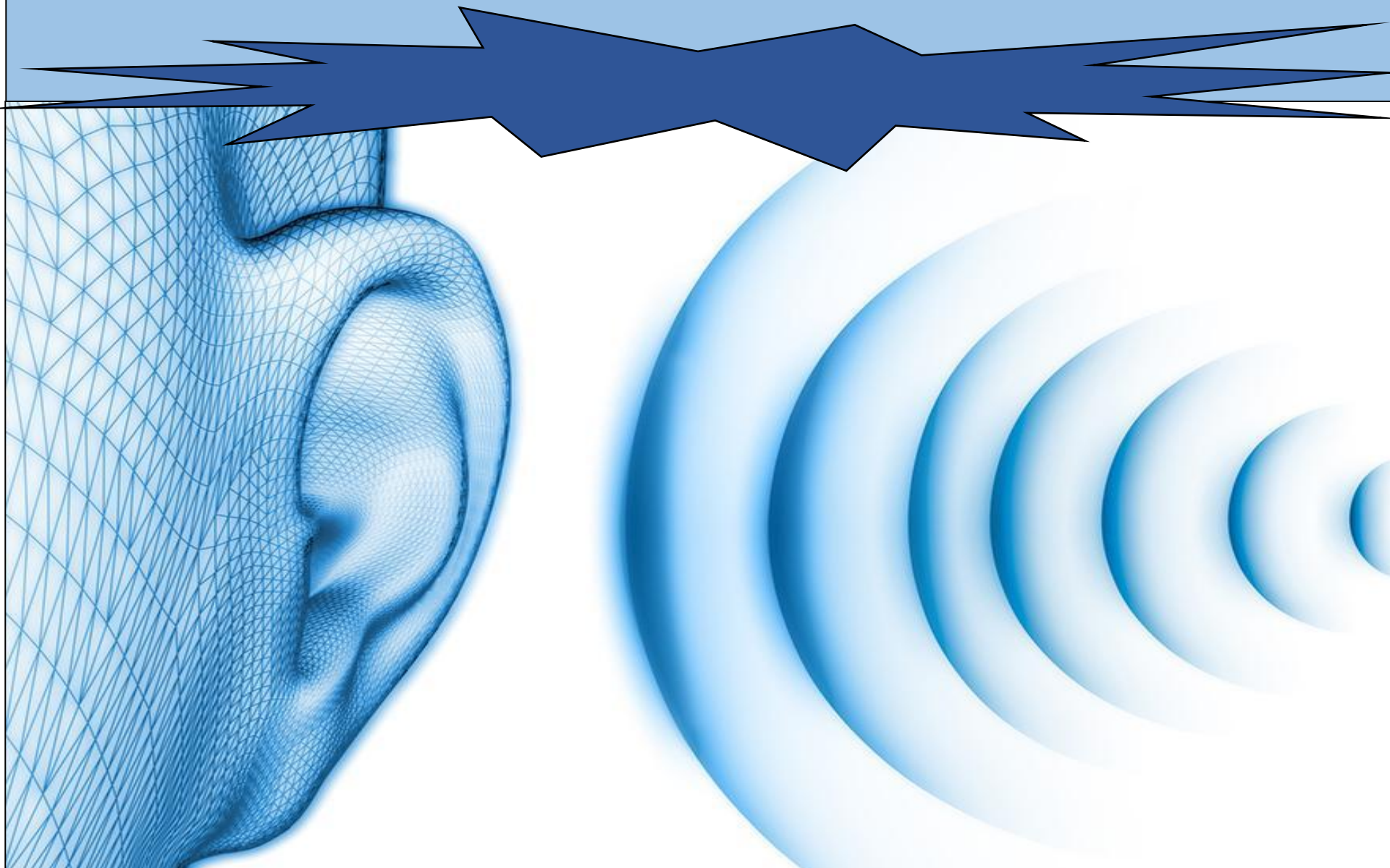


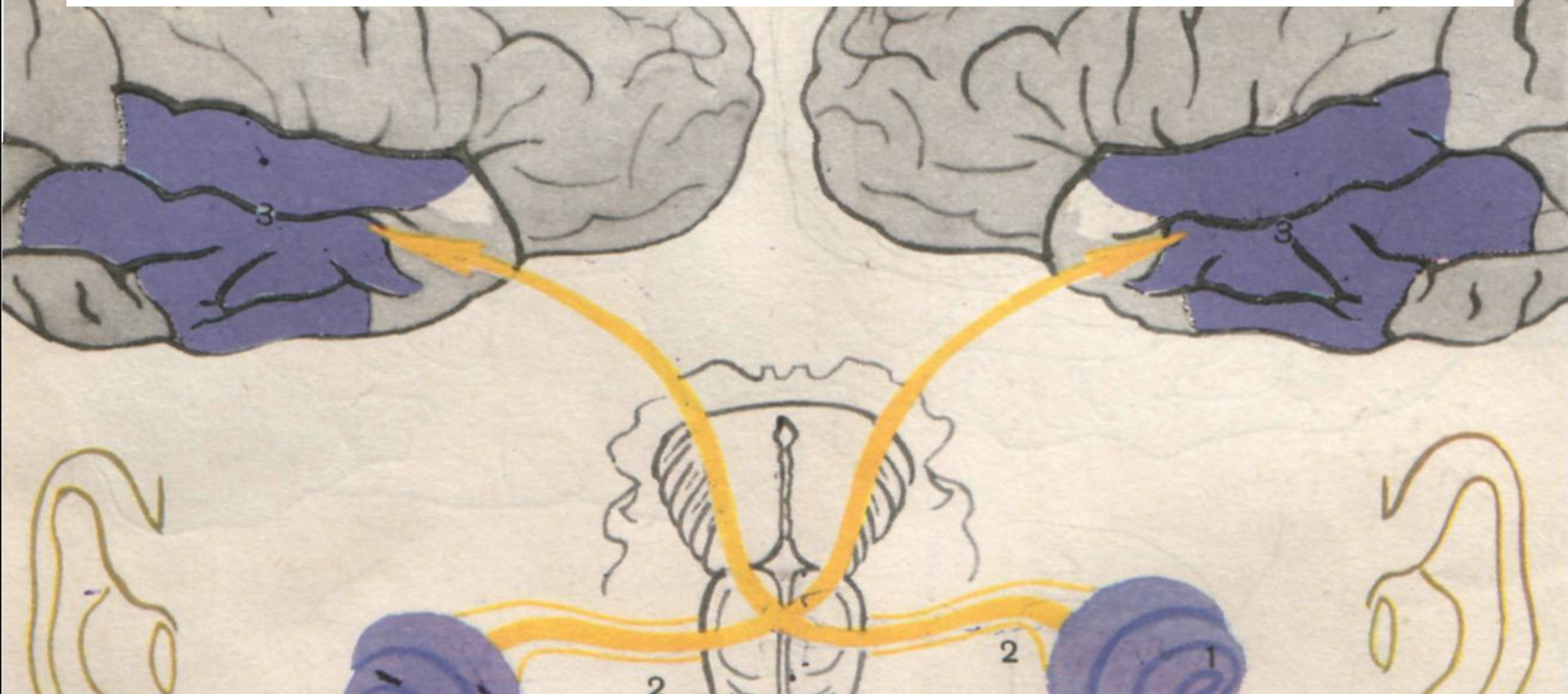
СЛУХОВАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА



