая из них, фиксирует стремечко, ограничивая тем самым его движения, а вторая сокращается и усиливает натяжение барабанной перепонки. Сокращаясь примерно через 10 мс, эти мышцы автоматически предохраняют внутреннее ухо от перегрузок.



# Среднее ухо (барабанная полость, Евстахиева труба, слуховые косточки)



# Функции среднего уха

- Усиление звука в 60-70раз за счёт разности в структуре барабанной перепонки и овального окошечка и рычажного механизма косточек.
- Защита, т. к. внутри среднего уха находятся мышцы, поддерживающие косточки и ограничивающие их колебания при слишком сильном звуке.
- Обеспечивает адекватное восприятие звука, т. к. связано с евстахиевой трубой.

# Уравнение Релея.

Определение собственных частот колебаний упругой системы становится чрезвычайно затруднительным тогда, когда число степеней свободы велико и уравнение частот имеет высокий порядок. Уже разворачивание определителя требует большого труда, не говоря о нахождении корней уравнения частот. В то же время для приложений достаточно знать наименьшую, первую частоту, так называемую частоту основного тона. Ее можно найти с достаточной для практики точностью, пользуясь приближенным методом Релея.

$$\omega^2 m_1 a_1 - \sum_j c_{1j} a_j = 0.$$

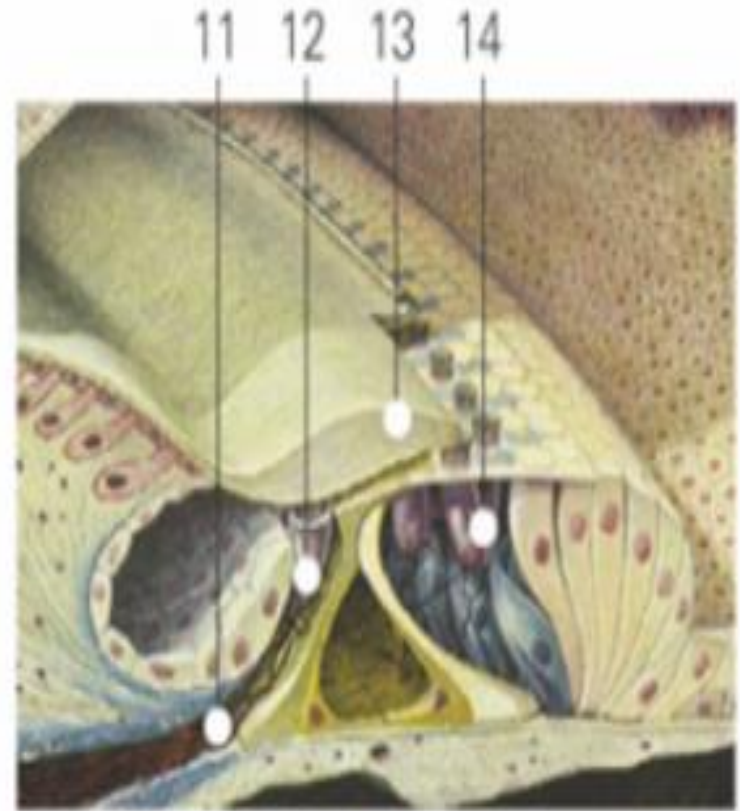
# Внутреннее ухо

**Внутреннее ухо** является звуковоспринимающим аппаратом. Оно расположено в пирамидке височной кости и содержит улитку, которая у человека образует 2.5 спиральных витка. Улитковый канал разделен двумя перегородками основной мембраной и вестибулярной мембраной на 3 узких хода: верхний (вестибулярная лестница), средний (перепончатый канал) и нижний (барабанная лестница). На вершине улитки имеется отверстие, соединяющее верхний и нижний каналы в единый, идущий от овального окна к вершине улитки и далее к круглому окну. Полость его заполнена жидкостью — перилимфой, а полость среднего перепончатого канала заполнена жидкостью иного состава — эндолимфой. В среднем канале расположен звуковоспринимающий аппарат- Кортиев орган, в котором находятся механорецепторы звуковых колебаний — волосковые клетки.



# Кортиев орган

- Кортиев орган состоит из ряда чувствительных, снабженных волосками клеток (12), которые покрывают базилярную мембрану (13). Звуковые волны улавливаются волосковыми клетками и преобразуются в электрические импульсы. Далее эти электрические импульсы передаются по слуховому нерву (11) в головной мозг. Слуховой нерв состоит из тысяч тончайших нервных волокон. Каждое волокно начинается от определенного участка улитки и передает определенную звуковую частоту. Низкочастотные звуки, передаются по волокнам, исходящим из верхушки улитки (14), а высокочастотные — по волокнам, связанным с ее основанием.



# Пространственное кодирование звуковых сигналов в улитке

Максимальное отклонение основной мембраны улитки происходит только в определенном месте. При увеличении частоты звуковых колебаний максимальное отклонение основной мембраны смещается к основанию улитки, где располагаются более короткие волокна основной мембраны, у коротких волокон возможна более высокая частота колебаний. Возбуждение волосковых клеток именно этого участка мембраны при посредстве медиатора передается на волокна слухового нерва в виде определенного числа импульсов, частота следования которых ниже частоты звуковых волн (лабильность нервных волокон не превышает 800 — 1000 Гц). Частота воспринимаемых звуковых волн достигает 20 000 Гц. Таким способом осуществляется пространственный тип кодирования высоты и частоты звуковых сигналов.

