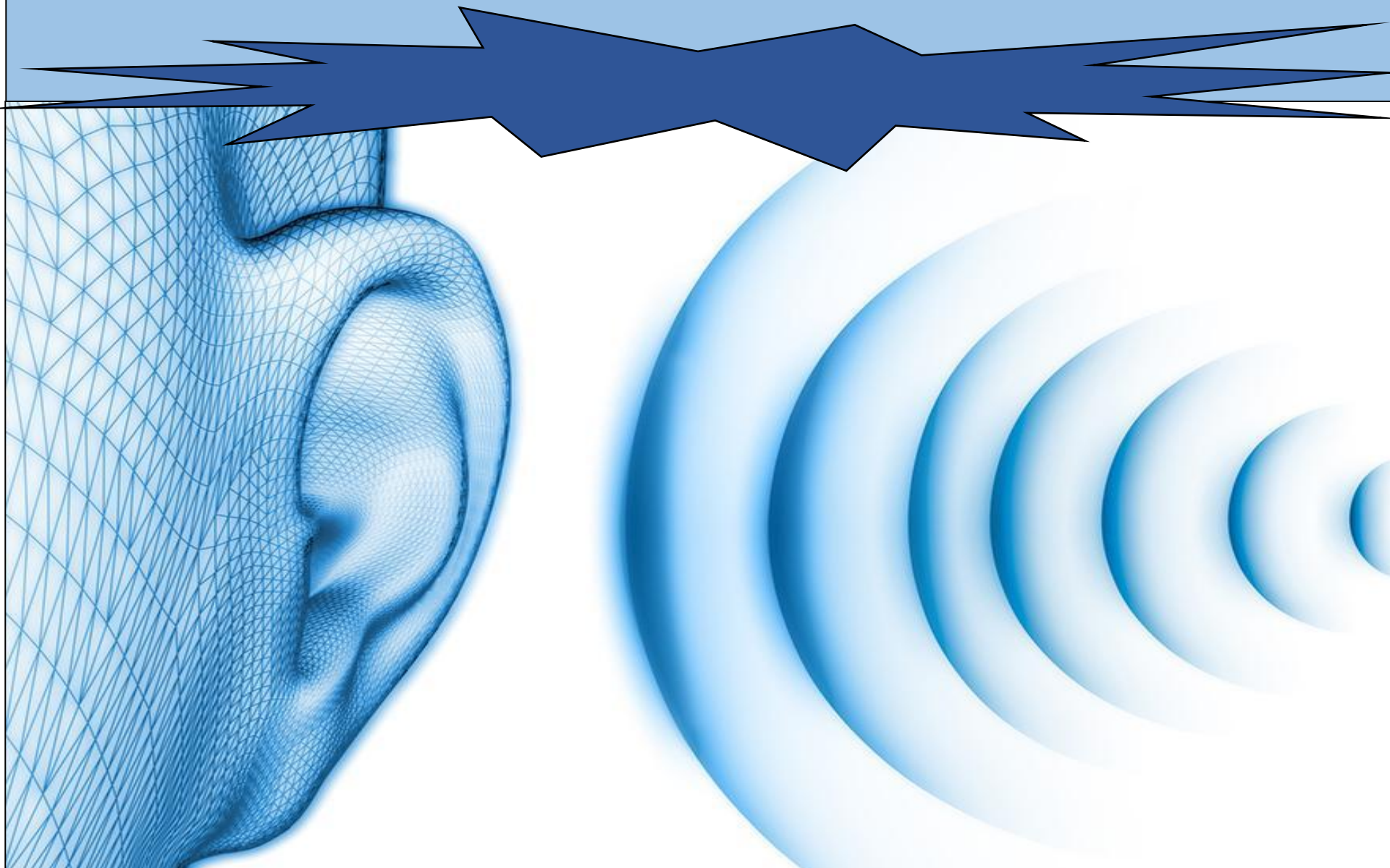


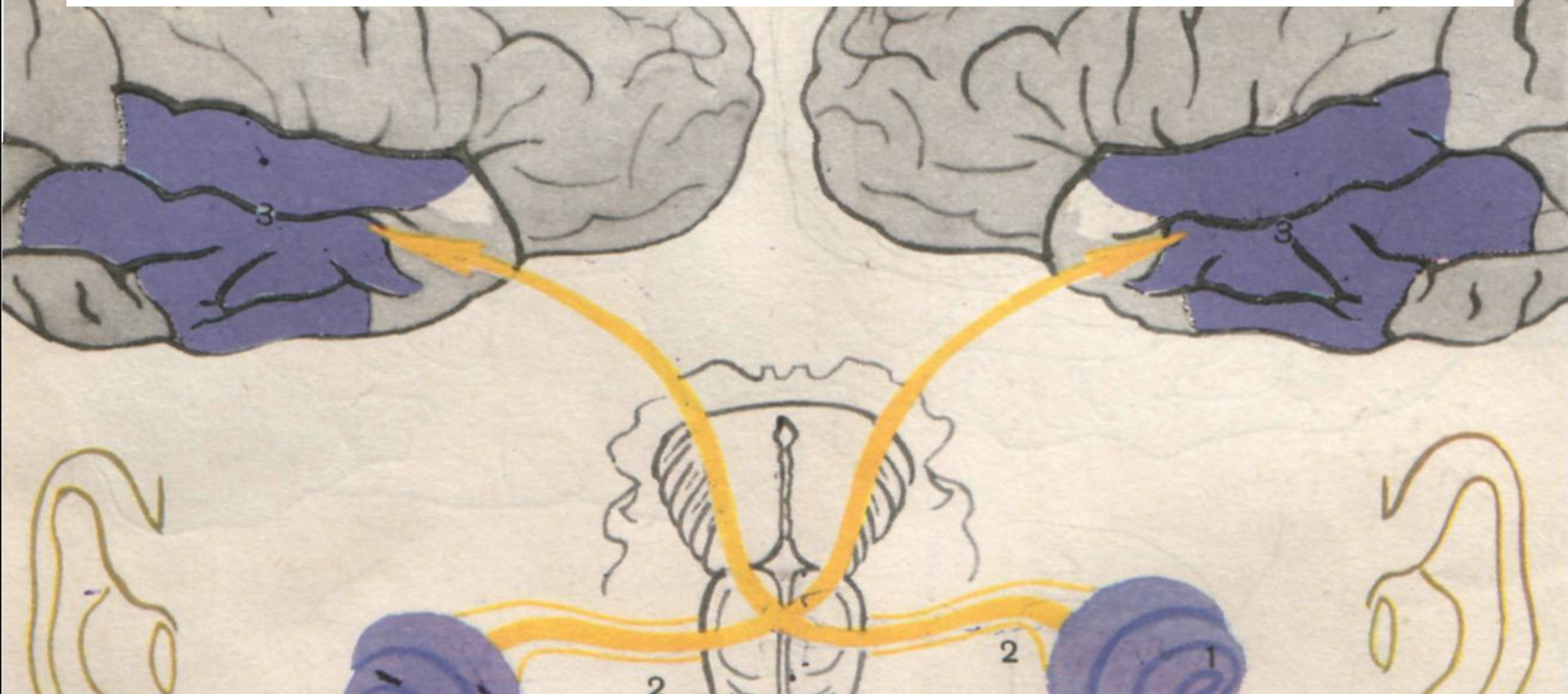
# СЛУХОВАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА



Тема лекции:

**«Физиология слухового анализатора»**

**Доц. А.Х. Измаилова**



# План лекции

- ❖ Общая характеристика слухового анализатора (СА).
- ❖ Отделы СА: периферический, проводниковый, корковый.
- ❖ Структурно-функциональная характеристика периферического отдела: наружное, среднее и внутреннее ухо.
- ❖ Основные электрические явления в улитке.
- ❖ Механизмы восприятия высоты, силы звука и локализации источника звука.
- ❖ Слуховая адаптация и её механизмы.
- ❖ Методы исследования слуха

# Значение слухового анализатора

- Слуховая сенсорная система – второй по важности дистантный анализатор человека. Количество информации, получаемой человеком посредством органа слуха составляет 10-25% всей информации, получаемой нами из окружающего мира.
- У человека она приобретает особую роль в связи с возникновением II сигнальной системы (речи).
- Функция слухового анализатора: превращение энергии звуковых волн в энергию нервного возбуждения и слуховое ощущение.

« Говорят, что природа для того каждому дала два уха и один язык, чтобы говорить меньше, чем слушать »...

# Физические характеристики звука

- ❖ Звук – это колебания молекул упругой среды, распространяющиеся в ней в виде продольной волны давления;
- ❖ Скорость звука – 340 м/с;
- ❖ Высота звука – определяется частотой колебаний.
- ❖ Громкость звука – амплитуда звуковых волн (ед. измерения – б е л или д е ц и б е л, т.е. 0,1 бела).
- ❖ Звуковое давление – изменение плотности «упаковки» колеблющихся молекул.
- ❖ Человеческое ухо различает звуковые волны с частотой от 20 до 20 000 гц

# Отделы слухового анализатора

- ▶ **Периферический отдел**, включает в себя наружное, среднее и внутреннее ухо (где располагается кортиева орган с рецепторными клетками);
- ▶ **Проводниковый отдел** представлен биполярными нейронами спирального ганглия улитки (первый нейрон); клетками ядер кохлеарного комплекса продолговатого мозга (второй нейрон) и медиального коленчатого тела (третий нейрон);
- ▶ **Корковый отдел** расположен в верхней части височной доли большого мозга (верхняя височная извилина, поперечные височные извилины Гешля).

