

# Цикл лекций по нейрофизиологии 2015 -2016

Медицинский факультет СПбГУ

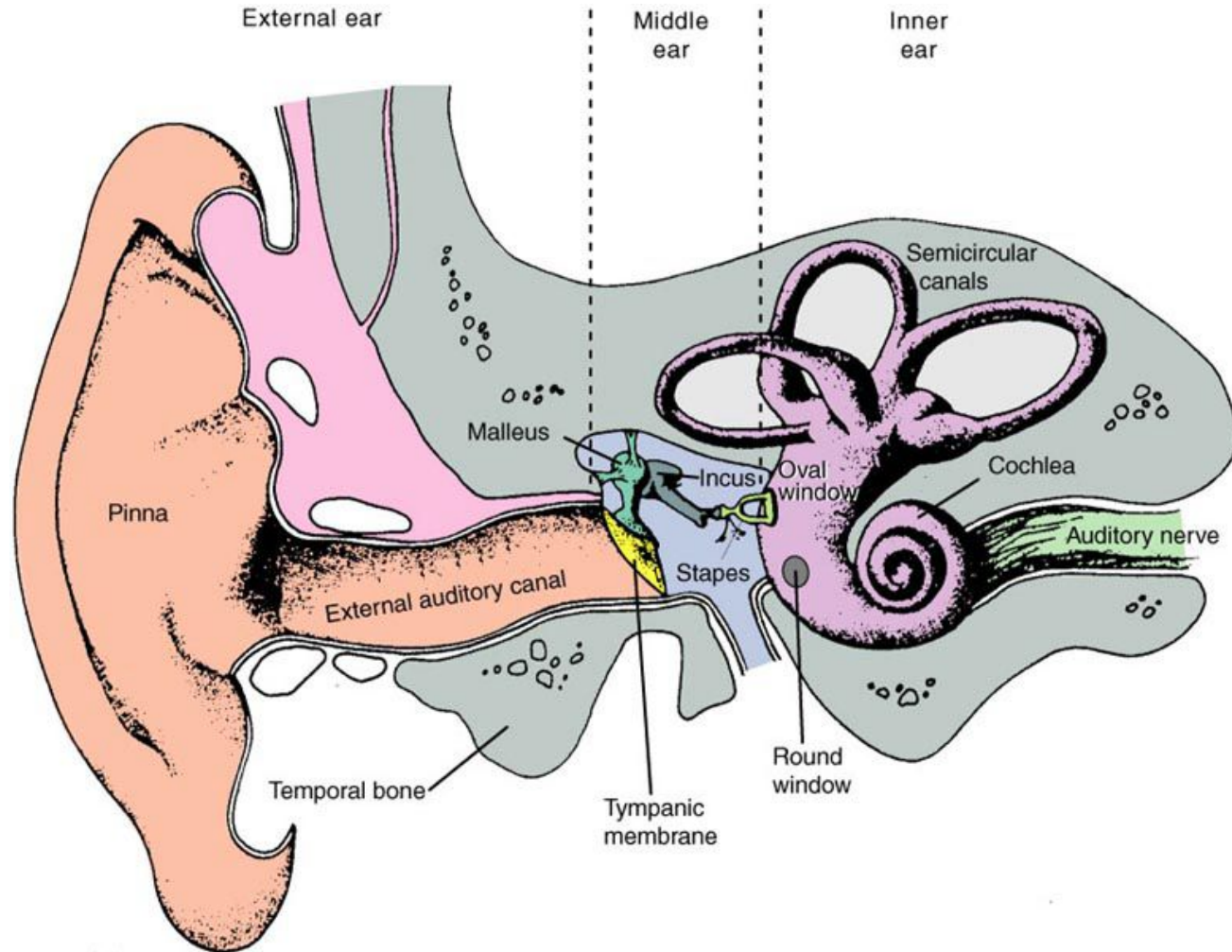
профессор Лев Гиршевич Магазаник

## Слух

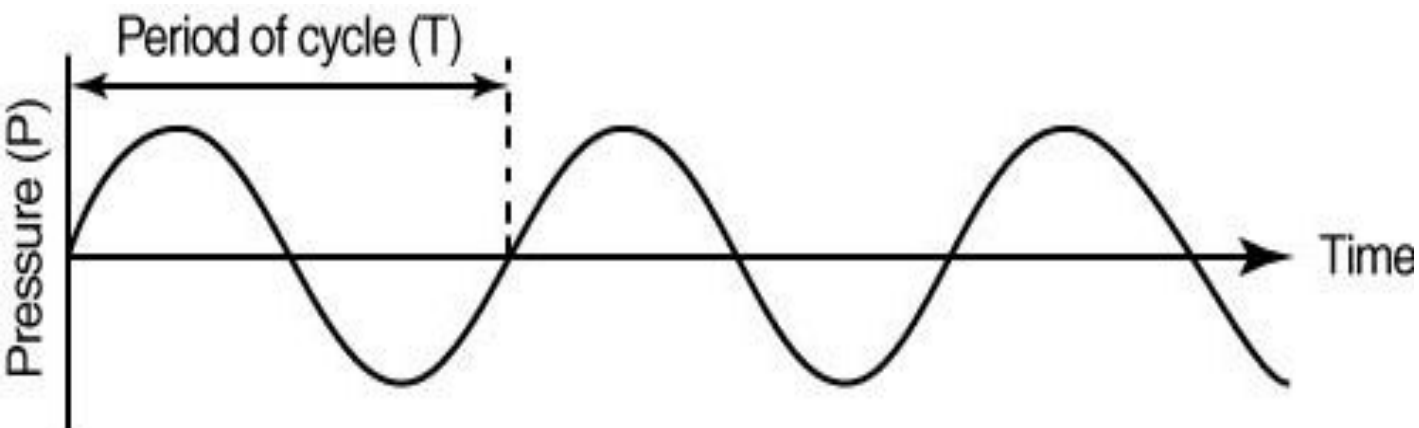
# Анатомия уха

Ухо – орган, в котором

1. **звук**овые волны конвертируются в
2. **волны жидкости** (передаточная среда), которые волосковыми клетками превращаются в
3. электрические, а затем в **химические сигналы** (в синапсах с слуховыми нейронами).
4. затем в **потенциалы действия**, идущие по слуховому нерву в мозг.



# Основное назначение уха состоит в восприятии звуковых волн и их первичном анализе



$$f = 1/T$$

f: Frequency in Hz

T: Period in seconds

$$\text{SPL} = 20 \log(P/P_{\text{ref}})$$

SPL : Sound pressure level

P : Pressure in  $\mu\text{Pa}$

$P_{\text{ref}}$  : 20  $\mu\text{Pa}$

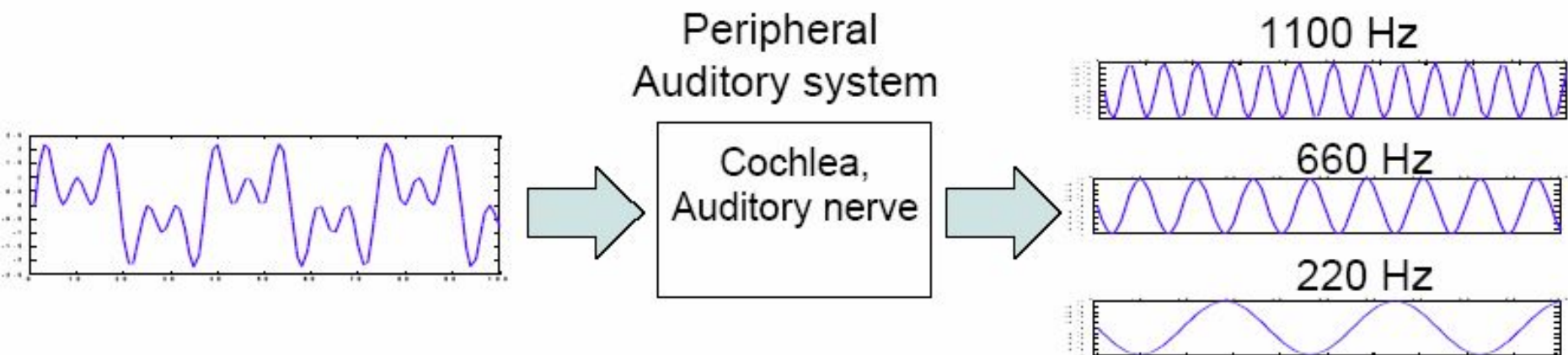
Сложная и многокомпонентная звуковая картина превращается в совокупность элементарных синусоидальных колебаний.

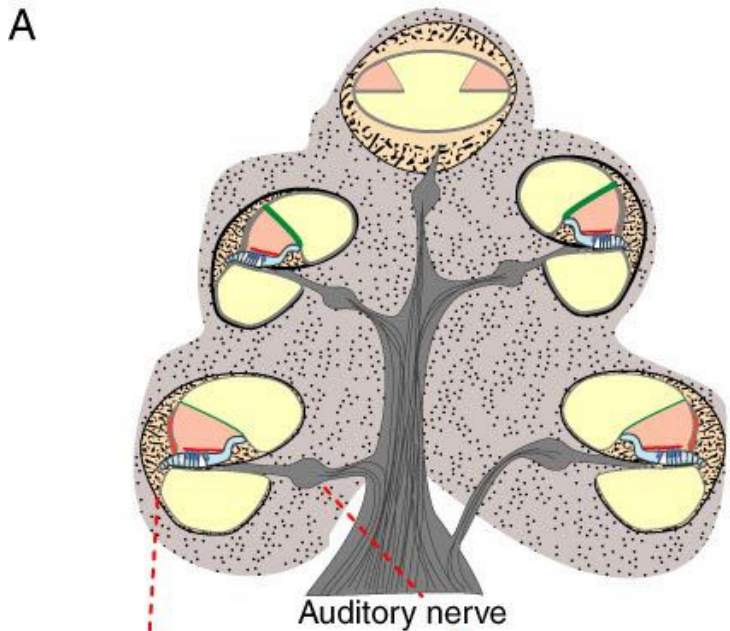
Это чистые тона, характеризующиеся частотой (в Гц) и звуковым давлением в децибелах (dB).

# Ухо проводит частотный анализ звука

Вход: сложный звук

Выход: Компоненты сложного звука - основной тон, обертоны, гармоники





## Поперечный срез через улитку.

Улитка делает около 3 оборотов и имеет длину 35 мм.

