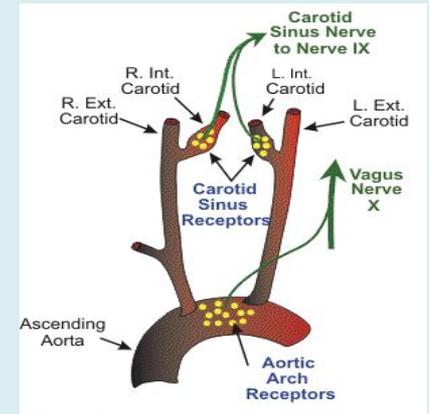


«МОЗГ человека:  
основные  
функции»  
июнь 2020,  
лекция 9

# МОЗГ, СЛУХ и равновесие

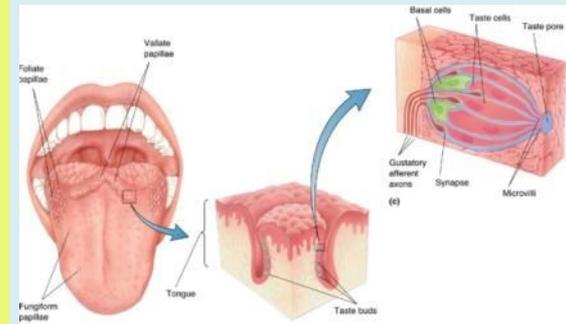
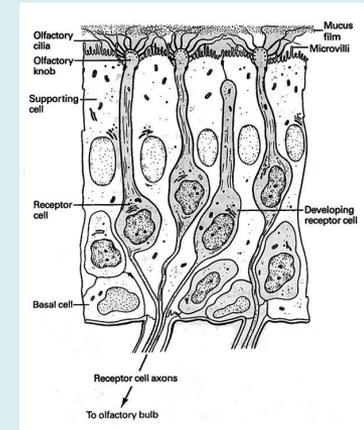
Лектор: д.б.н. **В.А. Дубынин**

Сенсорные системы предназначены для сбора информации из внешней среды и внутренней среды организма.

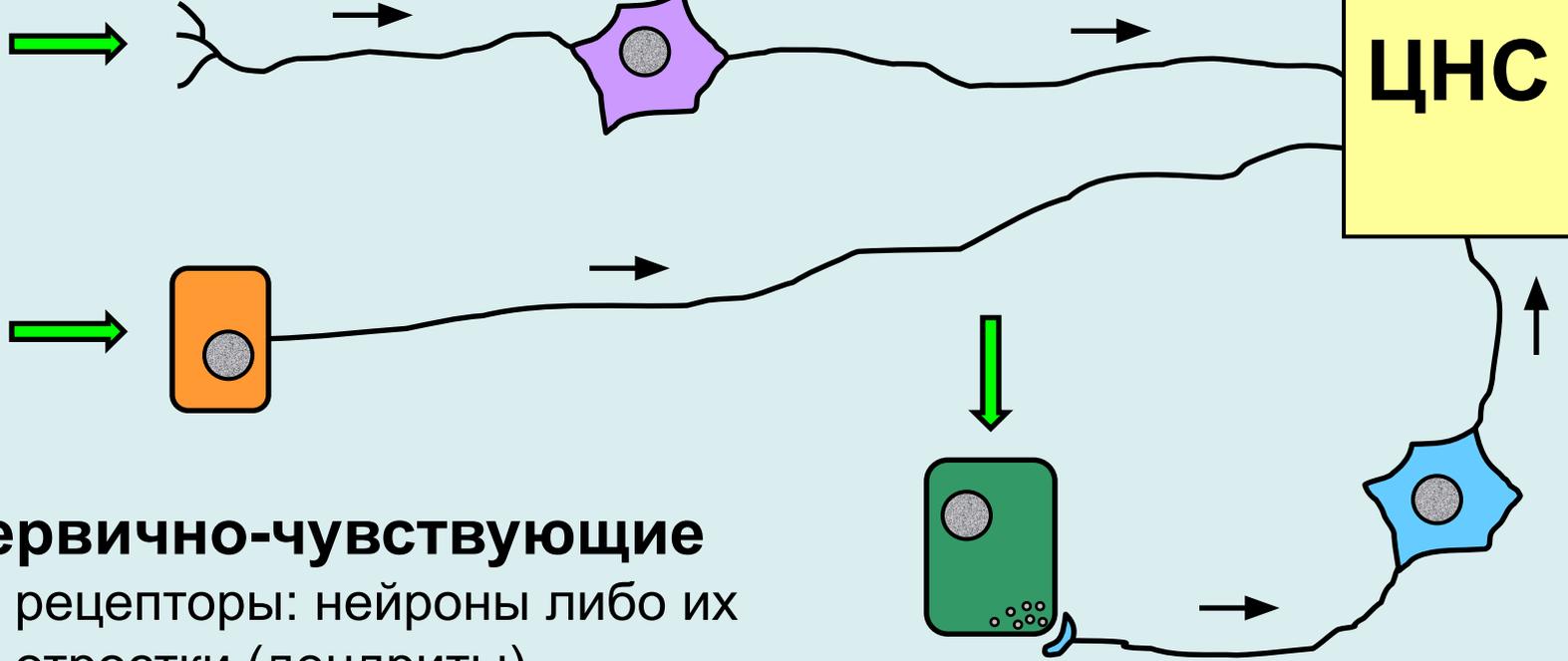


Три составляющие всякой сенсорной системы:

- 1) Рецепторы (чувствительные клетки или их отростки)
- 2) Проводящие нервы (спинномозговые и черепные)
- 3) Обработывающие структуры спинного и головного мозга (высшие центры – в коре больших полушарий)



стимул



## Первично-чувствующие

рецепторы: нейроны либо их отростки (дендриты).

В этом случае проводящий нерв образован аксонами сенсорных нейронов:

- системы болевой, кожной и мышечной ч-ти
- система внутренней ч-ти
- обоняние

## Вторично-чувствующие

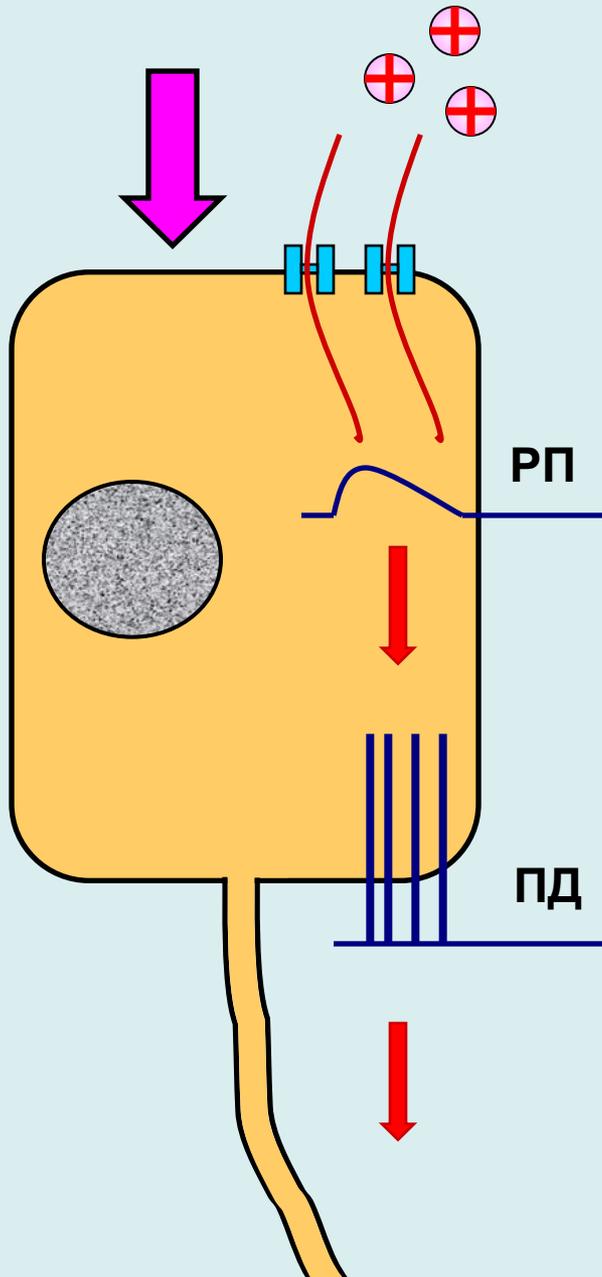
рецепторы: специализированные клетки (не нервные).

Нерв образован отростками особых проводящих нейронов:

- слух и вестибулярная система
- вкус
- зрение

**ИТОГО: 9 сенс. систем**

Стимул, как правило, вызывает открывание белков-каналов для положительно заряженных ионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) на мембране рецептора



Вход ионов приводит к сдвигу внутриклеточного заряда вверх – рецепторный потенциал (РП)

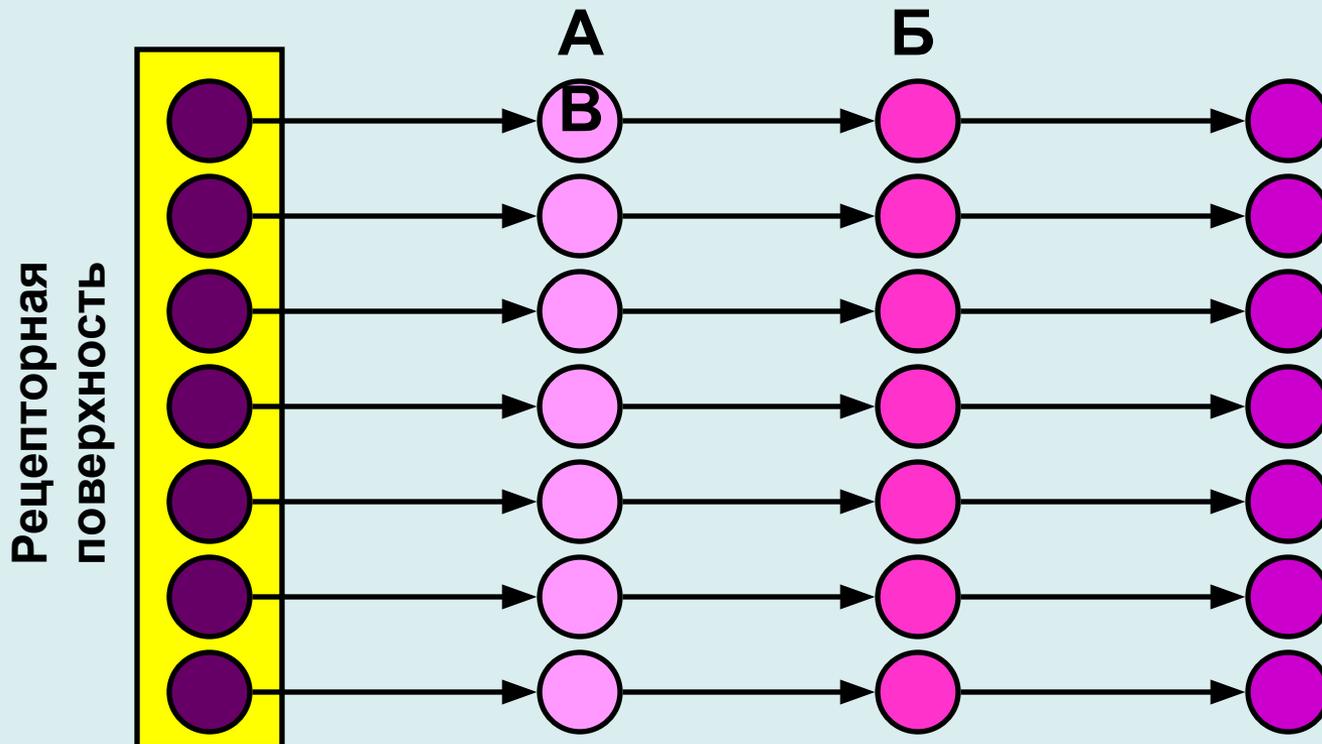
Рецепторный потенциал способен вызвать генерацию потенциалов действия (ПД), бегущих по аксону в ЦНС

Чем сильнее стимул, тем больше РП и чаще ПД («количество» сенсорного сигнала кодируется частотой ПД)

При передаче сигнала от рецепторов в ЦНС используется **топический принцип**: каждый рецептор передает сигнал «своей» нервной клетке, и соседние рецепторы передают информацию соседним нейронам.

Аналогичным образом организована передача внутри ЦНС от структуры к структуре – вплоть до коры больших полушарий.

В результате на разных уровнях ЦНС можно наблюдать «карты» **рецепторных поверхностей** (кожа, поверхность языка, сетчатка и др.).

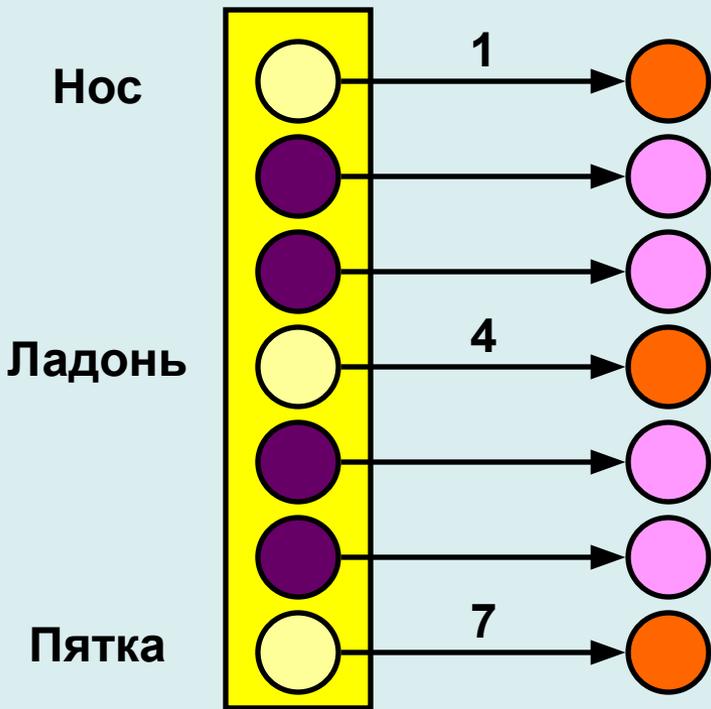


**А, Б, В** –  
сенсорные  
центры ЦНС,  
например:  
А) ядро череп-  
ного нерва  
Б) таламус  
В) сенсорная  
кора.

При передаче сигнала от рецепторов в ЦНС используется **топический принцип**: каждый рецептор передает сигнал «своей» нервной клетке, и соседние рецепторы передают информацию соседним нейронам.

Аналогичным образом организована передача внутри ЦНС от структуры к структуре – вплоть до коры больших полушарий.

В результате на разных уровнях ЦНС можно наблюдать «карты» **рецепторных поверхностей** (кожа, поверхность языка, сетчатка и др.).

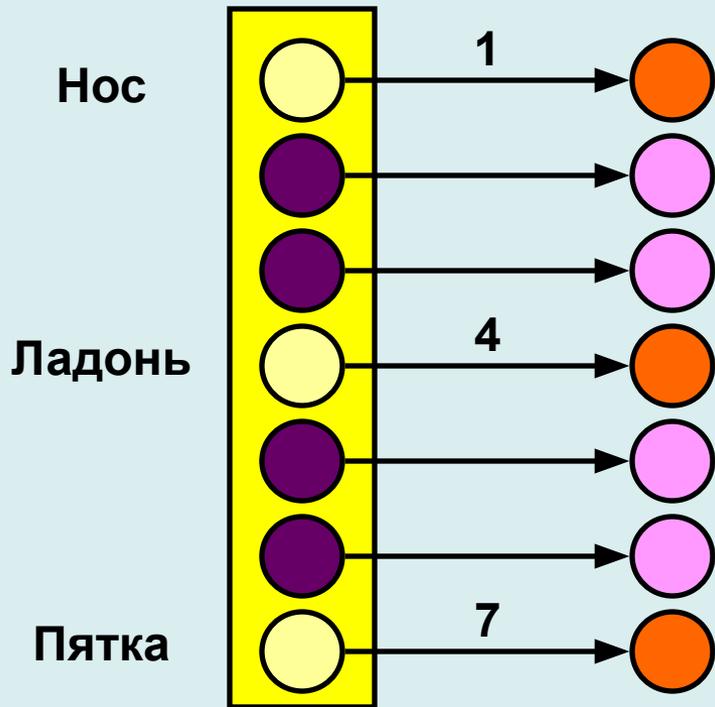


Топическая организация позволяет закодировать «качество» сенсорного сигнала (= место настроенного на этот сигнал рецептора на рецепторной поверхности).

Такой принцип называется «кодировка номером канала» и широко используется при создании вычислительной техники.

Таким образом, каждый сенсорный сигнал характеризуется определенным количеством (=энергия стимула) и качеством.

