

С л у х





Клавдий Гален
(ок. 130 — ок. 200)

**Возбуждение нервной
мембраны – причина слуха**



Андреас Везалий
(1514-1564)

Открыли и описали косточки и их движение, два отдела внутреннего уха (улитка и лабиринт), мускул, натягивающий барабанную перепонку, трубку, соединяющую среднее ухо с глоткой (евстахиева труба)



Габриель Фаллопий
(1523-1562)



Барталомео Евстахий
(1510-1574)



Герман Гельмгольц
(1821-1894)

Резонансная теория



Альфонсо Корти в 1851 году открыл структуры базилярной мембраны, описал волосковые клетки (кортиев орган)

Скорость звука – 340 м/сек

$$V_{\text{звукa}} = \lambda * f$$

λ – длина волны

f – частота в секунду (гц)

Человек воспринимает от 20 до 20000 гц

Порог различения частот в оптимальной области (1000-3000 гц) составляет 3 гц.

Расширение полосы воспринимаемых высокочастотных сигналов связано:

- (1) с развитием цепи слуховых косточек в среднем ухе,**
- (2) увеличением длины базилярной мембраны.**

Вещество	Скорость звука, м/с
Воздух (при 20 °С)	343,1
Водород	1284
Вода	1483 (при 20 ⁰)
Железо	5850
Резина	1800
Морская вода	1530

Громкость звука – звуковое давление (амплитуда волны)

$$A = 20 \log P_t/P_0 \text{ (dB)}$$

P_0 – звук на пределе слышимости в диапазоне частот 1000-3000 гц

P_t – тестовое давление

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/кв}^2 \text{ (Па)}$$

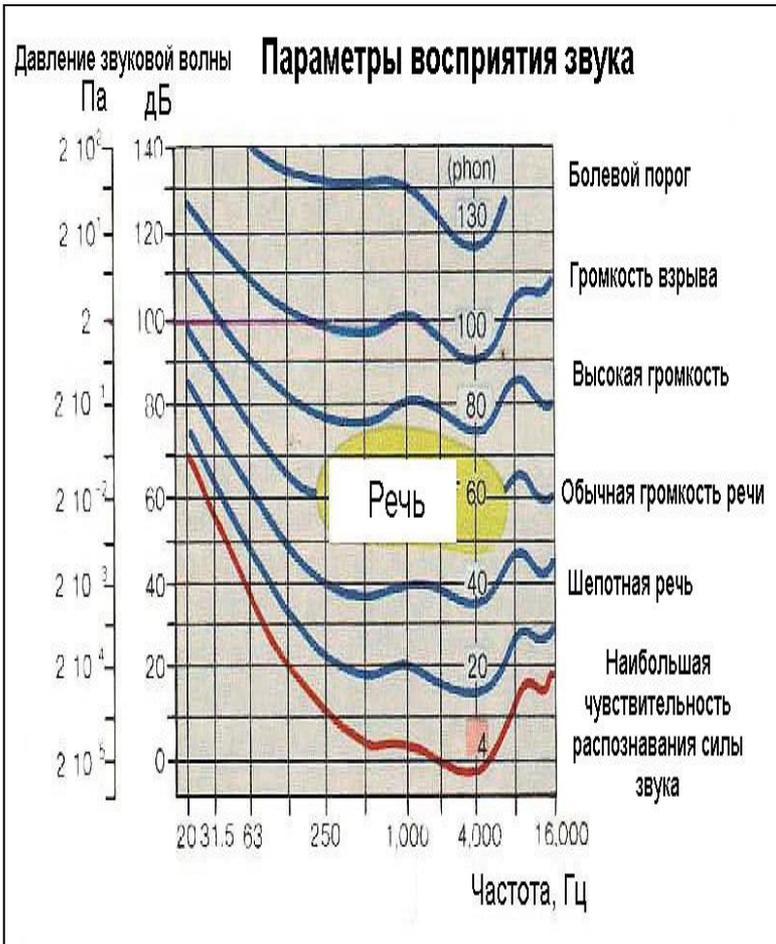
$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг м/сек}^2$$

Разговор - 65 дБ ;

Диапазон воспринимаемой громкости звука без дискомфорта

120 дБ (1 000 000 x P_0)

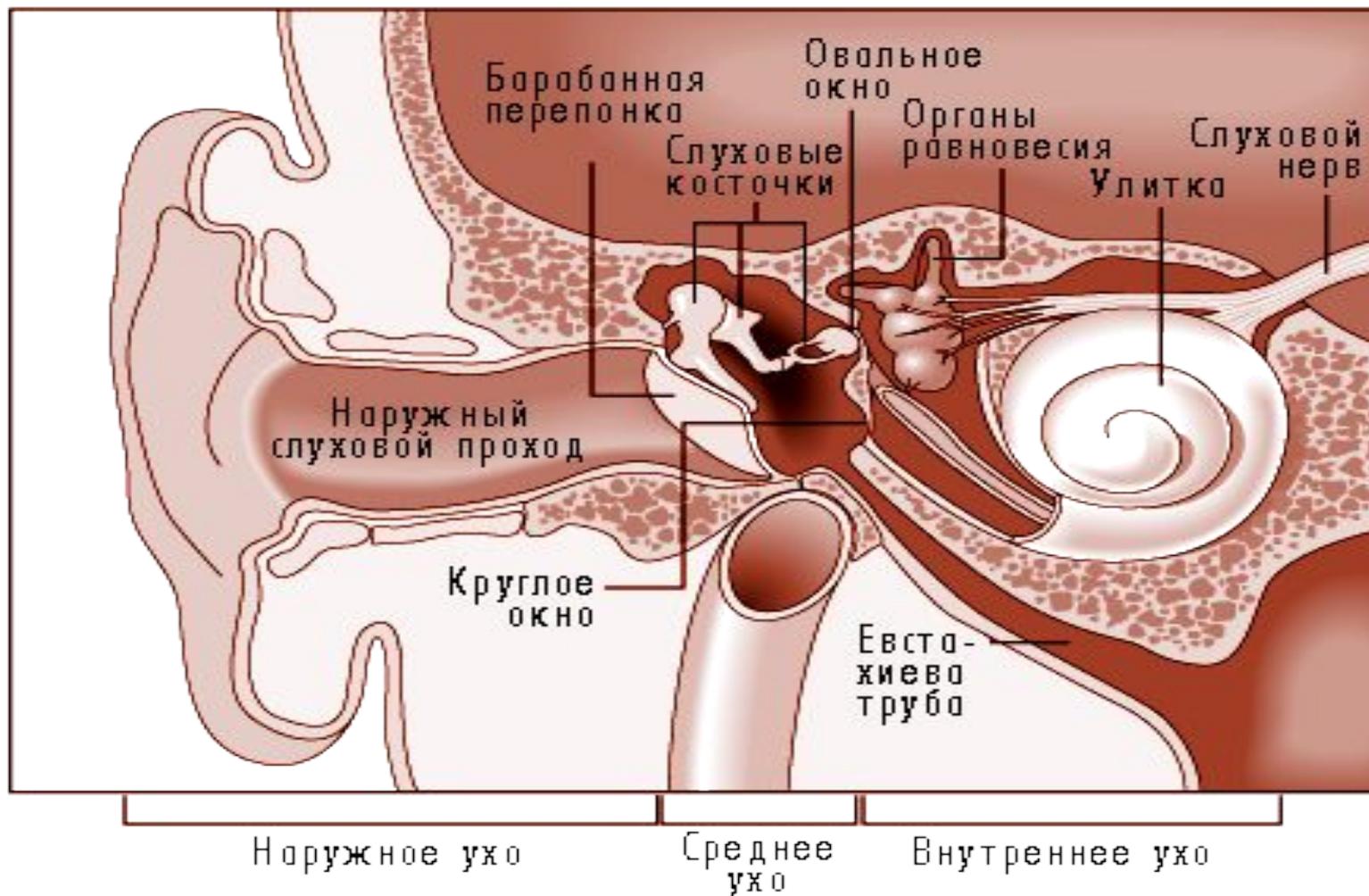
Боль в ушах – 130-140 дБ



Источник звука

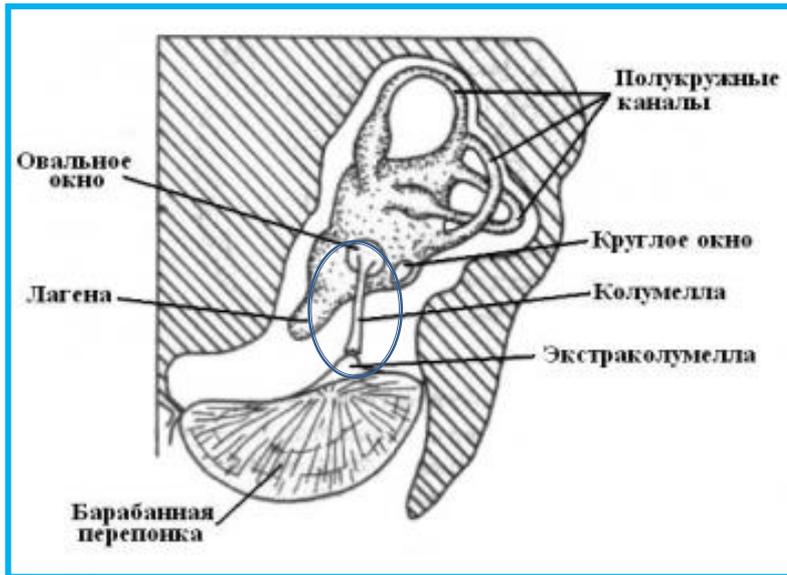
Сила звука дБ

Шумовое оружие	190
Смертельный уровень	180
Реактивный самолет	150
Сирена воздушной тревоги	130
Болевой порог	120
Громкая музыка	110
Мотоцикл	100
Спортивный автомобиль	90
Опасный уровень	80
Уличный шум	70
Нормальный разговор	60
Тихая улица	50
Тихая комната	40
Звук часов	30
Шепот	20
Шелест листьев на ветру	10
Порог слуха	0