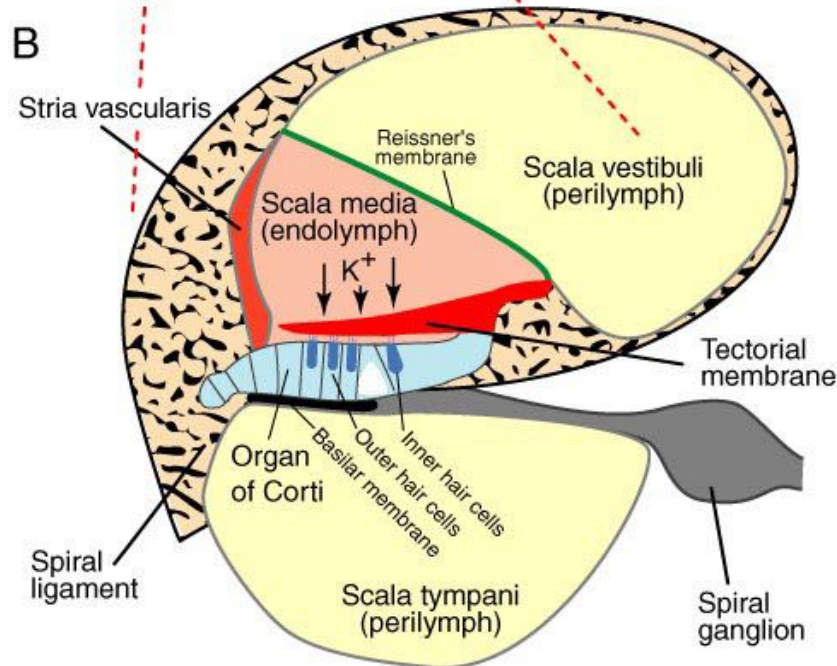
Три канала (лестницы): вестибулярная, средняя и барабанная.

Кортиев орган: внутренние и внешние волосковые клетки, расположенные между базилярной и текторальной (покровной) мембранами

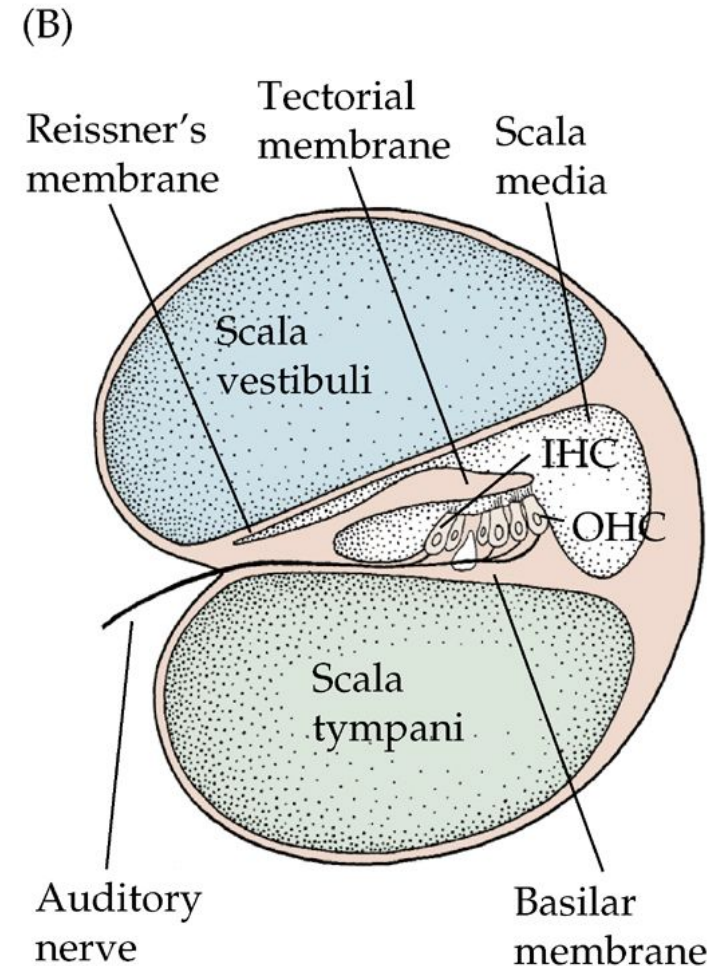
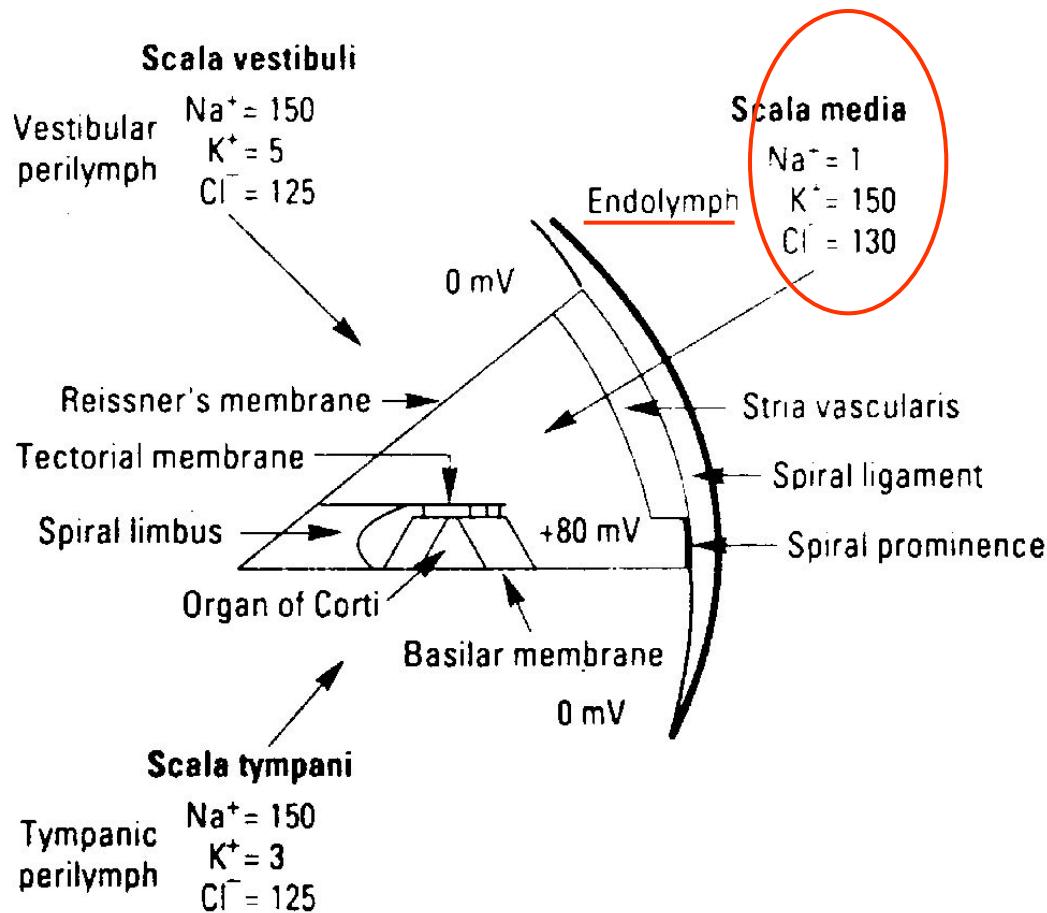
Сосудистая полоска богата Na-K-АТФазой, создающей в средней лестнице высокое содержание  $K^+$

Спиральный ганглий содержит первые слуховые нейроны

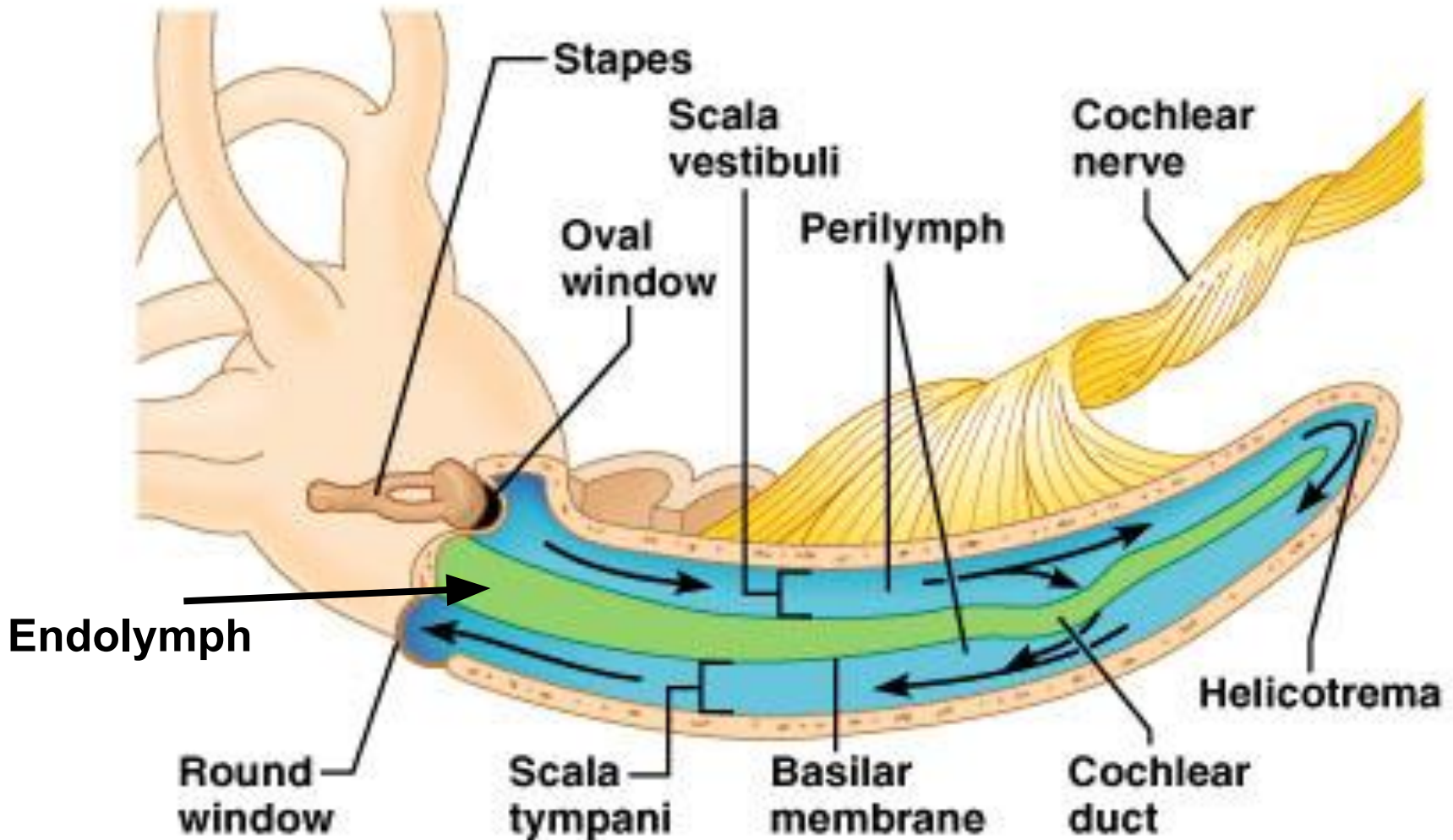
Слуховой нерв проходит в центральной части улитки