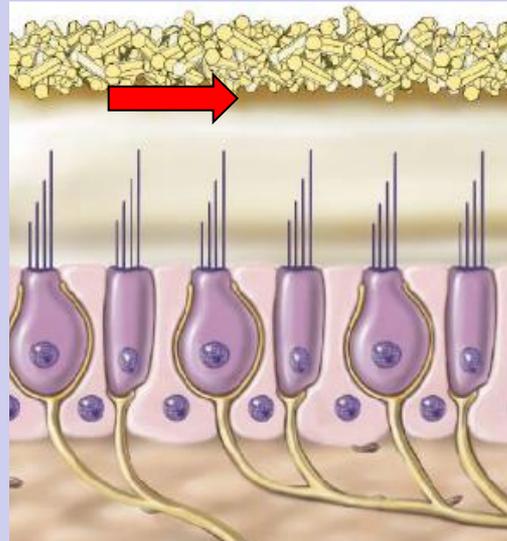
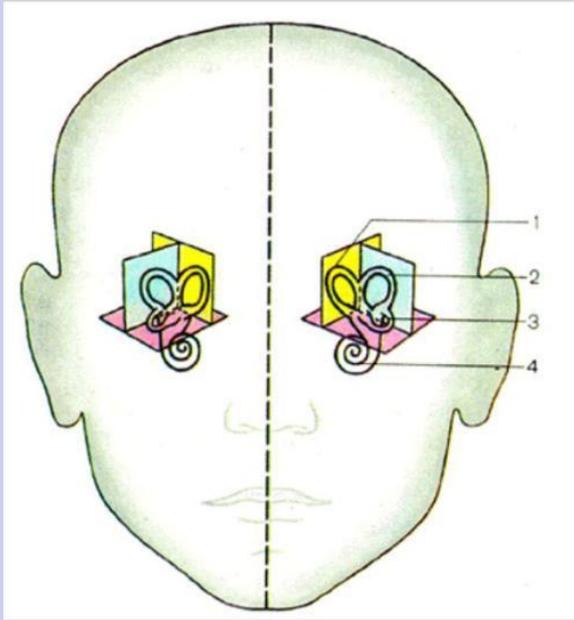
Сенсорная система	Количество	Качество
Кожная чувствительность	Сила прикосновения	Место прикосновения (соматотопия)
Зрение	Яркость изображения	Место точки в пространстве
Слух	Интенсивность звука	Частота звуковых волн



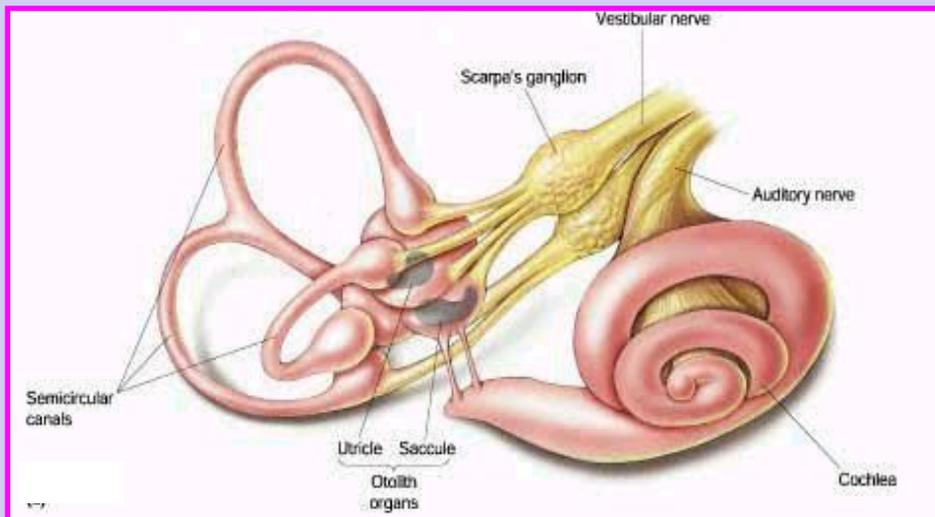
Топическая организация позволяет закодировать «качество» сенсорного сигнала (= место настроенного на этот сигнал рецептора на рецепторной поверхности).

Такой принцип называется «кодировка номером канала» и широко используется при создании вычислительной техники.

# Сенсорные системы с волосковыми рецепторами – слуховая и вестибулярная.



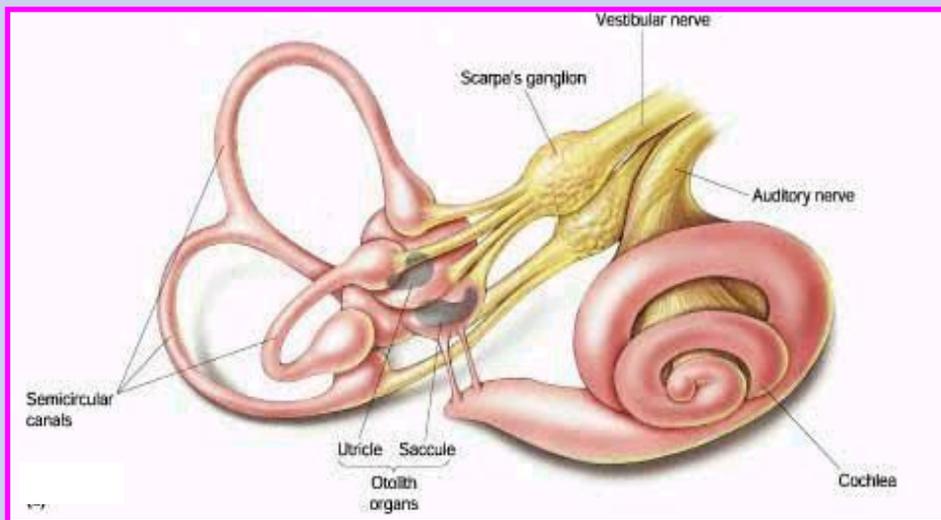
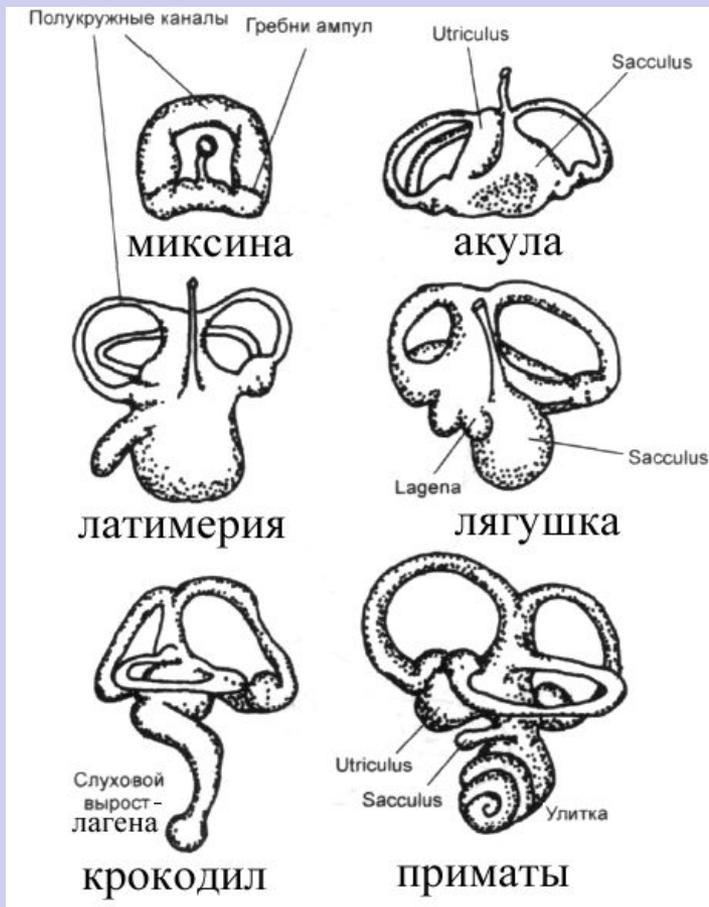
Волосковые рецепторы относятся к группе механо-рецепторов и возбуждаются (генерируют РП) при изгибе волосков от меньшего к большему.



Общий «орган чувства» – внутреннее ухо. Состоит из улитки (слуховая часть), а также вестибулярных мешочков и каналов, наполненных лимфой.

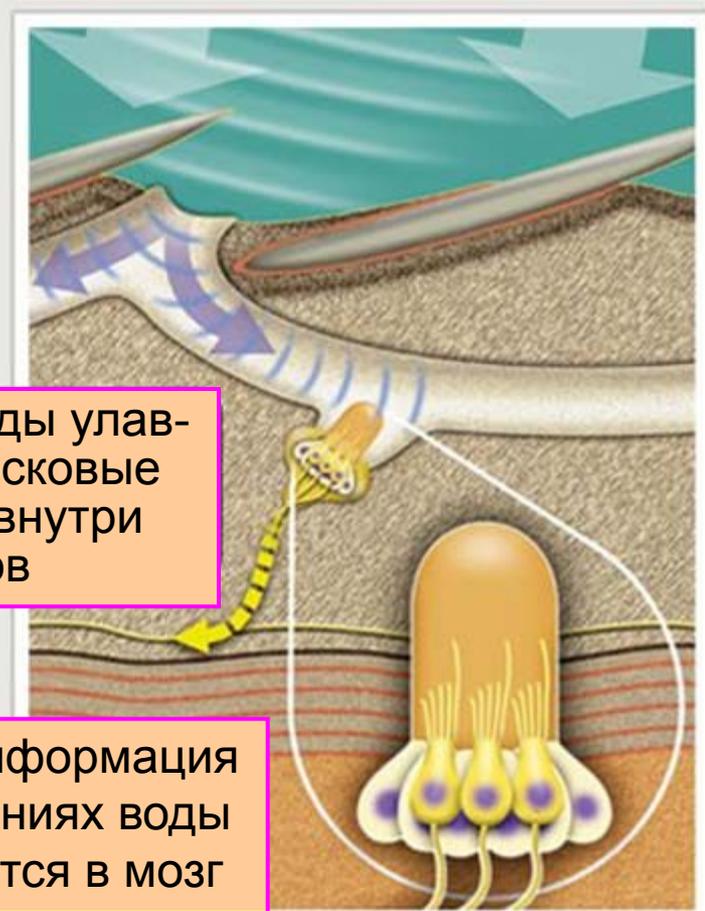
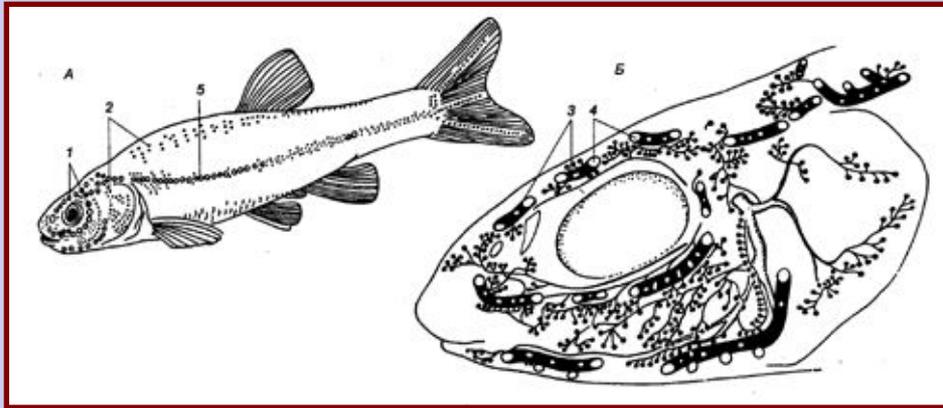


Вестибулярная часть – полукружные каналы, саккулус, утрикулус (круглый и овальный мешочки). Слуховая часть – лагена («озеро»), а затем улитка.



Общий «орган чувства» – внутреннее ухо. Состоит из улитки (слуховая часть), а также вестибулярных мешочков и каналов, наполненных лимфой.

Появляются волосковые рецепторы в органе боковой линии рыб (система подкожных каналов, соединенных с внешней средой); дополнение к осязанию. Позже часть каналов головы отделяется от общей системы, давая внутреннее ухо (сначала вестиб., а затем и слуховую часть).

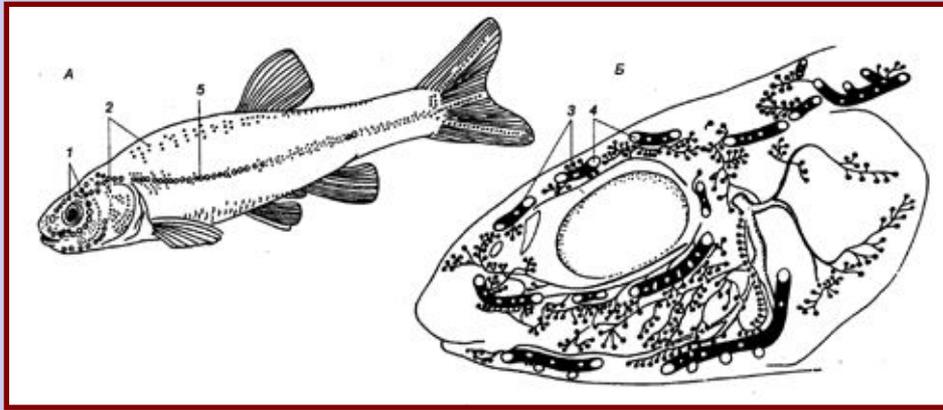


Колебания воды улавливают волосковые рецепторы внутри каналов

Далее информация о колебаниях воды передается в мозг



Появляются волосковые рецепторы в органе боковой линии рыб (система подкожных каналов, соединенных с внешней средой); дополнение к осязанию. Позже часть каналов головы отделяется от общей системы, давая внутреннее ухо (сначала вестиб., а затем и слуховую часть).

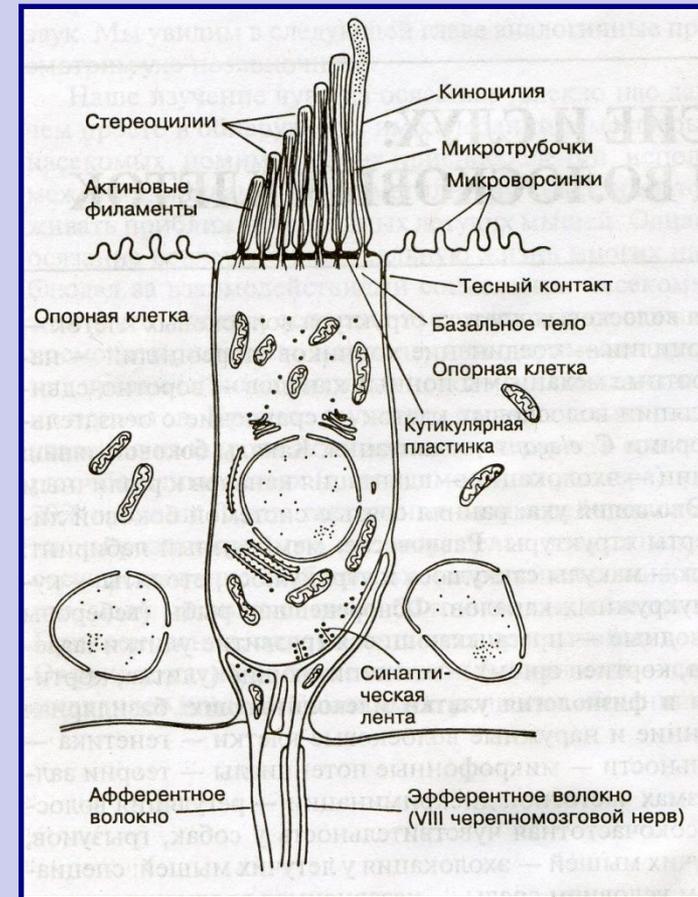


Рецепторы несут чувствительные волоски-цилии.

Киноцилия – одиночный бывший жгутик с микротрубочками; только в вестиб. системе.

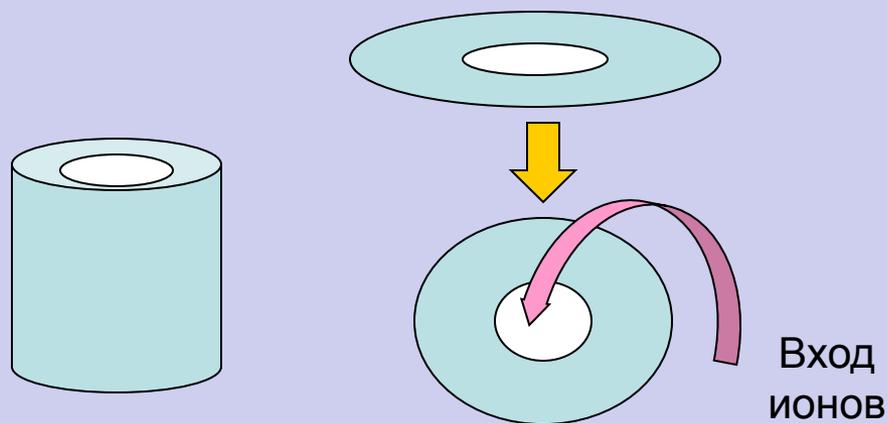
Стереоцилии – от 10 до 50-60; выросты с актиновыми нитями-филаментами.

Волоски выходят в полость внутреннего уха; в нижней части рецептора – синапс.



Волосковые рецепторы возбуждаются при изгибе волосков от меньшего к большому. Почему?

Длительное время считали, что здесь работают механочувствительные ионные каналы, которые меняют размер «прохода» при деформации (как в системах кожной и мышечной чувствительности).