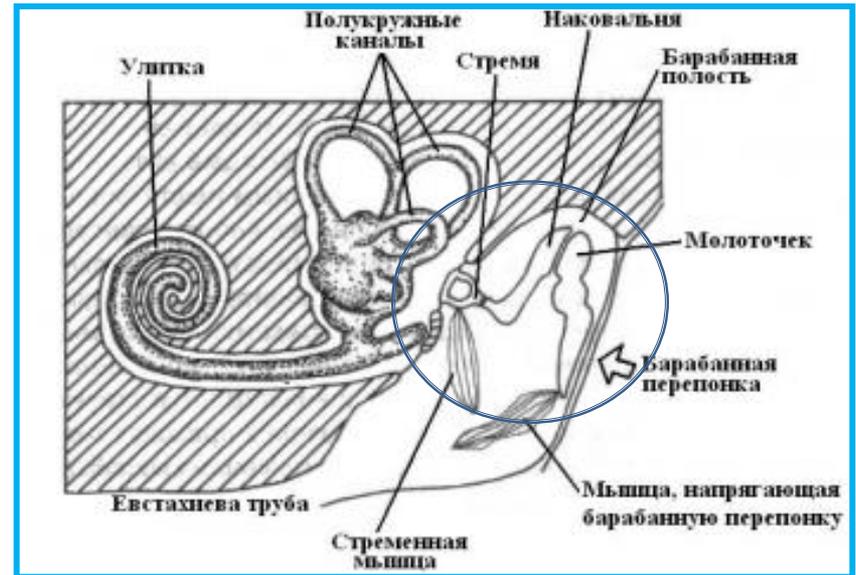


Аппарат среднего уха в 60 раз уменьшает амплитуду смещения, но во столько же раз увеличивает амплитуду давления.

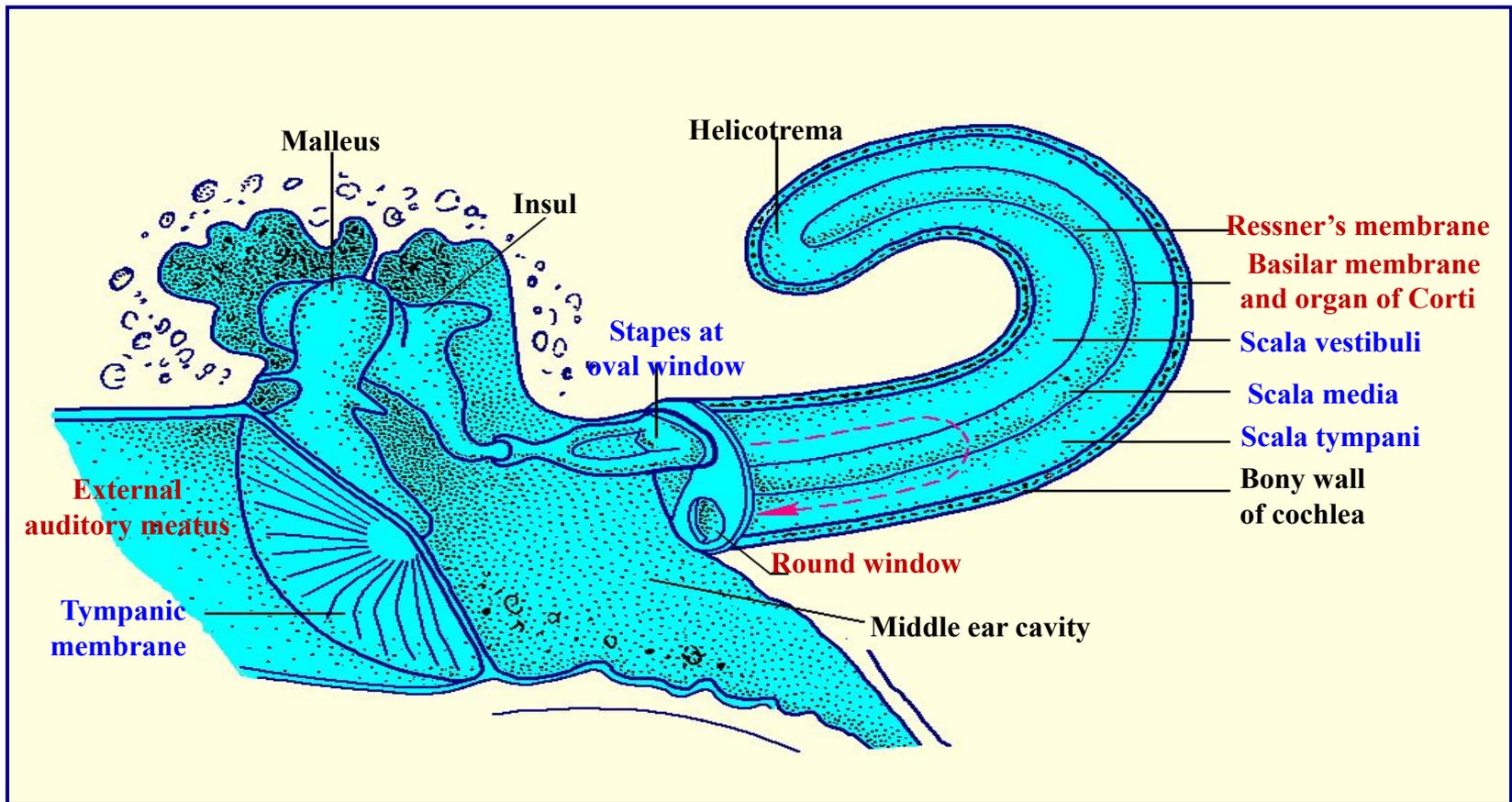
Давление на овальное окно увеличивается также за счет разной площади барабанной перепонки и овального окна.