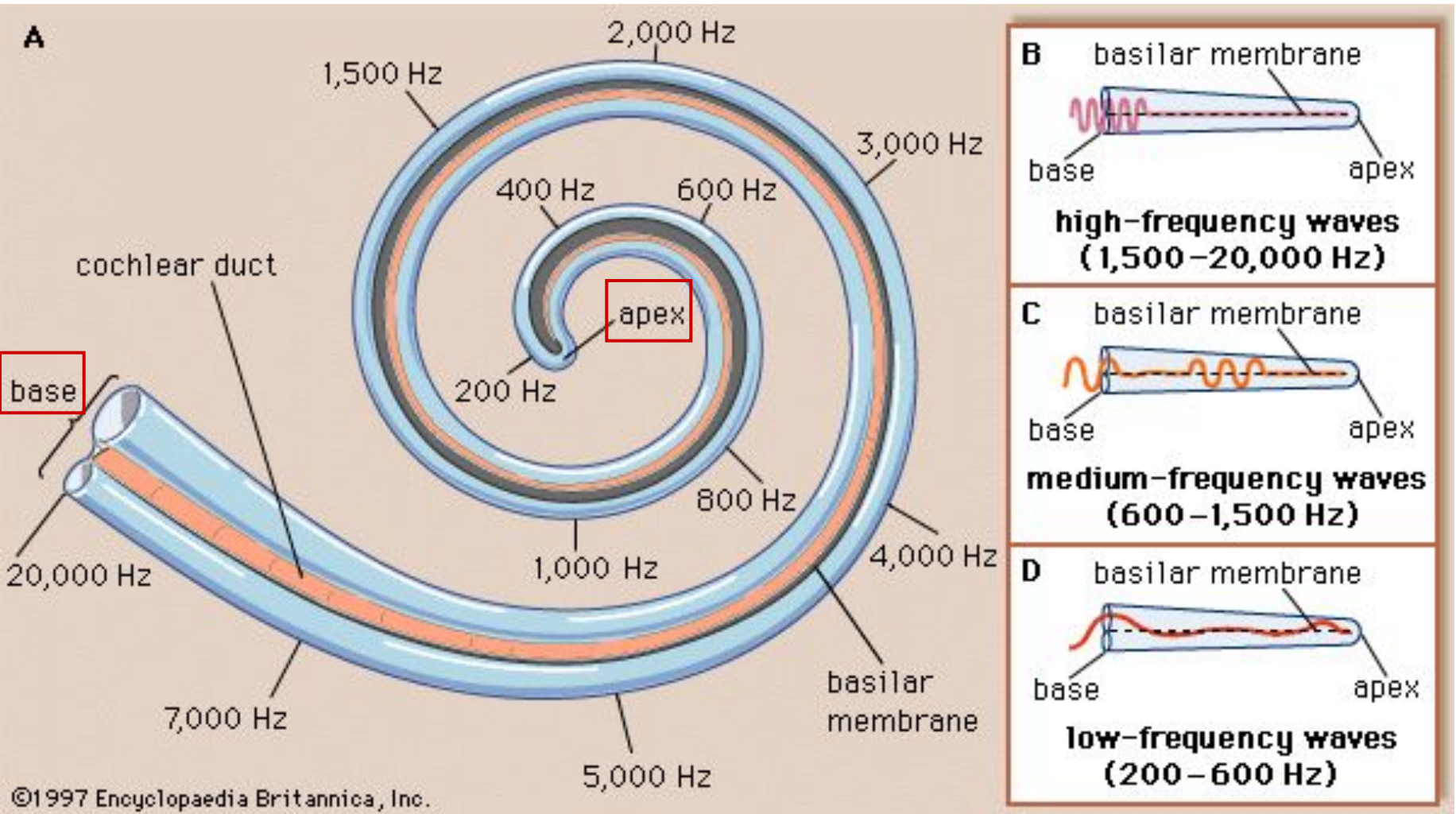
# Ионный состав эндо- и перилимфы



# Движение перилимфы, вызванное звуковой волной

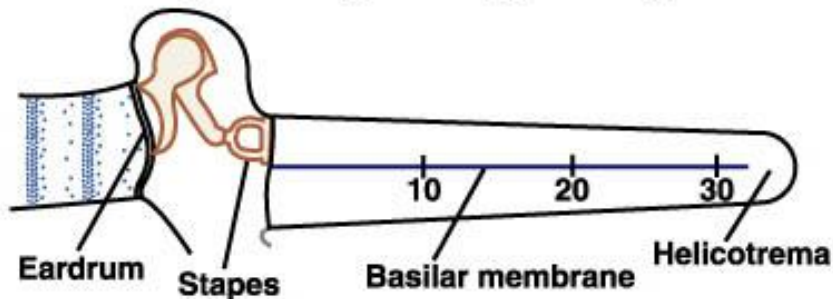
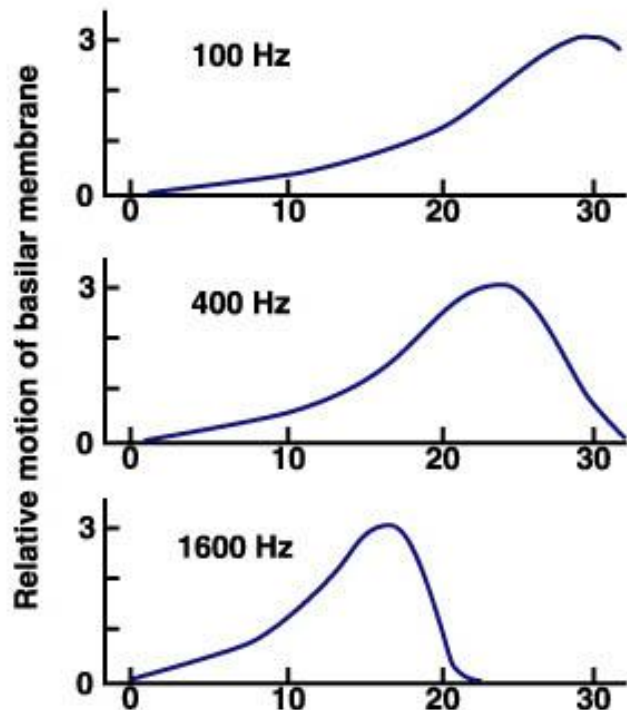
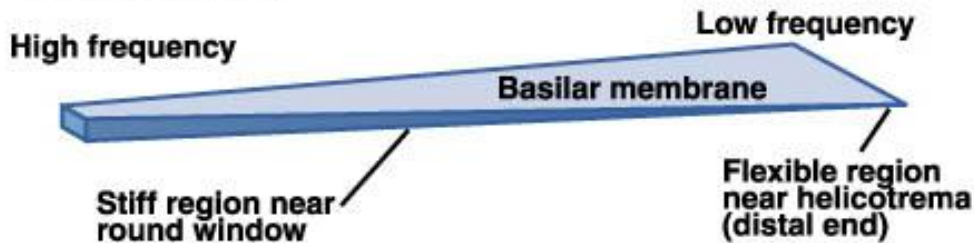


# Частота воспринимаемого звука определяется расстоянием между основанием и вершиной улитки





Most sensitive to:



Вблизи овального окна базилярная мембрана узкая и малоподвижная.

По направлению к дистальному концу она становится широкой и гибкой.

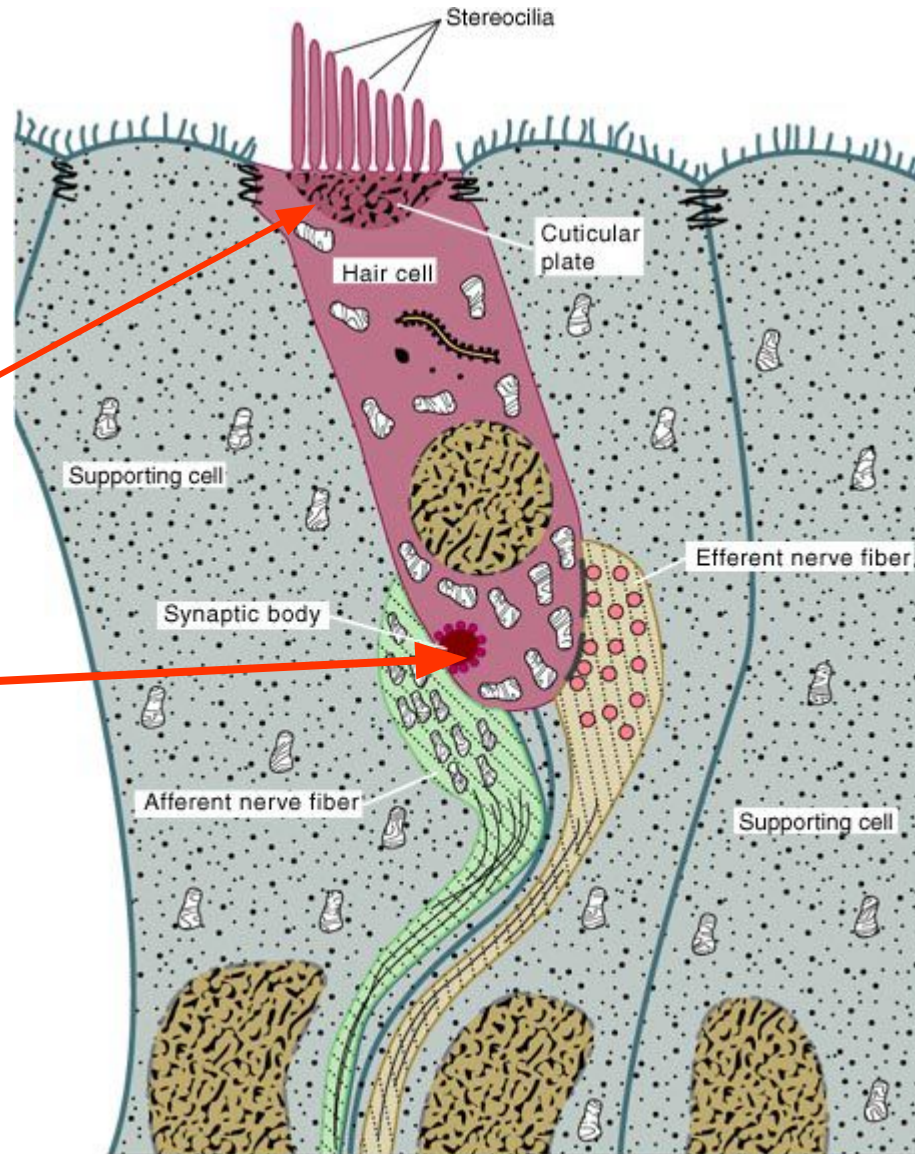
**Поэтому высокие звуки воспринимаются вначале, а низкие в конце улитки.**