# ПУТИ СЛУХОВОЙ СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ

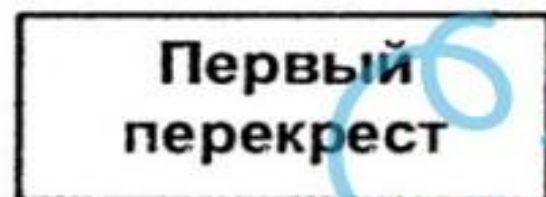
Волосковые клетки органа Корти



Спиральный ганглий



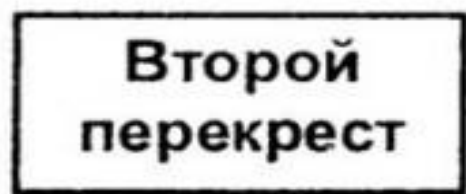
Кохлеарные ядра



Верхняя олива



Ядро латерального лемниска



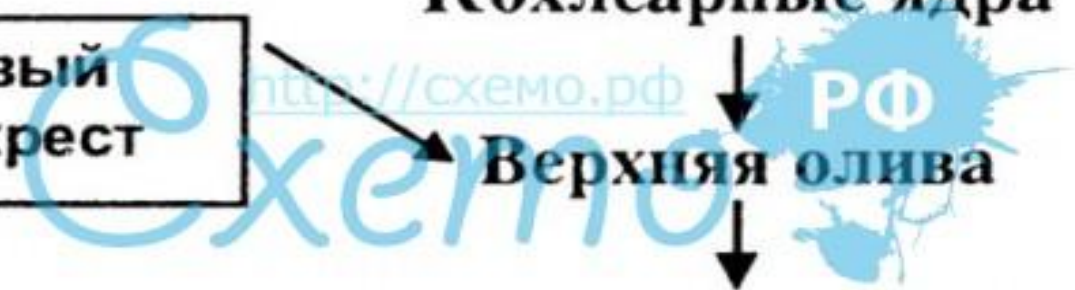
Нижнее двухолмие



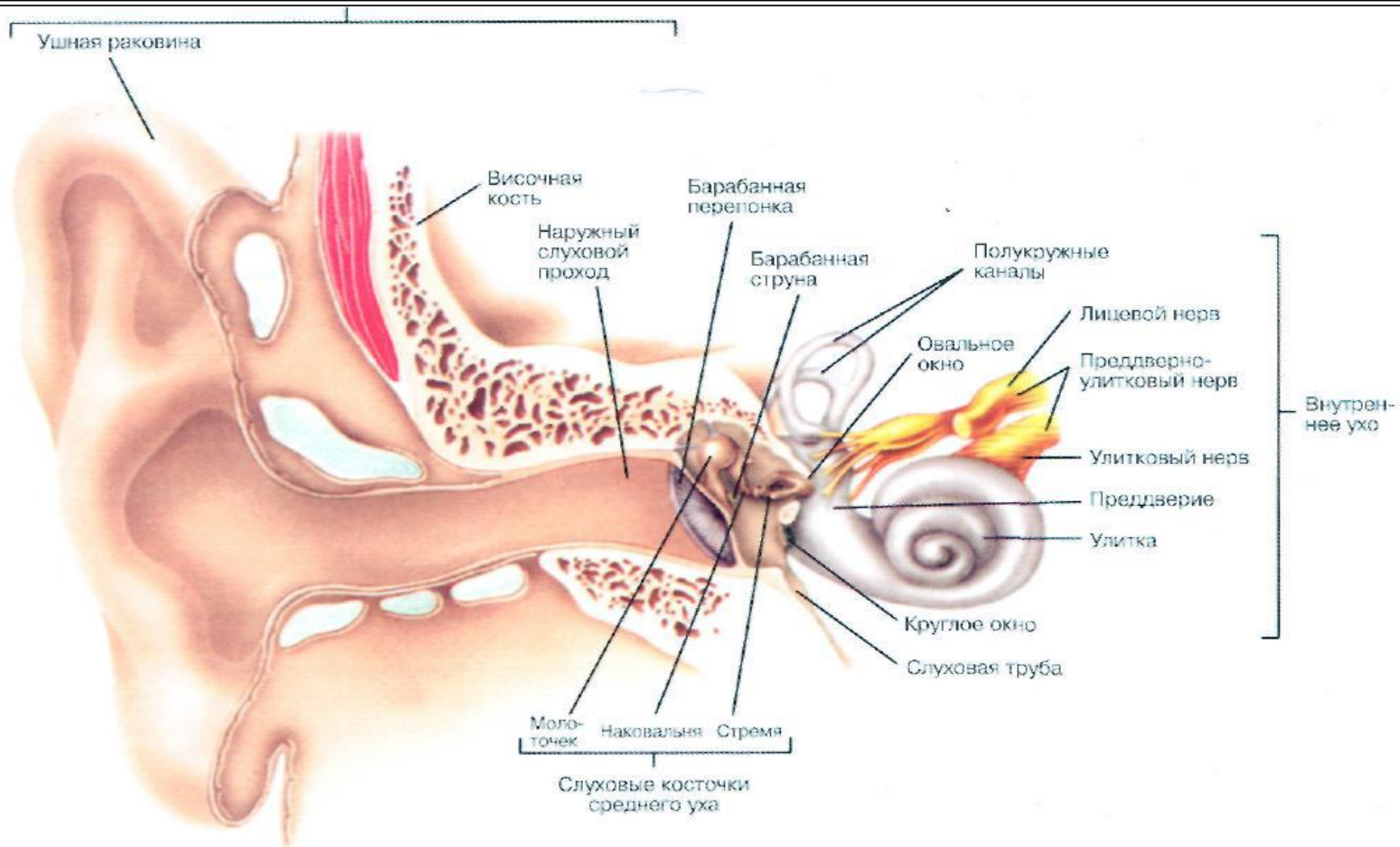
Медиальные коленчатые тела



Слуховая кора



# Периферический отдел





# Периферический отдел

- ▶ Включает:
- ▶ **наружное ухо** (звукоулавливающий аппарат); к нему относятся ушная раковина и наружный слуховой проход;
- ▶ **среднее ухо** (звукопроводящий аппарат) - представлен барабанной полостью, где расположены три слуховые косточки: молоточек, наковальня и стремечко;
- ▶ **внутреннее ухо** (звуквоспринимающий аппарат), в котором энергия звуковых волн преобразуется в энергию нервного возбуждения – рецепторный потенциал (РП) и потенциал действия слухового нерва;
- ▶ составляющие этого отдела объединяются в понятие орган слуха.