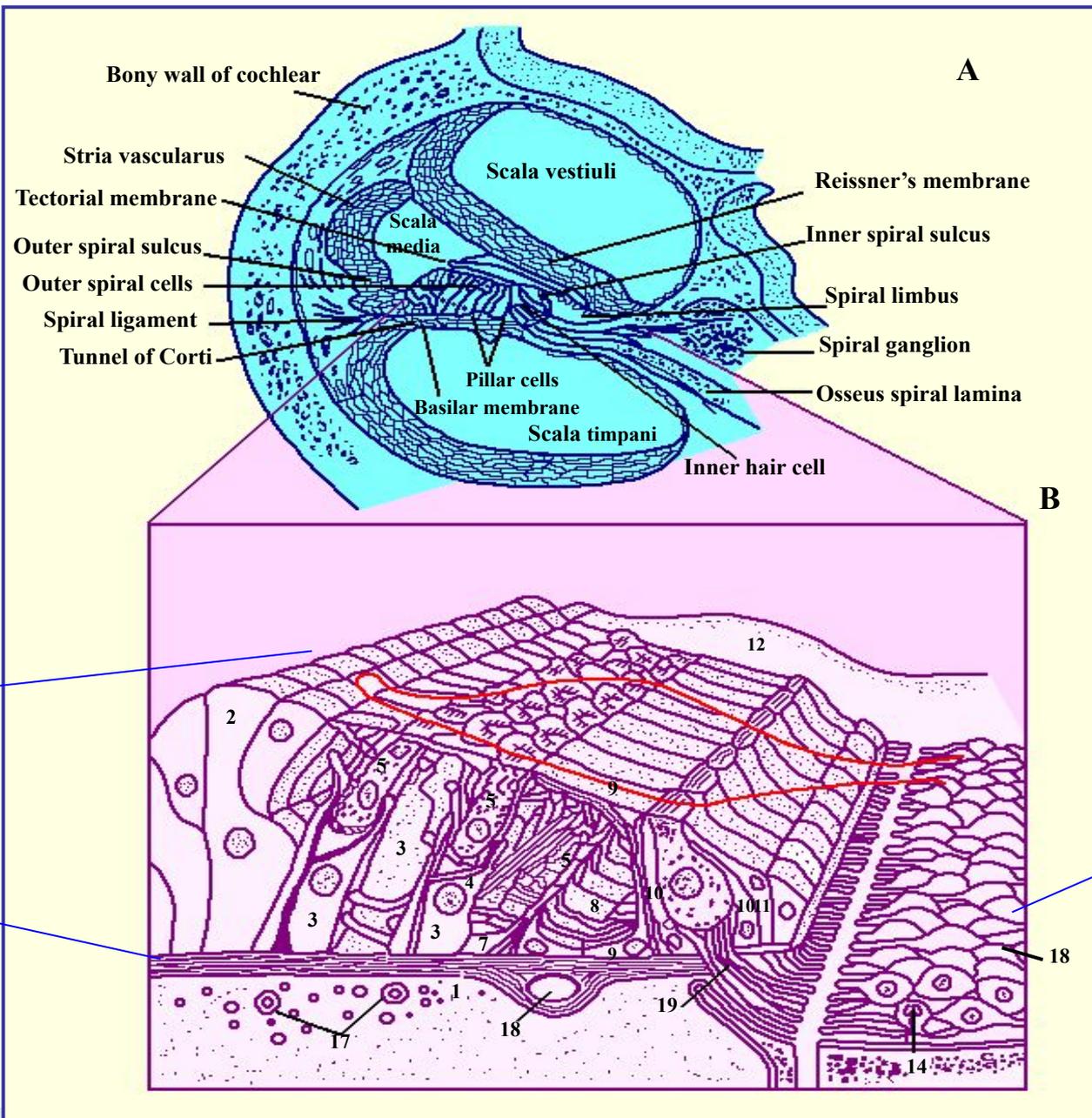


**Организация слуховой системы птиц.
Среднее ухо имеет только одну косточку.**



**Организация слуховой системы млекопитающих.
Среднее ухо имеет три косточки.**

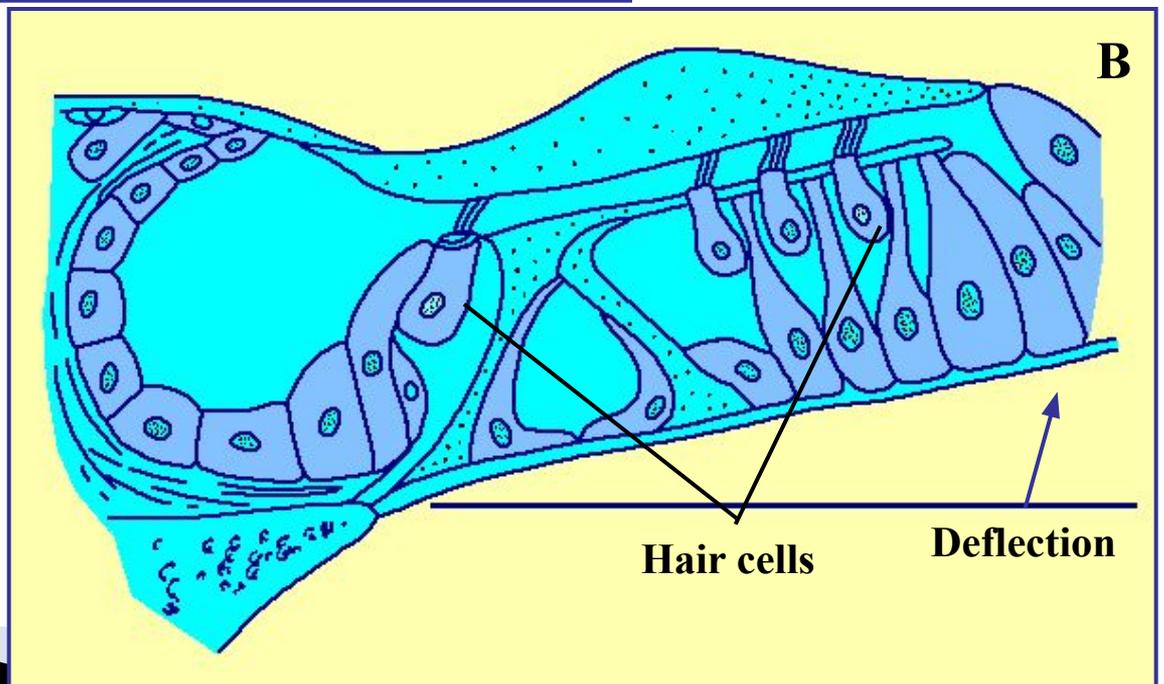
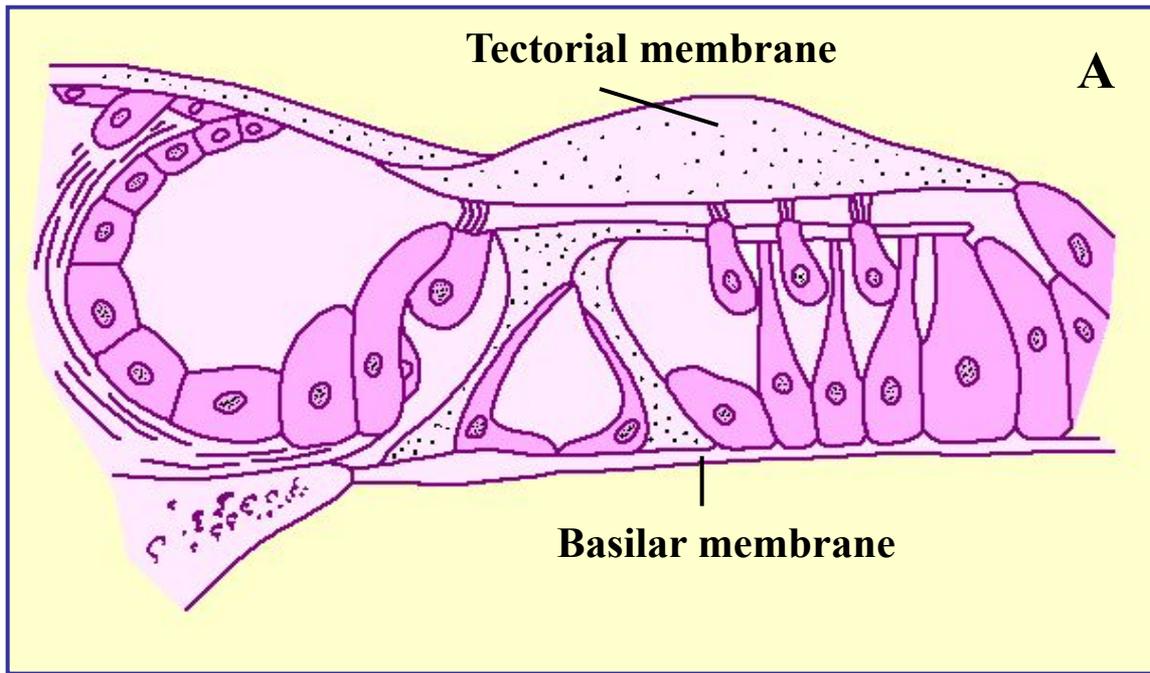




Текториальная мембрана

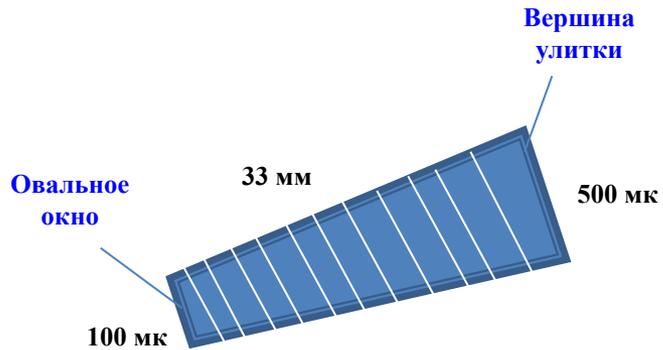
Базиллярная мембрана

Спиральный ганглий

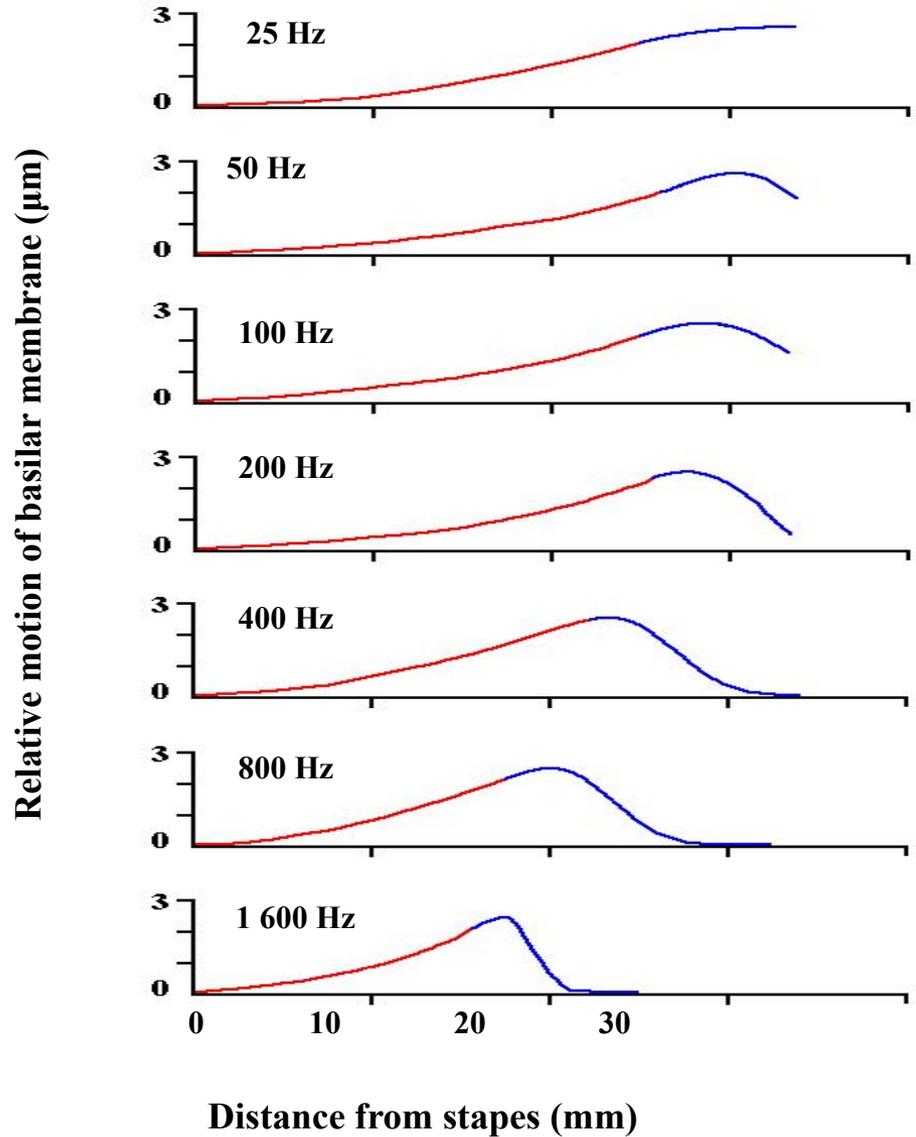


Разные звуковые частоты дают различные бегущие волны с максимальными амплитудами в разных точках базилярной мембраны.