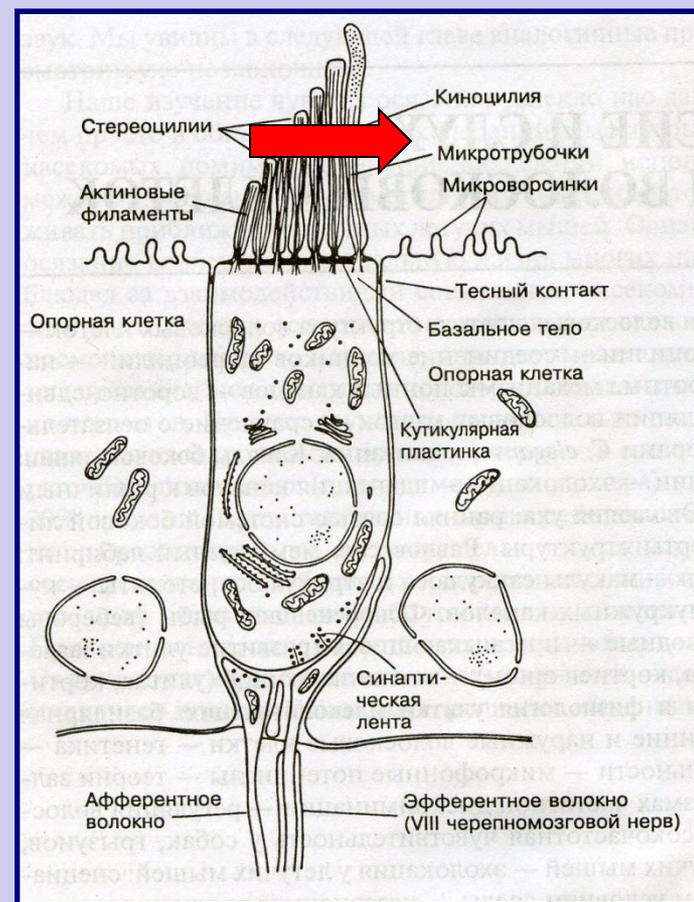


Рецепторы несут чувствительные волоски-цилии.

Киноцилия – одиночный бывший жгутик с микротрубочками; только в вестиб. системе.

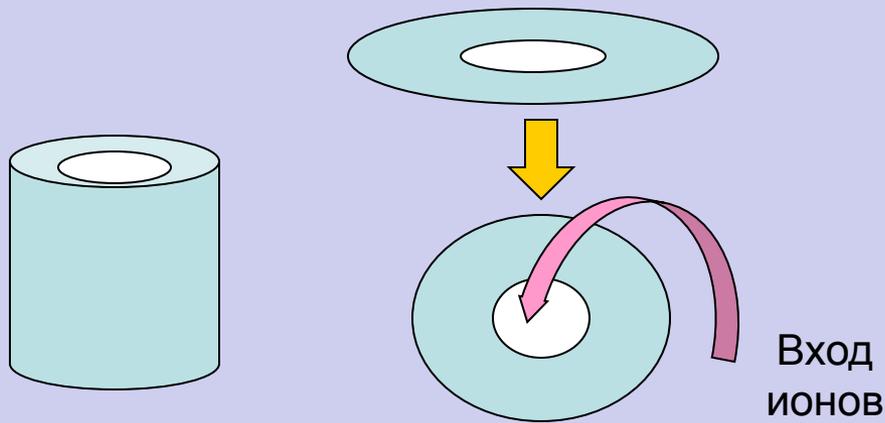
Стереоцилии – от 10 до 50-60; выросты с актиновыми нитями-филаментами.

Волоски выходят в полость внутреннего уха; в нижней части рецептора – синапс.

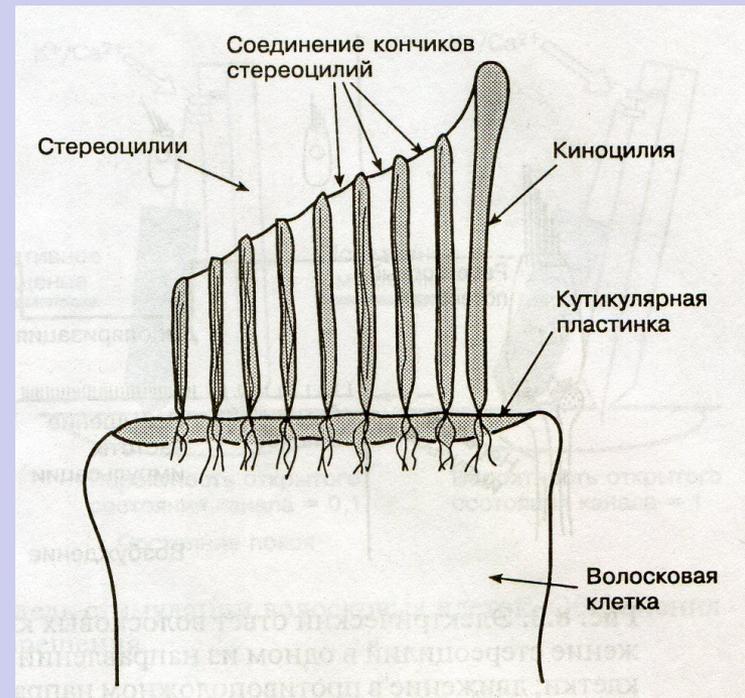


Волосковые рецепторы возбуждаются при изгибе волосков от меньшего к большему. Почему?

Длительное время считали, что здесь работают механочувствительные ионные каналы, которые меняют размер «прохода» при деформации (как в системах кожной и мышечной чувствительности).

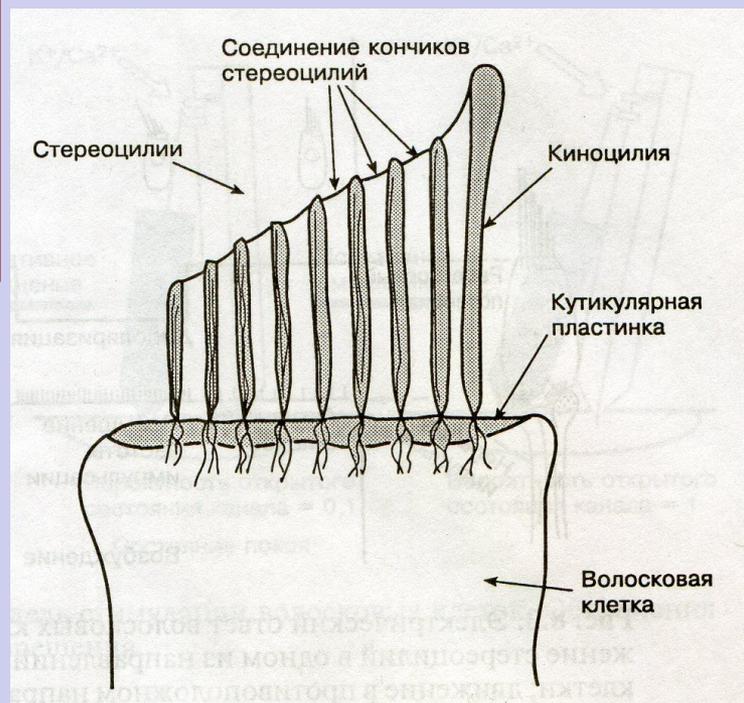
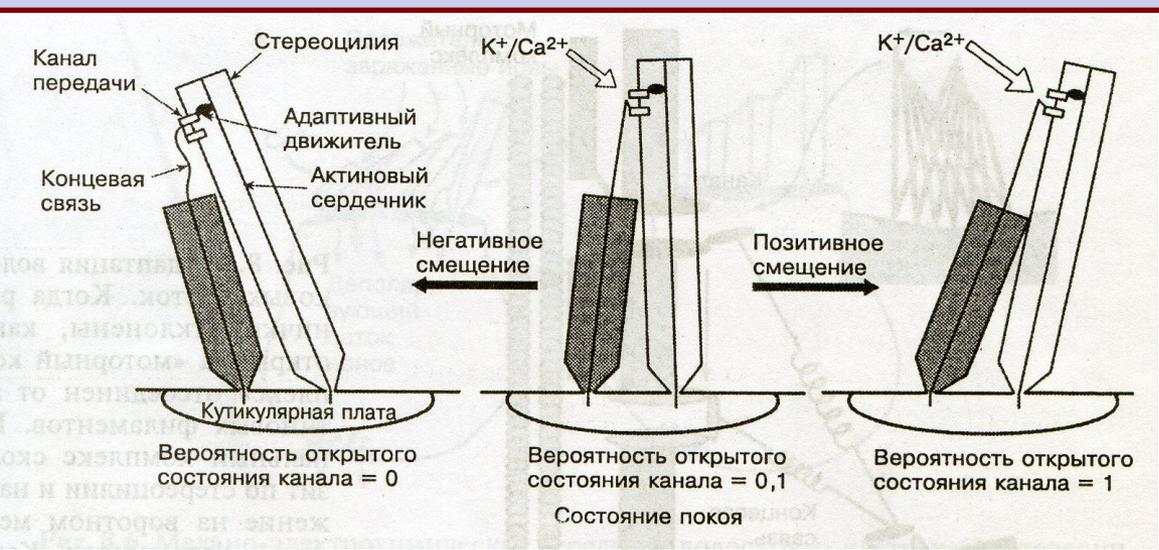


Все оказалось несколько сложнее и интереснее: электронная микроскопия позволила разглядеть белковые нити, соединяющие кончики волосков.



Было доказано существование каналов со створками, к которым крепятся нити.

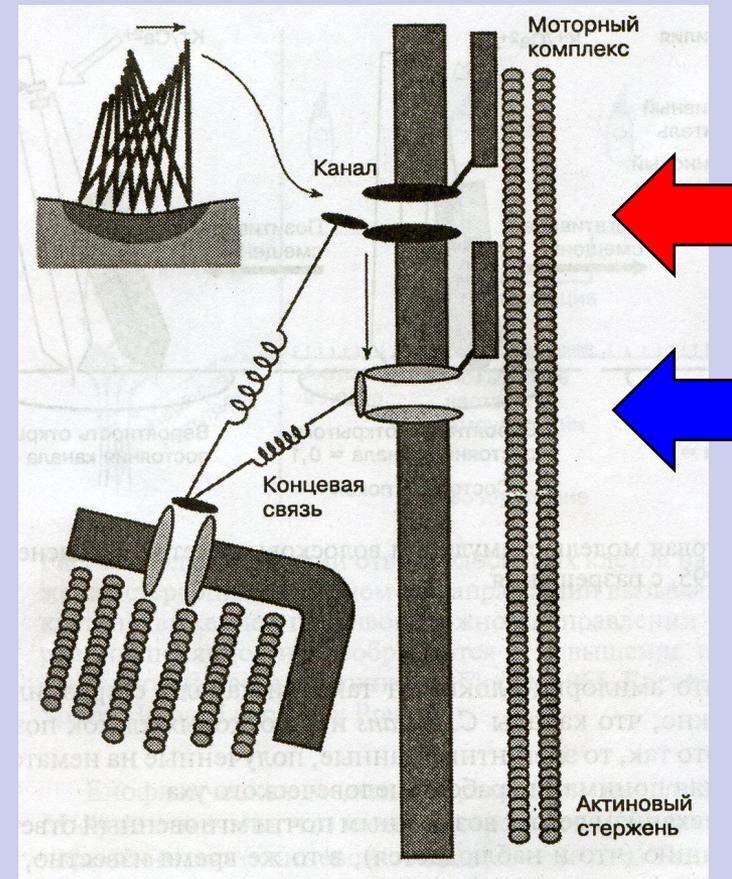
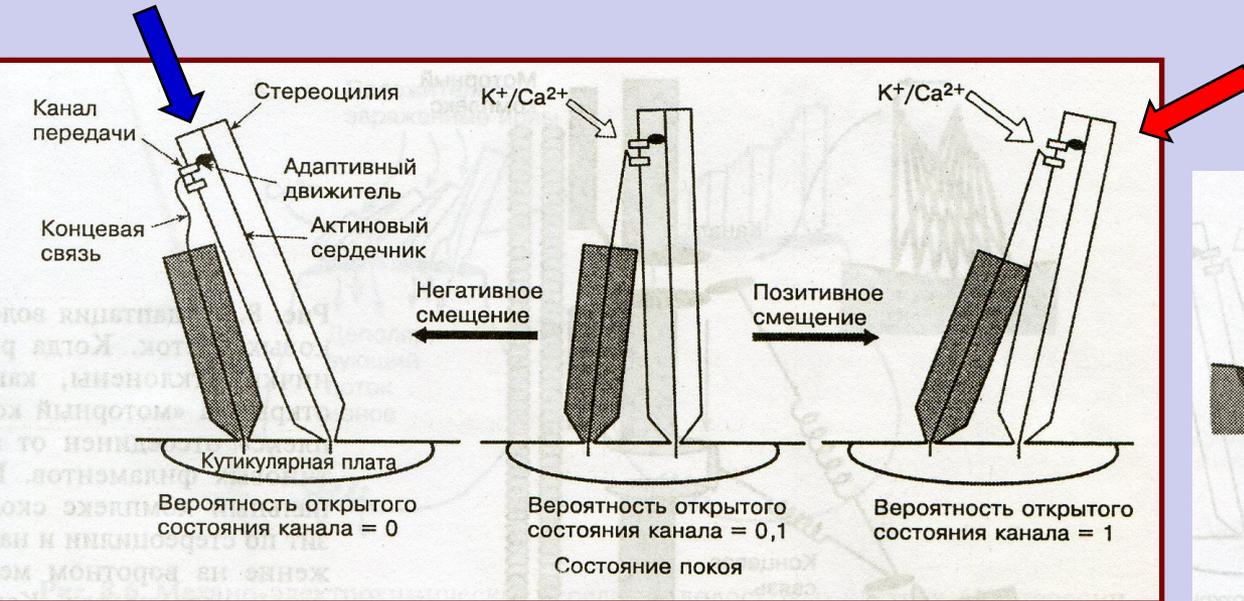
Вход калия и развитие рецепторного потенциала происходят при изгибе волосков в правильном направлении; изгиб в противоположную сторону ведет к небольшому торможению активности рецептора.



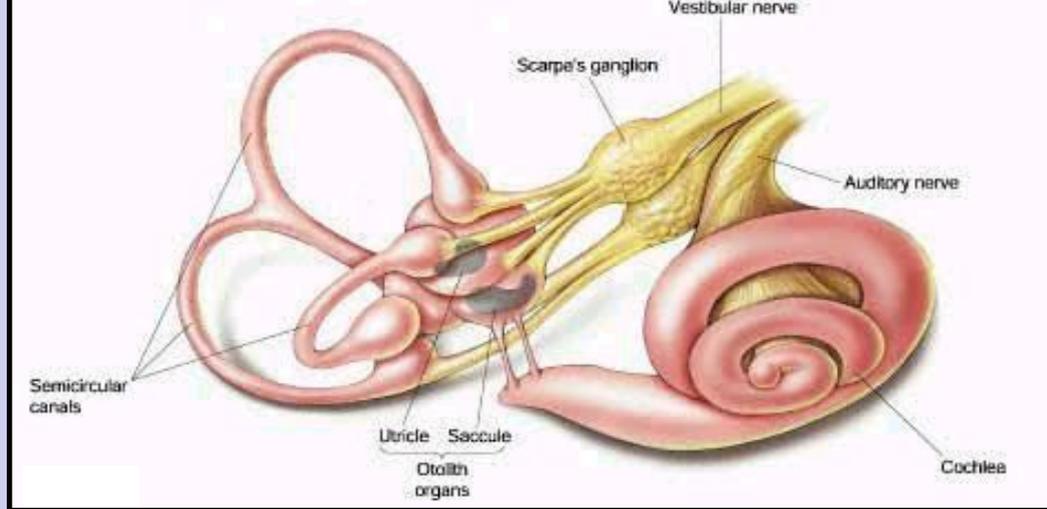
Все оказалось несколько сложнее и интереснее: электронная микроскопия позволила разглядеть белковые нити, соединяющие кончики волосков.

Было доказано существование каналов со створками, к которым крепятся нити.

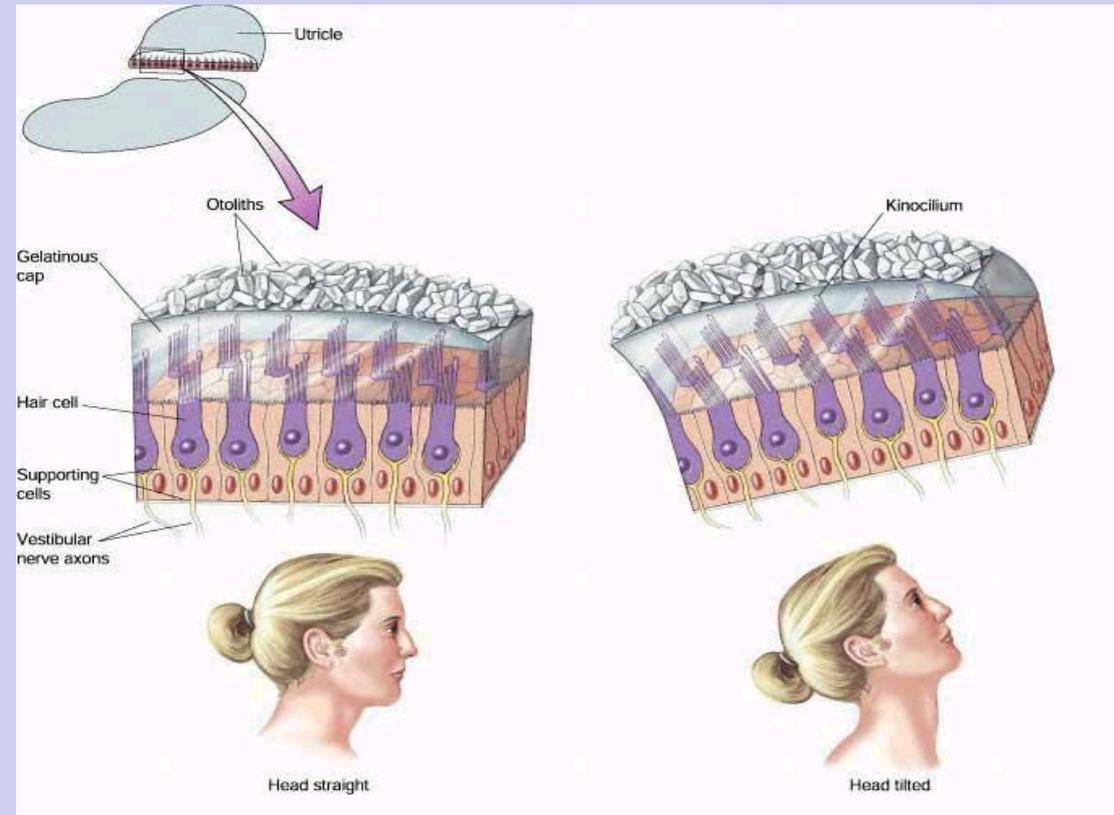
Вход калия и развитие рецепторного потенциала происходят при изгибе волосков в правильном направлении; изгиб в противоположную сторону ведет к небольшому торможению активности рецептора.