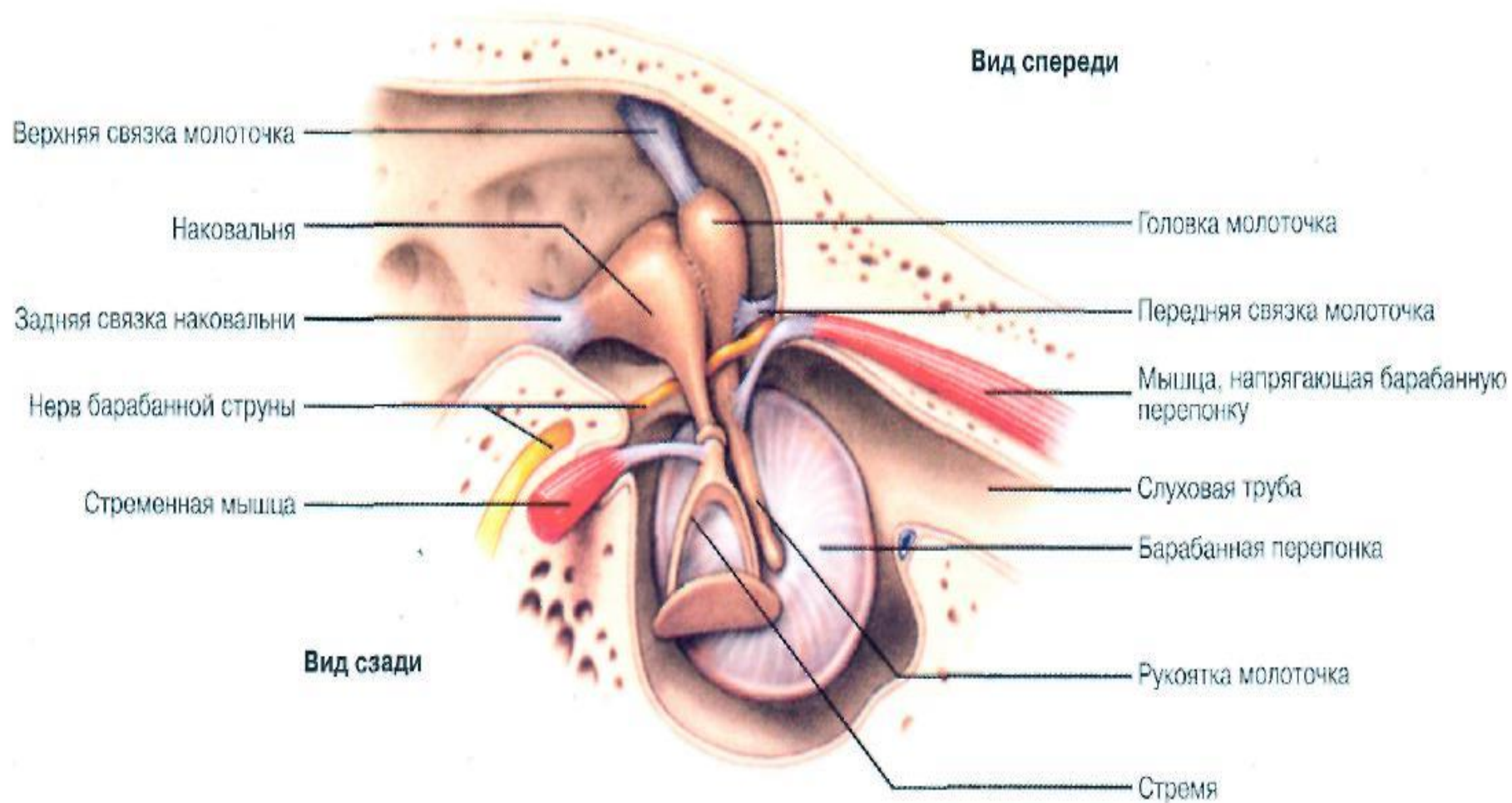
# Функции отделов органа слуха

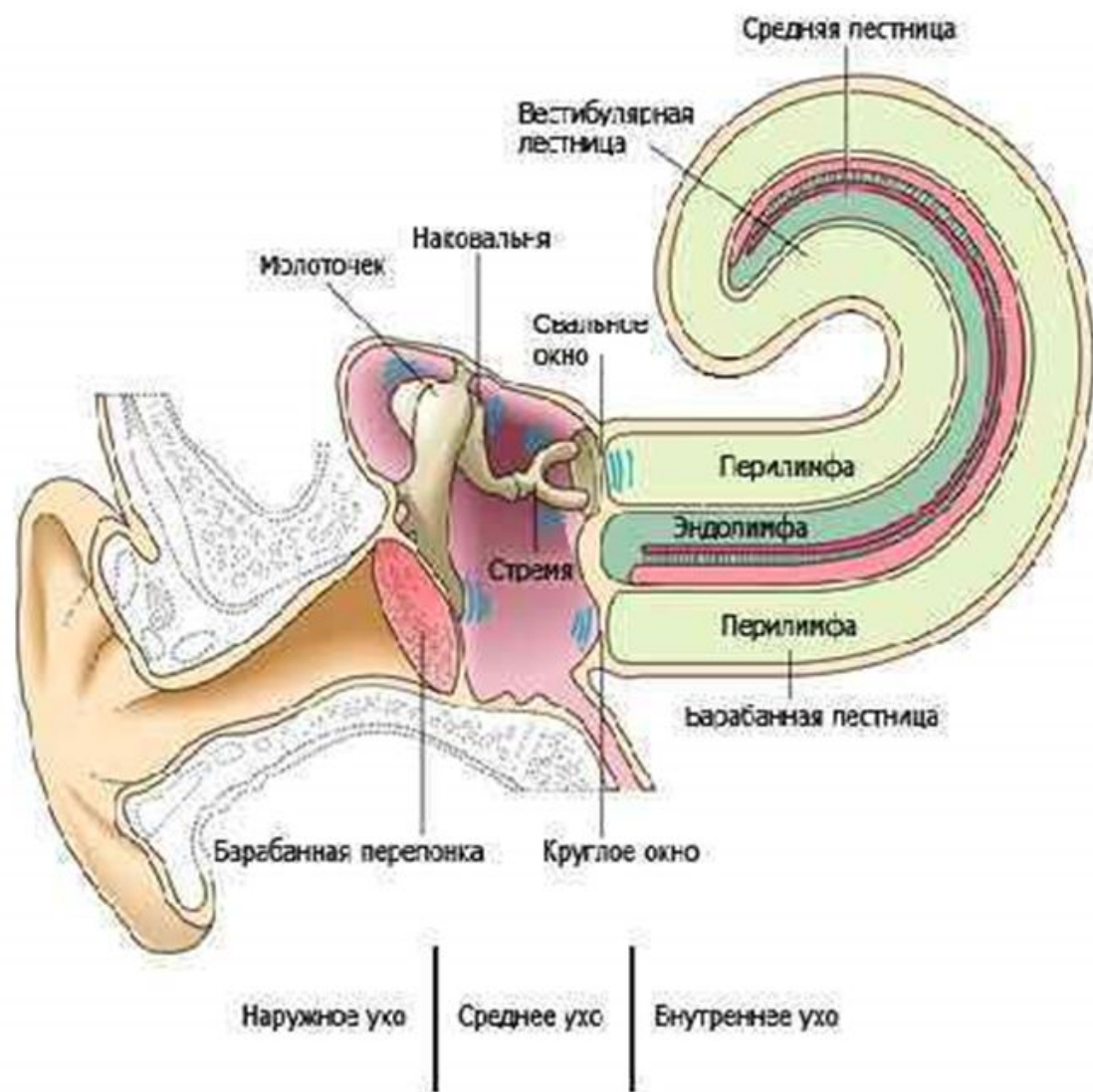
- ▶ **Наружное ухо** – за счет ушной раковины обеспечивает улавливание звуков, концентрацию их в направлении наружного слухового прохода и усиление интенсивности звуков; также оно обеспечивает механическую защиту и защиту от температурных воздействий окружающей среды всех остальных отделов органа слуха.
- ▶ **Среднее ухо** отделено от наружного барабанной перепонкой, в которую вплетена рукоятка молоточка, другой его конец сочленен с наковальней, которая в свою очередь сочленена со стремечком. Стремечко прилегает к мембране овального окна. Площадь барабанной перепонки значительно больше площади мембраны овального окна, что способствует усилению звука в 25 раз. Такой же эффект оказывает рычажный механизм слуховых косточек. Таким образом, среднее ухо усиливает звук примерно в 60-70 раз.

# Функции отделов органа слуха

- При сильных звуках в среднем ухе срабатывает защитный механизм, который обеспечивают 2 мышцы: а) натягивающая барабанную перепонку б) фиксирующая стремечко.
- Они сокращаются при сильных звуках, которые представляют опасность для рецепторных клеток внутреннего уха (их чрезмерное возбуждение и разрушение).
- Полость среднего уха сообщается с носоглоткой при помощи евстахиевой (слуховой) трубы; она поддерживает давление в среднем ухе на уровне атмосферного.

# Барабанная полость

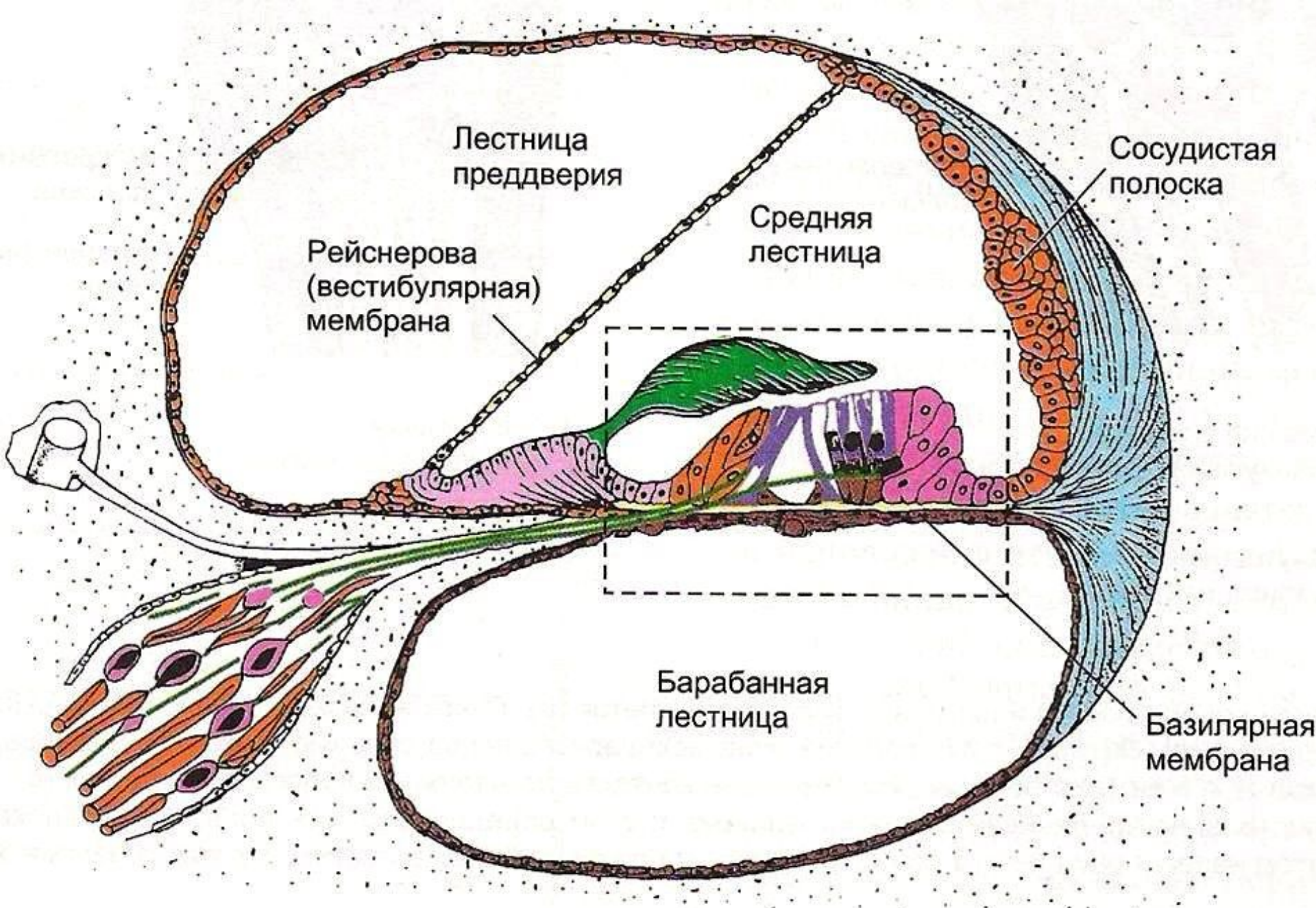




Среднее ухо усиливает звук примерно в 60-70 раз, а если учитывать усиливающий эффект наружного уха, то эта величина возрастает в 180-200 раз.

# Функции отделов органа слуха

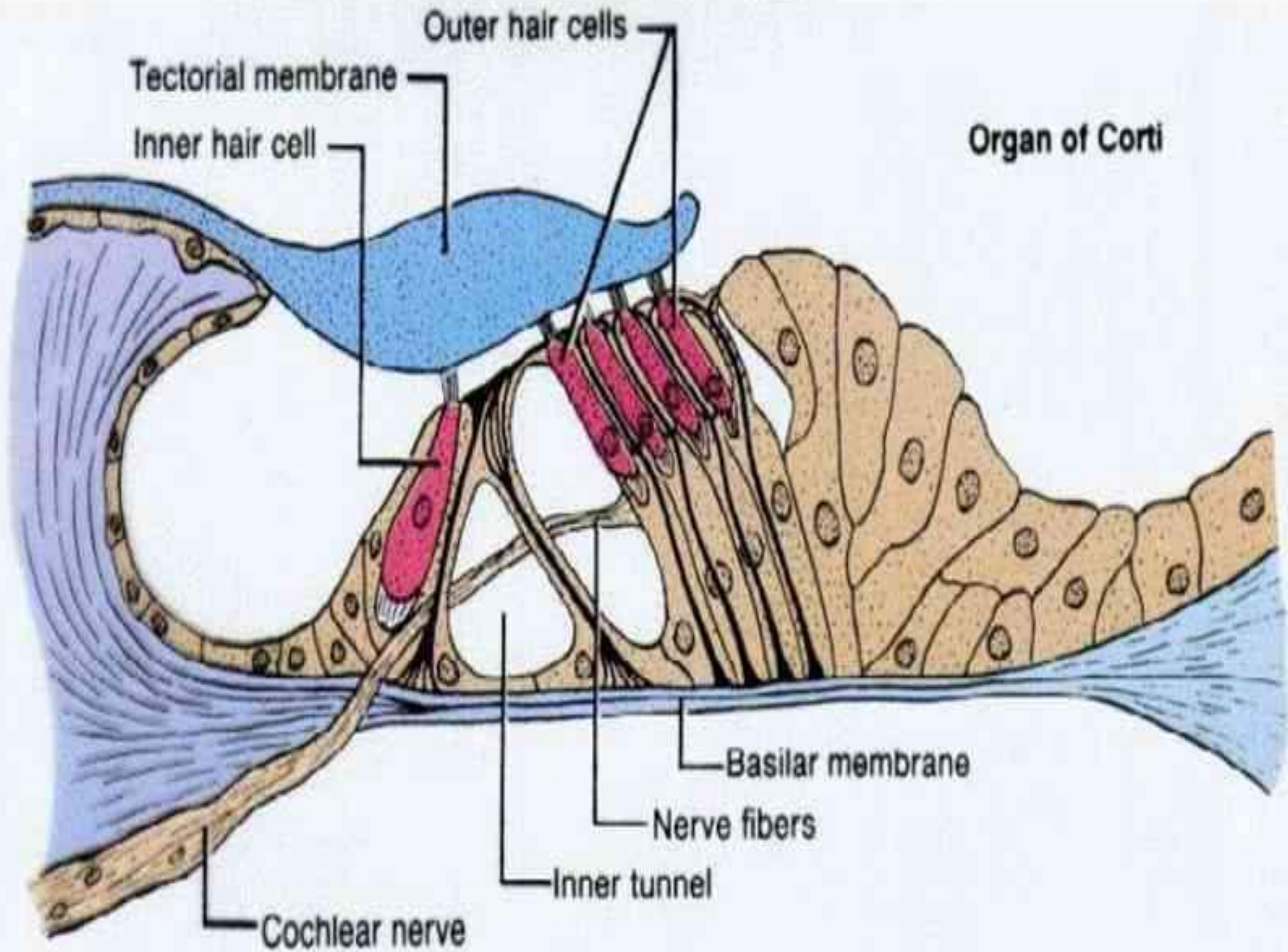
- **Внутреннее ухо** представлено улиткой – спирально закрученным костным каналом, имеющим 2,5 завитка. На всем протяжении канал разделен мембраной Рейснера и основной мембраной на 3 части: верхняя, средняя и нижняя.
- **Верхний канал** (вестибулярная лестница) начинается от овального окна, соединяется с **нижним каналом** (барабанная лестница) через геликотрему (отверстие в вершине улитки) и заканчивается круглым окном. Оба канала заполнены перилимфой, сходной по составу со спинномозговой жидкостью.
- Между верхним и нижним каналом расположен **средний** (средняя лестница); он изолирован и заполнен эндолимфой.
- В среднем канале, на основной мембране расположен звуковоспринимающий аппарат – кортиев орган с рецепторными клетками, представляющий периферический