Резонансная теория

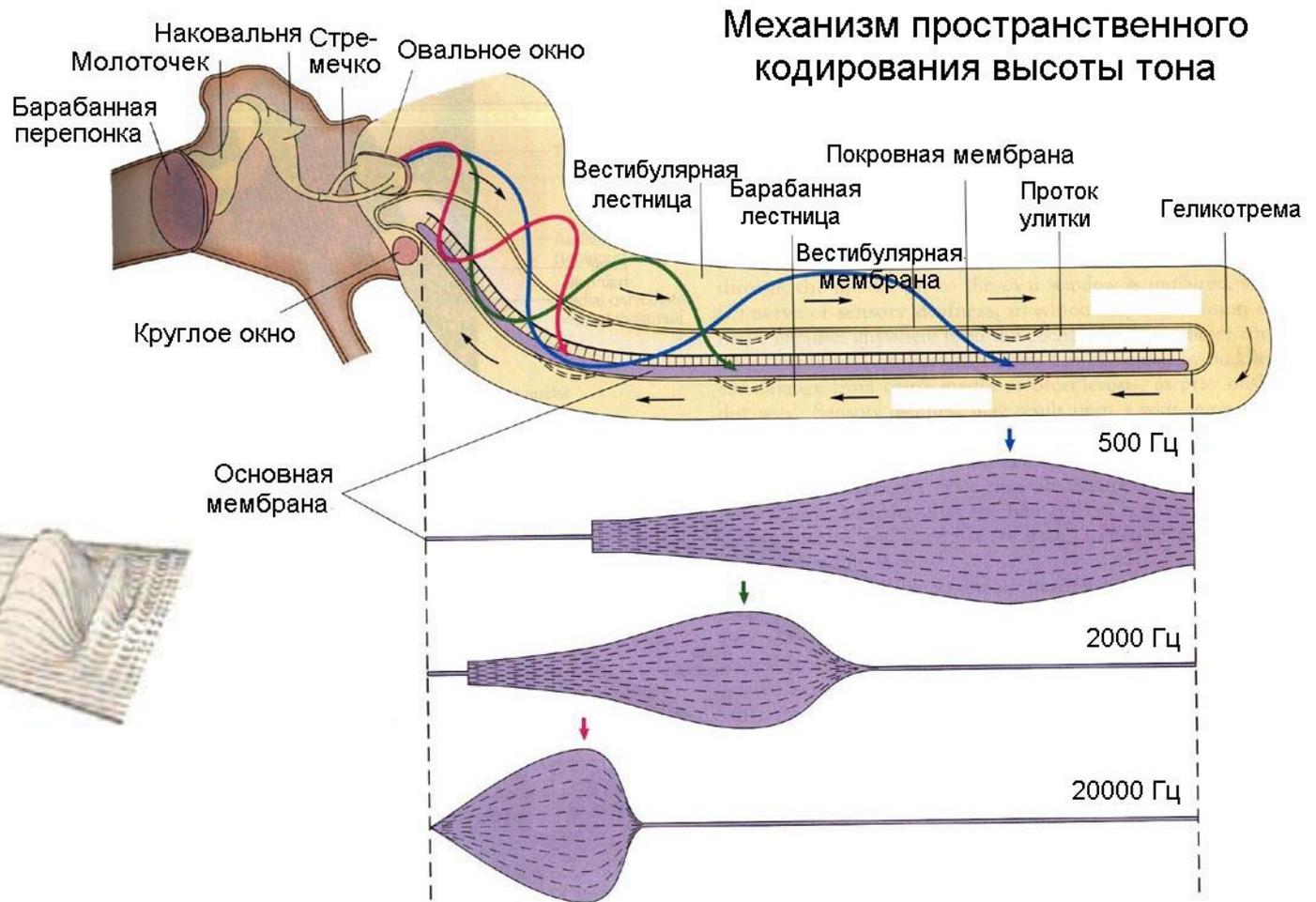


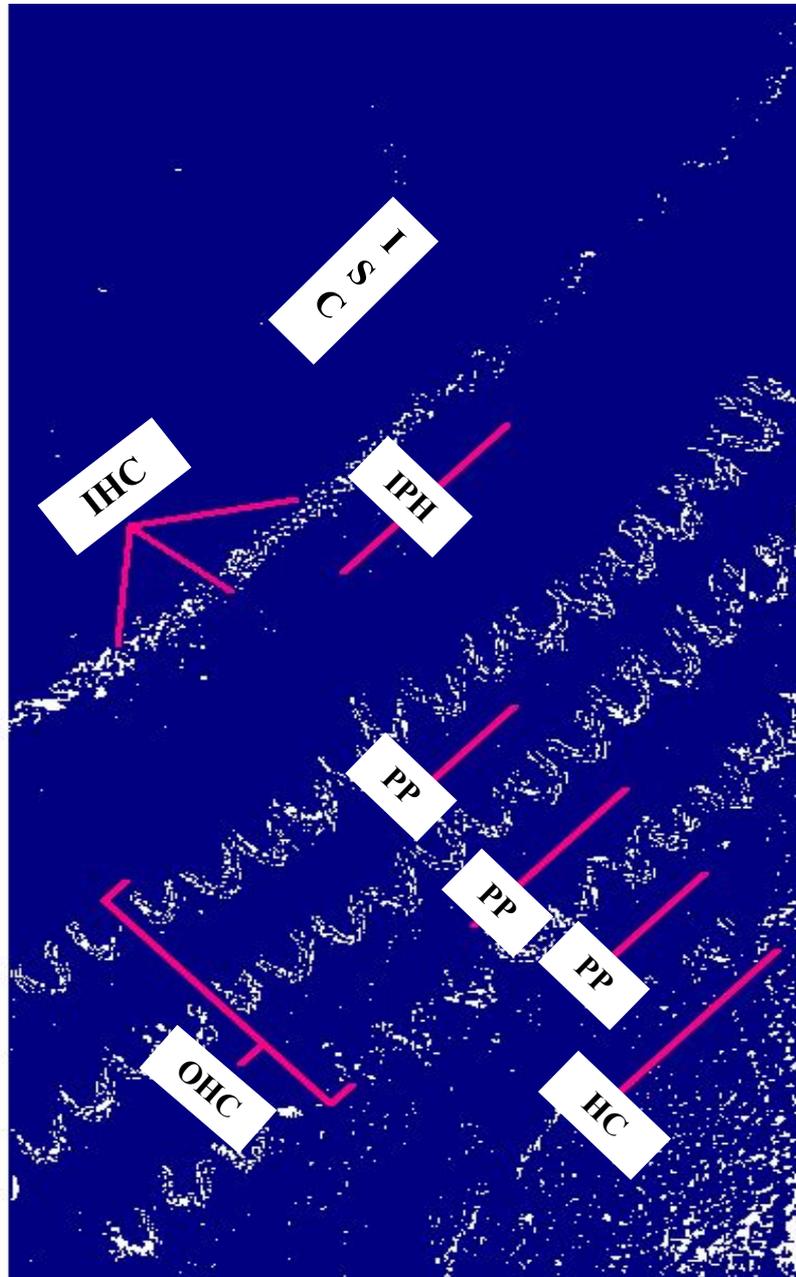
Базилярная мембрана



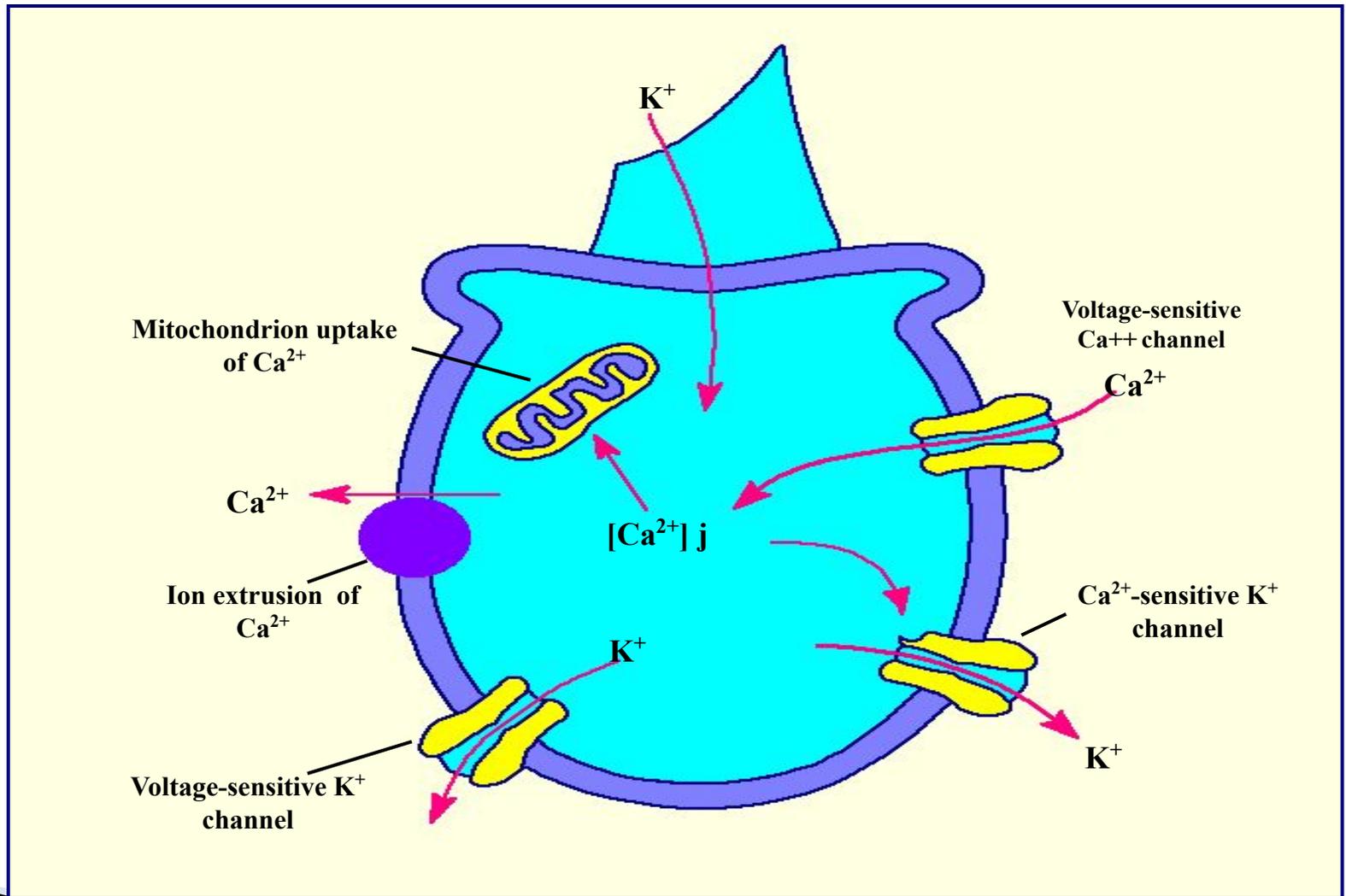
Пространственная теория кодирования высоты тона