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

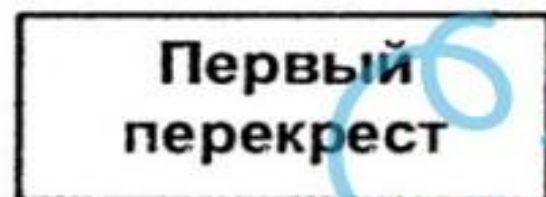
Волосковые клетки органа Корти



Спиральный ганглий



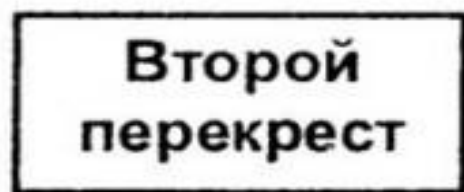
Кохлеарные ядра



Верхняя олива



Ядро латерального лемниска



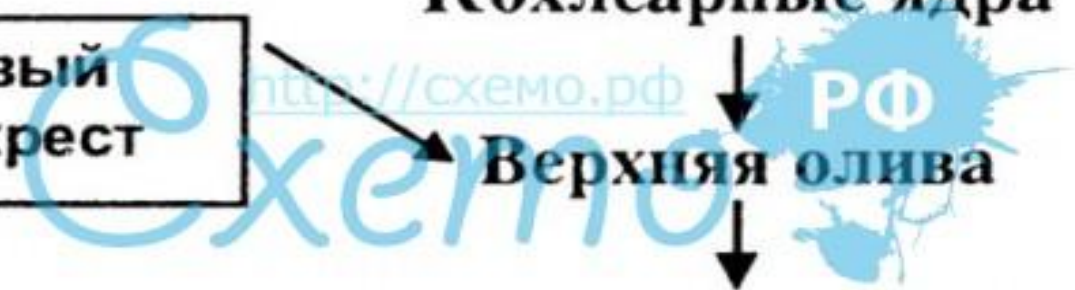
Нижнее двухолмие



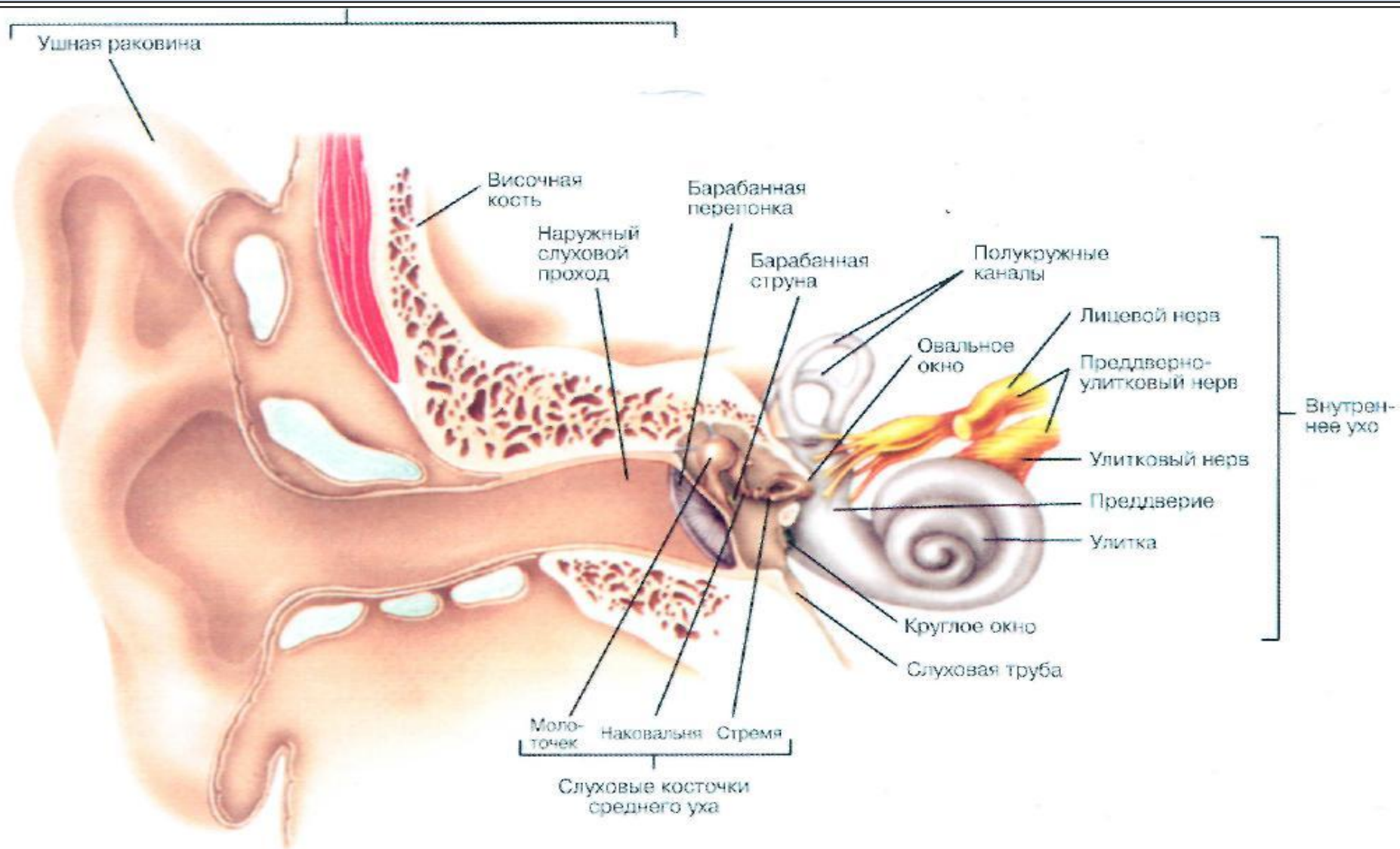
Медиальные коленчатые тела



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** (звукоспринимающий 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.