# Функции отделов органа слуха

- Основная мембрана вблизи овального окна по ширине составляет 0,04 мм, по направлению к вершине она постепенно расширяется, достигая у геликотремы 0,5 мм.
- Над кортиевым органом лежит **текториальная** (покровная) мембрана, построенная из соединительной ткани; один край её закреплен, второй - свободен.
- Рецепторные волосковые клетки кортиева органа (фонорецепторы) относятся к механорецепторам; различают внутренние и наружные волосковые клетки: внутренних – 3500, наружных – 20 000.
- В процессе звуковосприятия волоски наружных и внутренних волосковых клеток соприкасаются с текториальной мембраной. При этом энергия звуковых волн трансформируется в нервный импульс.



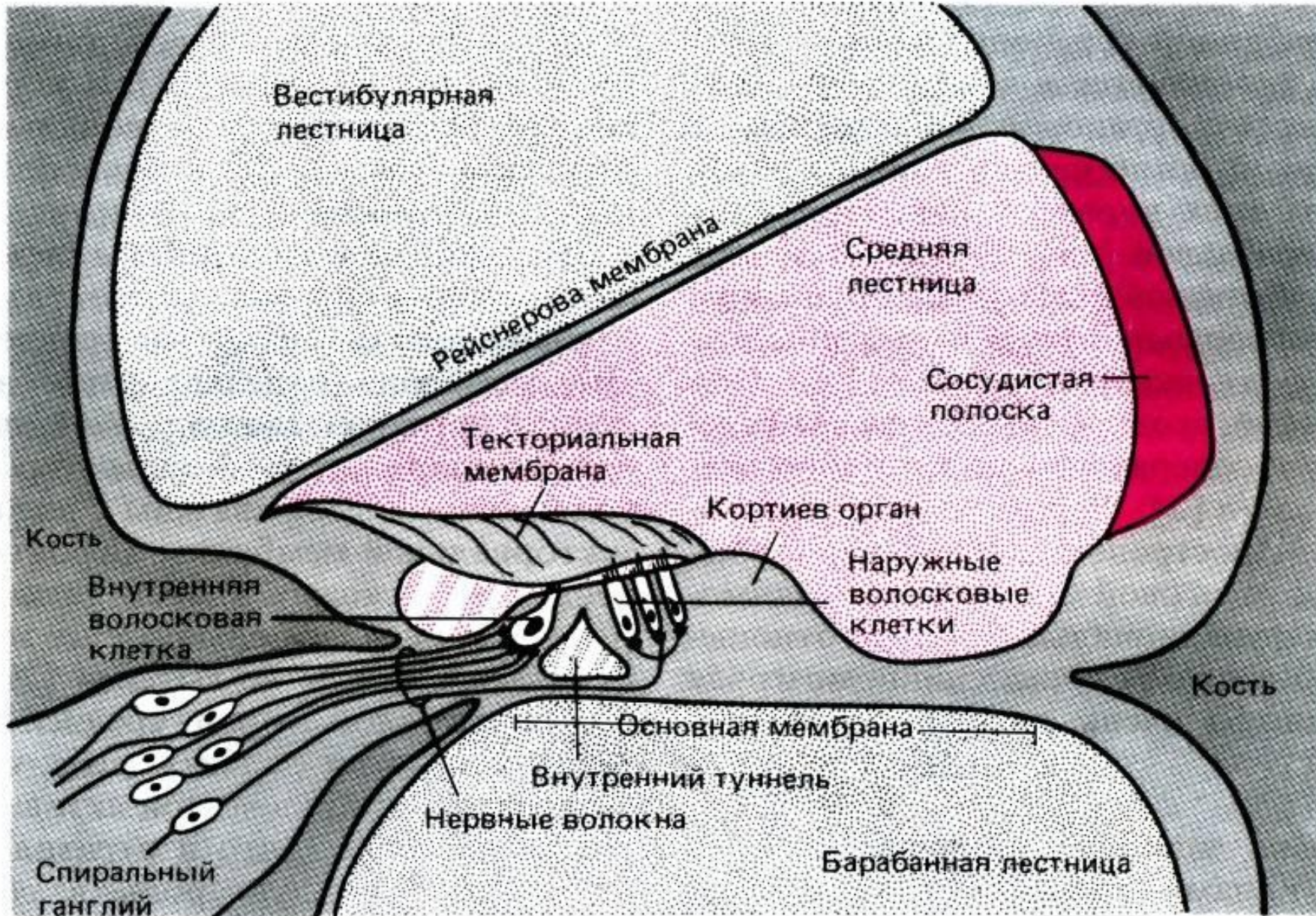


# Механизм передачи звуковых колебаний

- Звуковые колебания, воздействуя на систему слуховых косточек среднего уха, приводят к колебательным движениям мембрану овального окна, которая прогибаясь вызывает волнообразные перемещения перилимфы в вестибулярной и через геликотрему – барабанной лестницах.
- Движения перилимфы верхней и нижней лестниц передаются на вестибулярную мембрану, а затем на полость среднего канала, приводя в движение эндолимфу и основную (базиллярную) мембрану, на которой расположены волосковые рецепторные клетки.

# Механизм слуховой рецепции

- ❑ **В**олосковая рецепторная клетка имеет удлинённую форму. Один её полюс фиксирован на основной мембране, второй находится в полости среднего (улиткового) канала и на его конце есть **волоски (стереоцилии)**.
- ❑ **П**ри действии звука основная мембрана начинает колебаться, при этом волоски рецепторных клеток касаются покровной мембраны и деформируются.
- ❑ **Э**то приводит к чисто механическому открытию ионных каналов в мембране волосков: происходит движение ионов  $K^+$  внутрь волосков, что приводит к гиперполяризации мембраны и формированию потенциала волосковой клетки (рецепторный потенциал).
- ❑ **Ч**ез рецепторно-афферентный синапс возбуждение передаётся на окончания чувствительного слухового нерва, вызывая появление в нём генераторного потенциала, а затем при достижении критического уровня деполяризации – в ПД (нервный импульс).





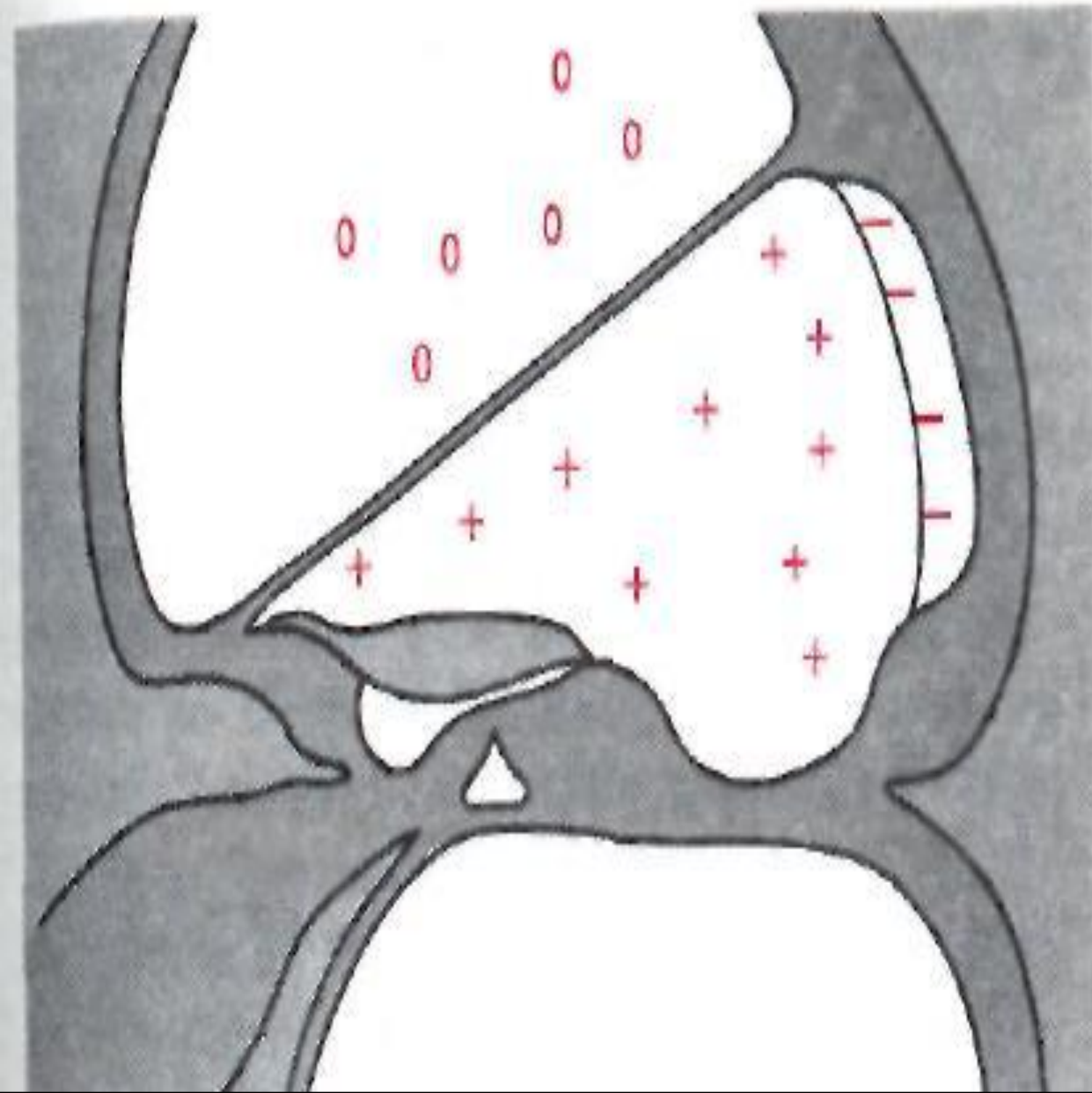
-  Перилимфа
-  Эндолимфа

Схема внутреннего уха в разрезе. Важнейшие элементы одного из витков спирали улитки.