Амплитудный максимум для каждой частоты проявляется в специфической точке мембраны. Расположенные здесь сенсорные клетки возбуждаются сильнее всех.

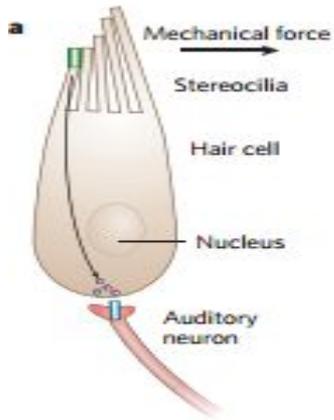




Волосковые клетки базилярной мембраны различаются по своим электромеханическим свойствам, определяя их частотную избирательность.



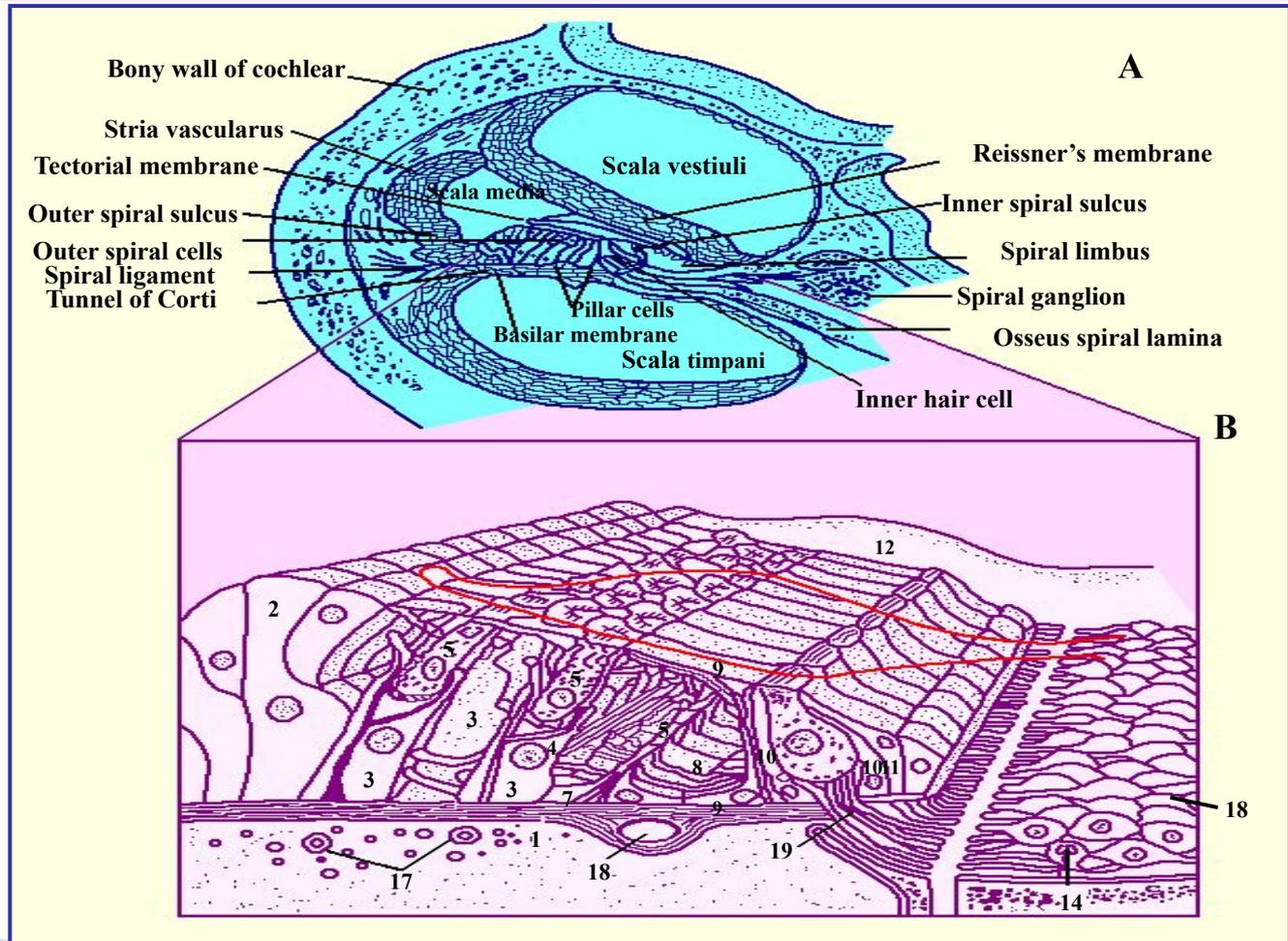
- Каждая внутренняя волосковая клетка иннервируется 10 волокнами нейронов спирального ганглия, образующими слуховой нерв.
- Каждое волокно слухового нерва контактирует только с одной волосковой клеткой.
- Отдельное волокно отвечает на диапазон частот, однако, наибольшую чувствительность имеет для своей характерной частоты (настроечные кривые).



Попор dB



Частота звука, Гц



Закономерности преобразования вибрации волосковых клеток в электрические сигналы слухового нерва

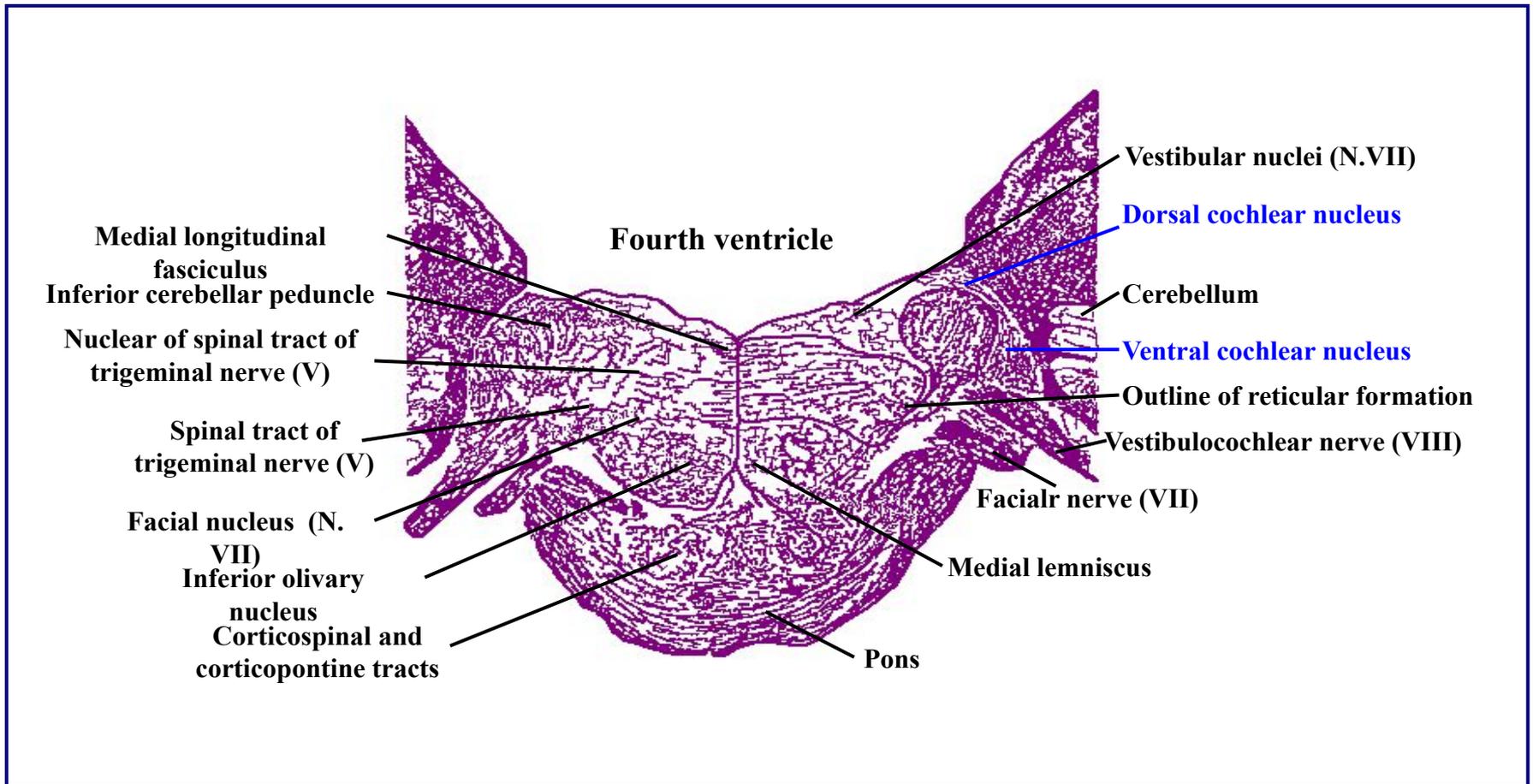
Частота разрядов афферентных волокон ограничена из-за рефрактерного периода (1мс) – 500 гц. Граница слуха 20 000 гц.