Все оказалось несколько сложнее и интереснее: электронная микроскопия позволила разглядеть белковые нити, соединяющие кончики волосков.



В вестибулярных мешочках и каналах над волосковыми клетками в лимфе плавает особая желеобразная масса, укрепленная «слуховыми камнями» – отолитами (отолитовая мембрана).



**Реакция на линейное ускорение:** смещение желеобразной массы за счет инерции при появлении ускорения (либо изменения положения головы в пространстве) ведет к деформации волосков и возбуждению (торможению) некоторой части рецепторов.

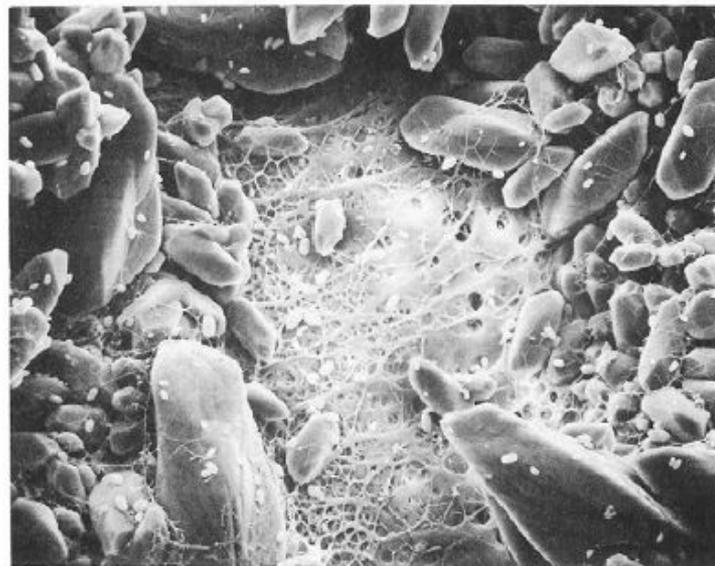
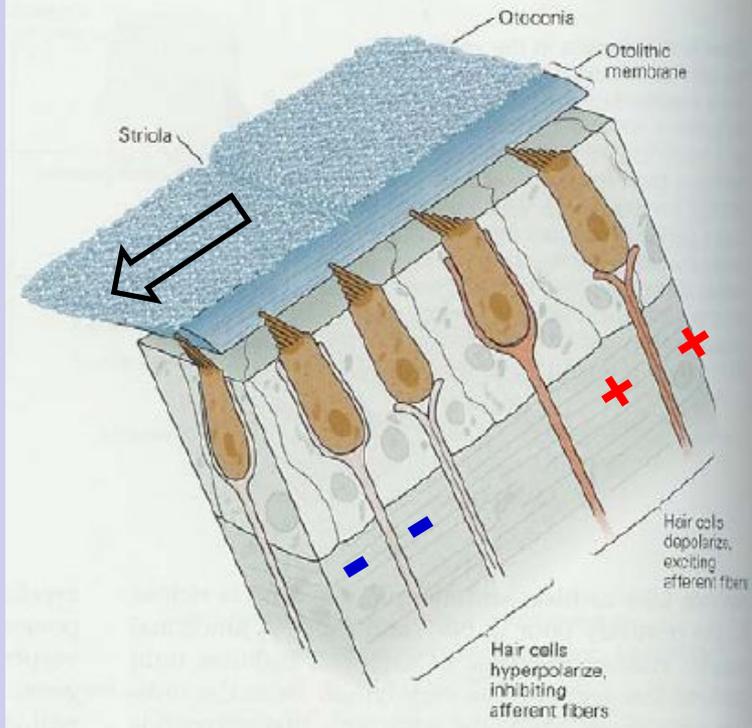
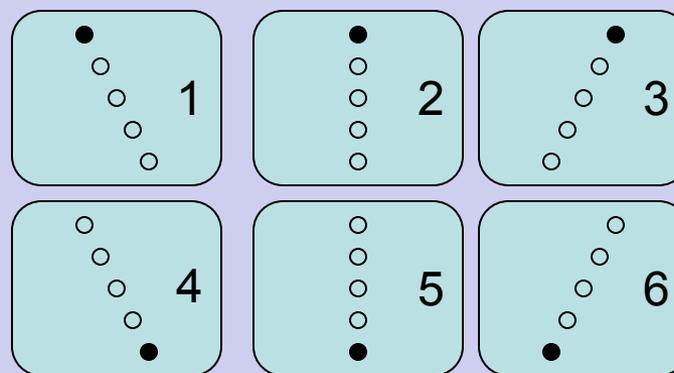


Fig. 2-13. Scanning electron micrograph of otoconia. Some otoconia are bound together by a network of fine fibers.

**Отолиты – карбонат кальция.**

Два правых рецептора – активация, два левых – торможение.

В целом гребень волосков каждого рецептора настроен на «свое» направление ускорения.



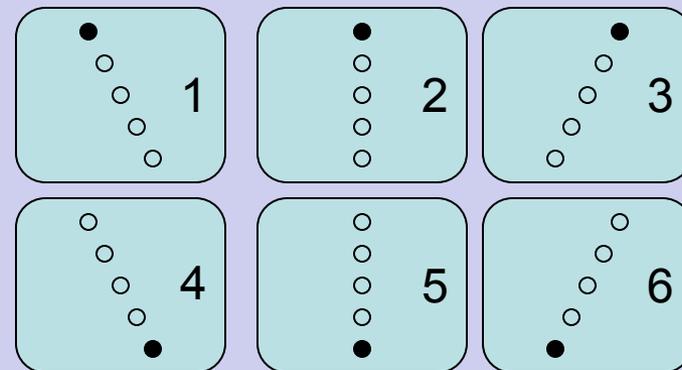
Темная точка – киноцилия. Какой рецептор из 6-ти будет сильнее всего активирован при сдвиге тела вверх?

Сигнал от каждого рецептора топически («поточечно») передается в вестибулярные ядра, нейроны которых врожденно связаны с восприятием соответствующих направлений ускорения.

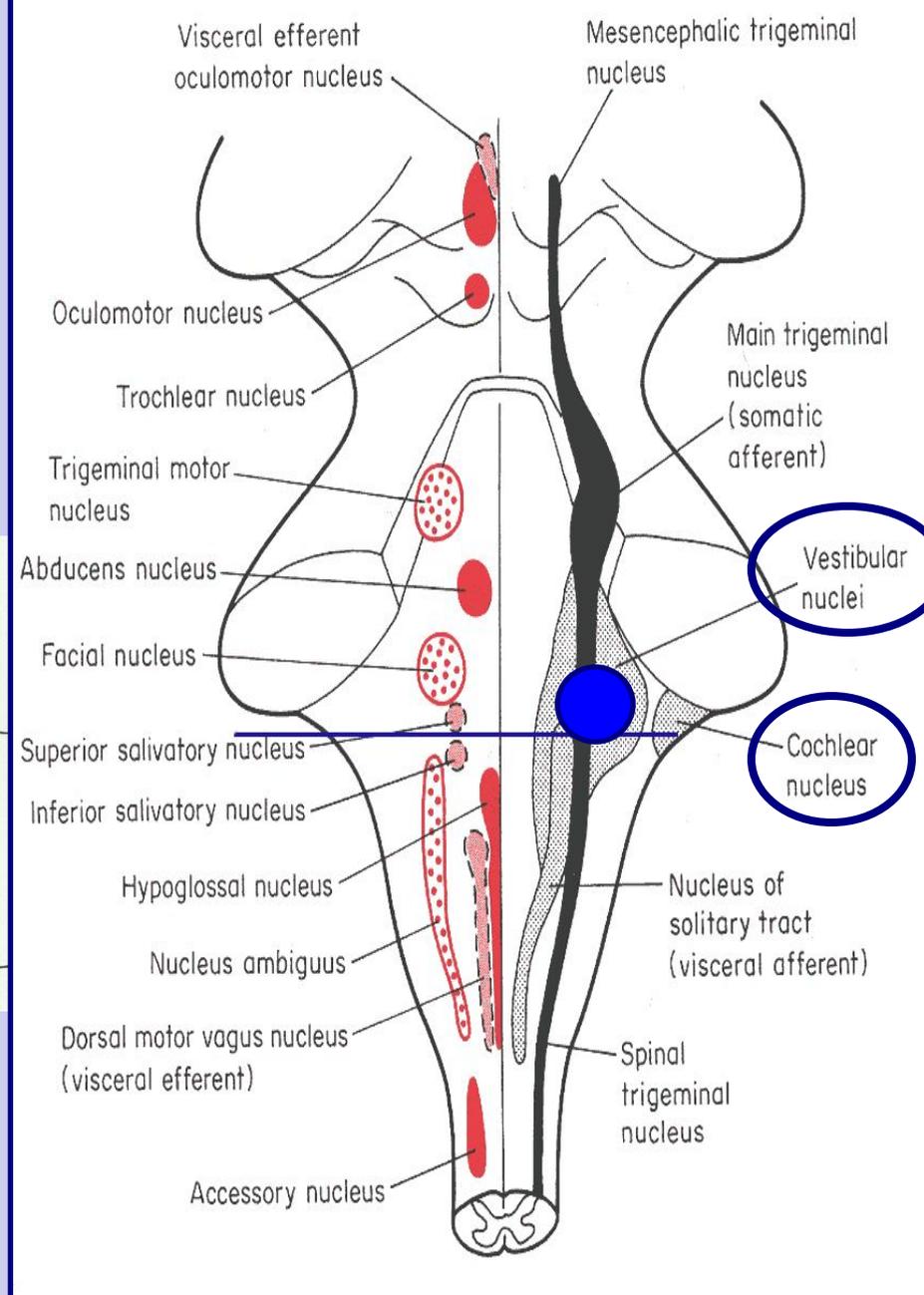
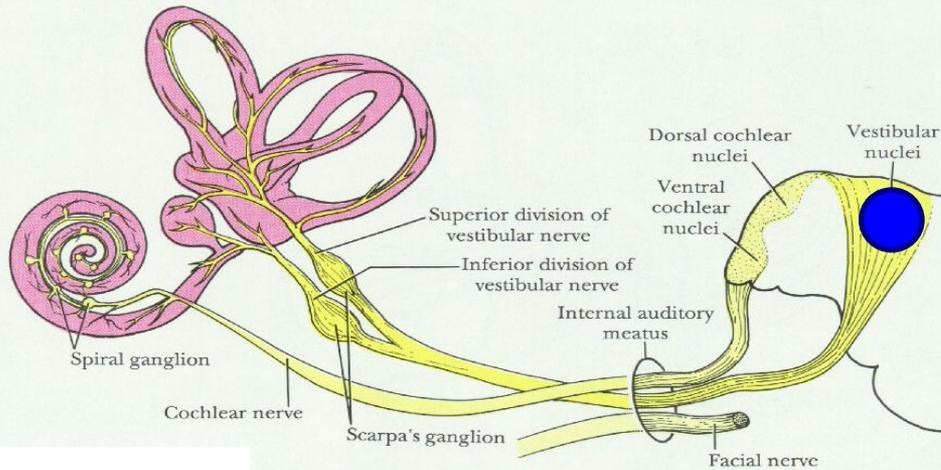
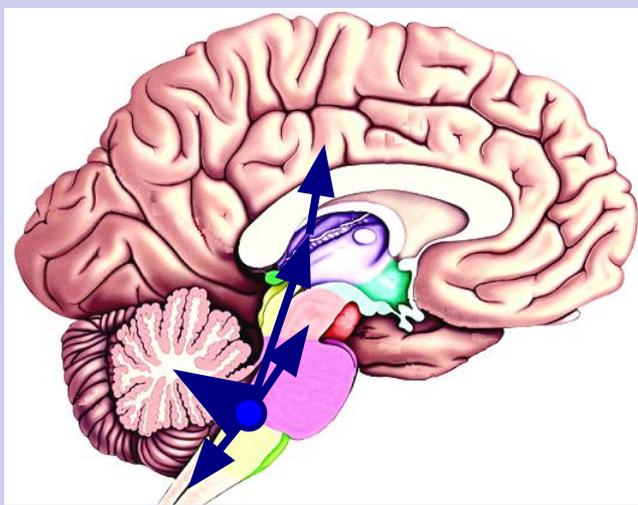
Чувствительность мешочков и вестибулярной системы в целом к линейным ускорениям составляет примерно  $2 \text{ см/сек}^2$ .

Порог различения наклонов головы рецепторами мешочков вперед-назад составляет около  $2^\circ$ , вправо-влево –  $1^\circ$ .

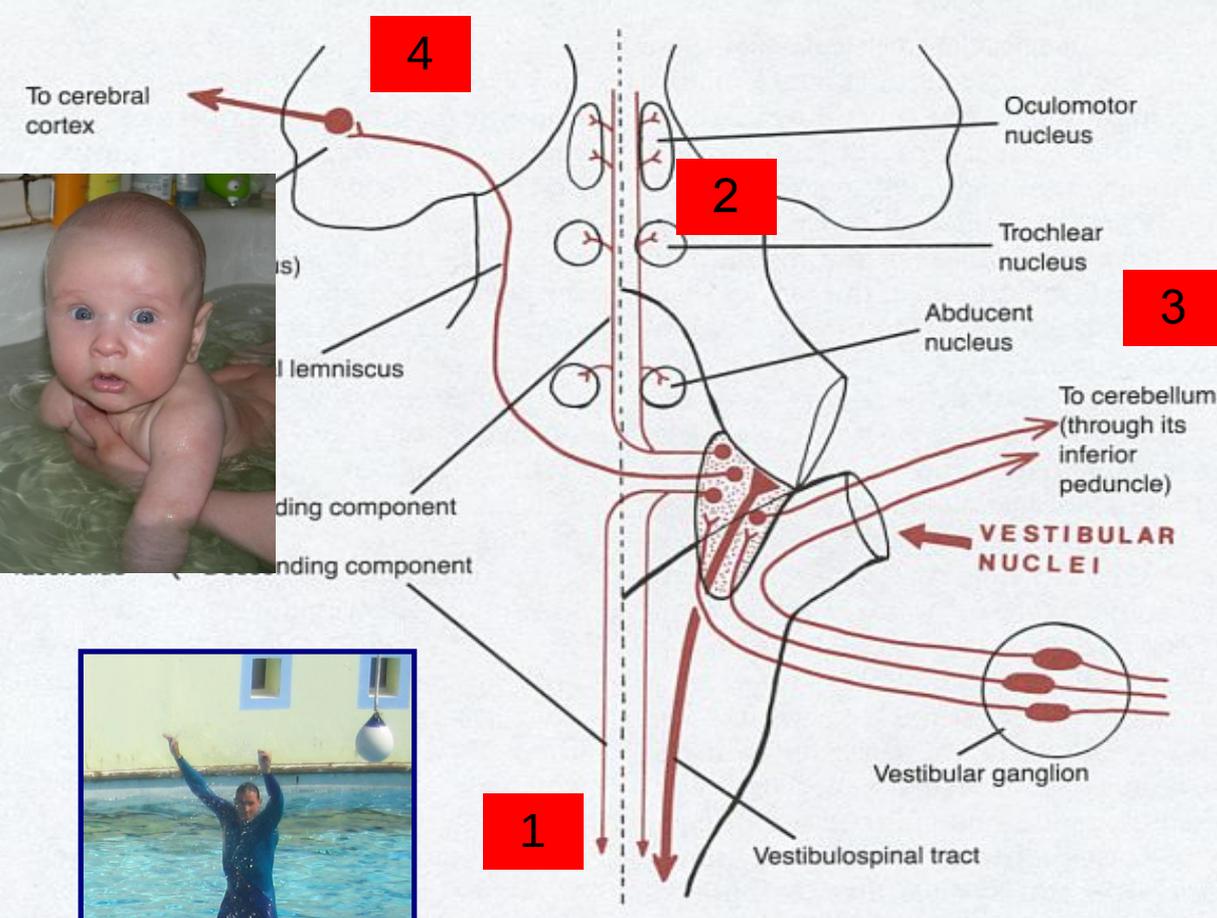
Рецепторы каналов реагируют на угловое ускорение (вращения, повороты); при этом каналы взаимно перпендикулярны и характеризуют вращение в трех измерениях пространства.



Темная точка – киноцилия. Какой рецептор из 6-ти будет сильнее всего активирован при сдвиге тела вверх?