# Электрические явления в улитке

- В улитке можно зарегистрировать 5 электрических феноменов, первые два из них не связаны с восприятием звука:
- **мембранный потенциал** слуховой рецепторной клетки отражает наличие разности потенциалов между наружной и внутренней поверхностью мембраны фонорецептора в состоянии покоя;
- **потенциал эндолимфы** или эндокохлеарный потенциал – отражает разность потенциалов (80 мВ) между эндолимфой среднего канала и перилимфой верхнего и нижнего каналов улитки; средний канал улитки имеет положительный заряд относительно двух других каналов;
- этот потенциал обусловлен определенным уровнем окислительно-восстановительных процессов в каналах улитки. Разрушение сосудистой оболочки и гипоксия приводят к его исчезновению.

# Постоянные потенциалы улитки



1. Мембранный потенциал волосковой клетки;
2. Потенциал эндолимфы. Эндолимфа имеет положительный заряд относительно перилимфы.

# Электрические явления в улитке

Микрофонный эффект или микрофонный потенциал улитки впервые был получен Е. Уивером и С. Бреем в 1930 г. в эксперименте на кошках.

Было показано, что если в улитку ввести электроды, соединенные с усилителем и громкоговорителем, расположенном в другом помещении, а затем на ухо кошки произносить различные слова, то экспериментатор, находящийся у громкоговорителя, в другом помещении, может их услышать.

# Электрические явления в улитке

- **Микрофонный потенциал** улитки возникает в ответ на смещение текториальной мембраной волосков рецепторных клеток.
- По форме и частоте колебаний он напоминает форму звуковых колебаний, т.е. частота генерации микрофонных потенциалов соответствует частоте звуковых колебаний, а амплитуда потенциалов в определенных границах пропорциональна интенсивности звука.
- Повреждение кортиевого органа приводит к исчезновению микрофонного потенциала.



# Электрические явления в улитке

- ❖ **Суммационный потенциал**, возникает также при возбуждении фонорецепторов, но отличается от микрофонного потенциала тем, что отражает не форму звуковой волны, а ее огибающую и возникает при действии на ухо сильных высокочастотных звуков (высоких тонов); величина суммационного потенциала пропорциональна интенсивности звукового давления и силе прижатия волосков рецепторных клеток к текториальной мембране.
- ❖ Микрофонный и суммационный потенциалы связывают с деятельностью волосковых клеток и рассматривают как **рецепторный потенциал**;

# Электрические явления в улитке

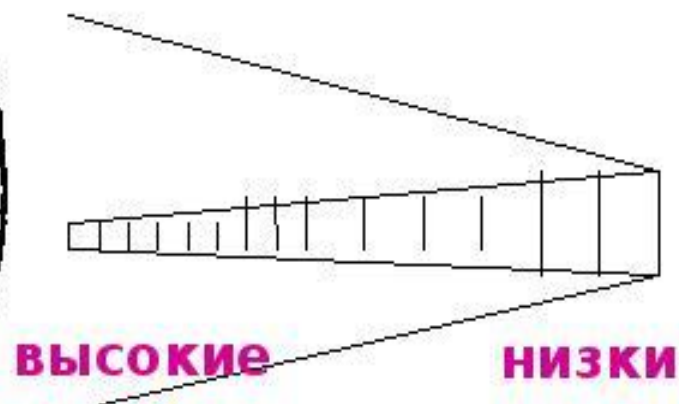
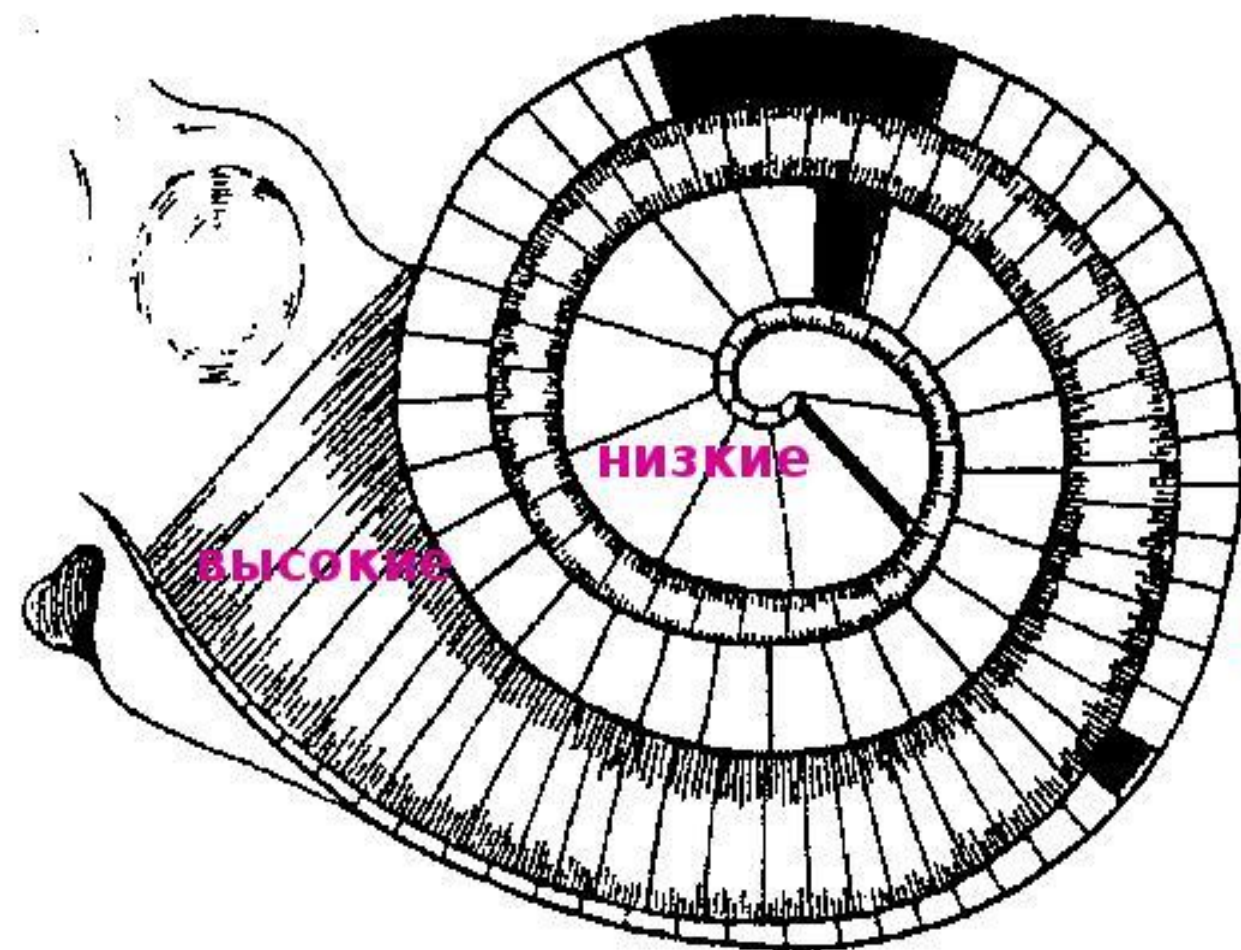
- ✓ Потенциал действия слухового нерва отражает возбуждение афферентных волокон биполярных клеток спирального ганглия; частота импульсов в них соответствует частоте звуковых волн, если она не превышает 1000 Гц.
- ✓ При действии более высоких тонов частота импульсов в нервных волокнах не возрастает, так как лабильность (функциональная подвижность) волокон слухового нерва составляет около 800 - 1000 имп/с.

# Восприятие звуков различной высоты

## Резонаторная теория Гельмгольца (1863)

- Согласно этой теории на основной мембране натянуты волокна (струны) различной длины. Подобно арфе они имеют различную частоту колебаний. При действии звука начинает колебаться та часть мембраны, которая настроена в резонанс данной частоте.
- Колебания натянутых нитей раздражают соответствующие рецепторы.
- Сила звука зависит от амплитуды колебаний звуковых волн, которые воспринимаются барабанной перепонкой. Звук будет тем сильнее, чем больше величина колебаний звуковых волн и соответственно барабанной перепонки.
- Высота звука зависит от частоты звуковых колебаний.

# Схема резонаторной теории слуха Гельмгольца.



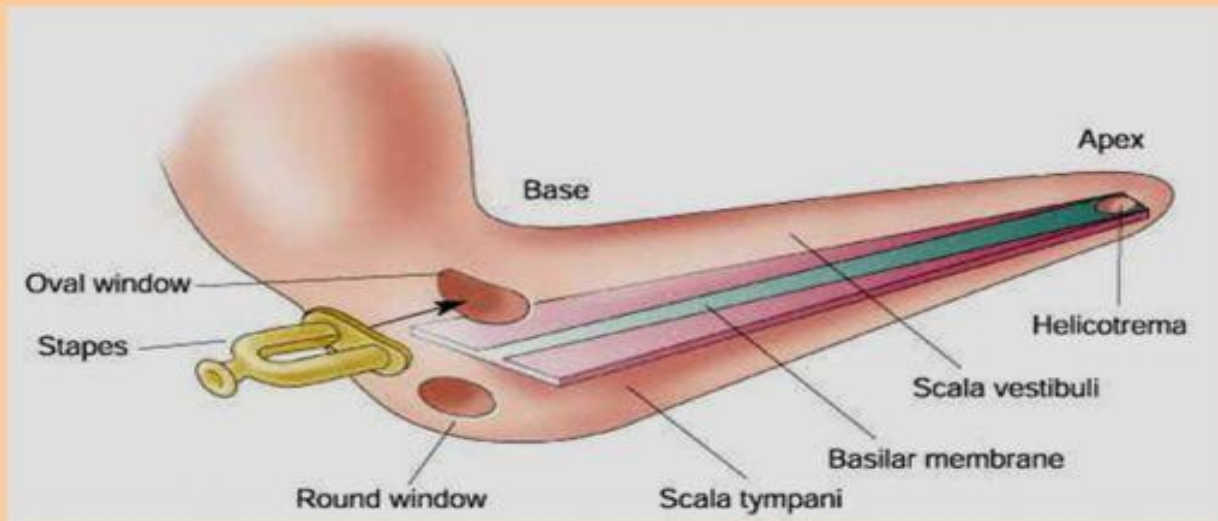
# Теория «бегущей волны»

- Теория Д. Бекеши (1961), согласно которой в улитке происходит явление резонанса, но резонирующим субстратом являются не волокна основной мембраны, а столб жидкости определенной длины.
- По данным Бекеши, чем больше частота звука (выше звук), тем меньше длина колеблющегося столба жидкости.
- При действии звуков низкой частоты длина колеблющегося столба жидкости увеличивается, захватывая большую часть основной мембраны. Причем, колеблются не отдельные волокна, а значительная их часть.
- Каждой высоте звука соответствует определенное количество рецепторов.