# Рецепторные генераторные потенциалы волосковых клеток

- Рецепторный (периферический) отдел слухового анализатора, превращающий энергию звуковых волн в энергию нервного возбуждения, представлен рецепторными волосковыми клетками Кортиева органа (орган Корти), находящимися в улитке. Слуховые рецепторы (фонорецепторы) относятся к механорецепторам, являются вторичными и представлены внутренними и наружными волосковыми клетками. У человека приблизительно 3500 внутренних и 20 000 наружных волосковых клеток, которые расположены на основной мембране внутри среднего канала внутреннего уха.



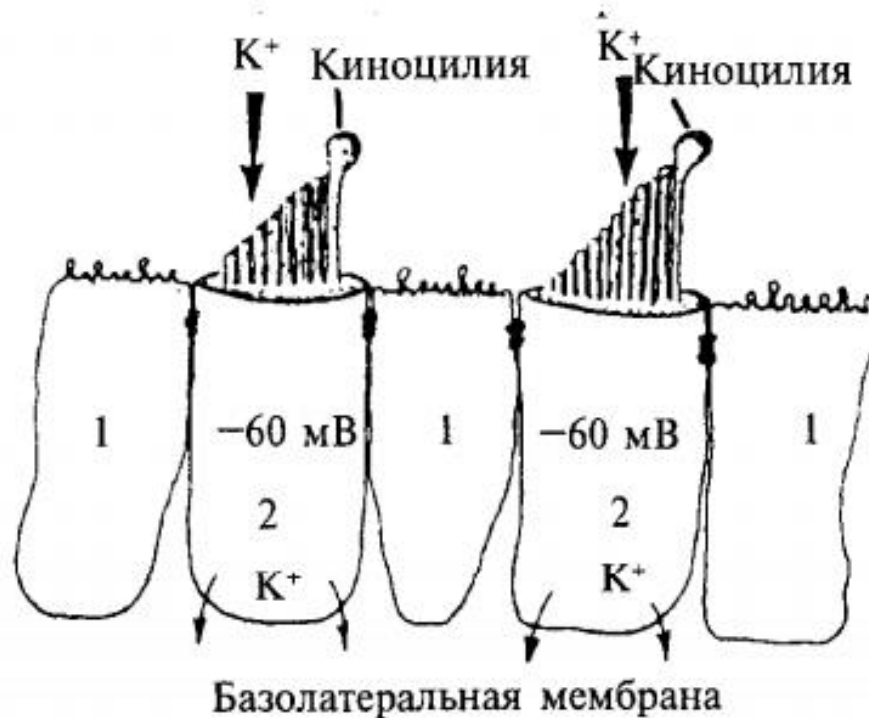


Рис. 6.2. Схема типичного волоскового рецептора.

Стрелками показан постоянно протекающий через рецептор (2) ток ионов  $K^+$ , который модулируется при смещении волосков. Ионы  $K^+$  входят в волосковые клетки через механочувствительные каналы апикальной мембраны. Поддерживающие клетки (1) используют метаболическую энергию для поддержания высокой концентрации ионов  $K^+$  в эндолимфе.

# Нейронная сеть проводникового отдела

- Проводниковый отдел слухового анализатора представлен периферическим биполярным нейроном, расположенным в спиральном ганглии улитки (первый нейрон). Волокна слухового (или кохлеарного) нерва, образованные аксонами нейронов спирального ганглия, заканчиваются на клетках ядер кохлеарного комплекса продолговатого мозга (второй нейрон). Затем после частичного перекреста волокна идут в медиальное коленчатое тело метаталамуса, где опять происходит переключение (третий нейрон), отсюда возбуждение поступает в кору (четвертый нейрон). В медиальных (внутренних) коленчатых телах, а также в нижних буграх четверохолмия располагаются центры рефлекторных двигательных реакций, возникающих при действии звука.

# Нейронная сеть коркового отдела

- Коровый отдел — представлен четвертым нейроном, который находится в первичном (проекционном) слуховом поле и височной области коры больших полушарий и обеспечивает возникновение ощущения, а более сложная обработка звуковой информации происходит в расположенном рядом вторичном слуховом поле, отвечающем за формирование восприятия и опознание информации. Полученные сведения поступают в третичное поле нижнетеменной зоны, где интегрируются с другими формами информации.  
Центральный, или корковый, отдел слухового анализатора находится в верхней части височной доли большого мозга (верхняя височная извилина, поля 41 и 42 по Бродману). Важное значение для функции слухового анализатора имеют поперечные височные извилины (извилины Гешля).

# Вывод

Для человека слух приобретает особое значение, так как при потере слуха в раннем возрасте человек утрачивает способность воспроизводить слова, говорить. С помощью слуха воспроизводится устная речь, обеспечивающая общение между людьми в их трудовой и общественной деятельности.