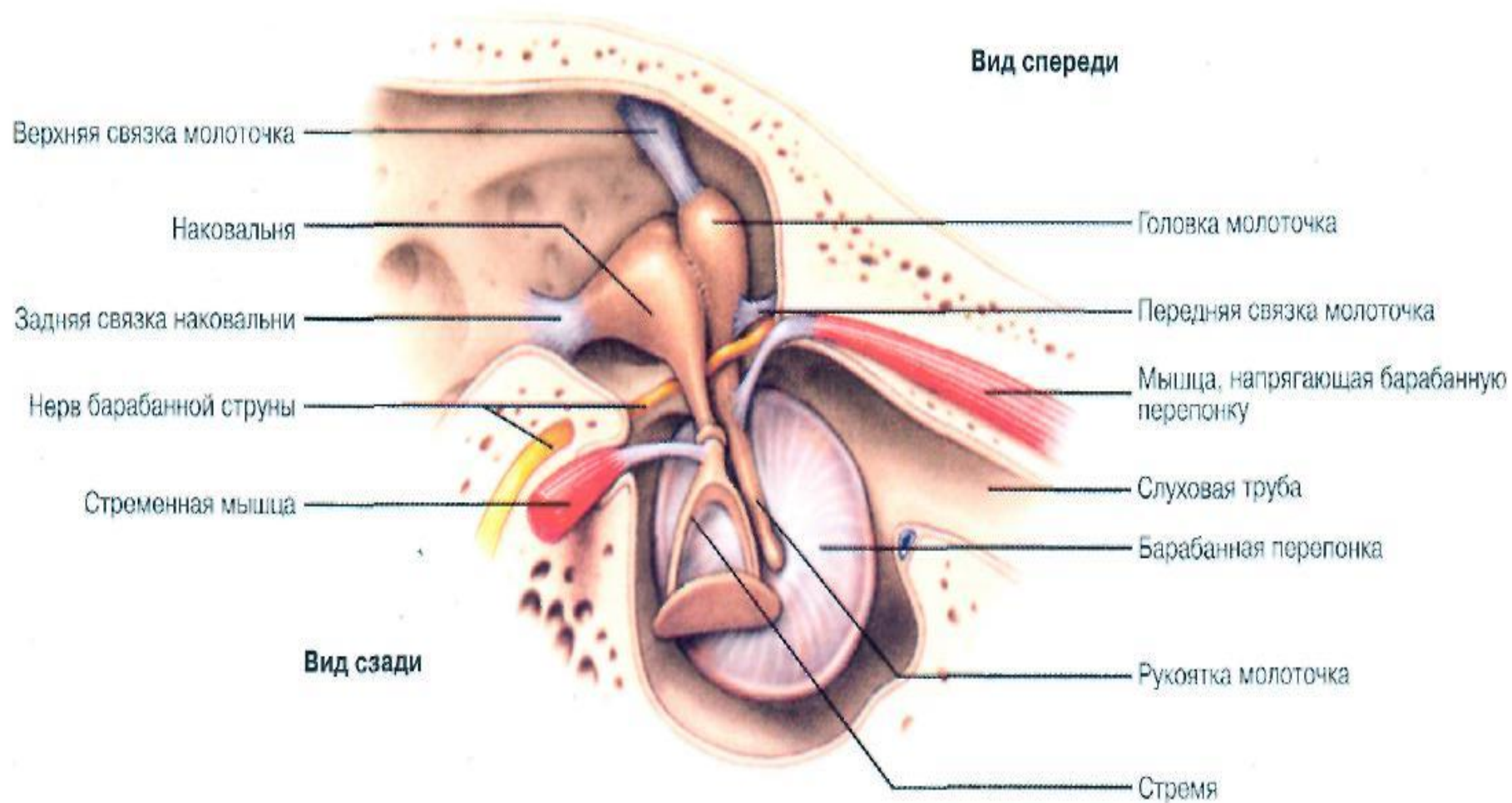
Функции отделов органа слуха

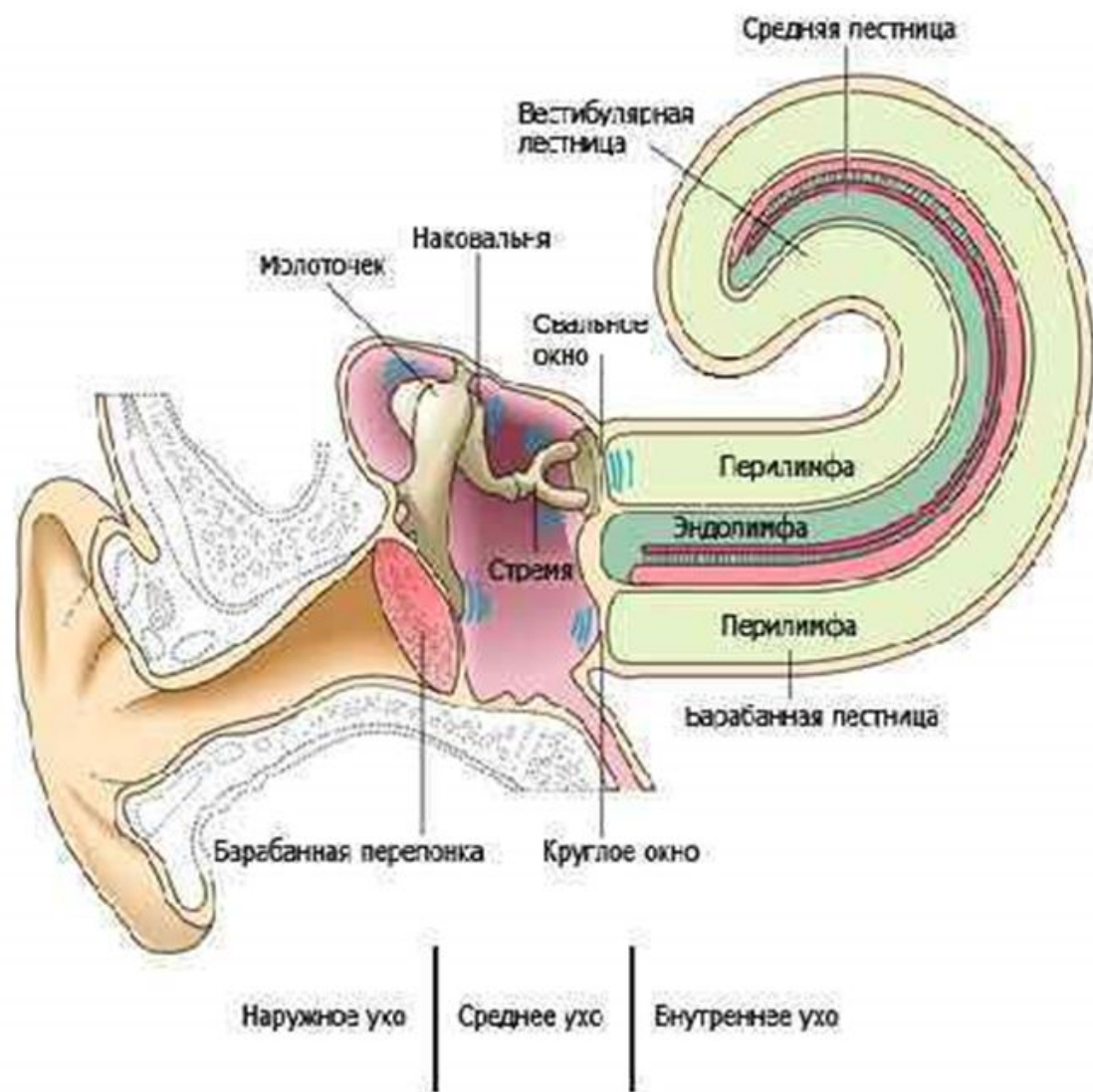
- ▶ **Наружное ухо** – за счет ушной раковины обеспечивает улавливание звуков, концентрацию их в направлении наружного слухового прохода и усиление интенсивности звуков; также оно обеспечивает механическую защиту и защиту от температурных воздействий окружающей среды всех остальных отделов органа слуха.
- ▶ **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

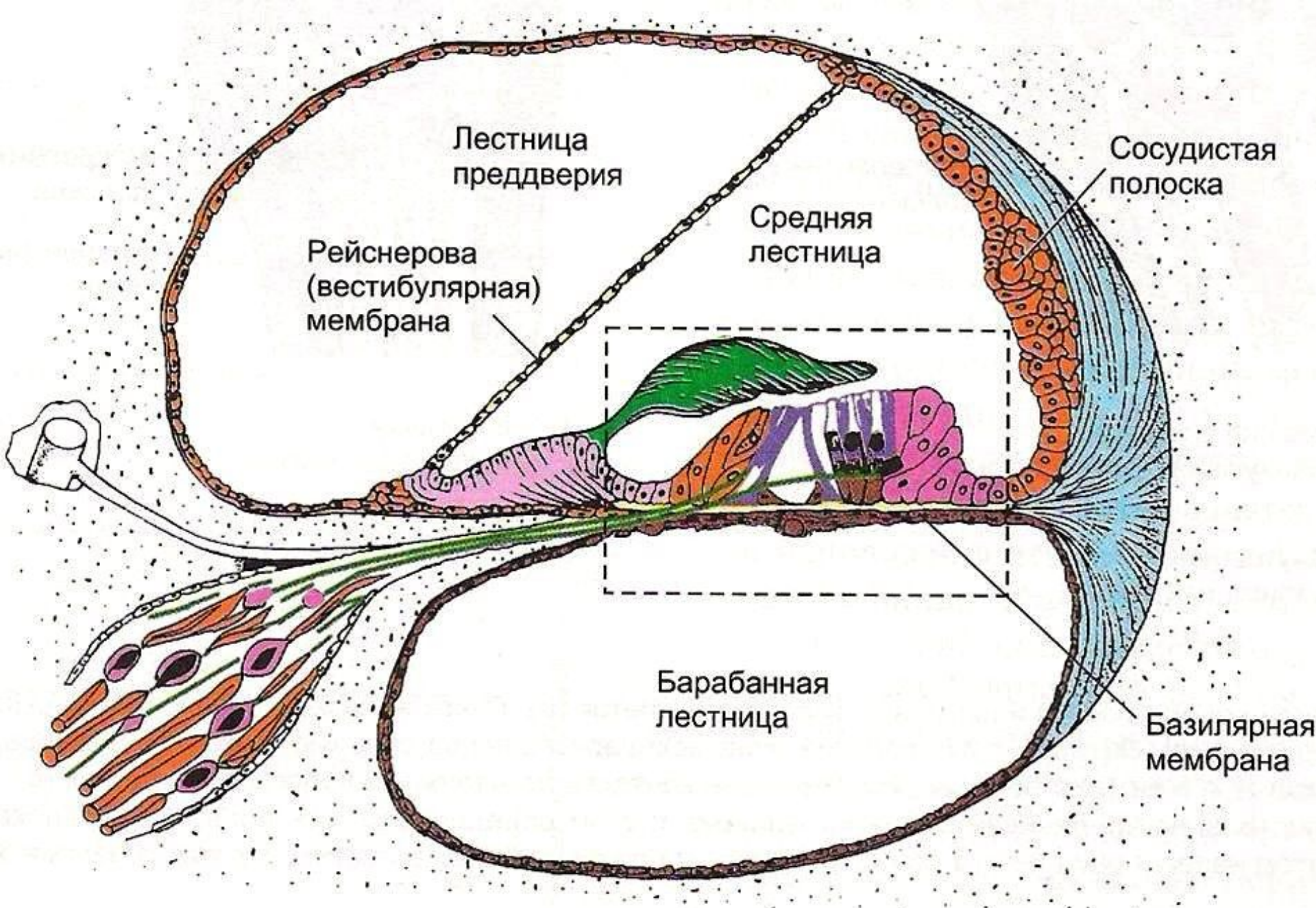




Среднее ухо усиливает звук примерно в 60-70 раз, а если учитывать усиливающий эффект наружного уха, то эта величина возрастает в 180-200 раз.