Залповый принцип - волокно возбуждается в определенной фазе звуковой волны (меченый период), не отвечая на каждый цикл, т.е. волокна слухового нерва могут работать совместно, реагируя на разные циклы.

Принцип места – сигналы от волосковых клеток воспринимаются мозгом в зависимости от их свойств и локализации.

Способность воспринимать модулированные звуки. Различение низких частот (10 гц) за счет модуляции высокочастотных колебаний.

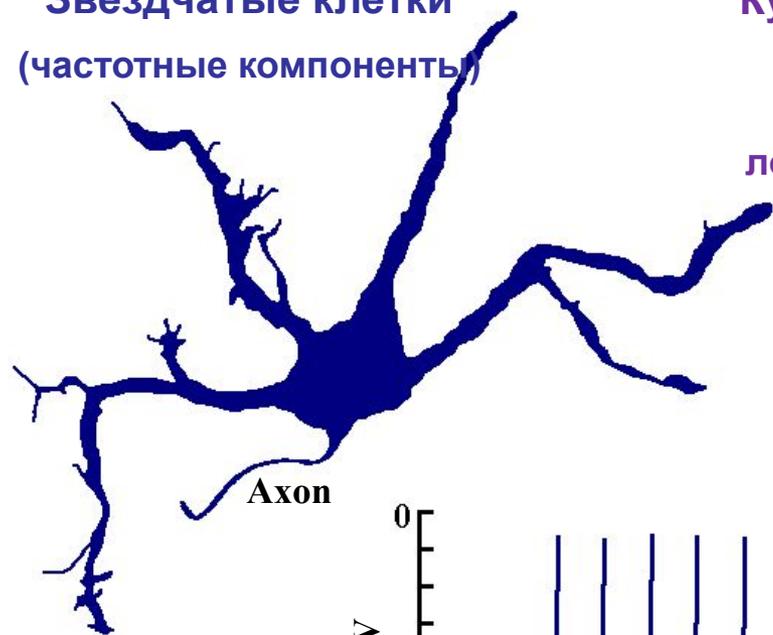
Временной характер ответов – на включение стимула наблюдается сначала динамическая реакция повышения частоты с последующим поддержанием активности на определенном уровне. Для выключения – наоборот, резкое торможение, затем определенный уровень.



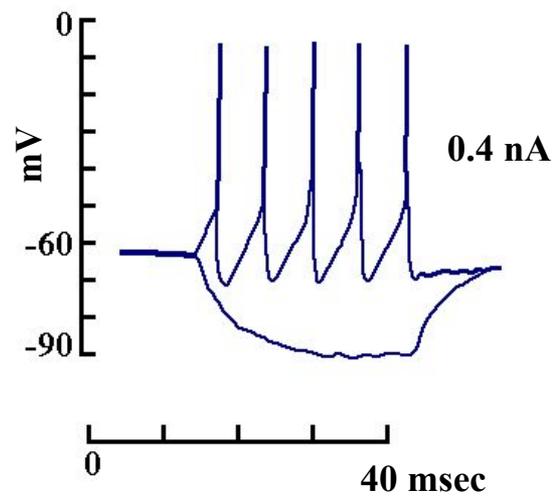
Слуховые нервы оканчиваются в кохлеарном ядре продолговатого мозга. Волокна, иннервирующие основание улитки, проникают глубоко в ядро, волокна, иннервирующие вершину улитки, оканчиваются более поверхностно (топотопическая организация).

Типы клеток кохлеарного ядра, воспринимающих звуковые сигналы

Звездчатые клетки
(частотные компоненты)



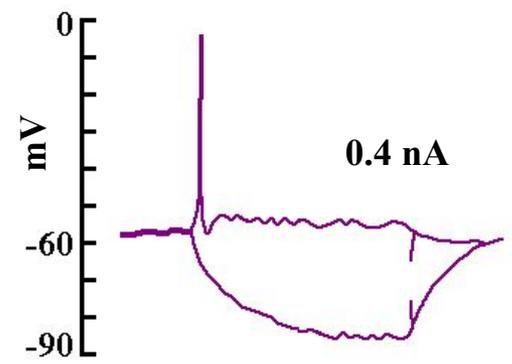
Axon



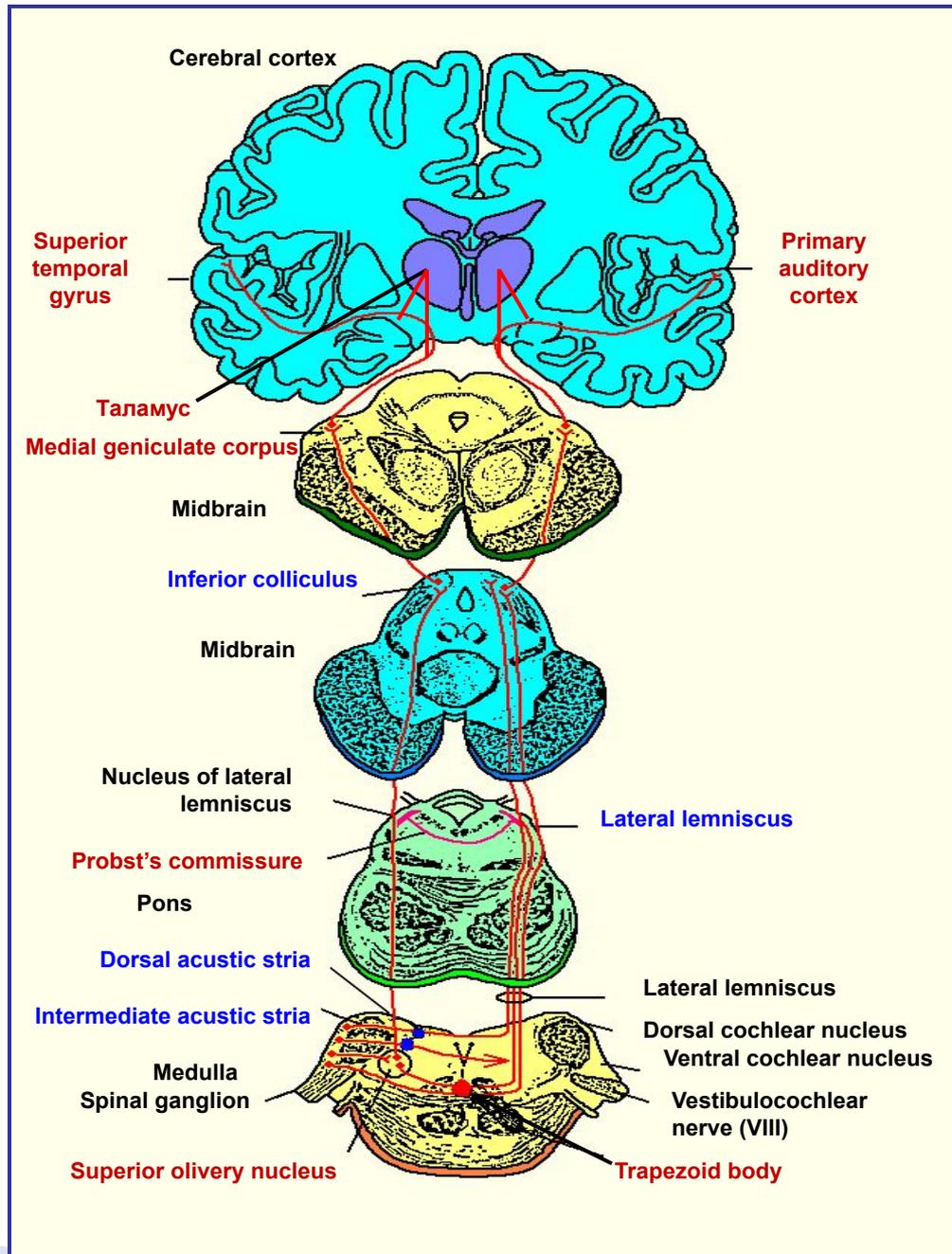
Кустистые клетки
(временная информация, локализация звука)