# Теории слуха

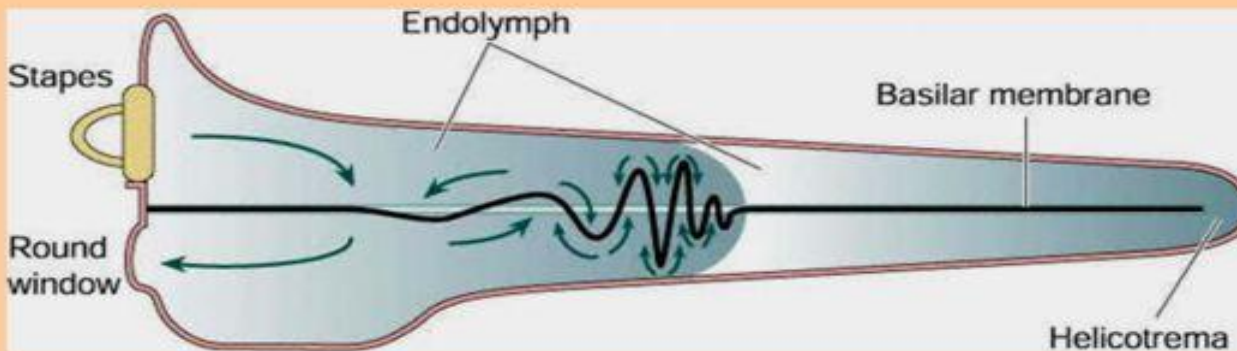
## Улитка (растянутое изображение):

чем дальше от овального окна, тем шире базилярная мембрана.



**Герман Гельмгольц:**  
резонансная теория  
слуха (базилярная  
мембрана как  
«арфа»).

*Но анатомически  
«струны» не  
обнаруживаются.*



**Георг Бекеш:**  
чем ниже частота  
колебаний, тем  
дальше от  
овального окна  
оказывается пик  
«бегущей волны»

# «Теория места»

- В настоящее время наиболее распространенной теорией восприятия звука является «теория места», согласно которой волосковые клетки, расположенные на различных участках основной мембраны «настроены» на восприятие звуков разной частоты.
- Как известно, основная мембрана состоит из большого количества (около 24 000) поперечных волокон, длина которых постепенно уменьшается от вершины улитки к её основанию.
- Согласно теории места при действии определенного звука в состоянии колебания приходит вся основная мембрана. Но максимальное отклонение мембраны (амплитудный максимум колебаний) происходит только в одном месте мембраны.

# «Теория места»

- ❖ При этом возбуждаются преимущественно те клетки кортиева органа, которые расположены на этих волокнах.
- ❖ При увеличении частоты звуковых колебаний амплитудный максимум смещается к основанию улитки, где располагаются более короткие волокна основной мембраны.
- ❖ Возбуждение волосковых клеток именно этого участка мембраны передается через синапс на волокна слухового нерва в виде определенного числа импульсов. То есть, осуществляется пространственный тип кодирования частоты звуковых сигналов.



# Теория места

- Помимо пространственного кодирования, при действии тонов до 800 Гц (не превышающих лабильность нервных волокон, составляющую – 800-1000 Гц), происходит также и временное (частотное) кодирование - информация передается по определенным волокнам слухового нерва в виде импульсов, частота следования которых повторяет частоту звуковых колебаний.
- Каждый нейрон слуховой сенсорной системы имеет свой специфический частотный порог, на который его реакция максимальна.

# Восприятие силы звука

- **Сила звука** кодируется как частотой импульсов, так и числом возбужденных рецепторов и соответственно нейронов.
- Известно, что наружные и внутренние волосковые рецепторные клетки имеют разные пороги возбуждения: внутренние возбуждаются при большей силе звука, т.к. пороги их возбуждения больше, чем у наружных. Более того, пороги возбуждения у внутренних клеток также различаются. Поэтому в зависимости от интенсивности звука меняется число возбужденных рецепторных клеток кортиева органа и характер импульсации, поступающей в ЦНС.

# Восприятие силы звука

- Нейроны проводящих путей обладают разной возбудимостью, поэтому: при слабом звуковом сигнале в реакцию вовлекается незначительное число нейронов, возбудимость которых высокая.
- С усилением силы звуковых сигналов в процесс возбуждения вовлекается все большее число нейронов, реагируют и те нейроны, возбудимость которых низкая.

# Определение локализации источника звука

- **Бинауральный слух** – это слушание двумя ушами. Благодаря тому, что слуховая система человека построена из 2-х симметричных половин, есть возможность очень точно (до 1 углового градуса) локализовать источник звука и определять его направление.
- Определение источника звука высокой частоты происходит за счет разницы в интенсивности звука, поступающего к обоим ушам, одно ухо «слышит» звук чуть громче, чем другое, вследствие различной удаленности от источника звука.
- Для низких звуков определяющим моментом является разность во времени поступления звука (одного уха он достигает чуть раньше, чем другого).

# Определение локализации источника звука

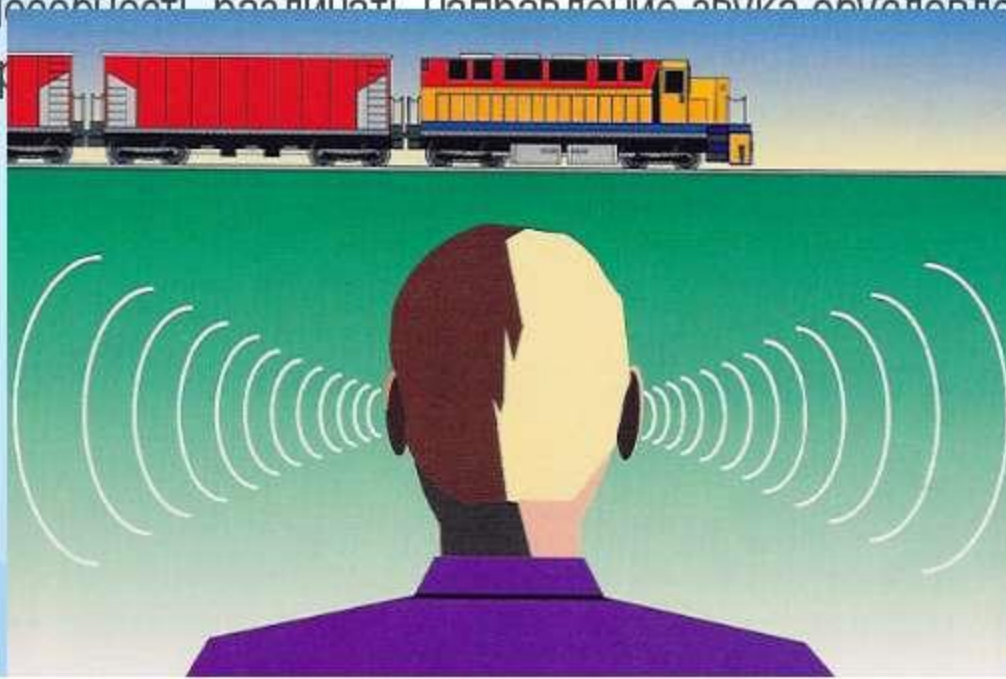
- Определение местоположения источника звука осуществляется либо путем восприятия звуков непосредственно от звучащего объекта (первичная локализация), либо путем восприятия отраженных от объекта звуковых волн (вторичная локализация).
- С помощью вторичной локализации (эхолокация) хорошо ориентируются в пространстве некоторые животные (летучие мыши, дельфины).

# Бинауральный слух

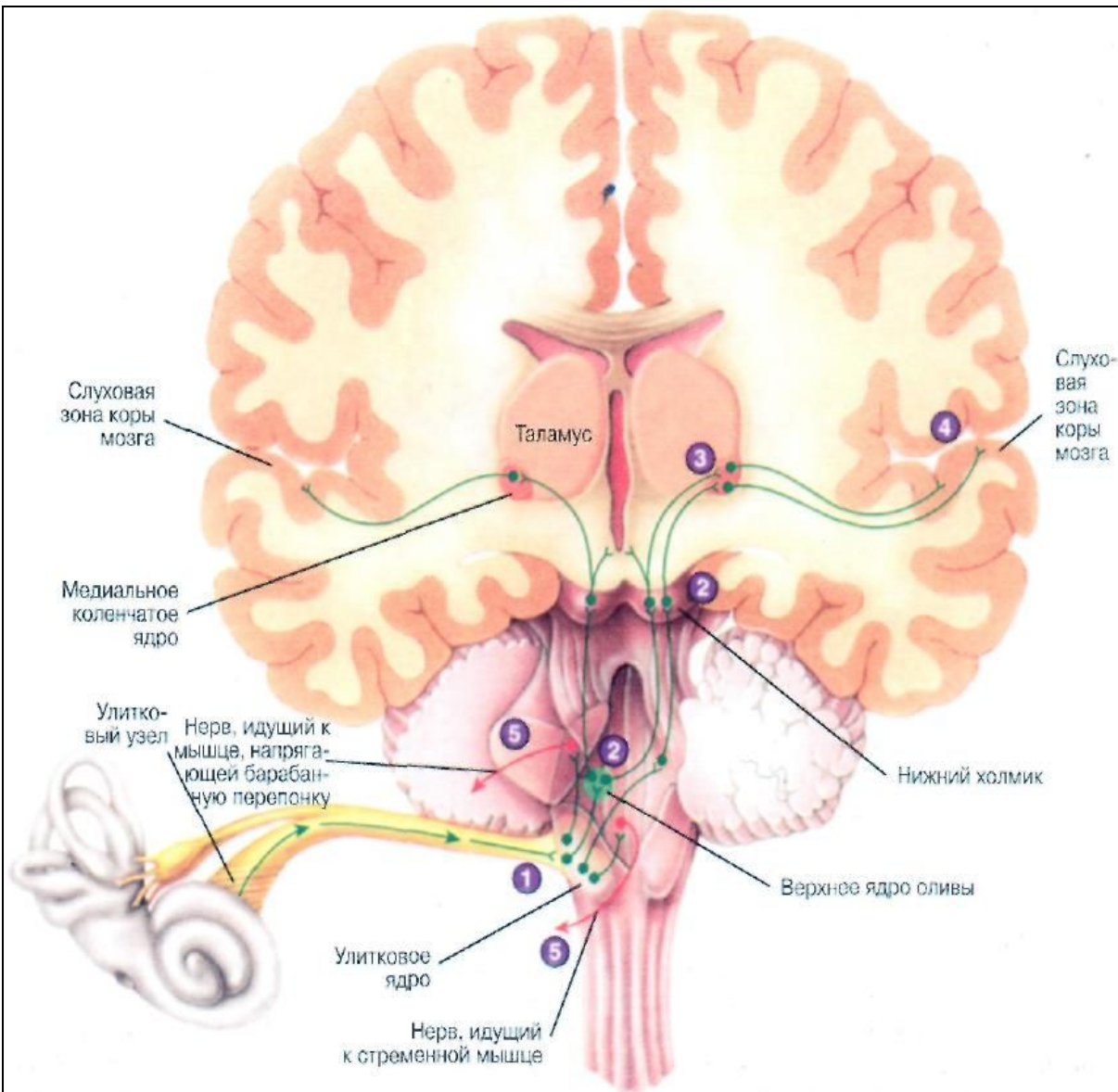
Наличие двух ушей обуславливает способность определять направление источника звука. Эта способность получила название бинаурального (двуушного) слуха, или оттопиики (от греч. otos — ухо и topos — место). Для объяснения этого свойства слухового анализатора высказано три суждения:

- 1) ухо, расположенное ближе к источнику звука, воспринимает звук сильнее, чем противоположное;
- 2) ухо, находящееся ближе к источнику звука, воспринимает его несколько раньше;
- 3) звуковые колебания доходят до обеих ушей в разных фазах.

По-видимому, способность различать направление звука обусловлена совместным действием всех трёх факторов.

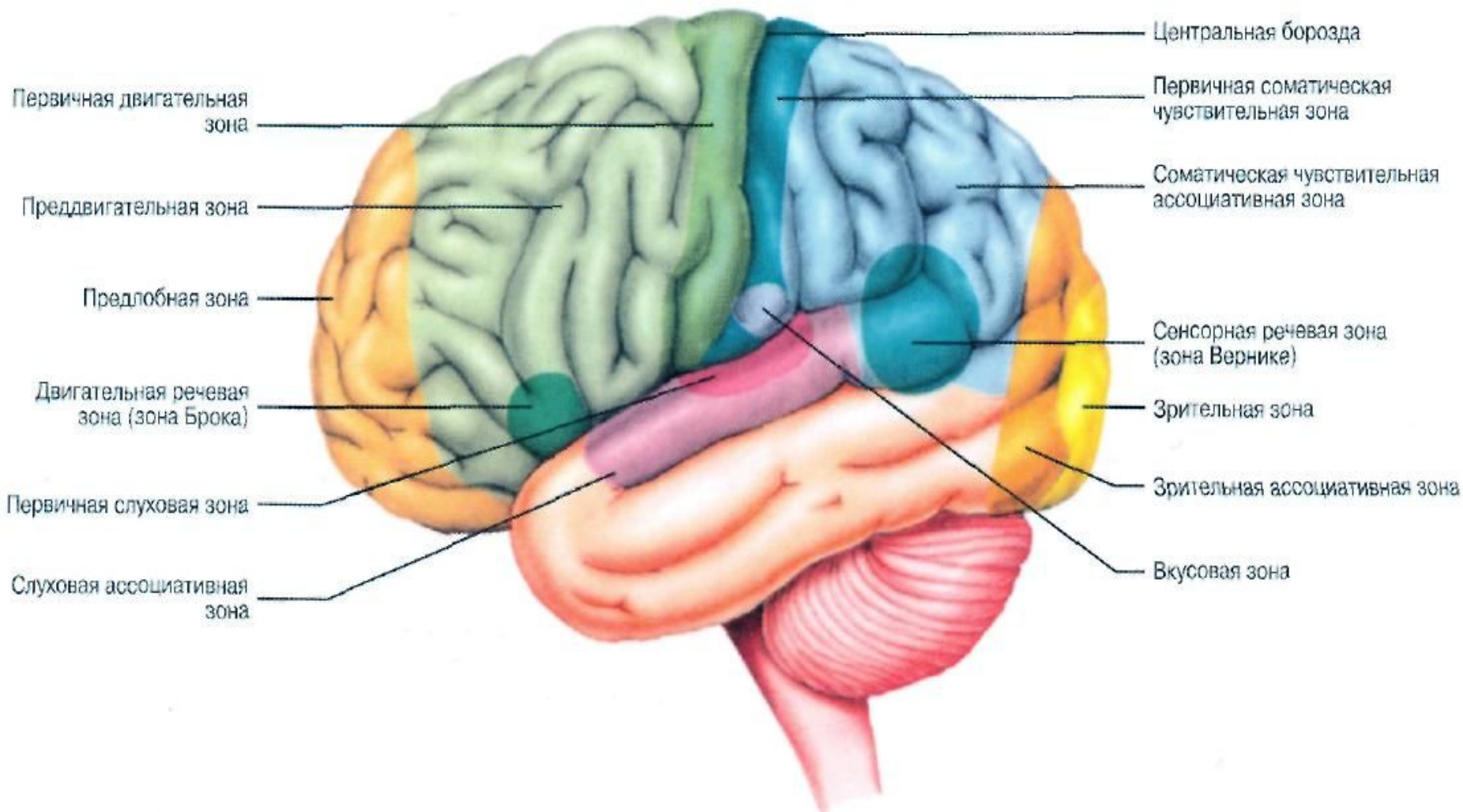


# Слуховые проводящие пути



- Первый нейрон** проводникового отдела представлен биполярной клеткой, расположенной в спиральном ганглии улитки. Аксоны биполярных клеток образуют волокна *слухового нерва*.
- Они заканчиваются на клетках ядер кохлеарного комплекса продолговатого мозга (**2 нейрон**).
- Затем, после частичного перекреста волокна идут в медиальное коленчатое тело метаталамуса, где происходит переключение на **третий нейрон**.

# Локализация слуховой коры





# Функции слуховой коры

- ▶ От каждого типа волосковых клеток кортиевого органа возбуждение по слуховым проводящим путям достигает нейронов определенной колонки слуховой коры головного мозга, ответственной за восприятие данной частоты звука.
- ▶ Первичная слуховая кора непосредственно возбуждается проекциями от медиального коленчатого тела, тогда как ассоциативная слуховая кора возбуждается вторично импульсами из первичной слуховой коры и проекциями из таламических ассоциативных зон.

# Функции слуховой коры

- ▶ Первичная слуховая кора отвечает за различение тональностей. На уровне вторичной слуховой коры начинается опознавание слуховых образов.
- ▶ Слуховой образ — это совокупность разных тональностей. Узнавание слуховых образов как суммы тональностей — это результат обучения, результат настройки корковых нейросетей.
- ▶ Опознание более сложных слуховых образов осуществляется нейронами третичной слуховой коры.

# Слуховая адаптация

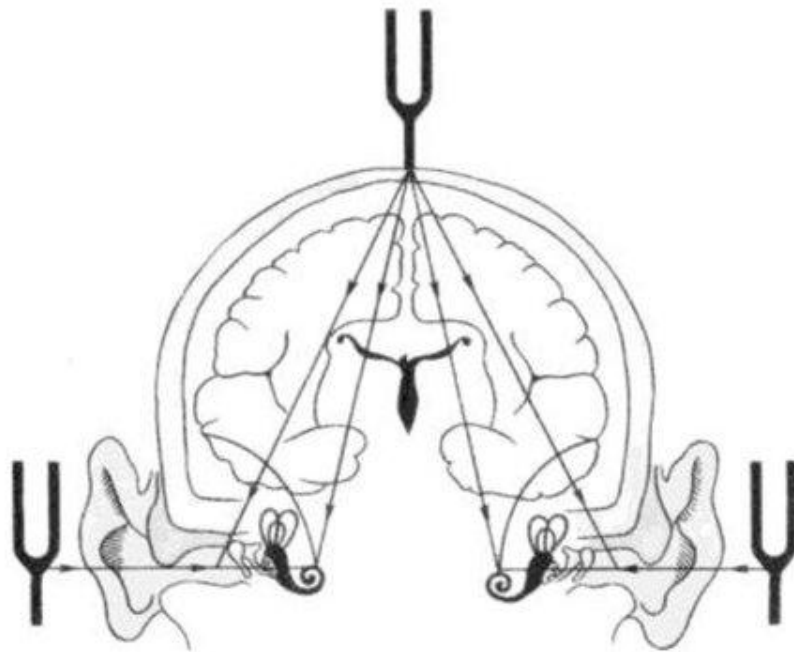
- ❖ В процессе восприятия звуковых сигналов, слуховая сенсорная система изменяет свою чувствительность. Меняется функциональное состояние всех отделов слухового анализатора.
- ❖ Ухо, адаптированное к тишине, обладает более высокой чувствительностью к звуковым сигналам (слуховая сенситизация). При сильных звуках или длительном слушании, чувствительность слухового анализатора снижается.
- ❖ Важную роль в слуховой адаптации играет ретикулярная формация, которая не только изменяет активность проводникового и коркового отделов анализатора, но и за счет эфферентных влияний регулирует чувствительность слуховых рецепторов, определяя уровень их «настройки» на восприятие звуковых раздражителей.