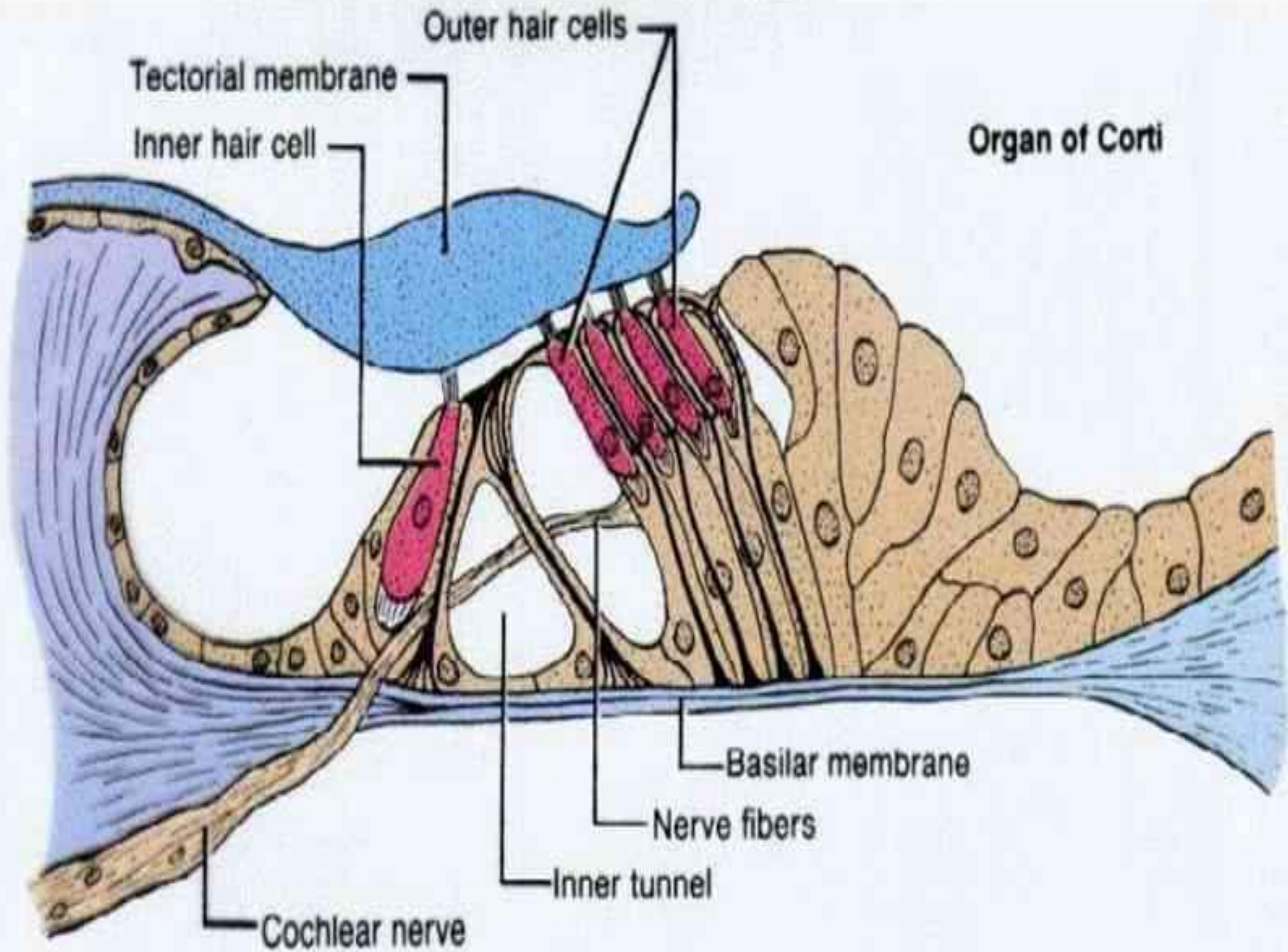
Функции отделов органа слуха

- **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 вершукке 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.

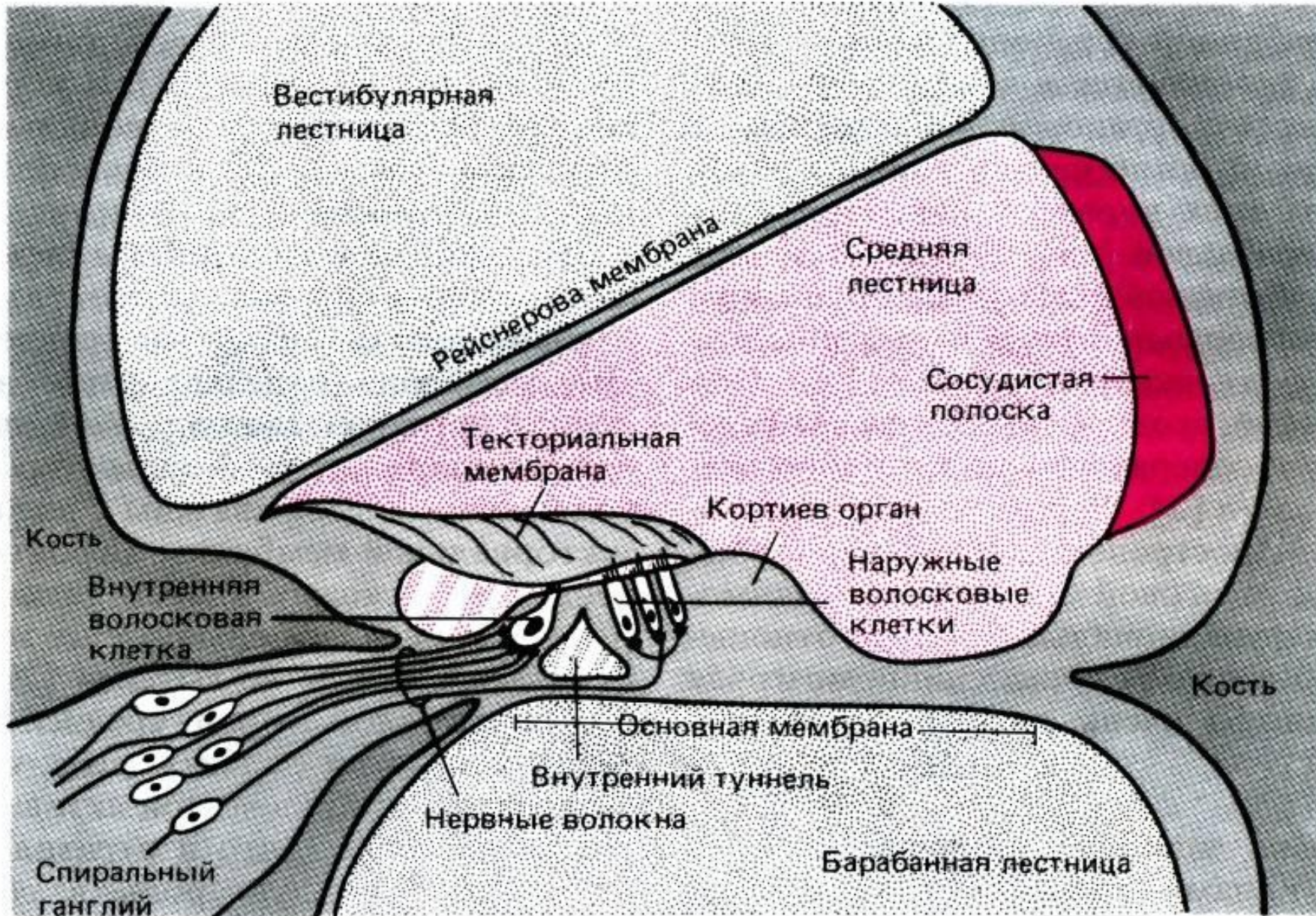


Механизм передачи звуковых колебаний

- 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 ее 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 передается на окончания чувствительного слухового нерва, вызывая появление в нем генераторного потенциала, а затем при достижении критического уровня деполяризации – в ПД (нервный импульс).