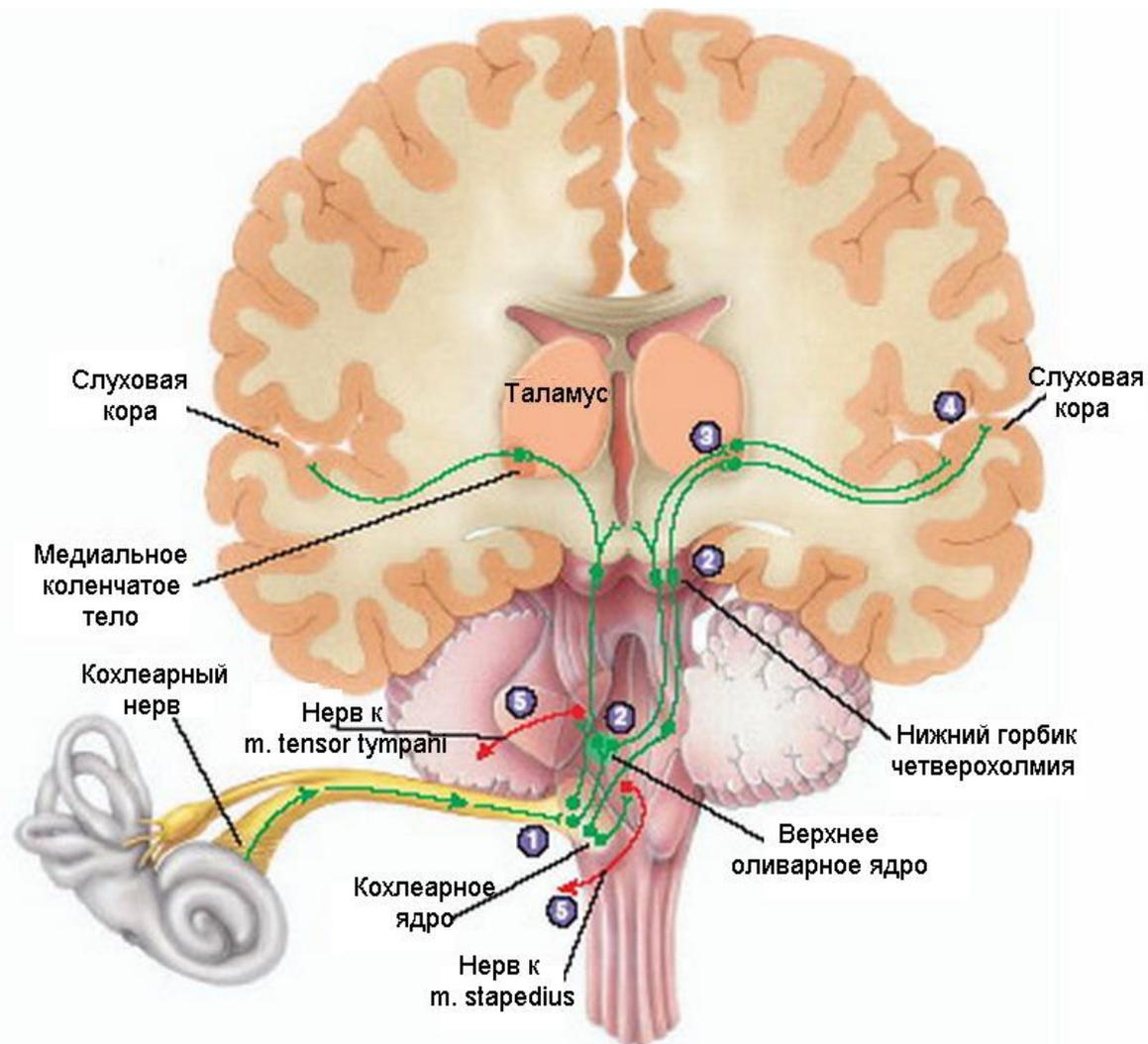


Axon



Центральные пути проведения слуховой информации





Если на ухо продолжительное время действует звук, особенно громкий, происходит снижение чувствительности, которое достигается, прежде всего, сокращением m. tensor tympani и m. stapedius, которые изменяют интенсивность колебания слуховых косточек.

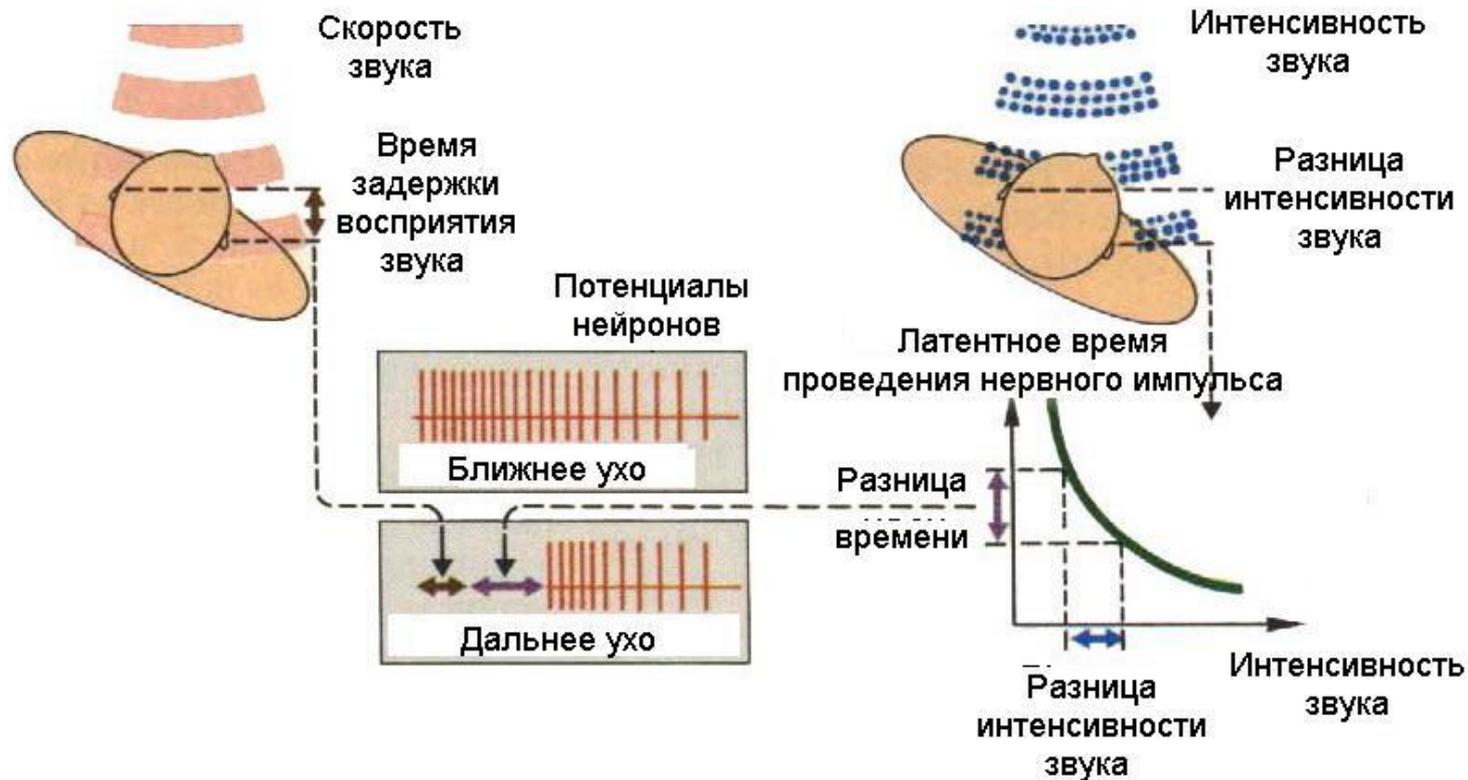
Локализация звука осуществляется при сравнении в мозге интенсивности и временных параметров звуков, воспринимаемых двумя ушами и зависит от относительного положения источника звука.

Короткий щелчок локализуется по задержке звукового сигнала для одного уха относительно второго. При расположении источника звука слева или справа задержка для противоположного уха может достигать 30-50 μ s.

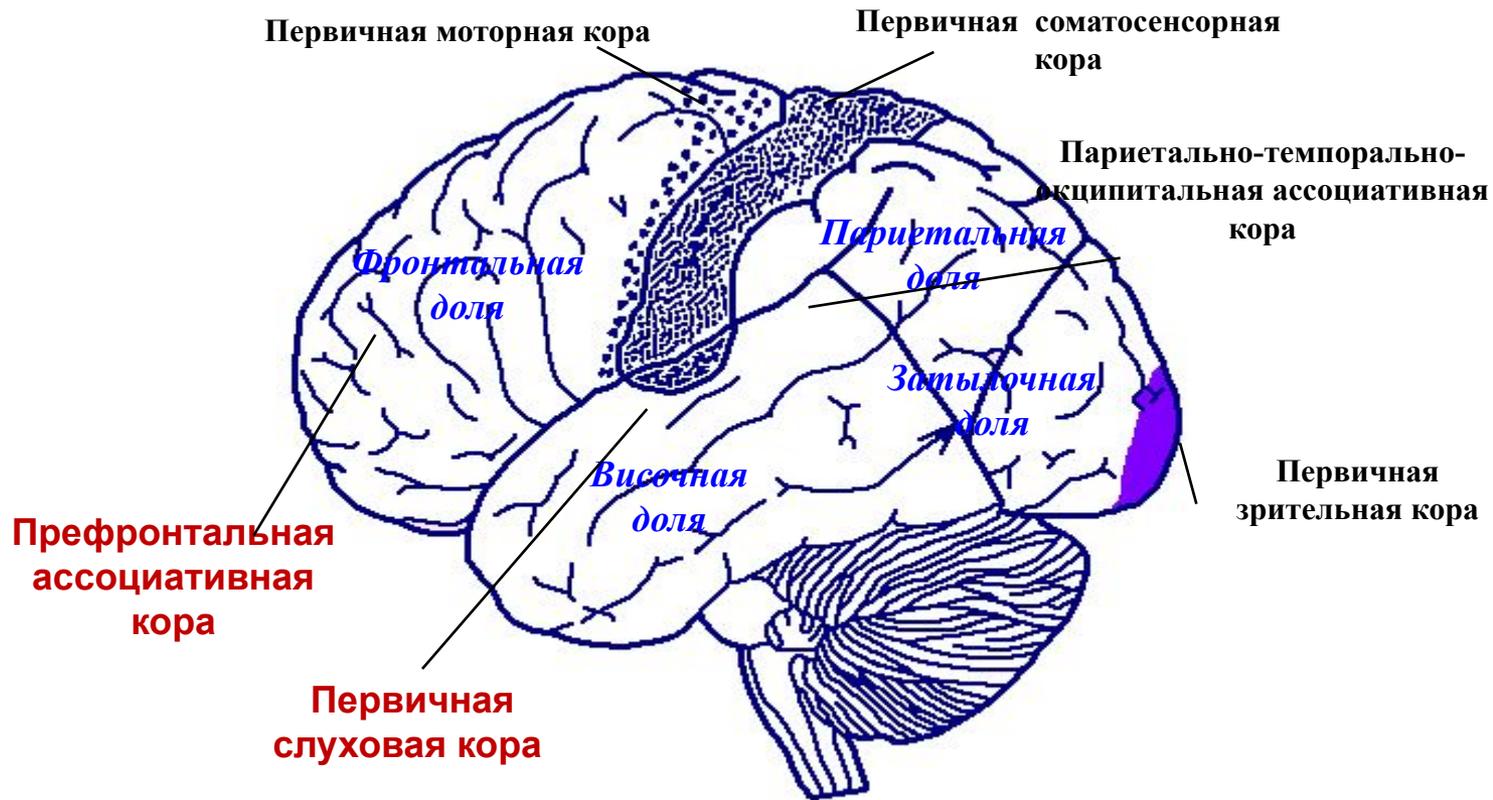
Для низких частот продолжительный тон может быть локализован по разнице в фазе при достижении разных ушей.