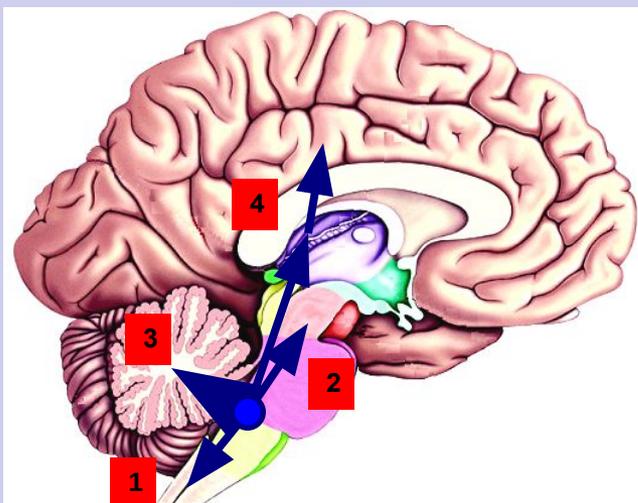


Нерв от внутреннего уха идет в ромбовидную ямку (продолговатый мозг и мост). Вестибулярные ядра, как эволюционно более древние, расположены ближе к центральной линии мозга.

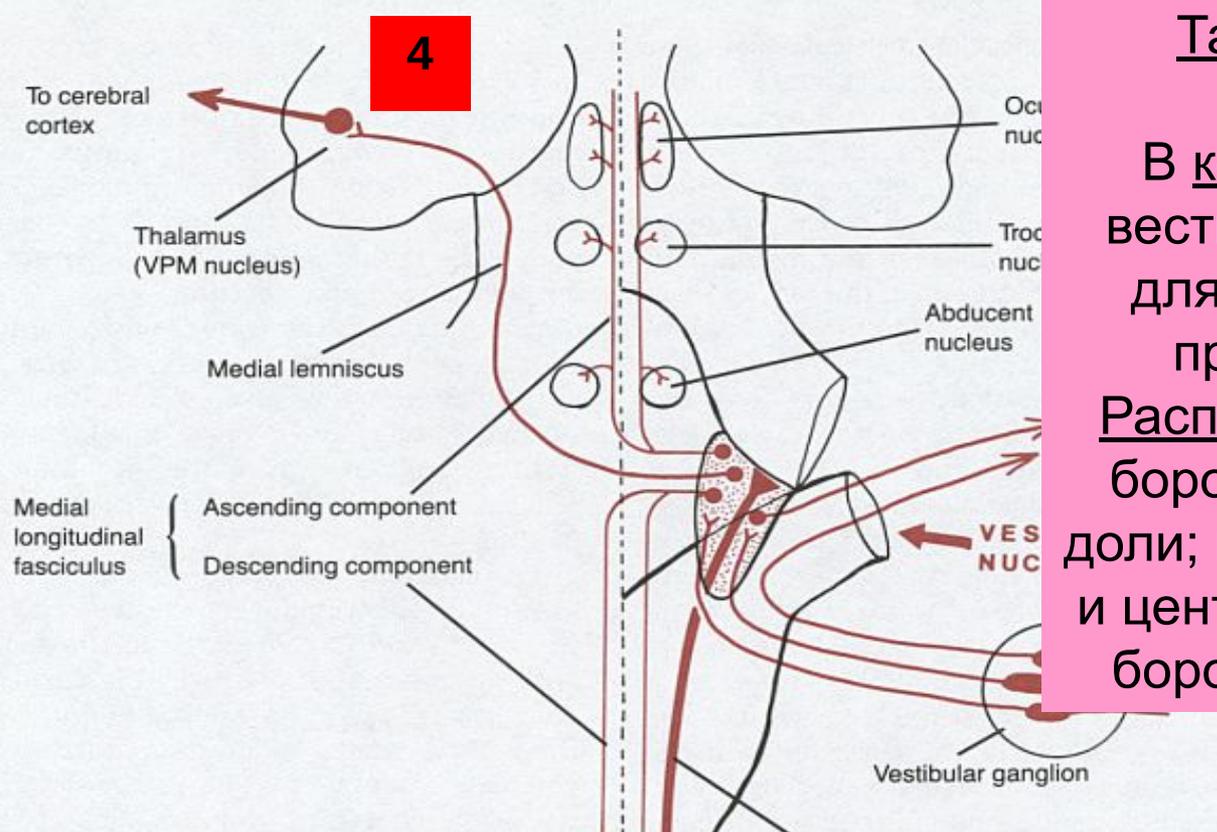


Дальнейшая быстрая передача вестибулярной информации (прежде всего, для коррекции движений):

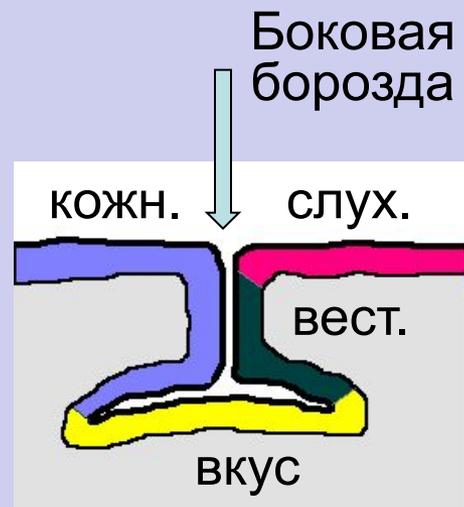
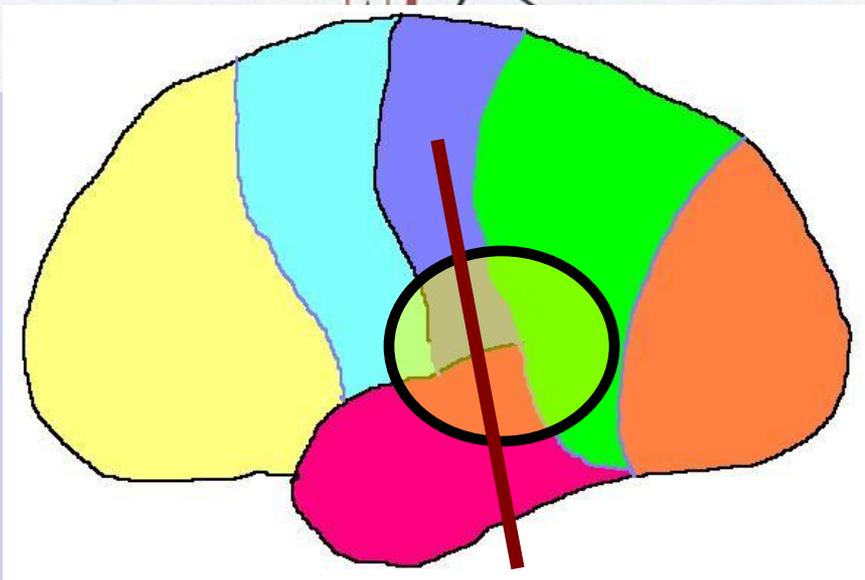
- 1) в спинной мозг (вестибулярные рефлексy)
- 2) в средний мозг (глазодвигательные рефлексy)
- 3) в мозжечок (автоматизация движений)
- 4) в таламус (далее – кора больших полушарий).

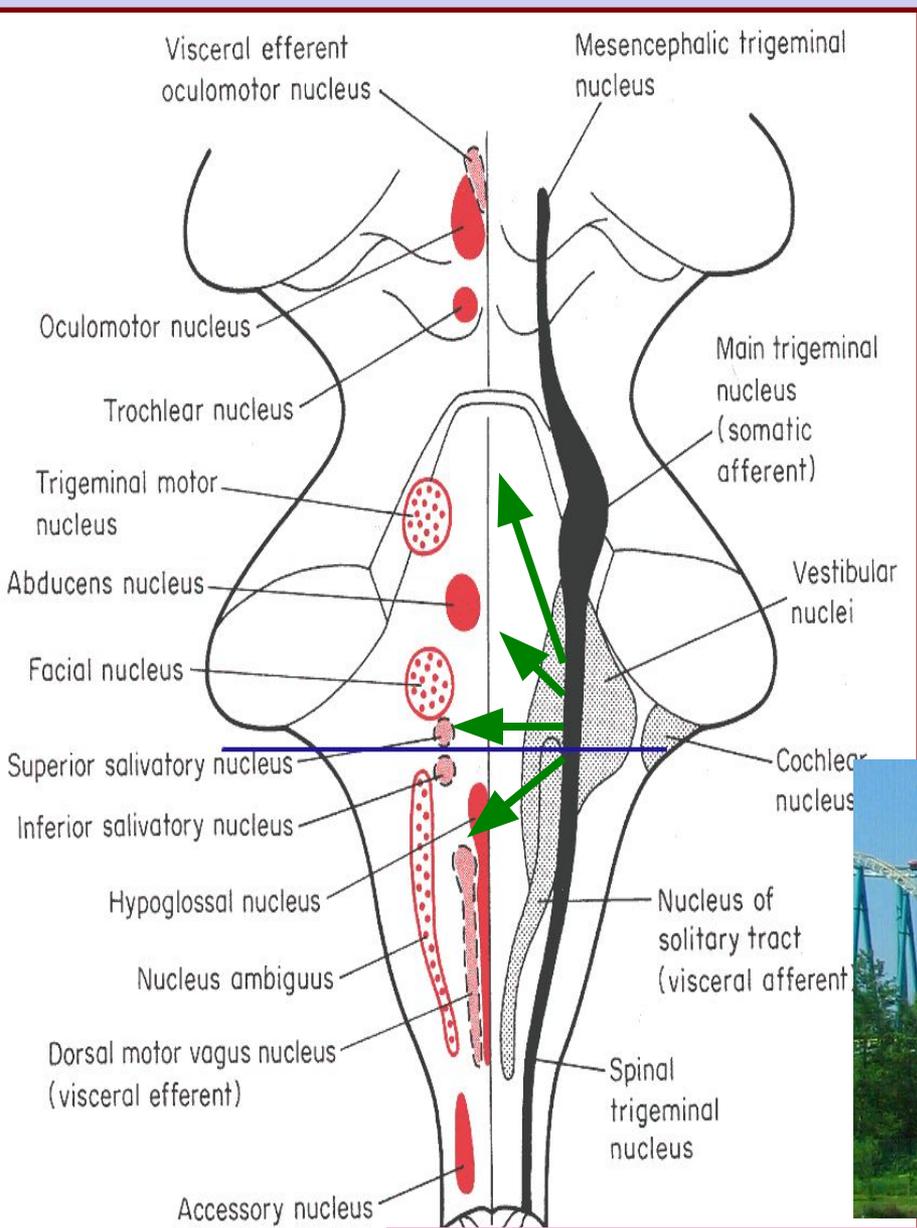


4



Таламус: фильтр инф-ии (функция внимания).  
В коре больших полушарий вестиб. сигналы используются для построения и коррекции произвольных движений.  
Расположение: стенка боковой борозды со стороны височной доли; граничит со слуховой корой и центром вкуса (на дне боковой борозды в островковой доле).





Укачивание – иррадиация (распространение) возбуждения по центрам ромбовидной ямки.

Для борьбы с укачиванием используется тормозное действие Н1-антагонистов: драмина и т.п. (важно не принять слишком много, а то уснете)



Вестибулярная система как источник положительных эмоций (новизна ощущений!)

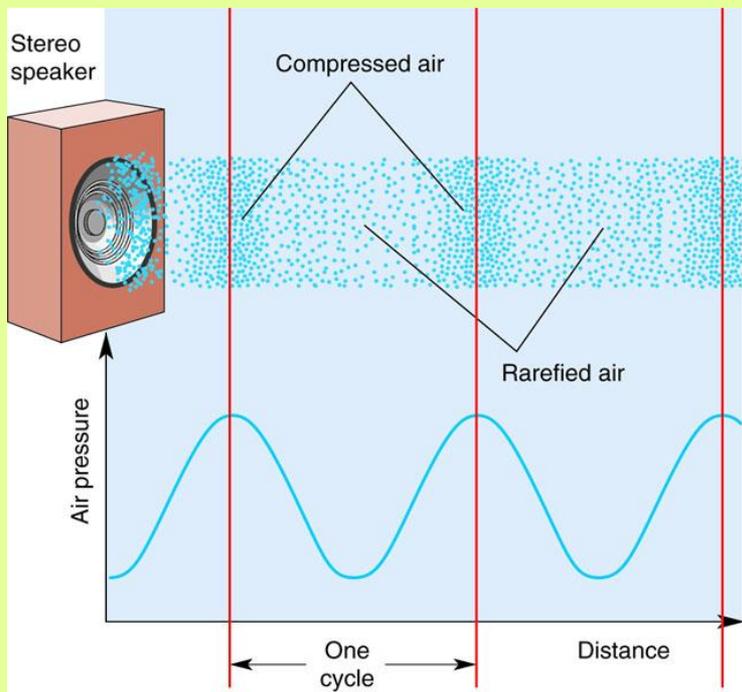


# MAN ON WIRE

"Exhilarating."  
STEPHEN HOLDEN ON ROLLING STONE

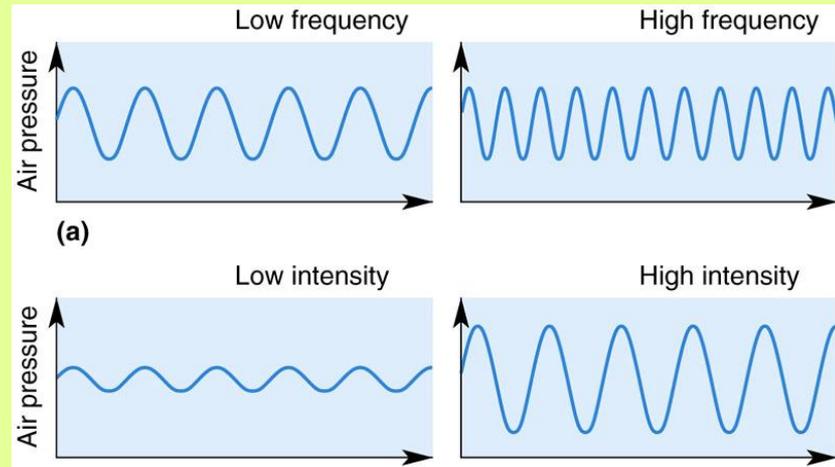


Филипп Пети (1949); 1974 – на высоте более 400 м между Близнецами 45 мин, ОСКАР 2009 (докум. фильм)



**Вестибулярная система:** «количество стимула» = величина ускорения, «качество стимула» = направление ускорения.

**Слуховая система:** «количество стимула» = интенсивность («громкость») звука, «качество стимула» = частота звуковых волн («тональность»).

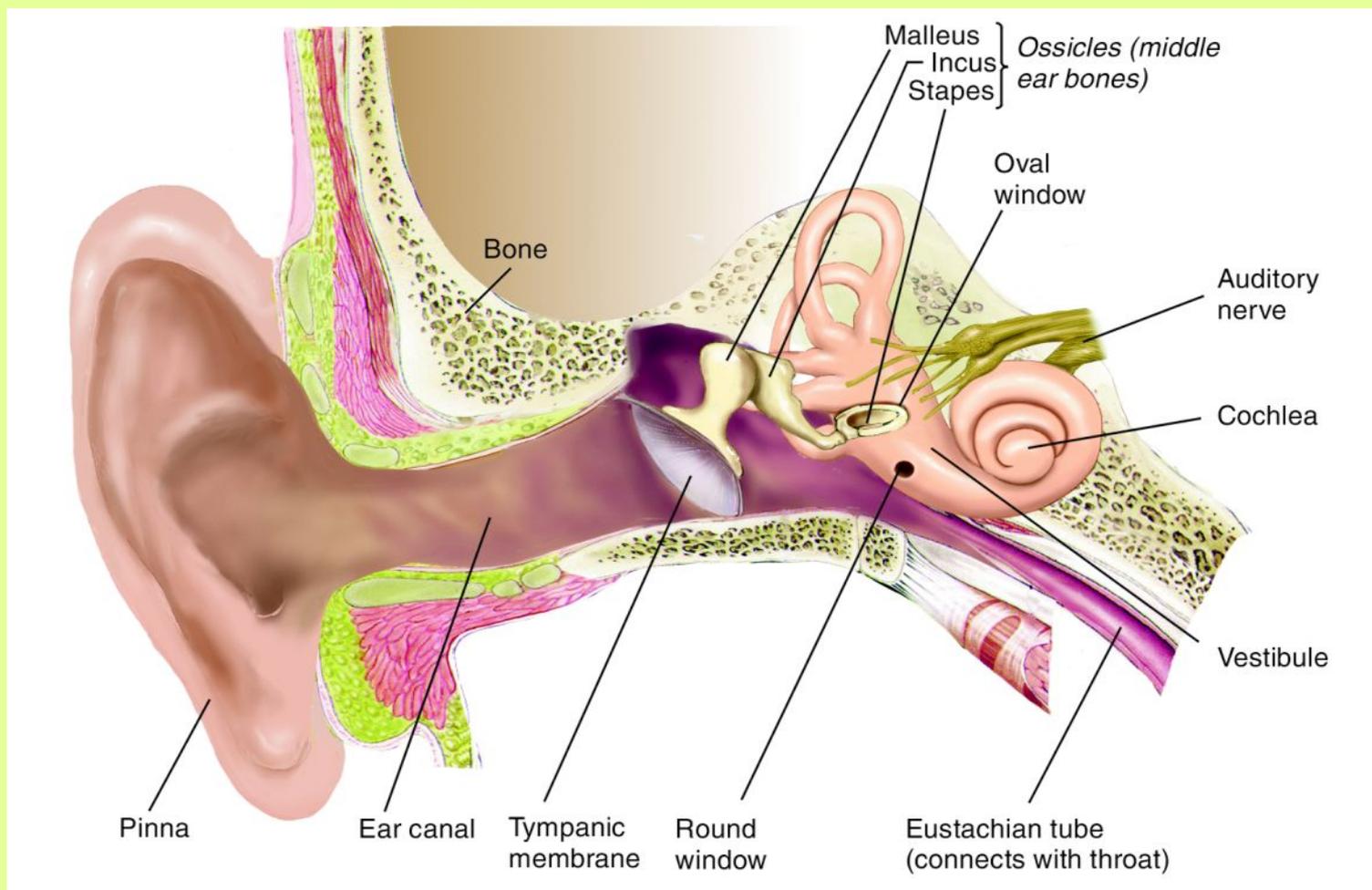


**В воде:** достаточно внутреннего уха;  
 при выходе **на сушу** – сначала среднее ухо (барабанная перепонка на поверхности головы), а потом – наружное ухо (птицы и млекопитающие).