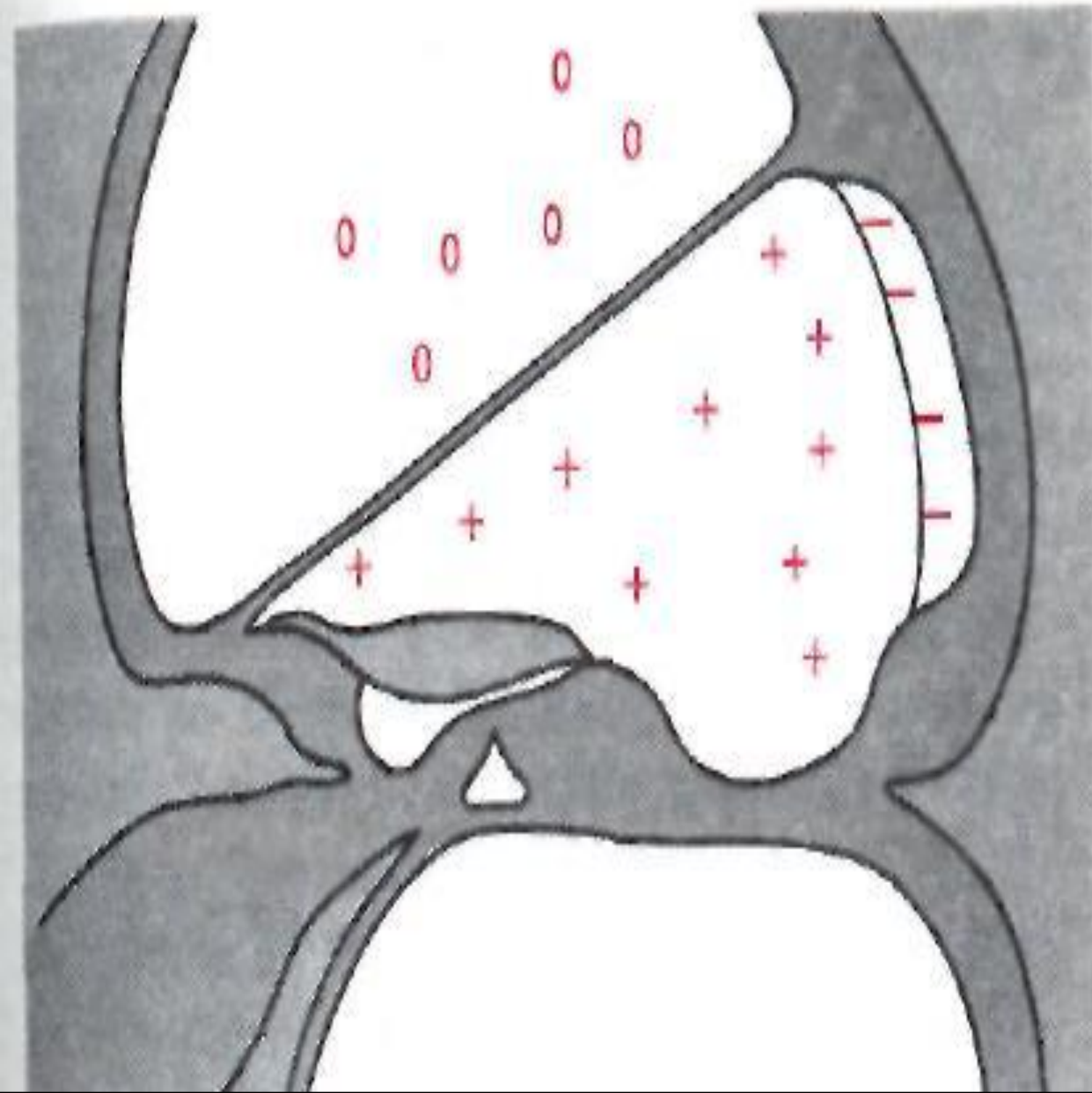
-  Перилимфа
-  Эндолимфа

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

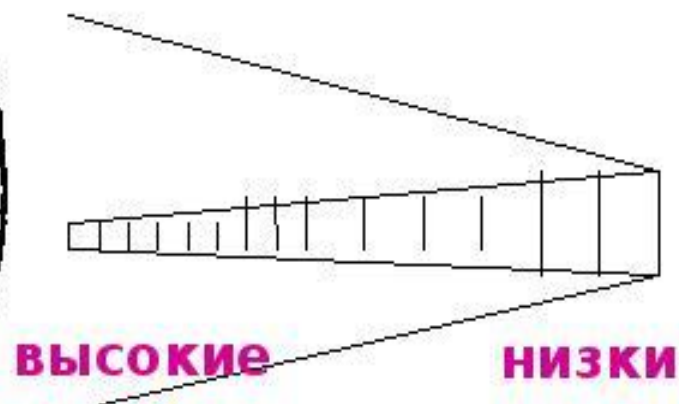
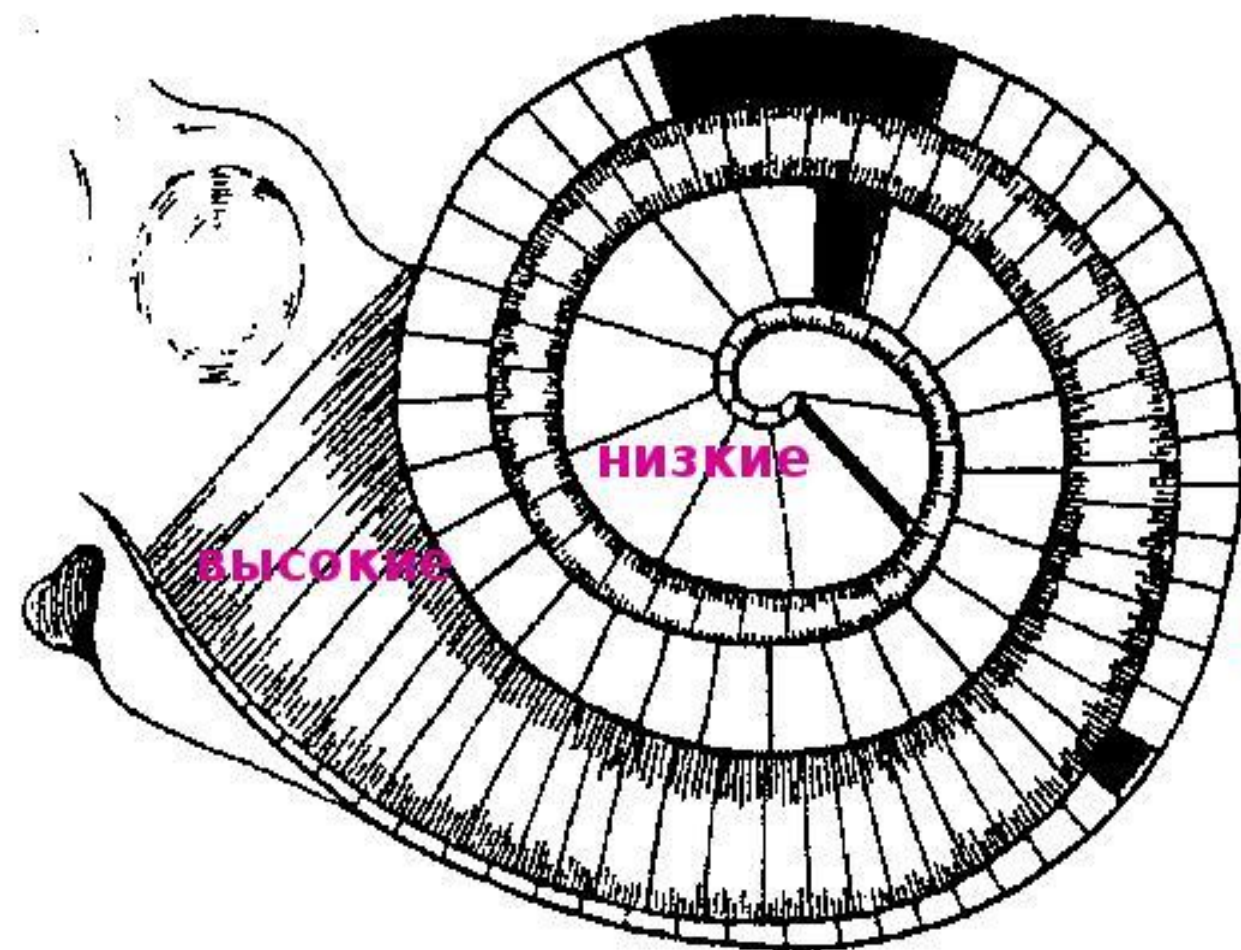
- ✓ Потенциал действия слухового нерва отражает возбуждение афферентных волокон биполярных клеток спирального ганглия; частота импульсов в них соответствует частоте звуковых волн, если она не превышает 1000 Гц.
- ✓ При действии более высоких тонов частота импульсов в нервных волокнах не возрастает, так 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.