Локализация волосковых клеток создает код, который мозг воспринимает как меру высоты чистого тона.

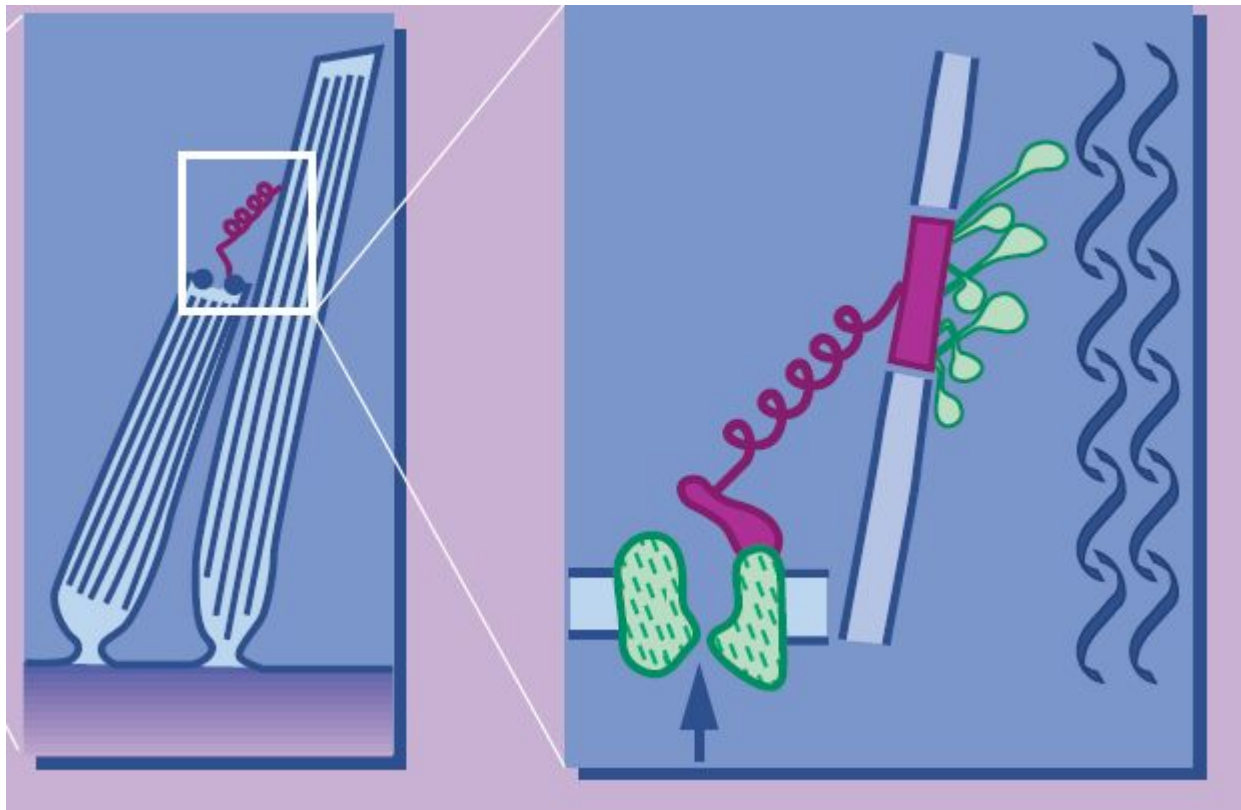
# Волосковая клетка

На базилярной мембране расположены от 1000 до 4000 внутренних волосковых клеток

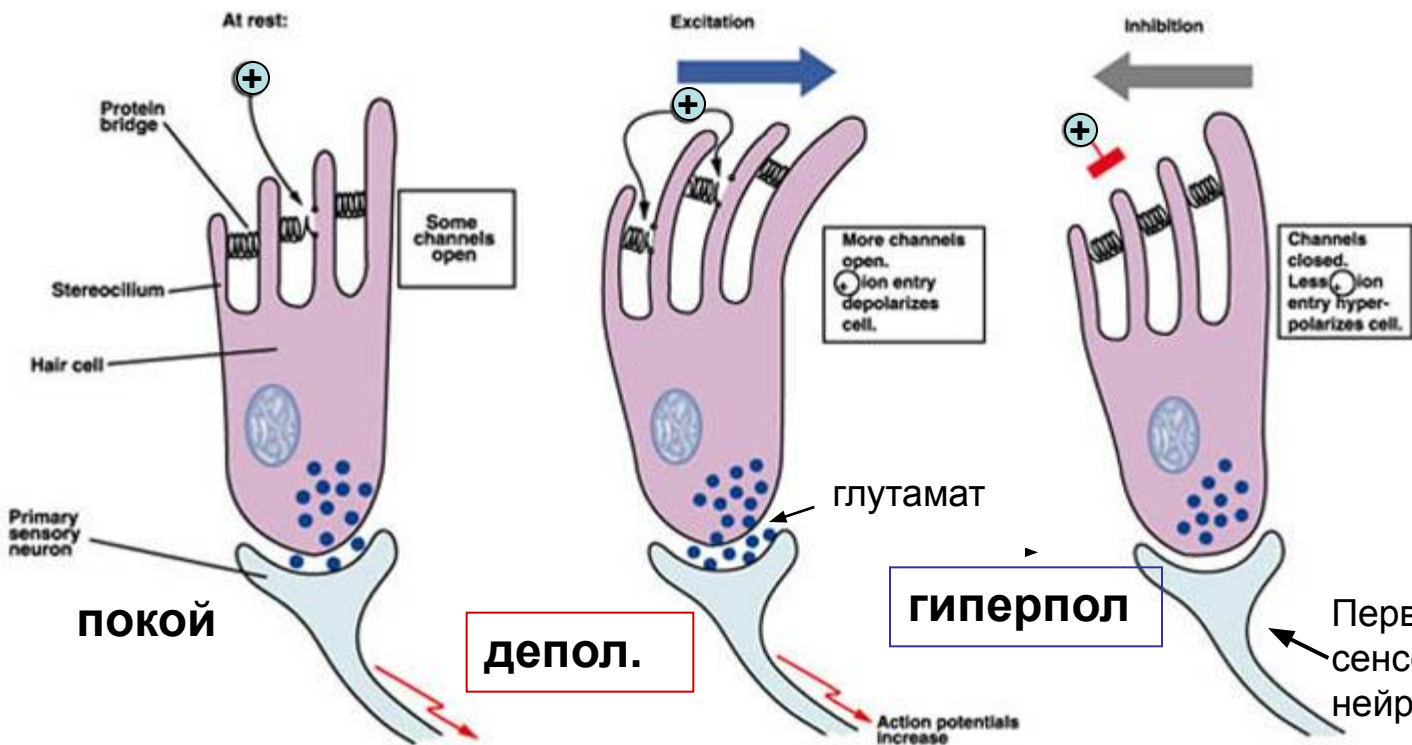
В синаптической области в ответ на деполяризацию волосковой клетки секретируется глутамат



Изменение наклона волосков (цилий) вызывает открытие (или закрытие) механочувствительных калиевых каналов, в следствие чего смещается уровень мембранного потенциала.



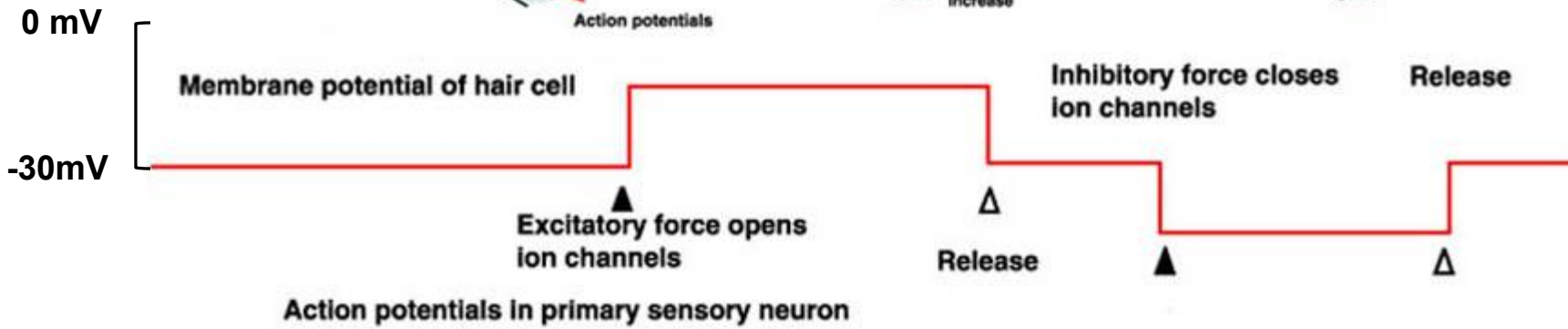
# Изменение состояния волосковых клеток и МП в зависимости от направления волновых колебаний