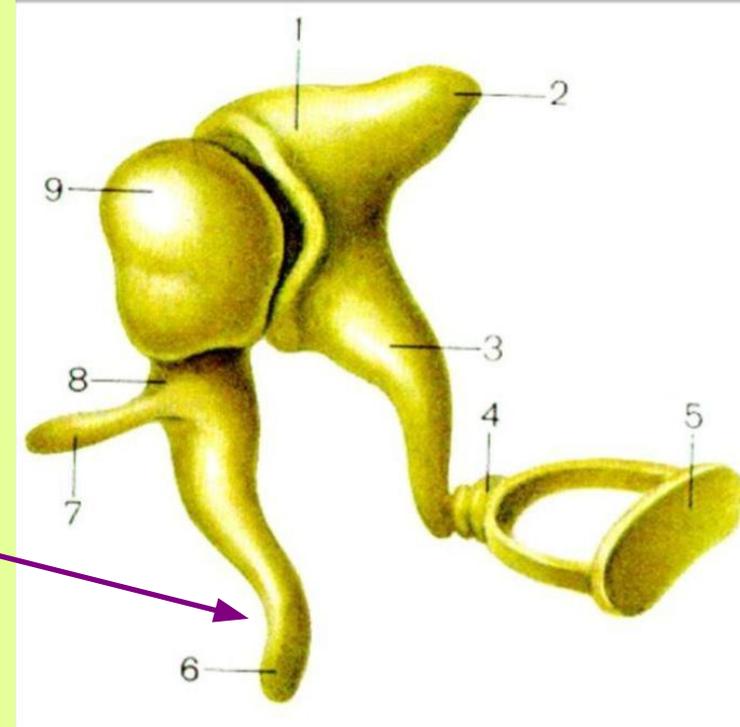
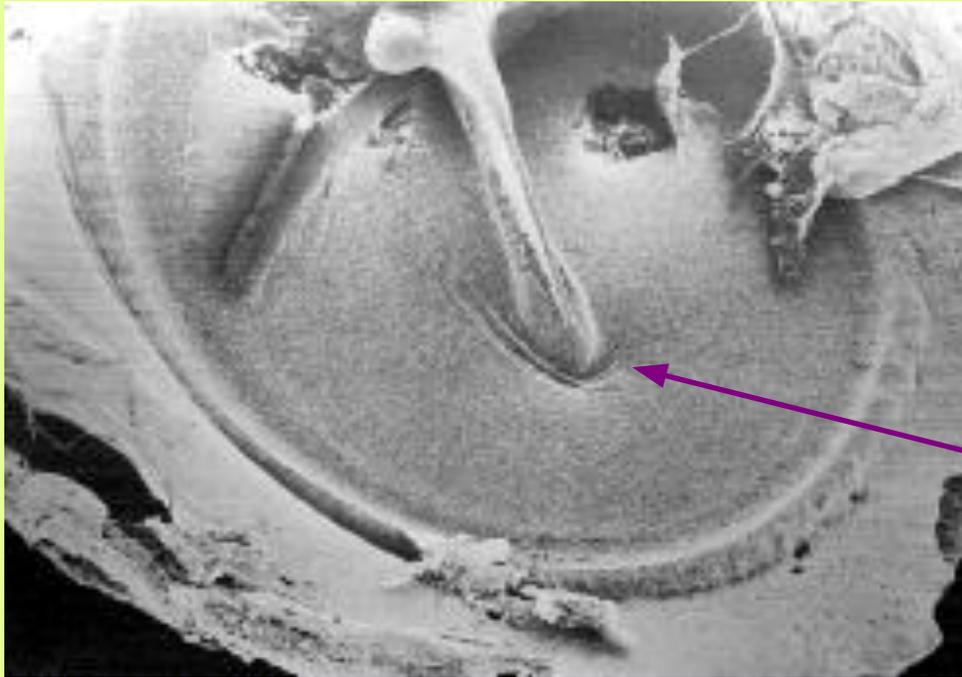


Наружное ухо: «рупор» для сбора колебаний воздуха.

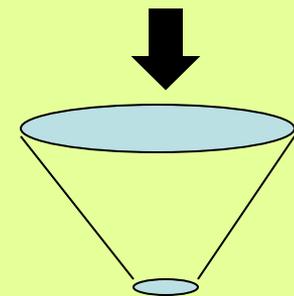
Среднее ухо: энергия колебаний воздуха улавливается барабанной перепонкой и передается слуховыми косточками на стенку улитки («овальное окно»). В результате возникают колебания лимфы, наполняющей улитку («бегущая волна»), что приводит к изгибу волосков и возбуждению расположенных вдоль улитки рецепторов.

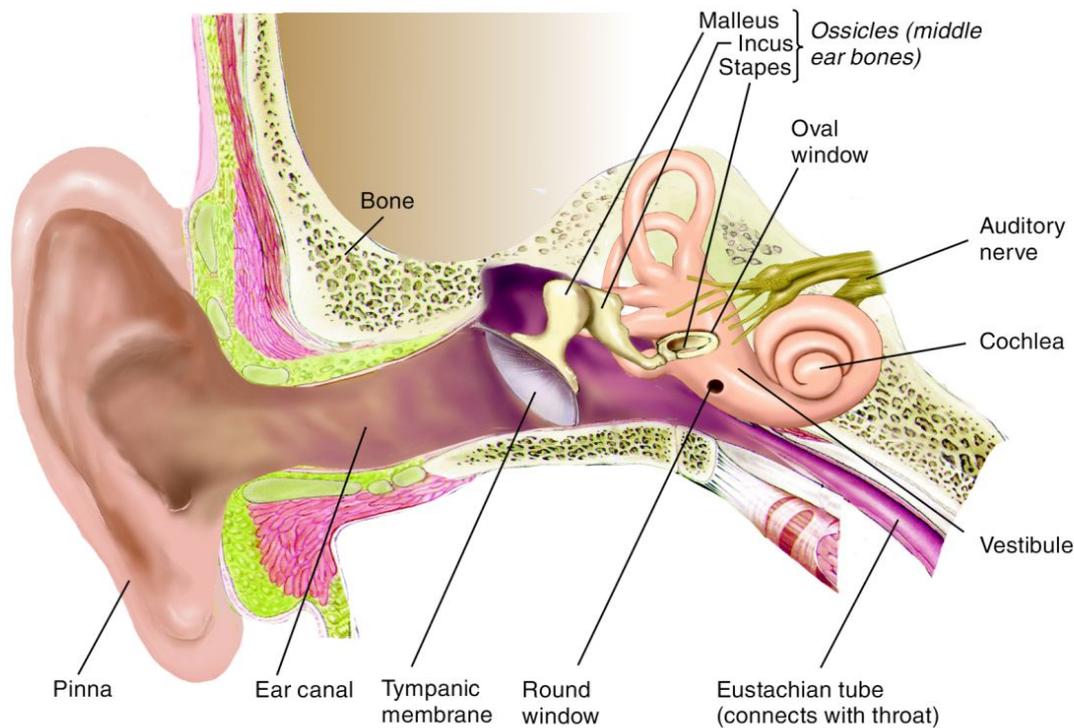


# Membrana tympanica: барабанная перепонка



Соотношение  $S$  барабанной перепонки к  $S$  овального окна =  $20 : 1$   
(система сбора энергии колебаний воздуха;  
«принцип канцелярской кнопки»)

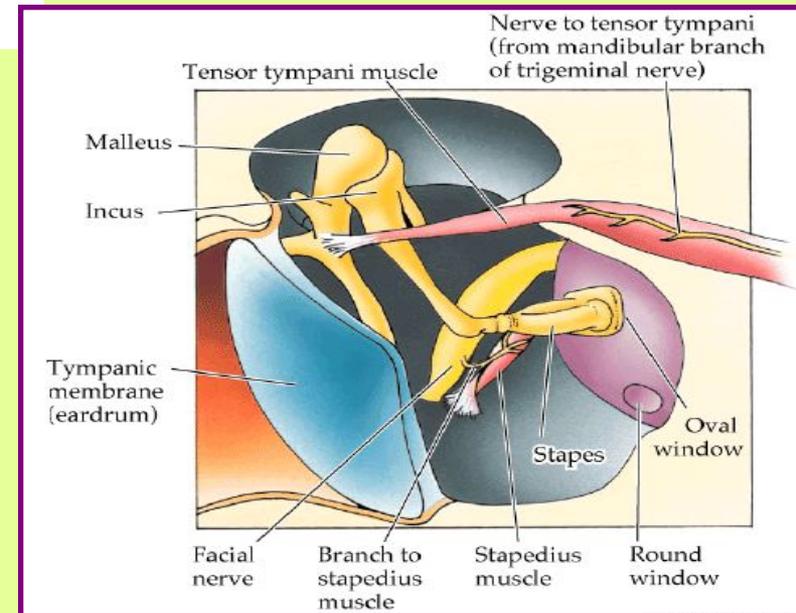




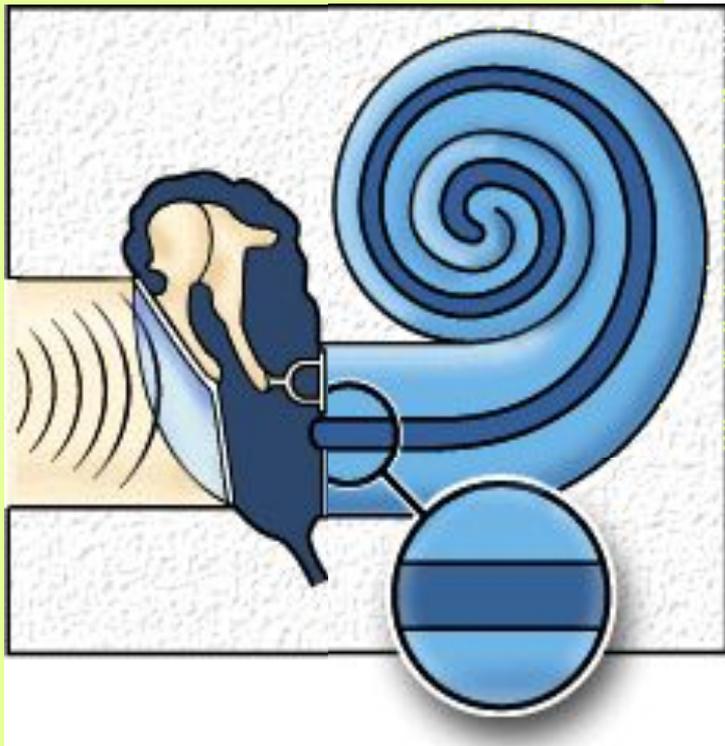
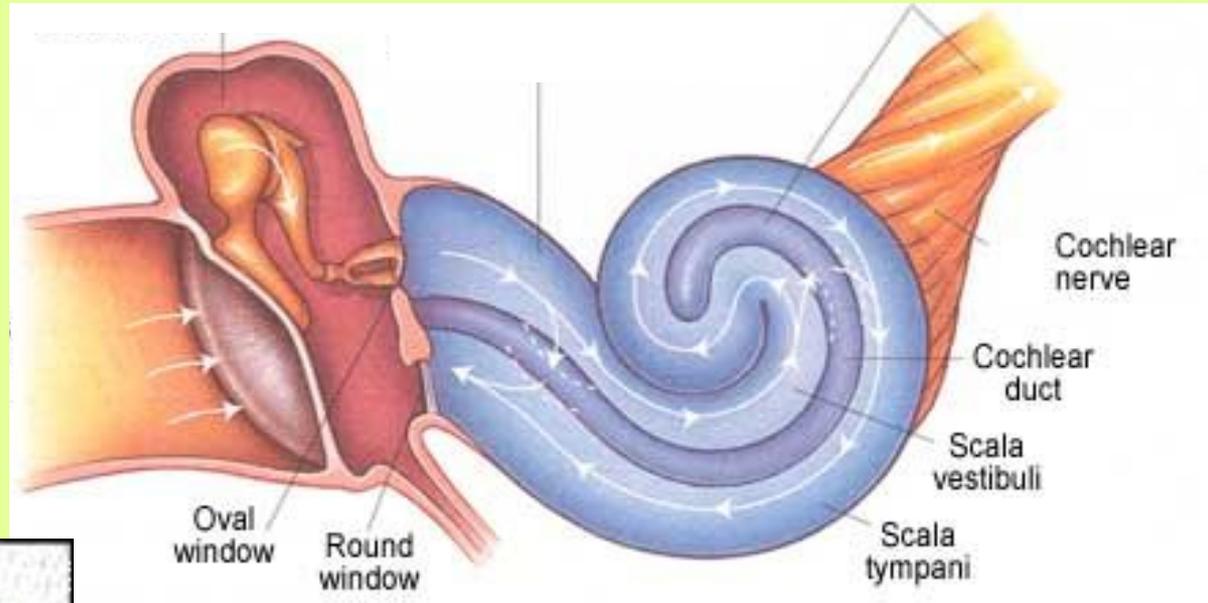
## СРЕДНЕЕ УХО:

1. Барабанная полость
2. Слуховая (евстахиева) труба для выравнивания давления воздуха по обе стороны барабанной перепонки.
3. Слуховые косточки: молоточек (malleus), наковальня (incus), стремя (stapes).

4. Мышца, напрягающая барабанную перепонку (m. tensor tympani) и стременная мышца (m. stapedius) – адаптация к громким звукам.
5. Овальное и круглое окна в стенке улитки; наличие круглого окна предотвращает слишком быстрое угашение колебаний лимфы.