Для высоких частот – по различию интенсивности восприятия разными ушами (голова служит звуковым экраном, отражающим и поглощающим короткие волны).

Слуховая ориентация в пространстве



Слухова ориентация в пространстве возможна лишь при бинауральном слухе. Причем большое значение имеет то обстоятельство, что одно ухо находится дальше от источника звука, т.е. имеет значение фактор раздела звука по времени и интенсивности.



Слуховая кора

Выделяются карты:

Временных параметров (локализация звука)

Интенсивности (громкость звука)

Частоты (высота звука)

Некоторые аспекты организации слуховой коры

- Слуховая кора разделена на несколько томотопических карт по частотному спектру
- Слуховая кора организована в колонки.

Колонки суммации – входной сигнал от двух ушей преобладает над входным сигналом от одного уха.

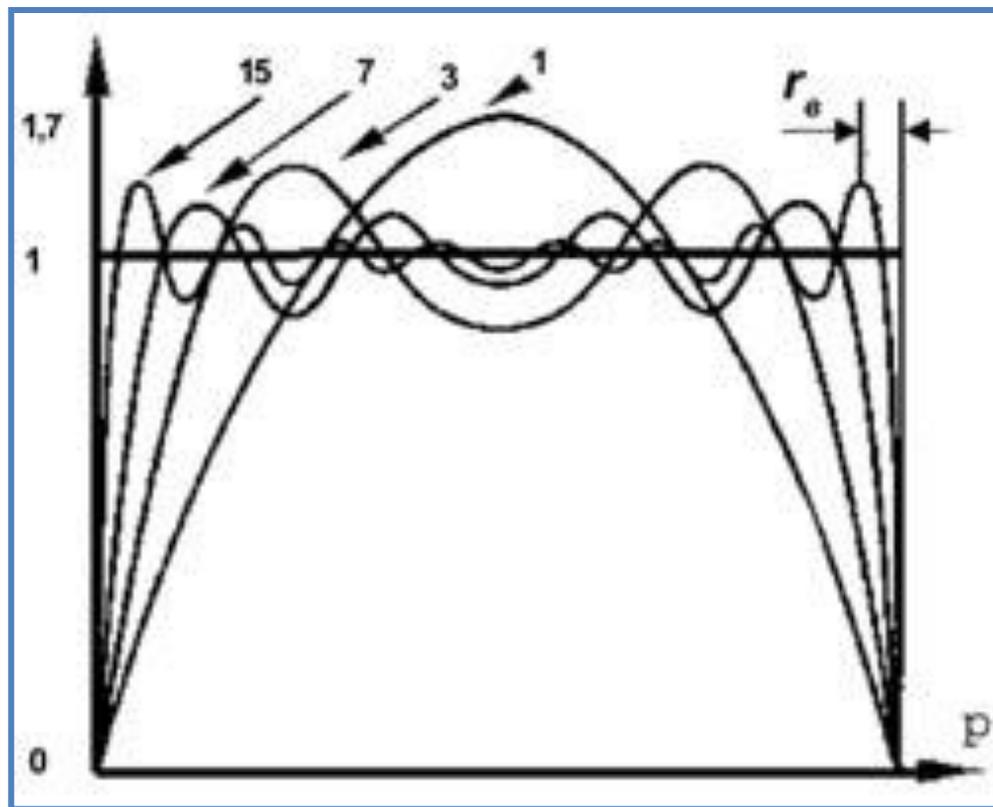
Колонки подавления – входной сигнал от одного уха преобладает по сравнению с входным сигналом от двух ушей.

- Зоны слуховой коры двух полушарий имеют связи через мозолистое тело, обеспечивая бинауральное взаимодействие. Зоны, имеющие такие связи, перемежаются зонами, не имеющими таковых.
- Каждое полушарие преимущественно связано с локализацией звука на противоположной стороне, используя для этого дифференцировку по временным параметрам и интенсивности.

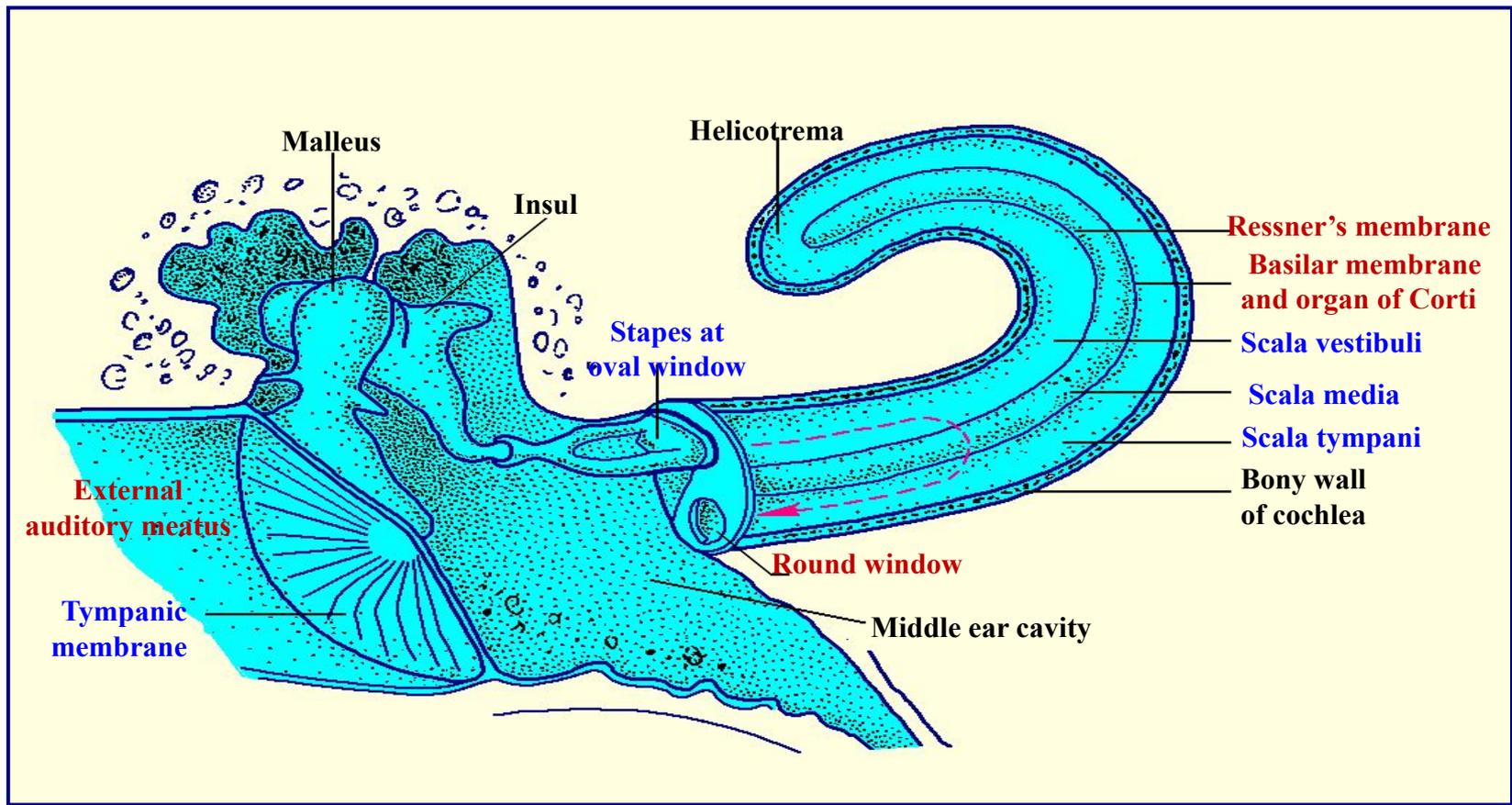
Эммануил Кант

**«Слепота отделяет нас от вещей,
глухота – от людей»**





Разложение прямоугольного импульса в ряд Фурье - на сумму гармонических колебаний (гармоник) возрастающей частоты. Чем больше гармоник учитывается в разложении, тем точнее их сумма воспроизводит форму импульса.



Аппарат среднего уха в 60 раз уменьшает амплитуду смещения, но во столько же раз увеличивает амплитуду давления. Давление на овальное окно увеличивается также за счет разной площади барабанной перепонки и овального окна.

Улитка превращает дифференциальное давление между вестибулярной и барабанной лестницей в колебательные движения базилярной мембраны, где располагаются сенсорные клетки.