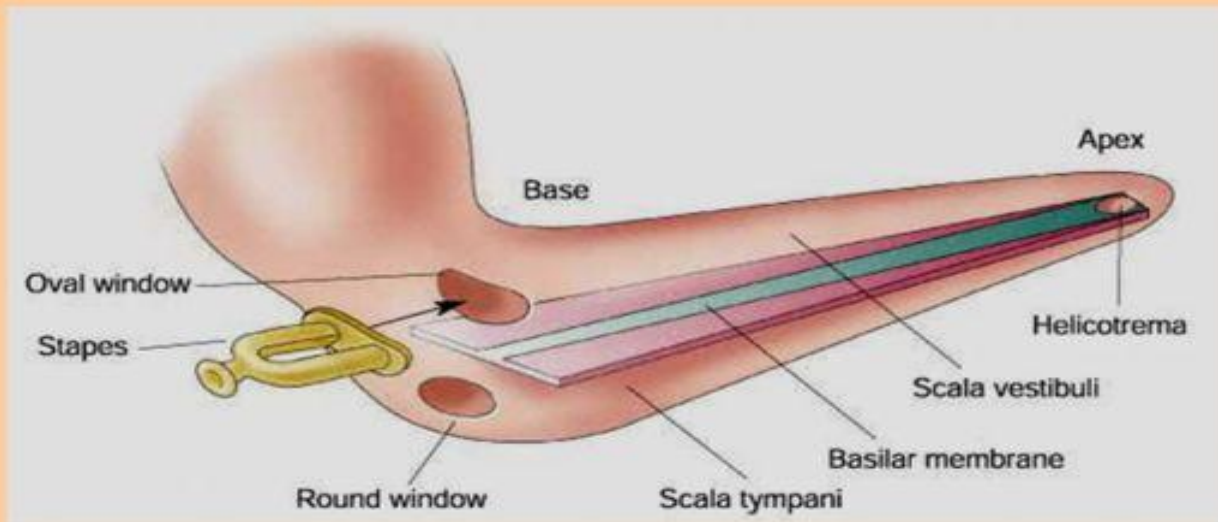
Теория «бегущей волны»

- 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

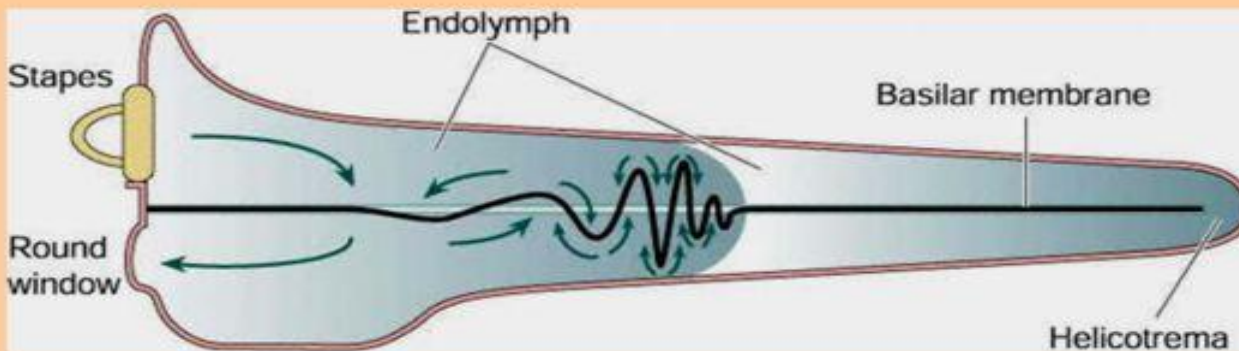
Улитка (растянутое изображение):

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

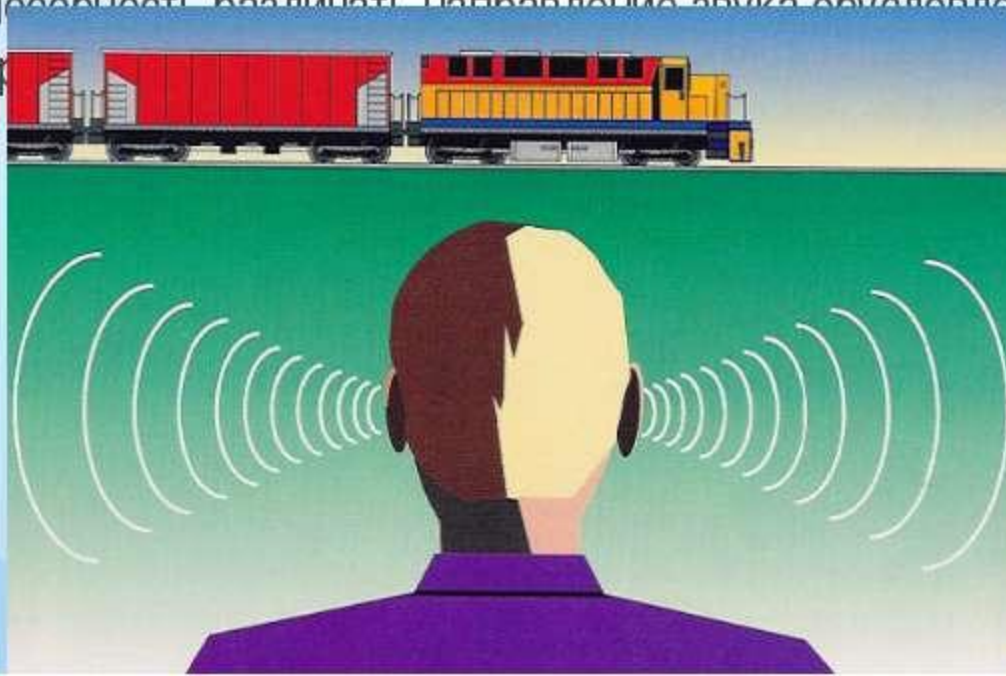
- Определение местоположения источника звука осуществляется либо путем восприятия звуков непосредственно от звучащего объекта (первичная локализация), либо путем восприятия отраженных от объекта звуковых волн (вторичная локализация).
- С помощью вторичной локализации (эхолокация) хорошо ориентируются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

Бинауральный слух

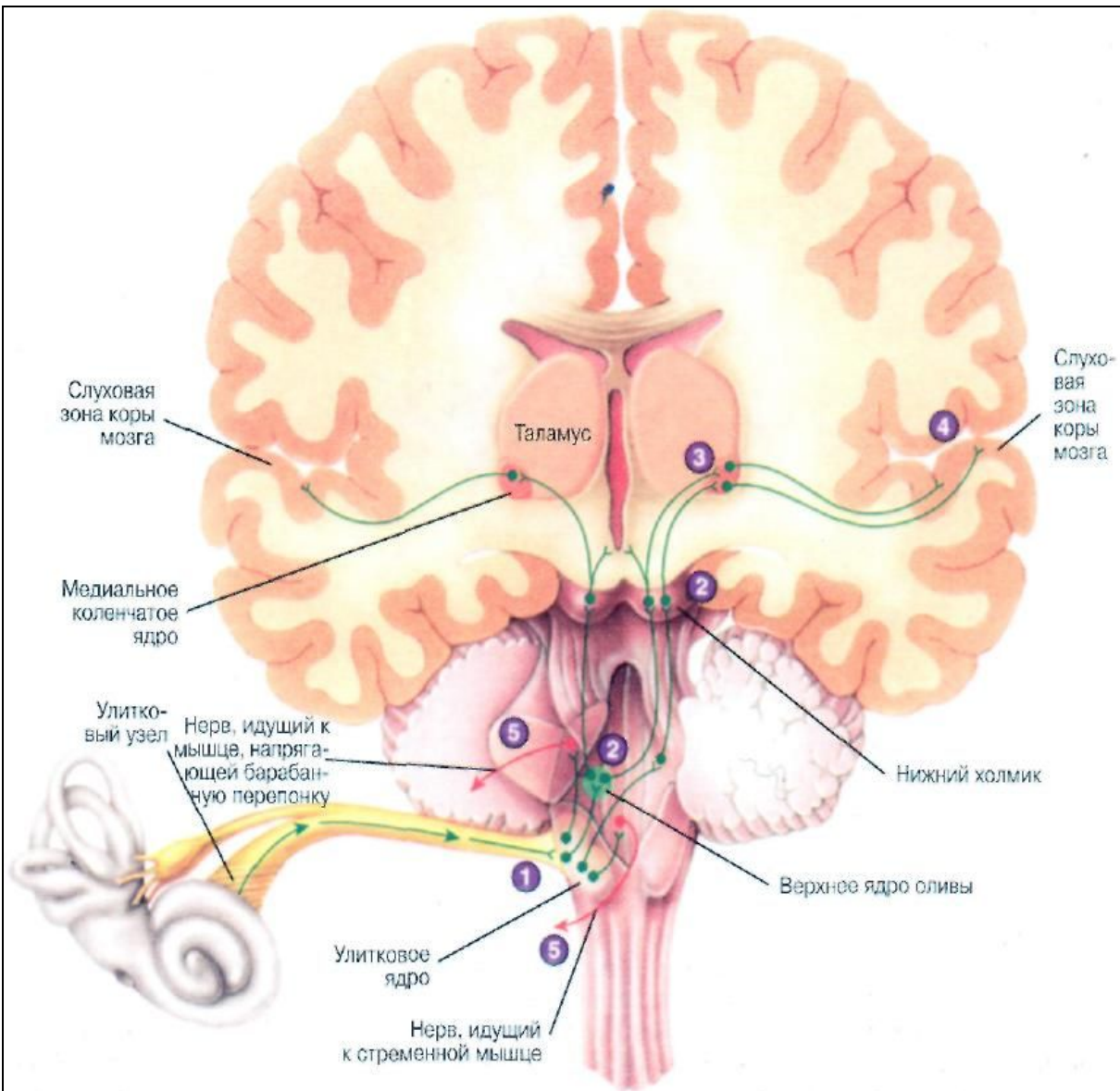
Наличие двух ушей обуславливает способность определять направление источника звука. Эта способность получила название бинаурального (двуушного) слуха, или оттопиики (от греч. otos — ухо и topos — место). Для объяснения этого свойства слухового анализатора высказано три суждения:

- 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 трех факторов.