**Распространение колебаний по каналам улитки:**  
из верхнего канала в нижний + колебания базилярной мембраны.

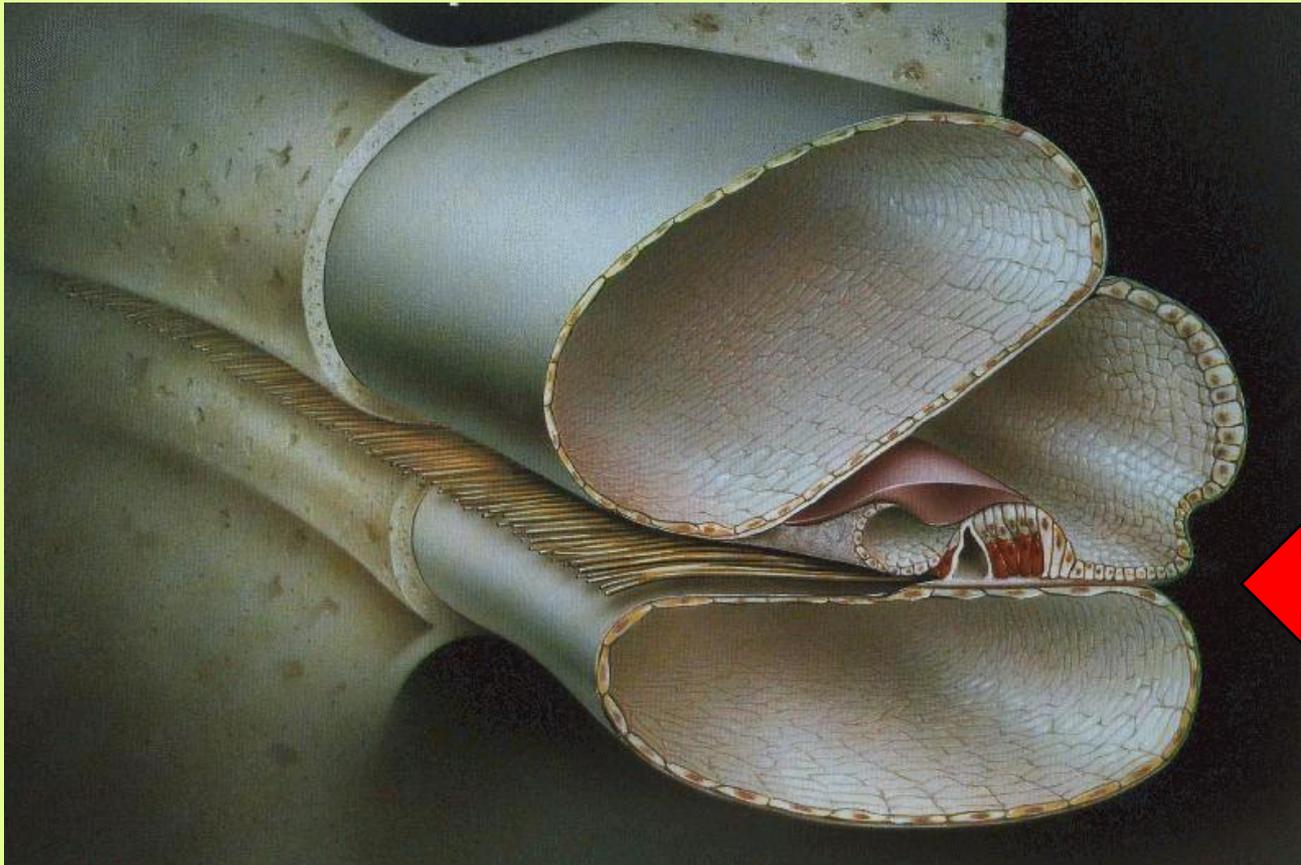


**Улитка:** две мембраны, три канала.



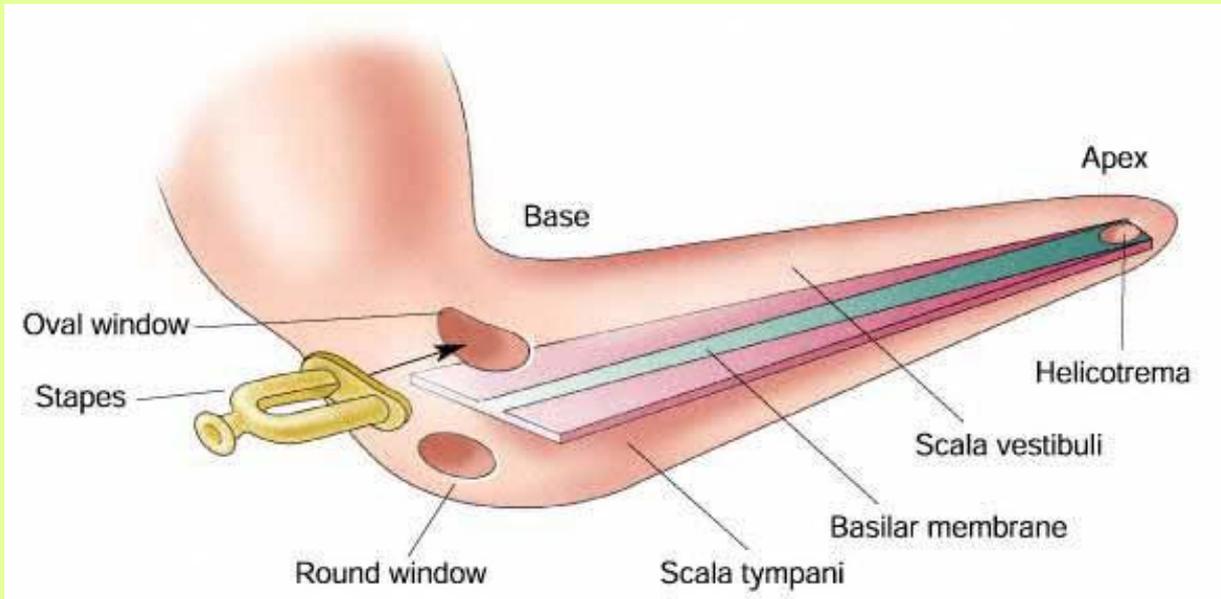
## Поперечный разрез улитки.

Лестница преддверия (верхний канал), барабанная лестница (нижний канал) и улитковый проток (средний канал);  
Рейснерова (верхняя) и базиллярная мембраны  
+ текториальная мембрана над волосковыми рецепторами.

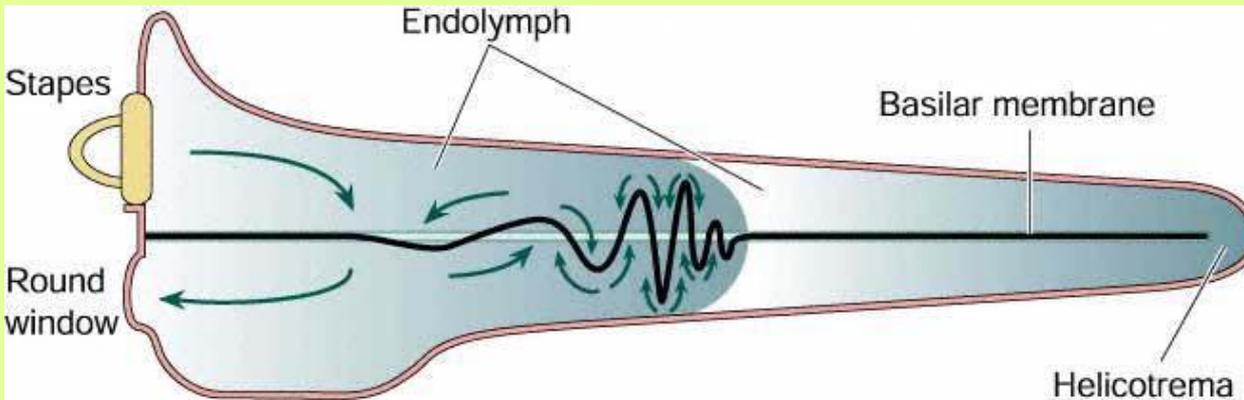
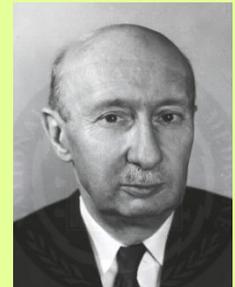
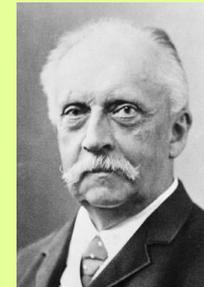


# Улитка (растянутое изображение):

чем дальше от овального окна, тем шире базилярная мембрана.



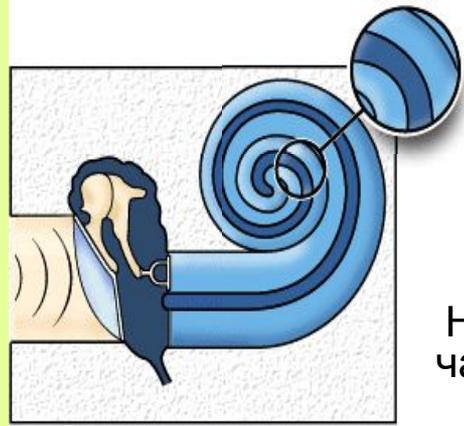
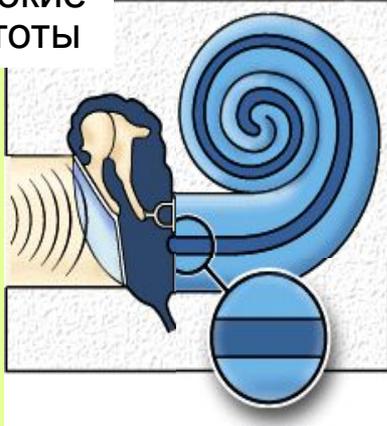
**Герман Гельмгольц:**  
резонансная теория  
слуха (базилярная  
мембрана как «арфа»  
).  
*Но анатомически  
«струны» не  
обнаруживаются.*



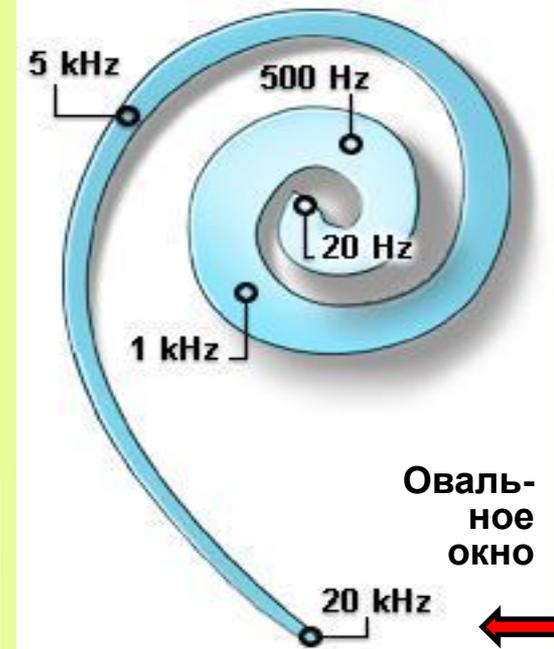
**Георг Бекеш:**  
чем ниже частота  
колебаний, тем  
дальше от овального  
окна оказывается пик  
«бегущей волны».

# Улитка: разные части базилярной мембраны отвечают на разные частоты (20-20000 Гц)

Высокие частоты

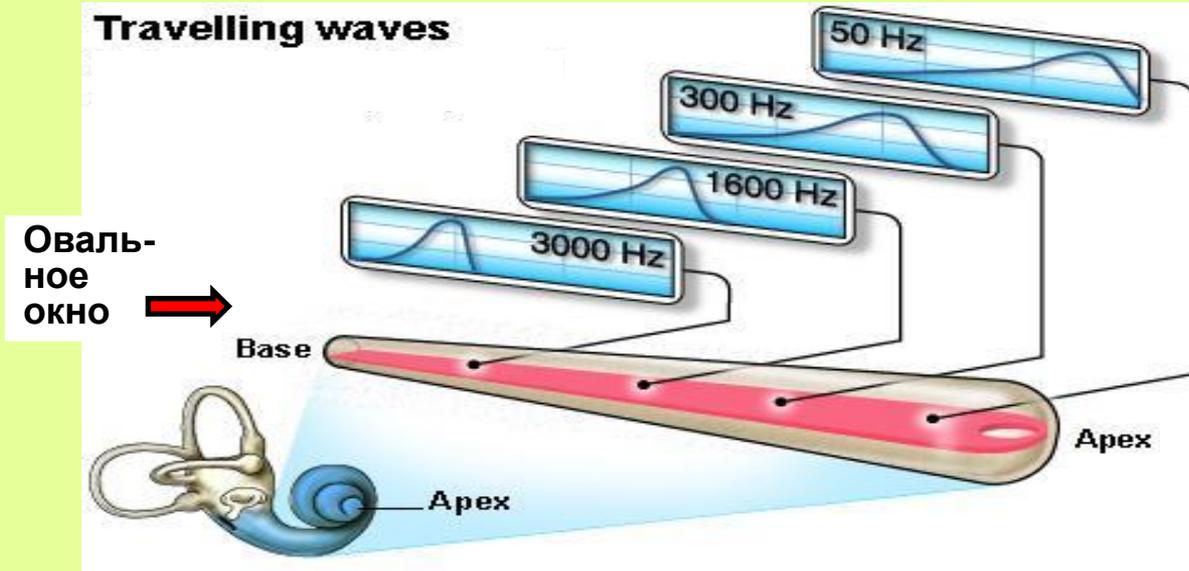


Низкие частоты



Овальное окно

Travelling waves



Овальное окно

Base

Апекс

Апекс

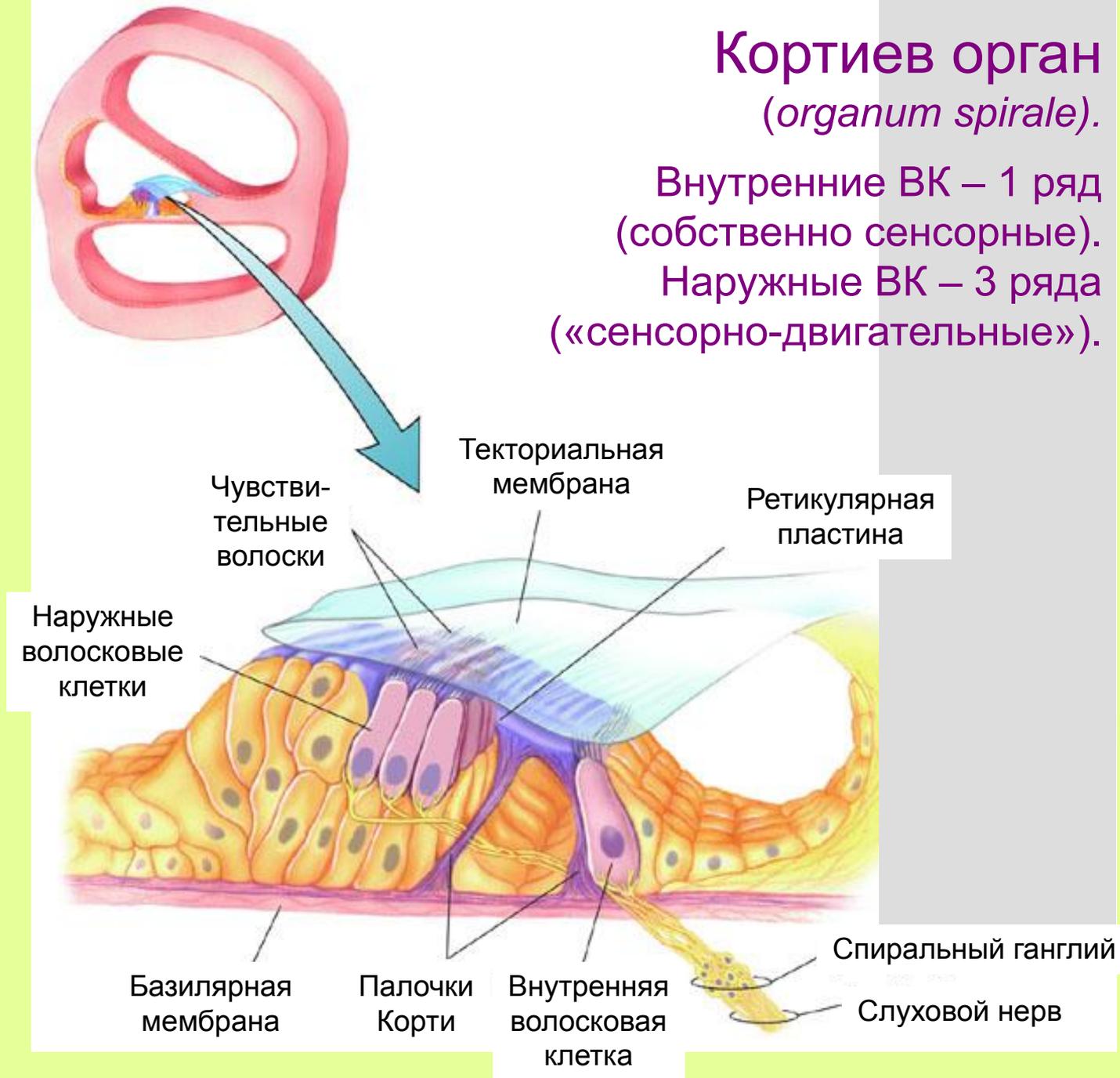
Чем ниже частота колебаний, тем дальше от овального окна оказывается пик «бегущей волны».

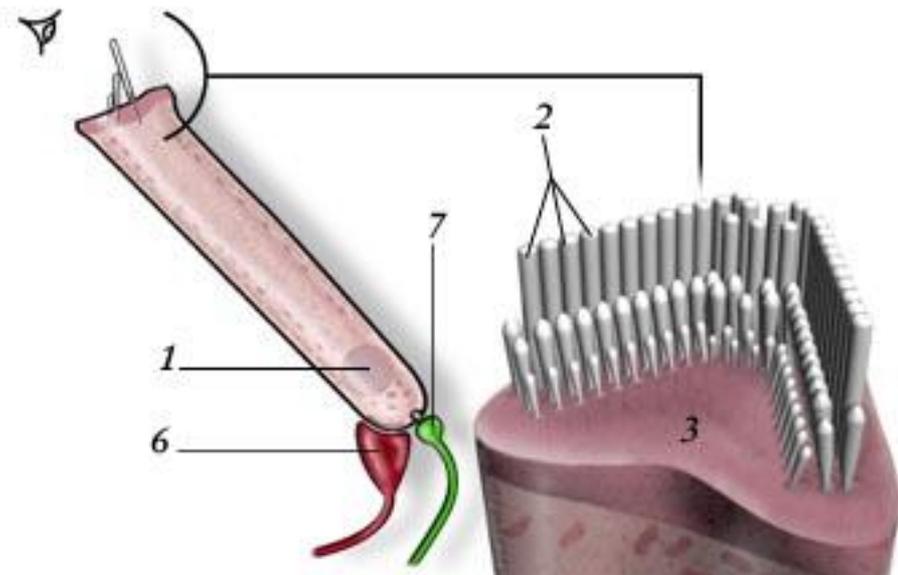
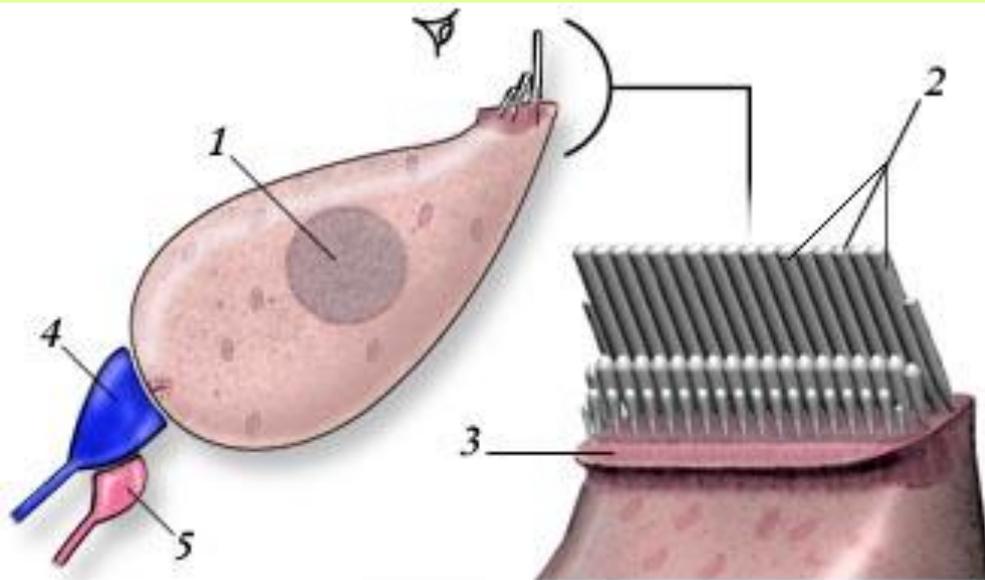
У препарата улитки низкая частотная избирательность (улучшается за счет наружных волосковых клеток).