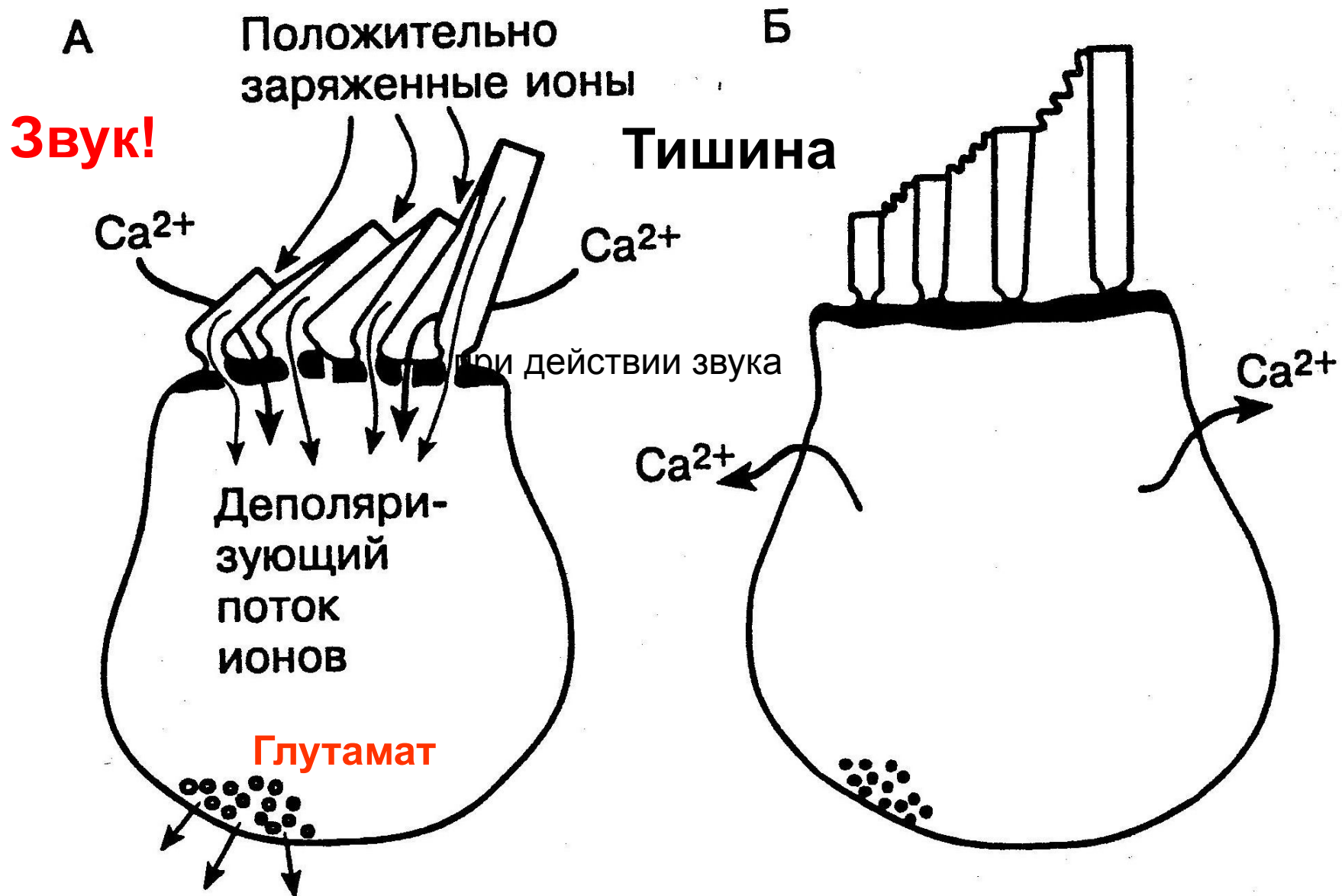
покой

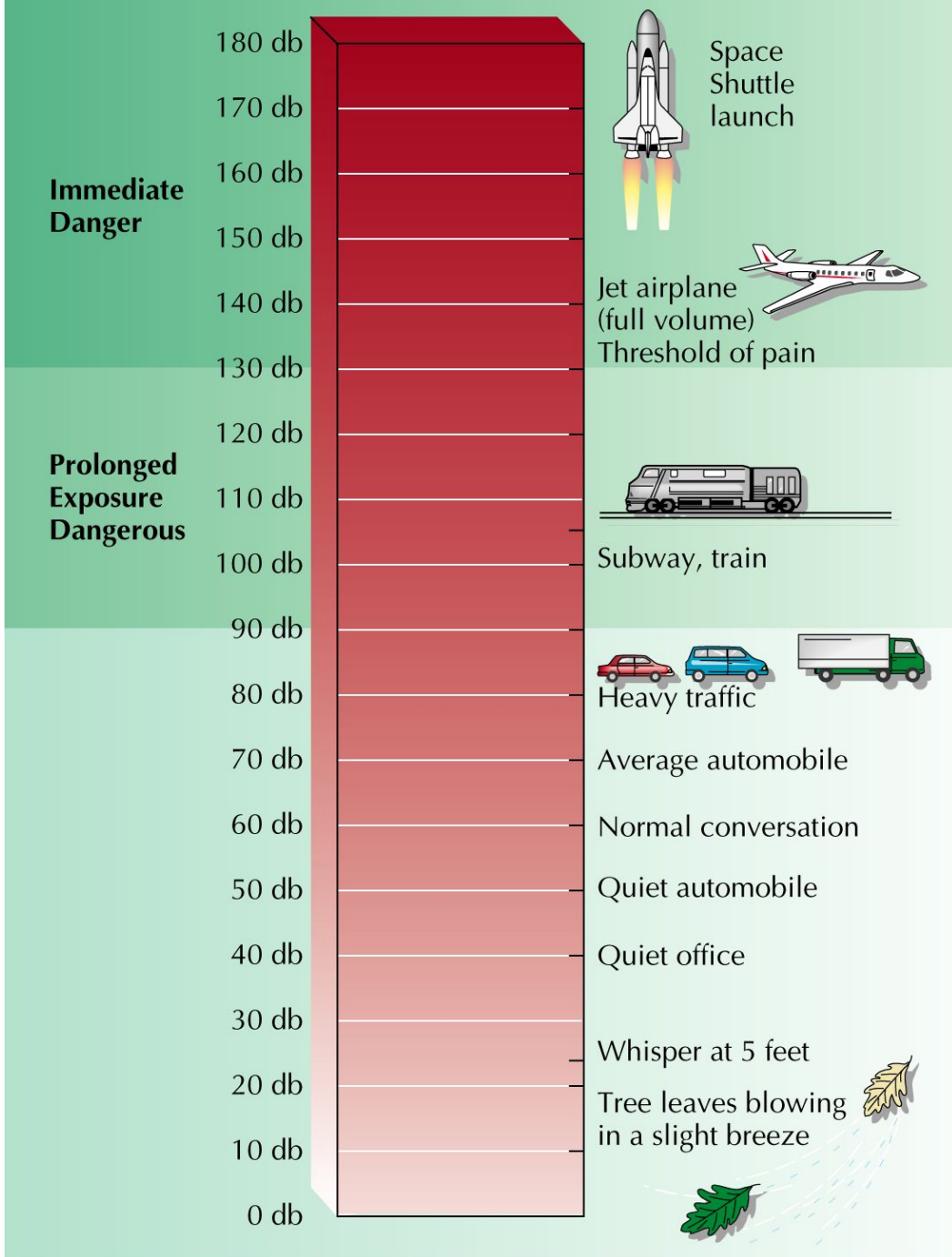
депол.

гиперпол



При действии звука в результате деполяризации волосковой клетки происходит вход  $\text{Ca}^{2+}$ , что вызывает освобождение **глутамата** в синапсе со слуховым афферентом





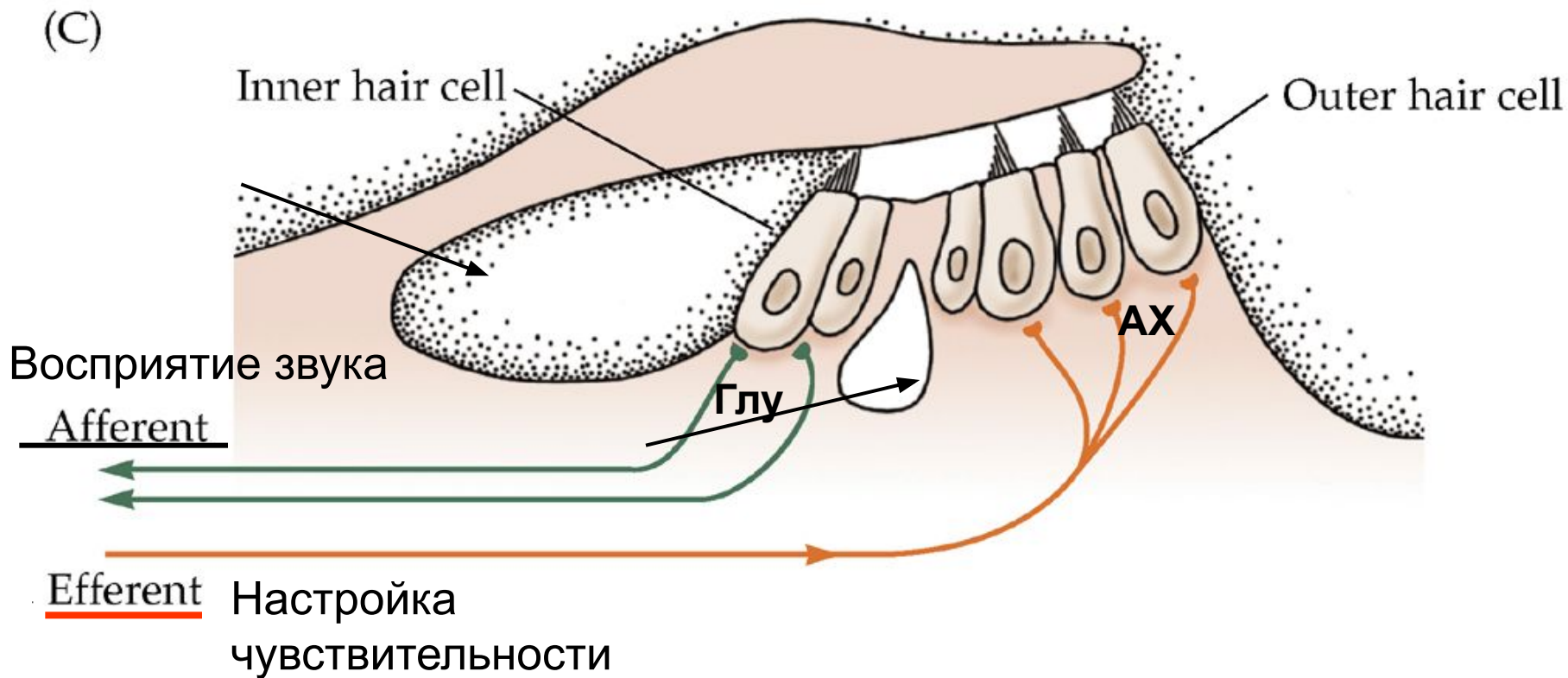
# Шкала в децибелах окружающих нас звуков