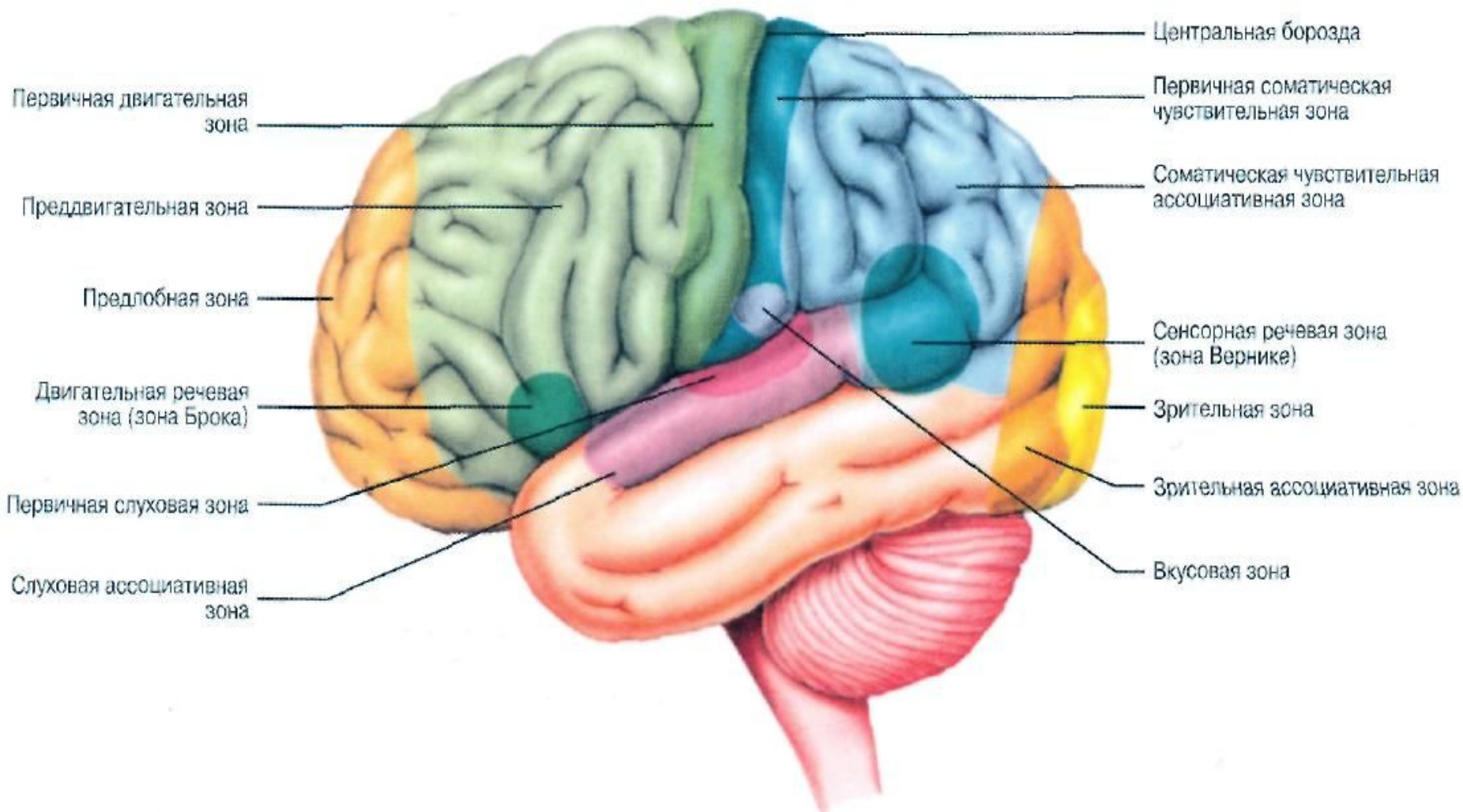


Слуховые проводящие пути



- 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.
- ▶ Опознавание более сложных слуховых образов осуществляется нейронами третичной слуховой коры.

Слуховая адаптация

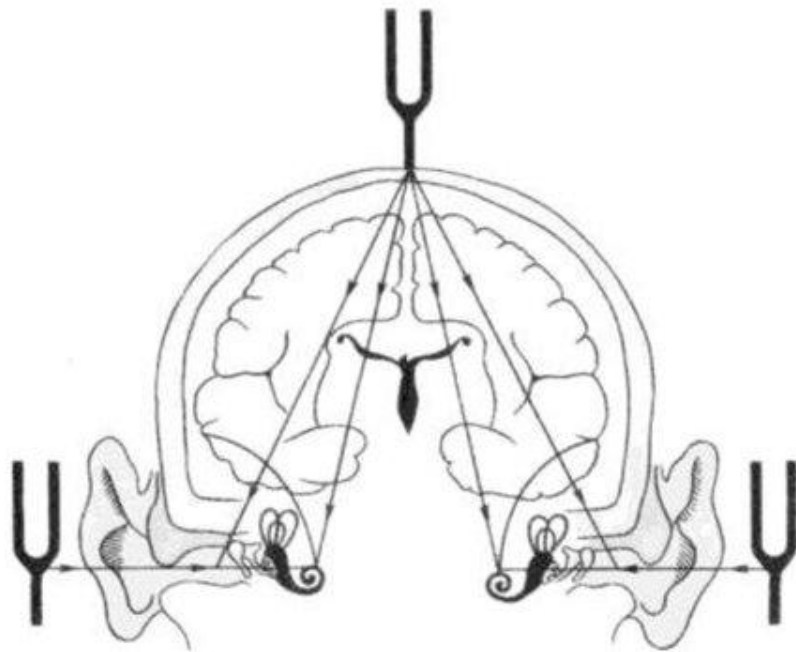
- ❖ В процессе восприятия звуковых сигналов, слуховая сенсорная система изменяет свою чувствительность. Меняется функциональное состояние всех отделов слухового анализатора.
- ❖ Ухо, адаптированное к тишине, обладает более высокой чувствительностью к звуковым сигналам (слуховая сенситизация). При сильных 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

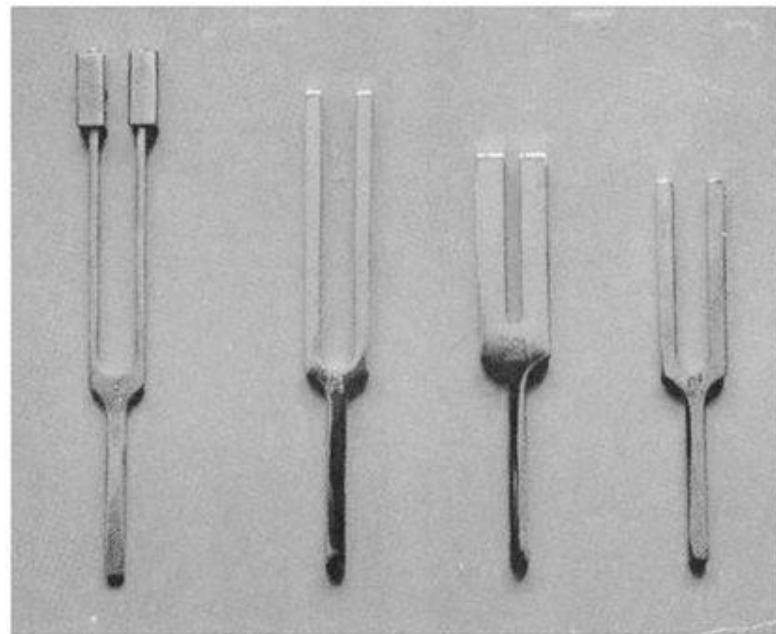
- Помимо воздушной проводимости, имеется **костная проводимость звука** (через кости черепа). При этом звуковые колебания вызывают вибрацию костей черепа и лабиринта, что приводит к колебаниям давления перилимфы в вестибулярном канале. В результате этого происходит смещение основной мембраны так же, 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