# Костная проводимость звука

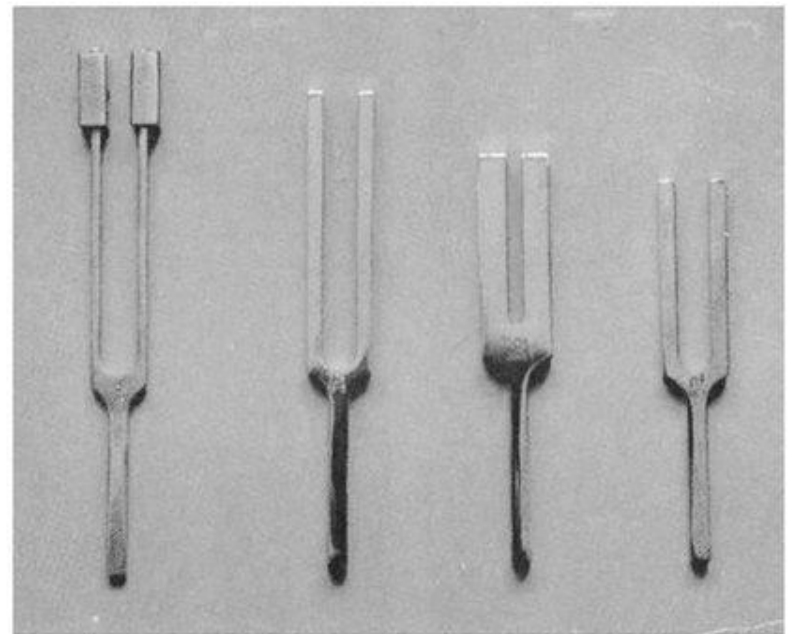
- Помимо воздушной проводимости, имеется **костная проводимость звука** (через кости черепа). При этом звуковые колебания вызывают вибрацию костей черепа и лабиринта, что приводит к колебаниям давления перилимфы в вестибулярном канале. В результате этого происходит смещение основной мембраны так же, как и при воздушной передаче звуковых колебаний.
- Исследование костной проводимости звука проводится в клинике для выявления повреждений звукопроводящего и звукоулавливающего аппаратов уха.
- Так, при нарушении звукопроведения в среднем ухе – костная проводимость не меняется, нарушается воздушный способ передачи звука; при поражении внутреннего уха – слуховой порог возрастает как при воздушной, так и костной передаче звуковых сигналов.
- Для исследования костной проводимости звука используют камертоны.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУХА КАМЕРТОНАМИ

- Схема распространения звука по воздуху и кости при исследовании функции слухового анализатора с помощью камертона

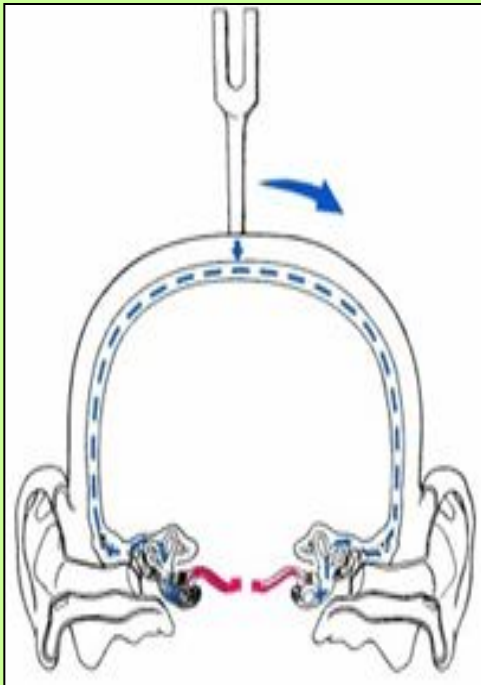


- Набор камертонов



# Тест Вебера

□ Ножку звучащего камертона устанавливают по средней линии темени:



а) при поражении звукпроводящего аппарата – звучание камертона лучше воспринимается больным ухом;

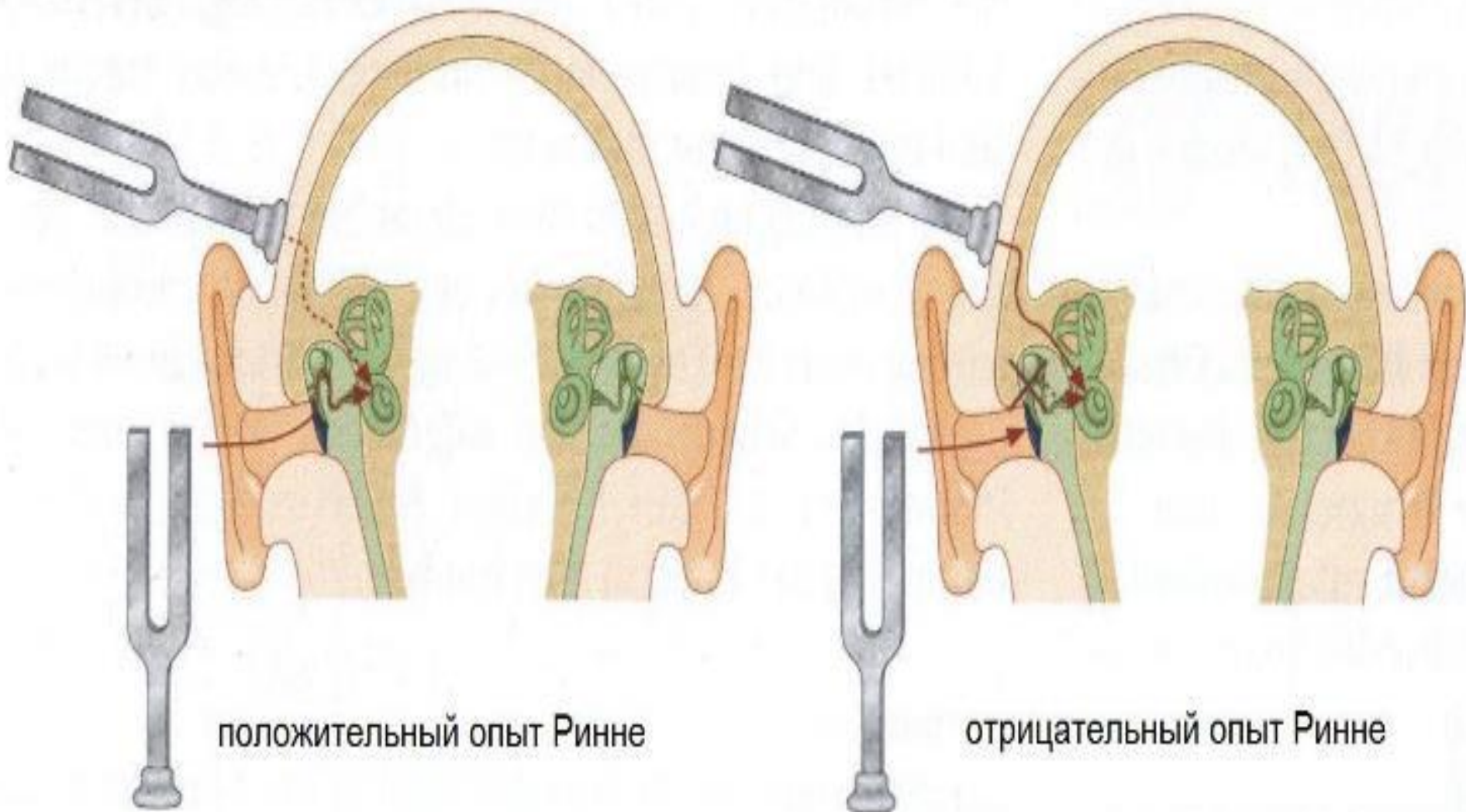
б) при поражении звуковоспринимающего аппарата – звучание камертона лучше воспринимается здоровым ухом.

# Тест Ринне

Тест Ринне - применяется для сравнения костной и воздушной проводимости звука.

- ▶ Ножку звучащего камертона устанавливают на сосцевидный отросток височной кости. После того как пациент перестает слышать звук, камертон подносят к наружному слуховому проходу.
- ▶ В норме он должен слышать продолжение звука, что свидетельствует о том, что воздушный способ передачи звука более эффективен, чем костный.
- ▶ При поражении среднего уха воздушная проводимость ухудшается. Пациент не слышит звука камертона при поднесении его к уху.

# Тест Ринне





# Исследование шепотной речью

## Обследование слуха речью

**Обследуются поочерёдно оба уха, начиная с худшего. В противоположное ухо вставляют ватный тампон. Ребёнку в случайной последовательности предлагаются шёпотом слова из списка с расстояния 6 м.**



# Методы исследования

## Аудиометрия



Позволяет определить порог слышимости, т.е. минимальную громкость звука, которую воспринимает ухо. Исследование проводят на различных частотах.

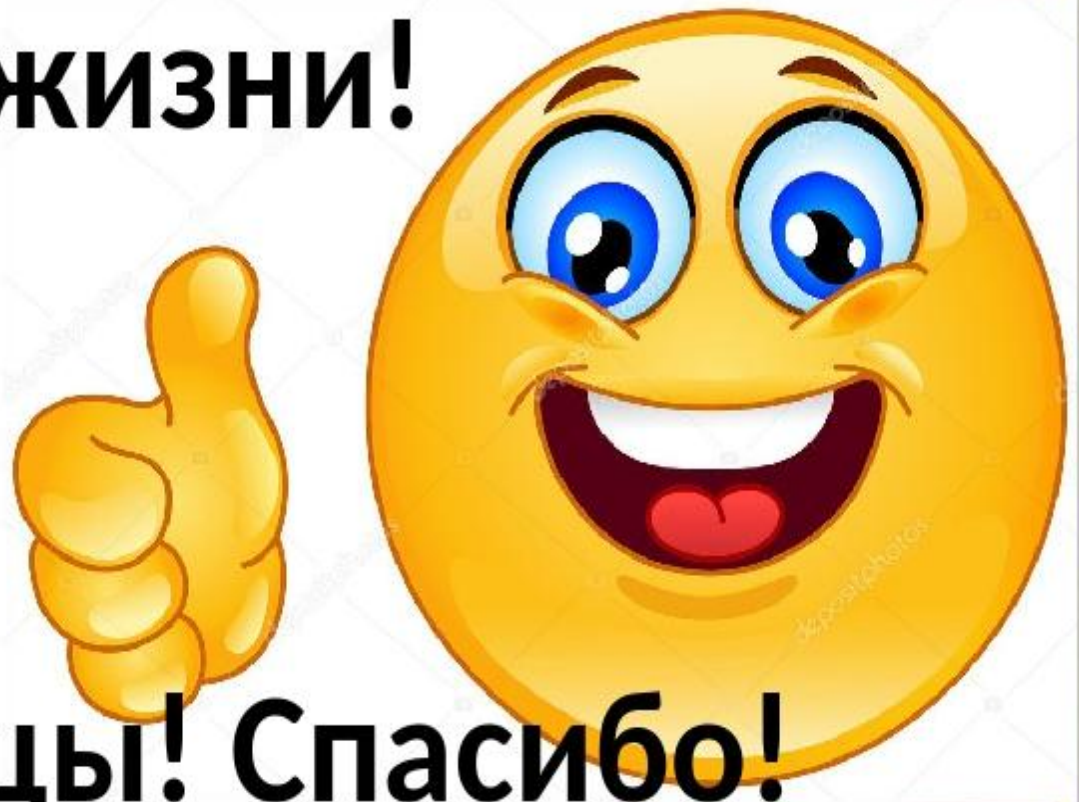
# Методы исследования

## Компьютерная аудиометрия по вызванным потенциалам

- Метод основан на феномене генерации в нейронах слуховых зон коры головного мозга биоэлектрических вызванных потенциалов, возникающих при озвучивании рецепторных клеток спирального органа улитки, и регистрации этих потенциалов при помощи их суммации и компьютерной обработки; отсюда и другое название метода — компьютерная аудиометрия. В аудиологии используют слуховые вызванные потенциалы для топической диагностики центральных нарушений звукового анализатора.



**Правильно примените  
полученные знания в  
жизни!**



**Молодцы! Спасибо!**