Необходимость регулирования в широком диапазоне звуков в окружающей среде диктуется диапазоном звуков в окружающей среде

# Наружные и внутренние волосковые клетки

К **наружным** подходят афферентные волокна (передают сигнал о звуке)

К **внутренним** – **эфферентные** волокна (модулируют восприятие звука)



# Функция внешних волосковых клеток

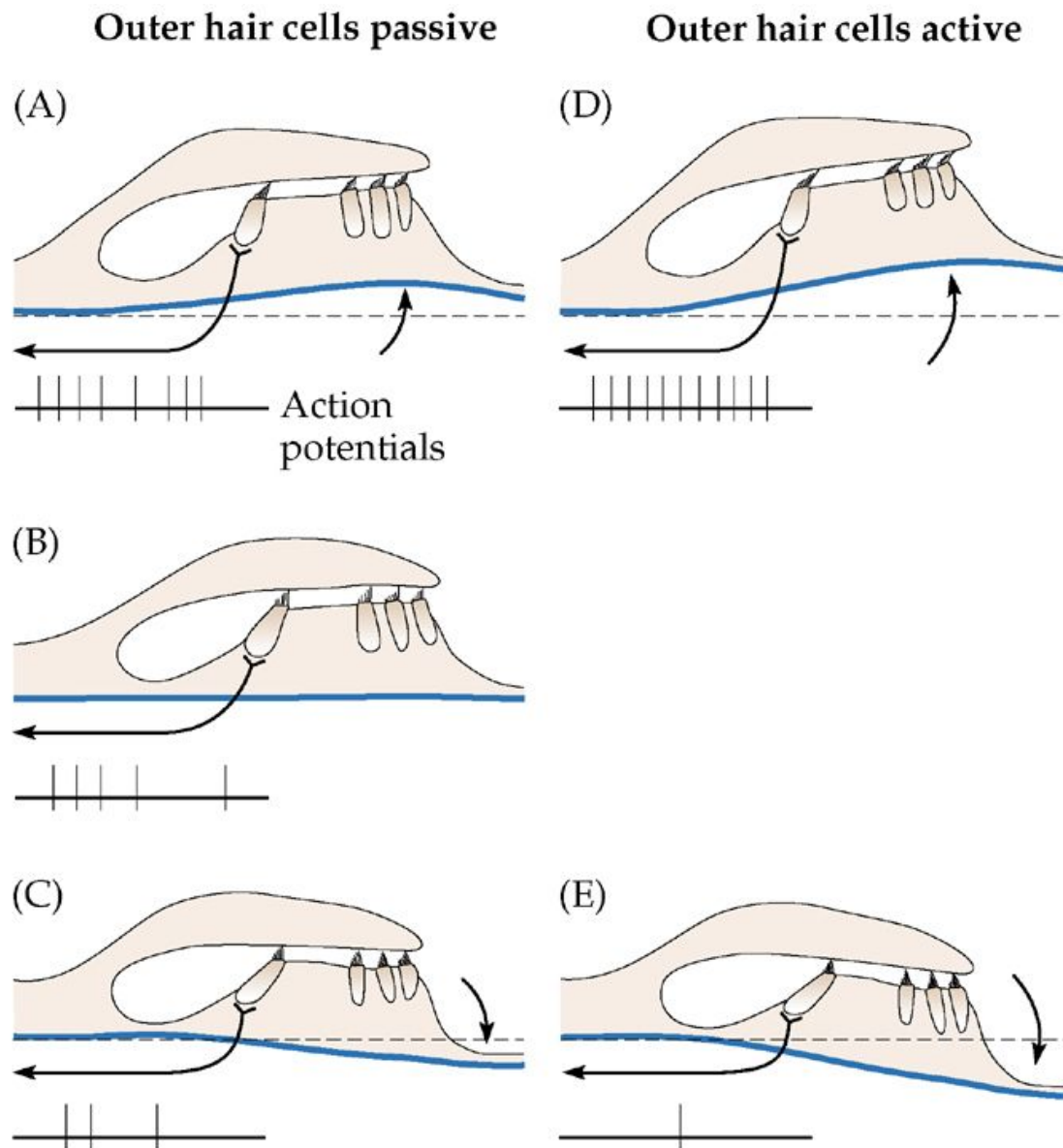
## Деполаризация

наружных волосковых клеток усиливает восприятие звукового сигнала (D)

## Гиперполяризация

этих клеток ослабляет восприятие звукового сигнала (E)