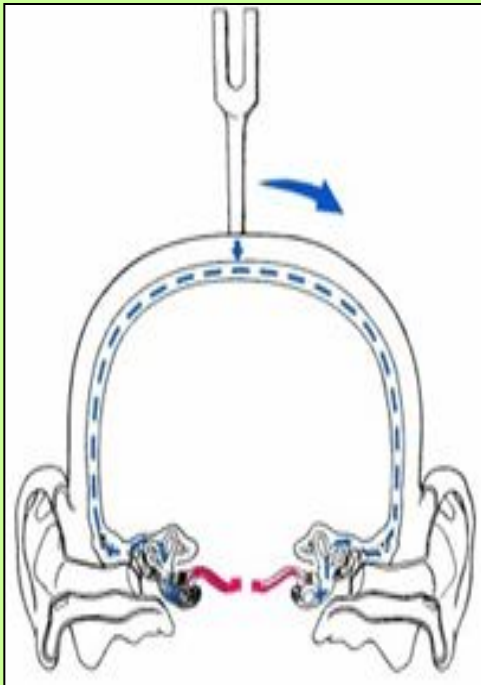


- Набор камертонов



Тест Вебера

□ Ножку звучащего камертона устанавливают по средней линии темени:



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

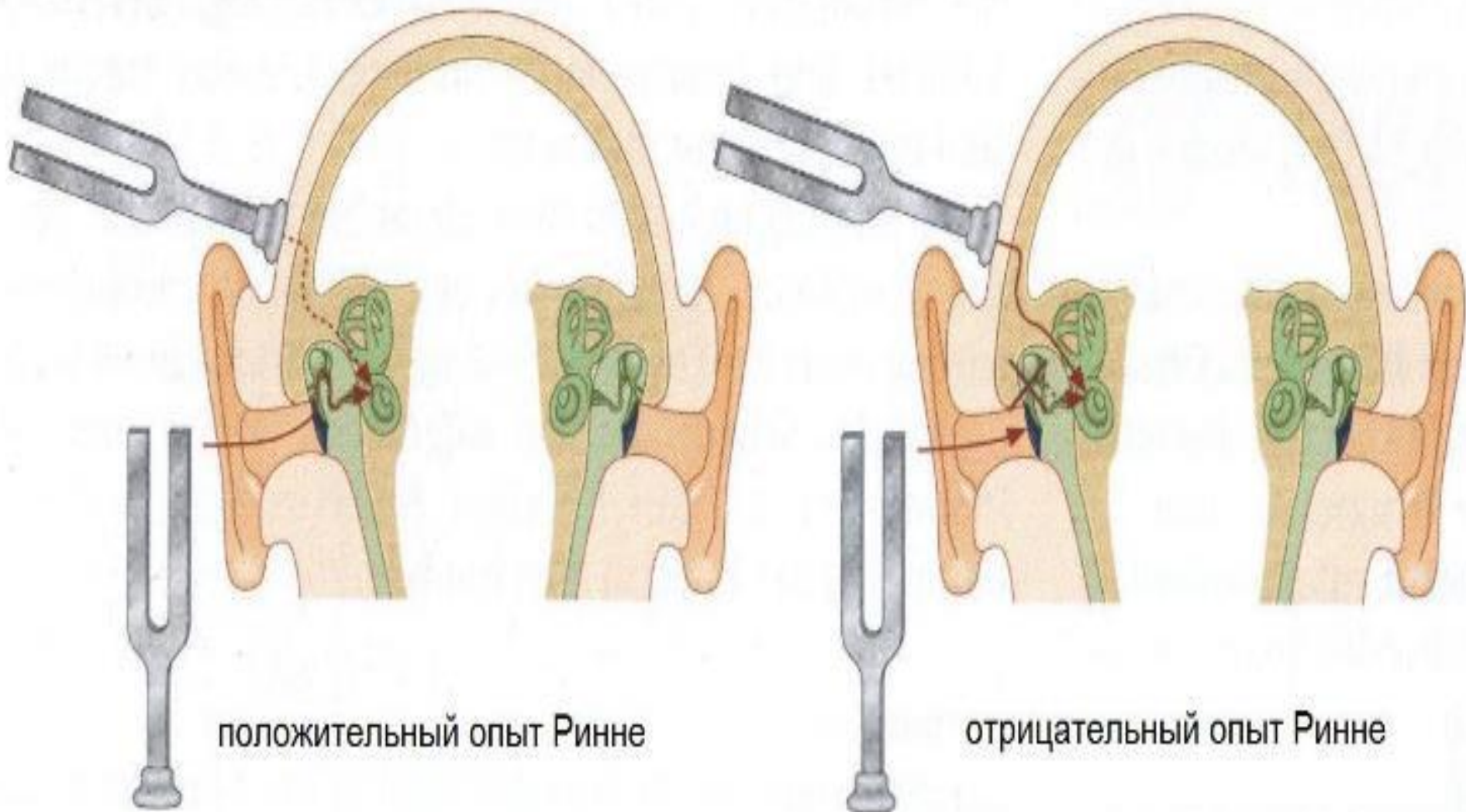
б) при поражении звуковоспринимающего аппарата – звучание камертона лучше воспринимается здоровым ухом.

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.

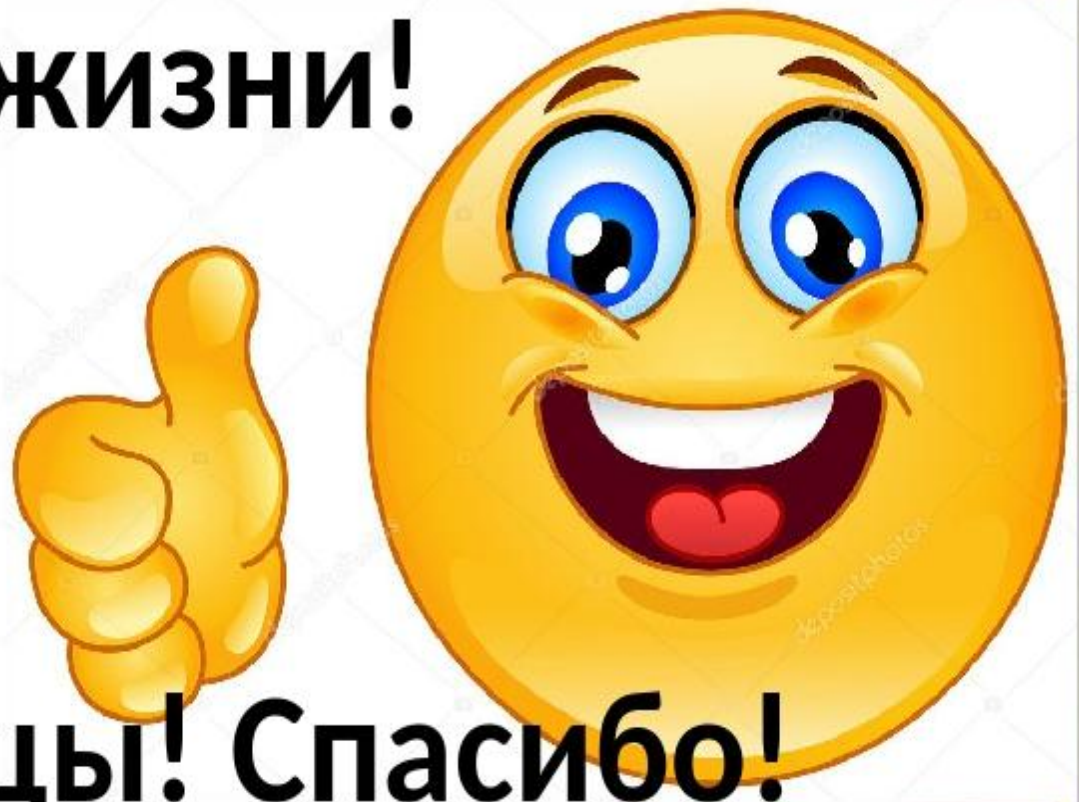
Методы исследования

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!