Это один из механизмов регулирования чувствительности при восприятии звука

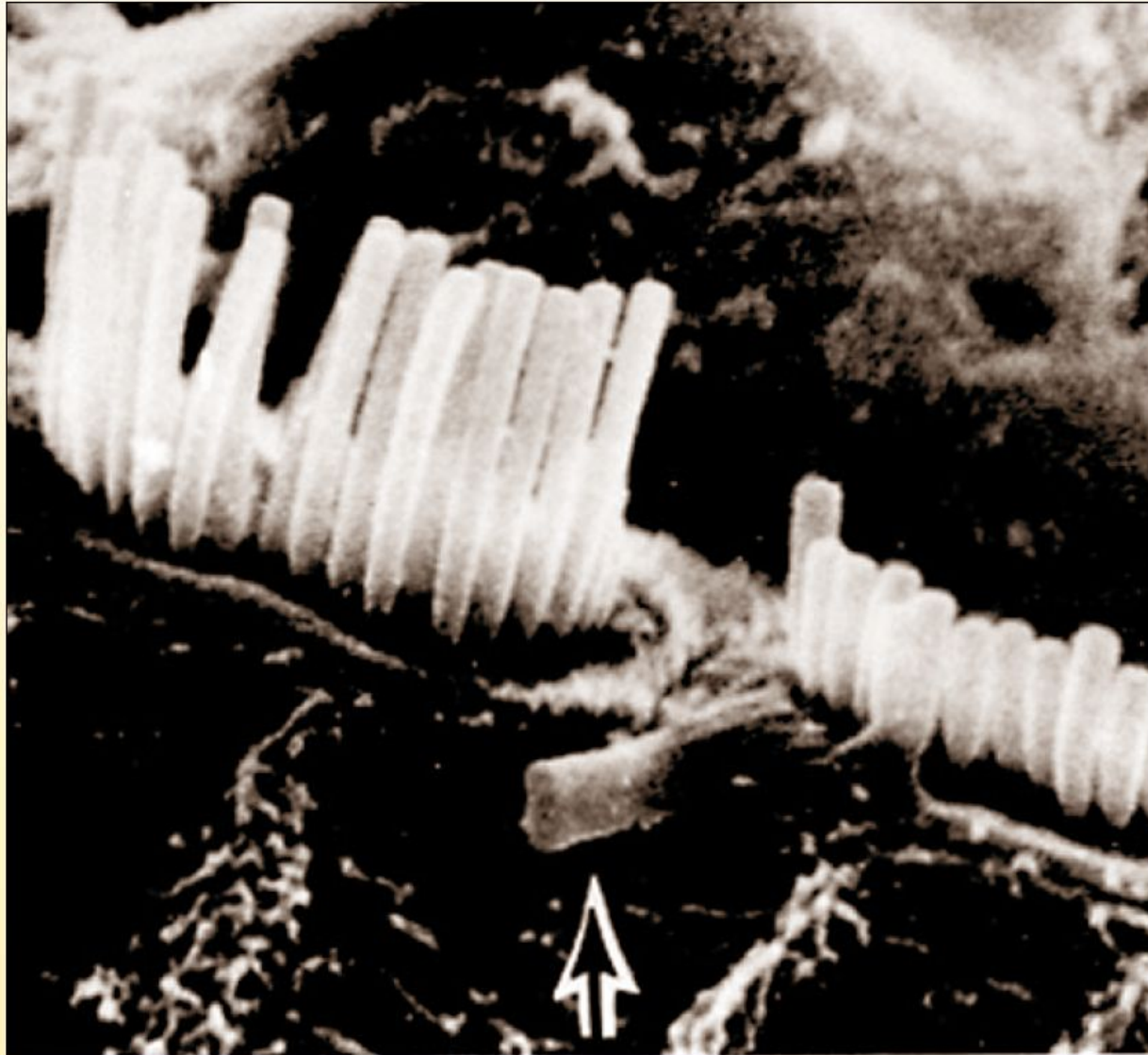




## Регуляция восприятия громкости звука:

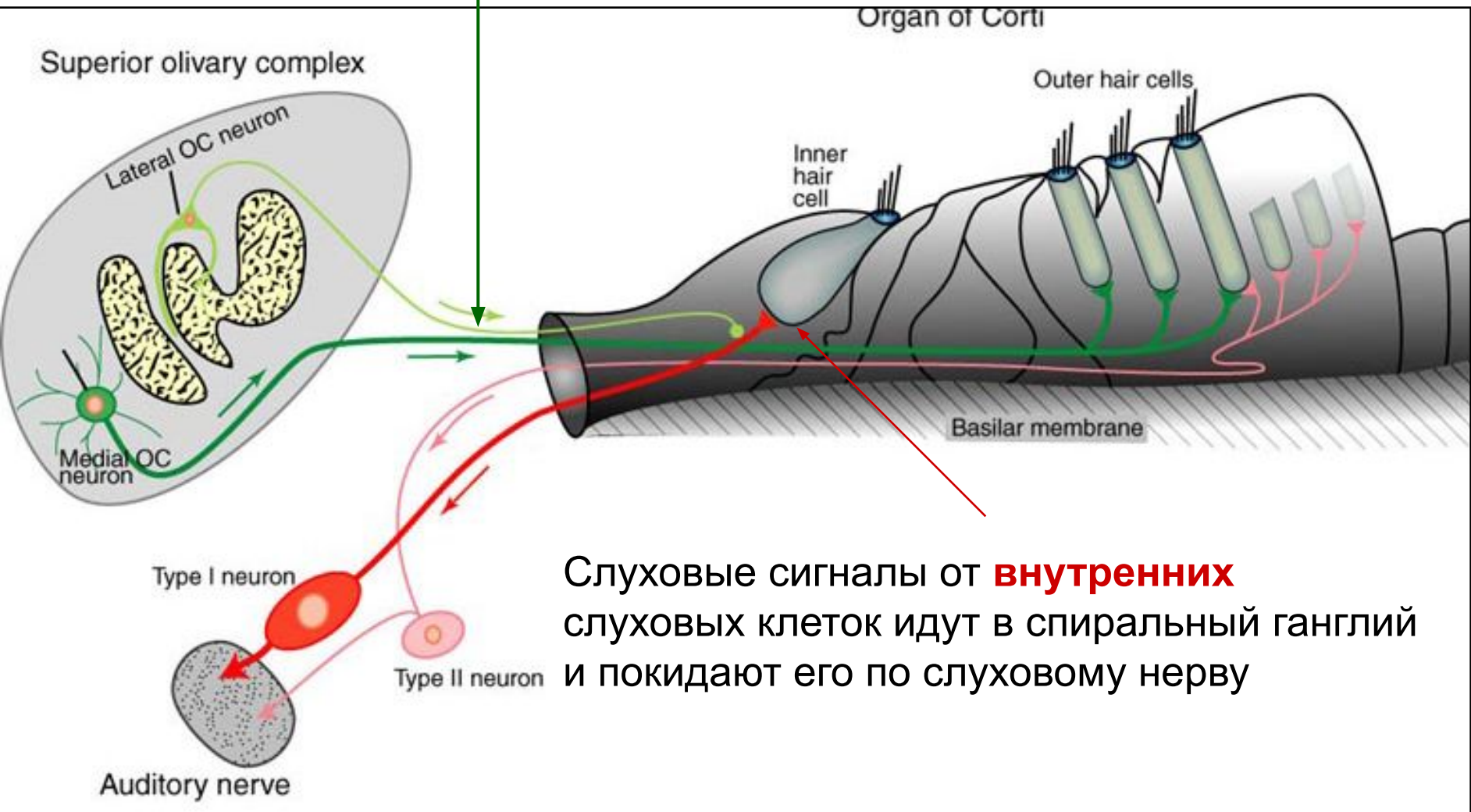
1. Ушная раковина (поворот головы)
2. Состояние барабанной перепонки  
(аппарат среднего уха)
3. Модуляторная функция внешних  
волосковых клеток (внутреннее ухо)

# Повреждающее действие громкого звука на волосковые клетки

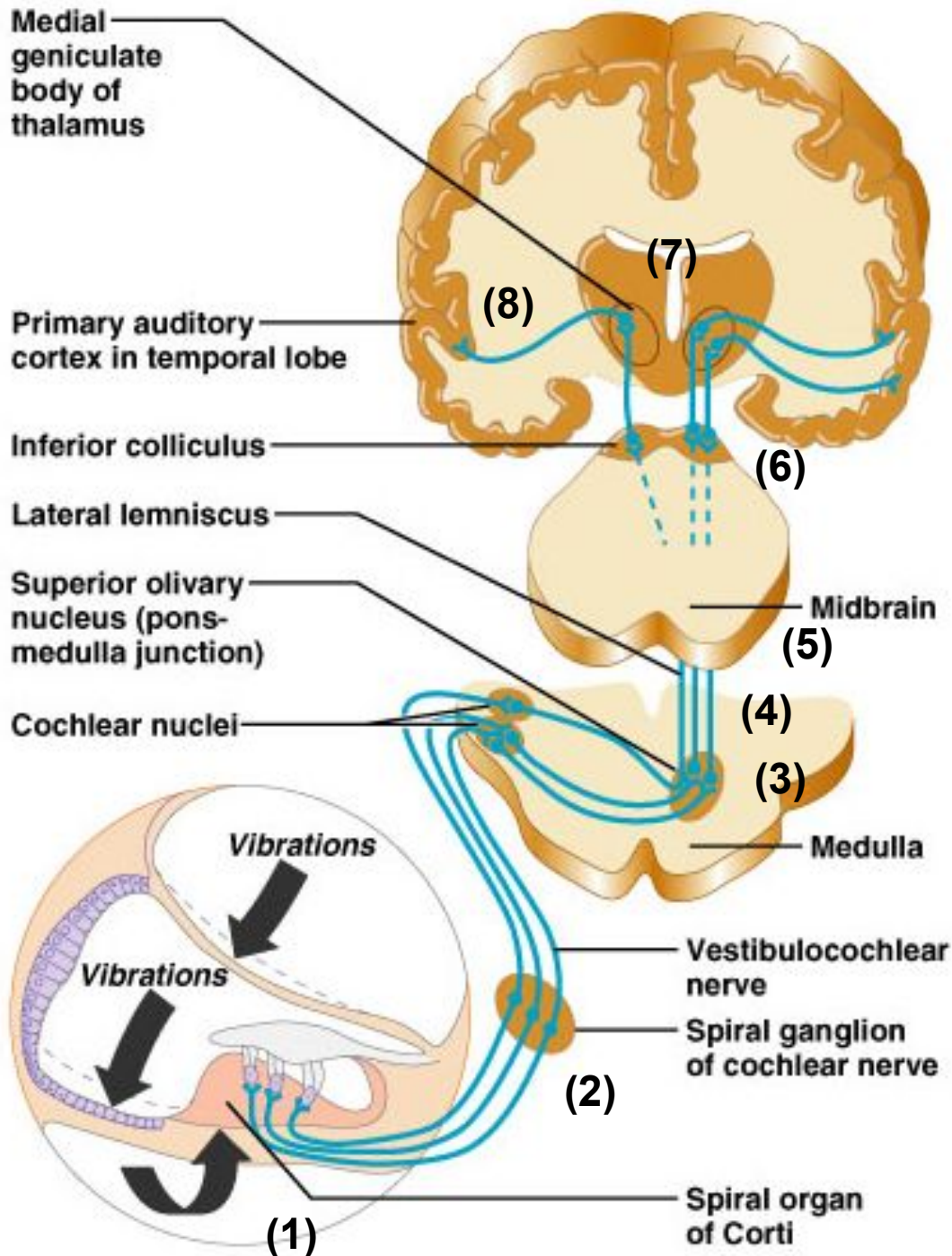


# Иннервация кортиева органа

Модулирующие сигналы из верхних олив направляются к **наружным** слуховым клеткам



Слуховые сигналы от **внутренних** слуховых клеток идут в спиральный ганглий и покидают его по слуховому нерву



# Слуховой путь

От кортиева органа (1)  
в спиральный ганглий (2)

слуховые ядра (3)  
(продолговатый мозг)

– ядра верхних олив (4)  
(мост)

– по латеральному  
лемниску в средний  
мозг (5)

– в нижние  
колликулусы (6)

– через среднее  
коленчатое тело  
таламуса (7)

– в первичную  
слуховую кору (8)  
(височная доля)

(A)

Lateral sulcus

Core

Low frequency

A<sub>1</sub>

Belt

High frequency

Superior temporal gyrus

© 2001 Sinauer Asso

# Локализация области восприятия звуков в коре мозга

Lateral view

Central sulcus

3, 1, 2

6 6 6

6 6 6

6 6 6

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

4 4 4

5

7

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

18

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

17

41

42

41

42

41

42

41

42

41

42

41

42

41

42

41

42

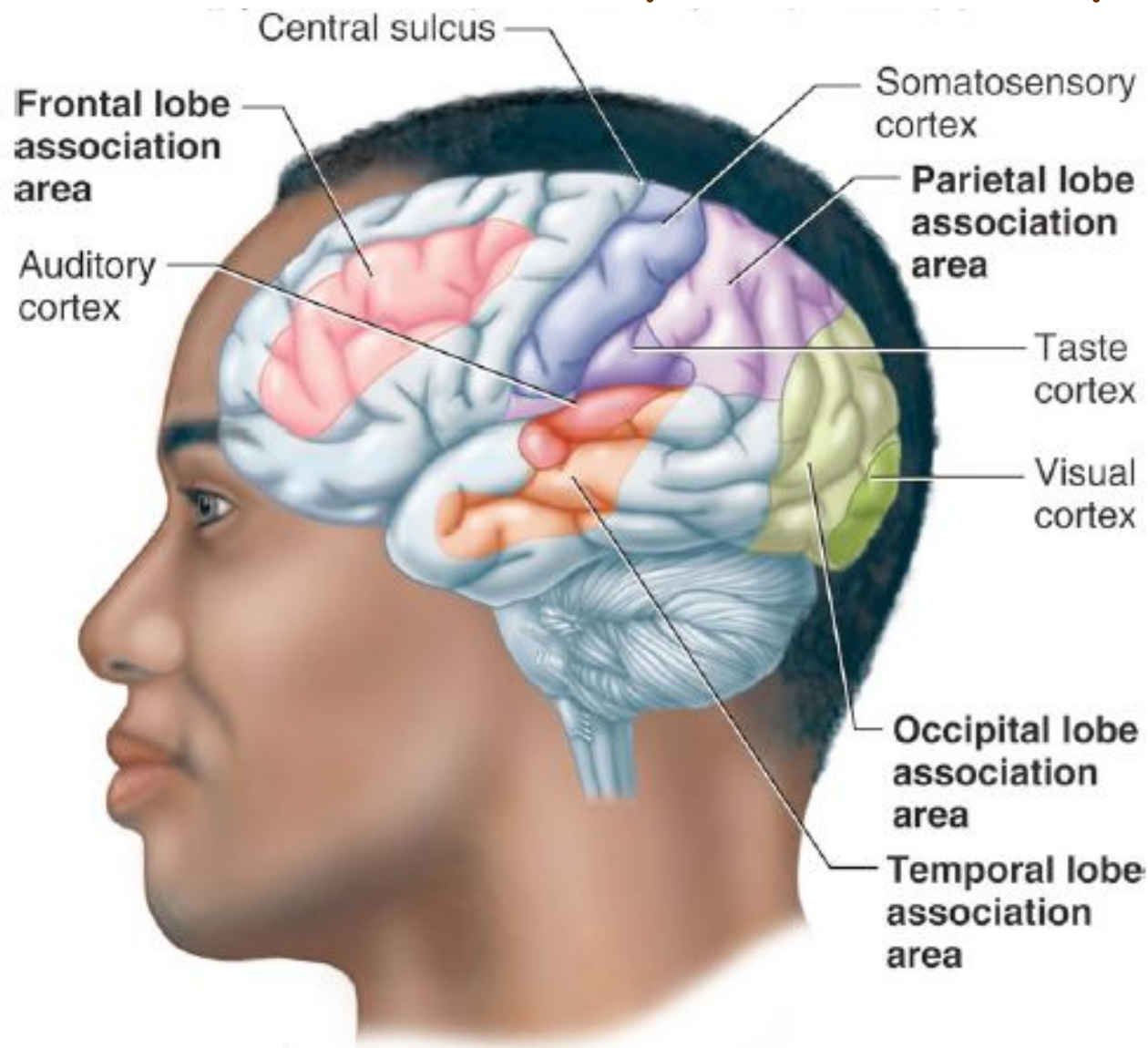
41

42

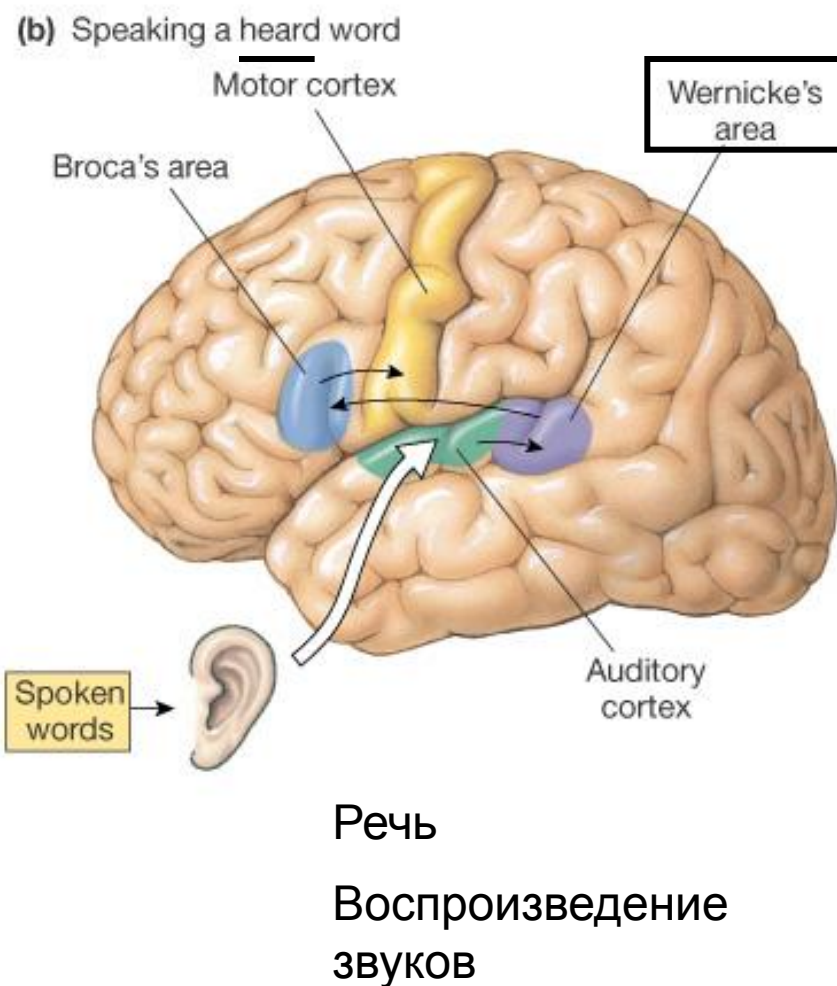
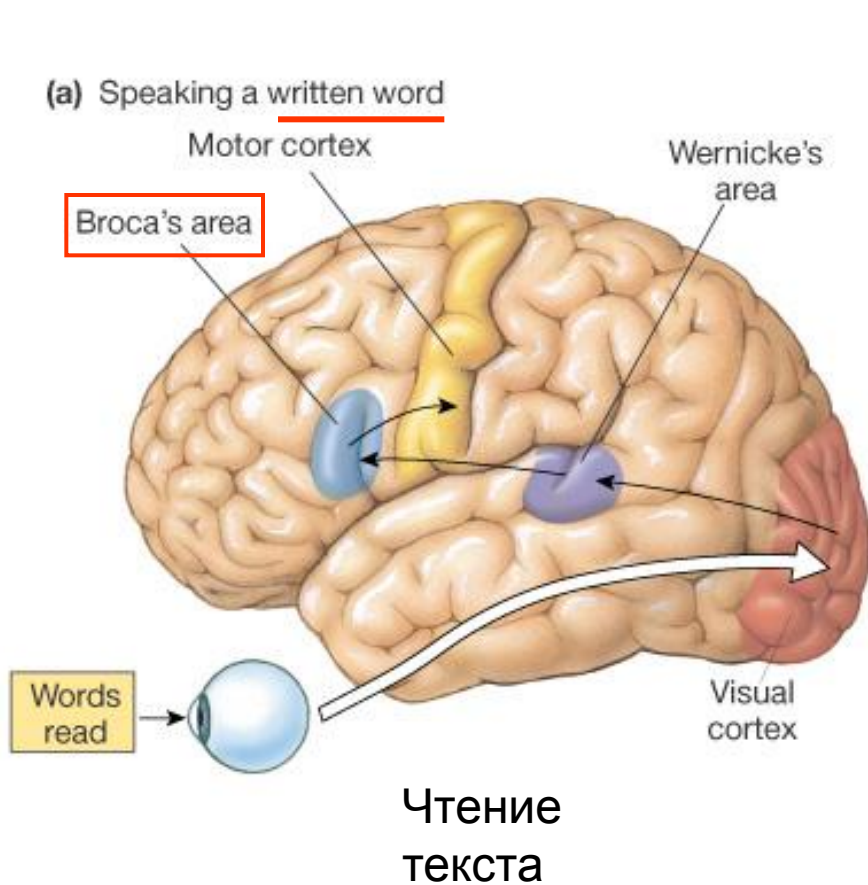
41

42

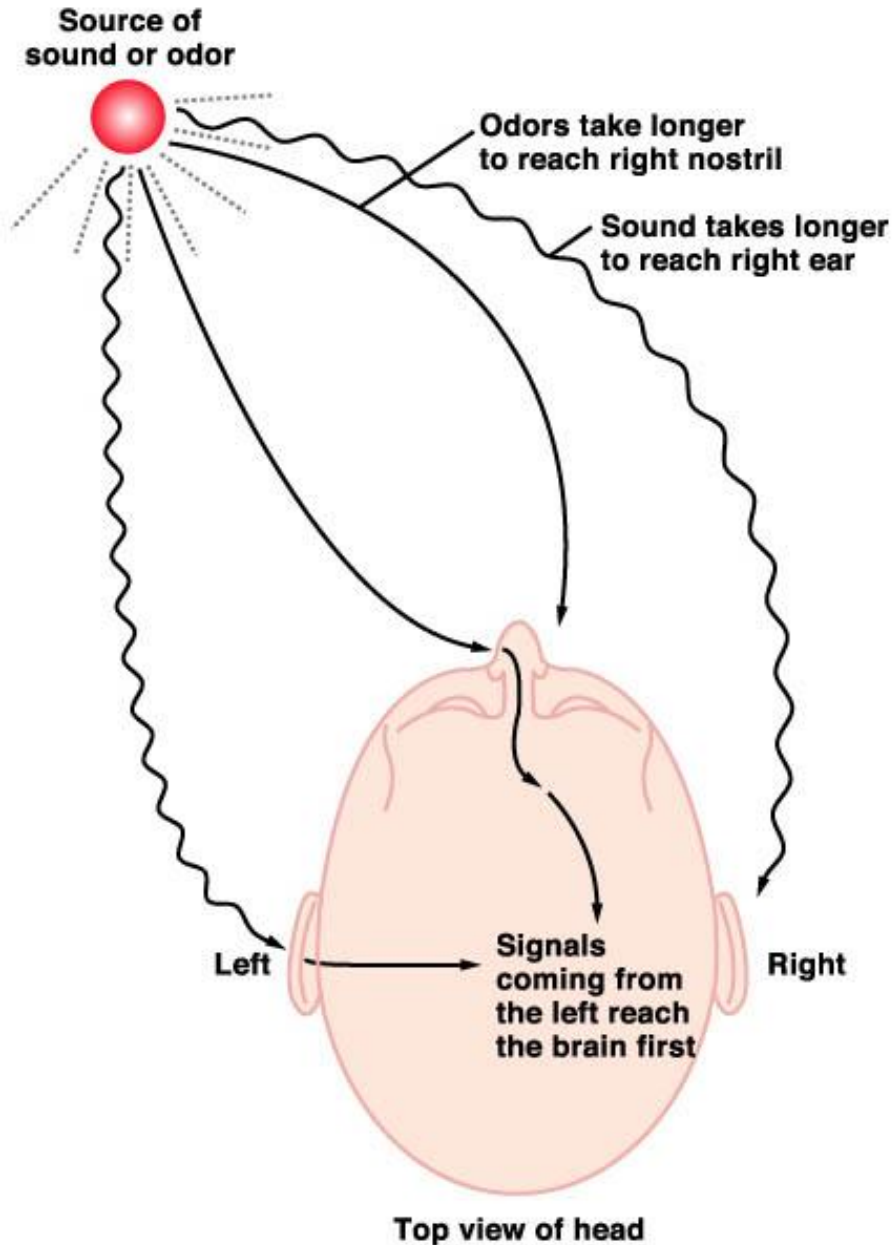
# Расположение сенсорных зон коры



# Слуховое и зрительное восприятие языка



# Бинуральный слух



Локализация звука основана на одновременном функционировании обеих ушей.

Мозг использует временные, фазовые и амплитудные различия между сигналами, приходящими в правое и левое уши.

Повороты головы способствуют более точной локализации источника звука.

**Таким образом в коре создается 3-х мерная звуковая картина.**



Перерыв