# Кортиев орган (*organum spirale*).

Внутренние ВК – 1 ряд  
(собственно сенсорные).

Наружные ВК – 3 ряда  
(«сенсорно-двигательные»).



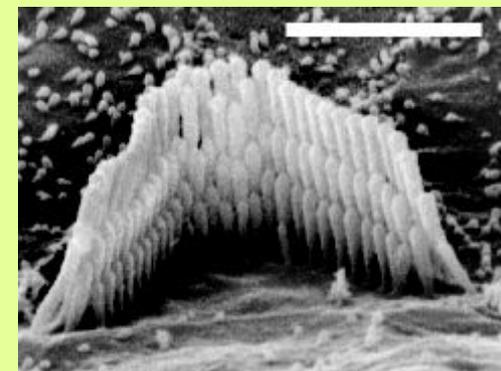


1. Ядро.
2. Стереоцилии.
3. Базилярная мембрана.
- 4, 6. Афферентные (чувствительные) окончания.
- 5, 7. Эфферентные (двигательные) окончания.

Наружная ВК  
(обладает сократимостью)

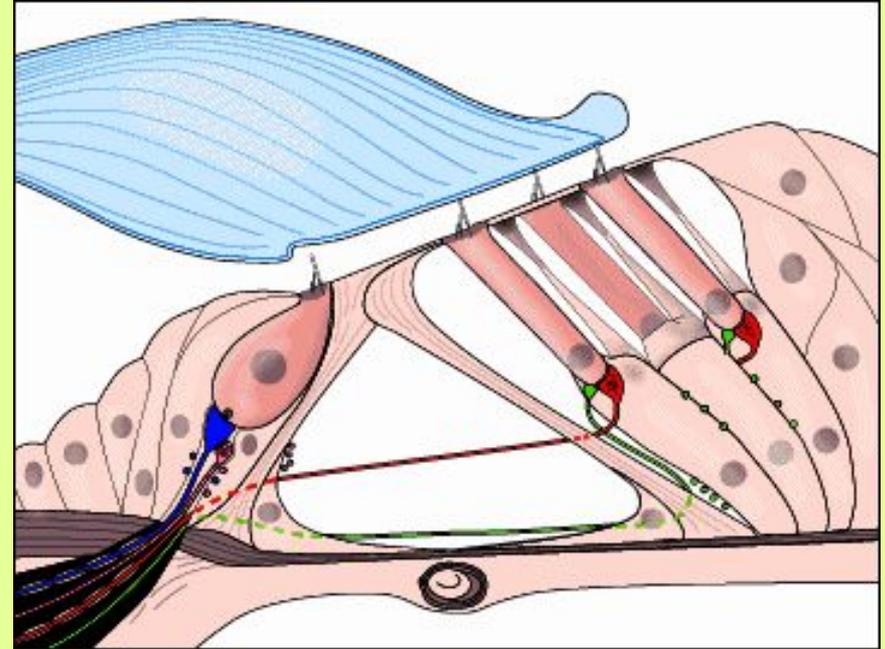
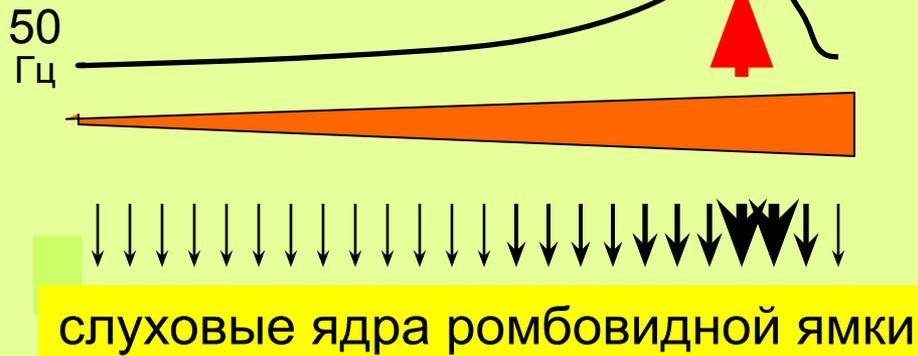


Внутренняя ВК



# Принцип работы кортиева органа

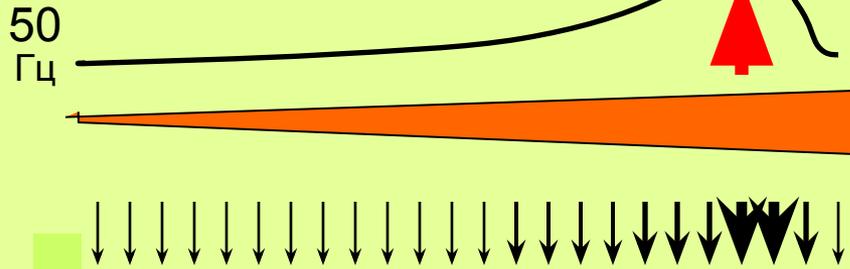
Наружные ВК начинают сокращаться и «тянут на себя» текториальную мембрану, усиливая колебания в зоне пика (резкий рост частотной избирательности).



Звук вызывает смещение базилярной мембраны относительно текториальной, изгиб волосков и возбуждение рецепторов.

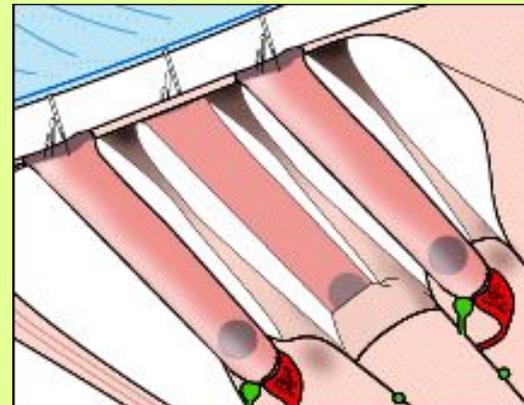
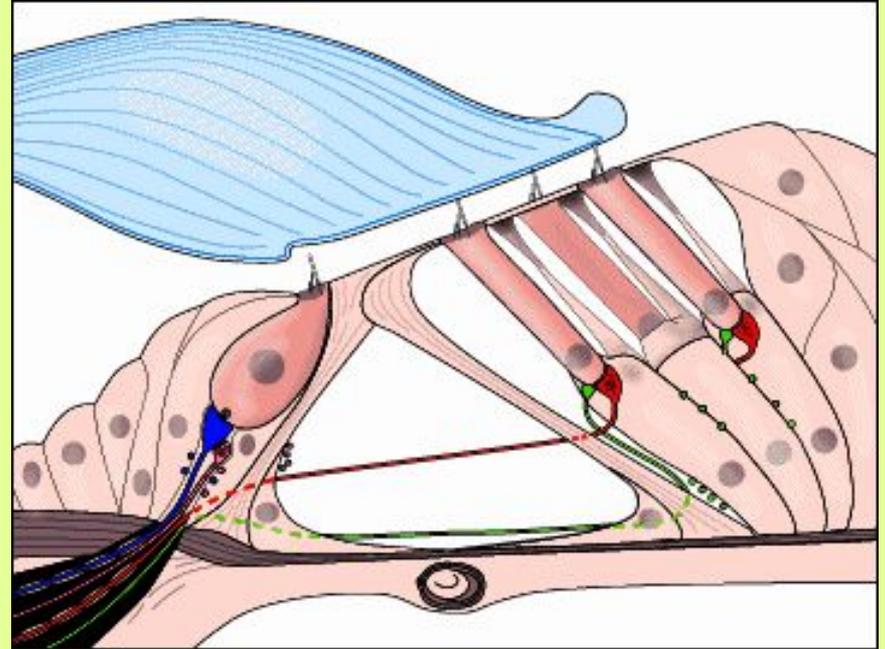
Сигнал от волосковых клеток (ВК) идет в слуховые ядра, где его пик выделяется и возвращается на наружные ВК.

Наружные ВК начинают сокращаться и «тянут на себя» текториальную мембрану, усиливая колебания в зоне пика (резкий рост частотной избирательности).

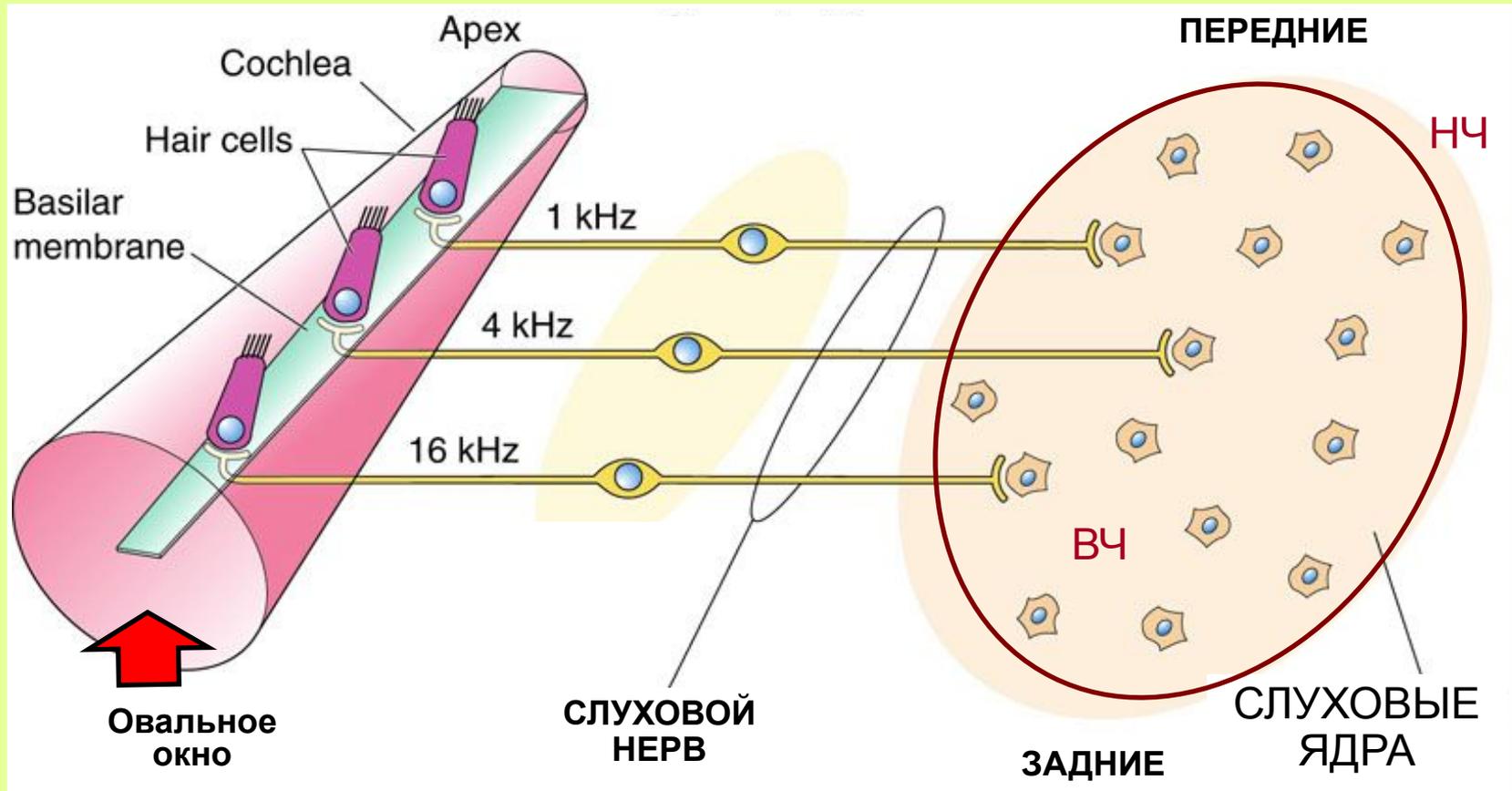


слуховые ядра ромбовидной ямки

## Принцип работы кортиева органа

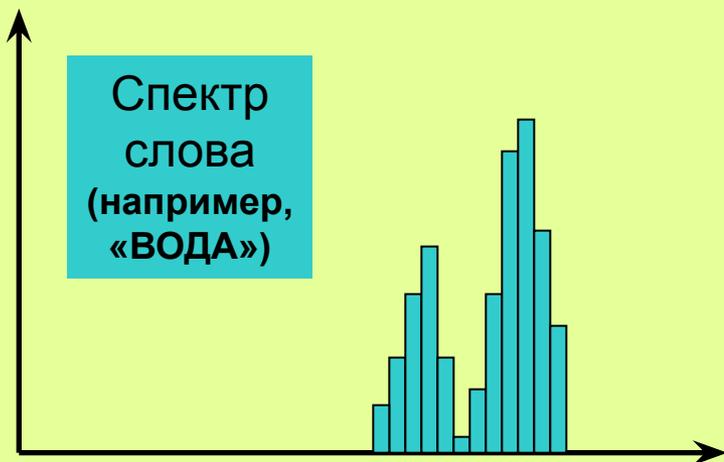
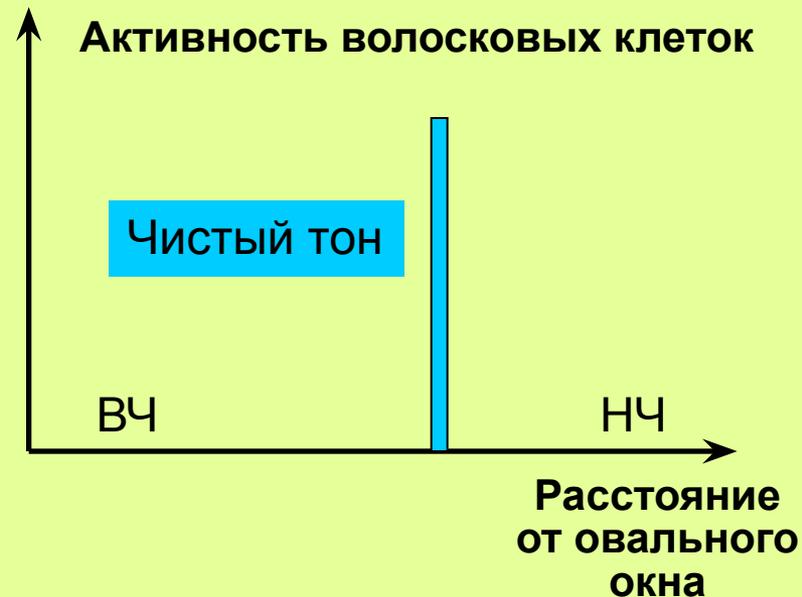
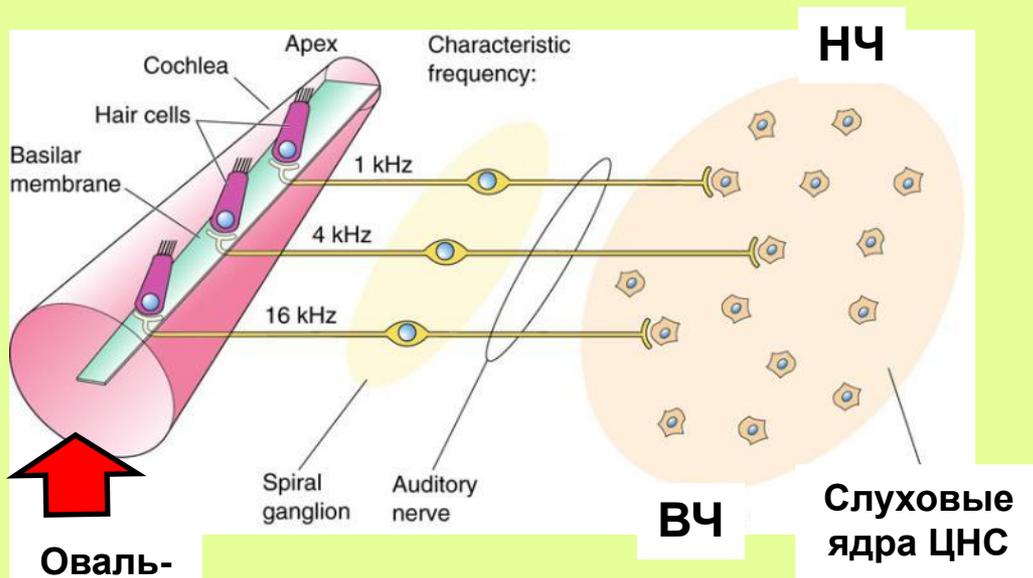


# Улитка – частотно-амплитудный анализатор («на выходе» - спектр звука, тонотопия).



Поскольку латентный период развития рецепторного потенциала очень мал (0.1 мс), то РП способен «отслеживать» не только факт появления звука, но также и каждую звуковую волну; это справедливо и для частоты ПД в слуховом нерве.

# Улитка – частотно-амплитудный анализатор («на выходе» возникает спектр звука). В ЦНС – тонотопические карты.

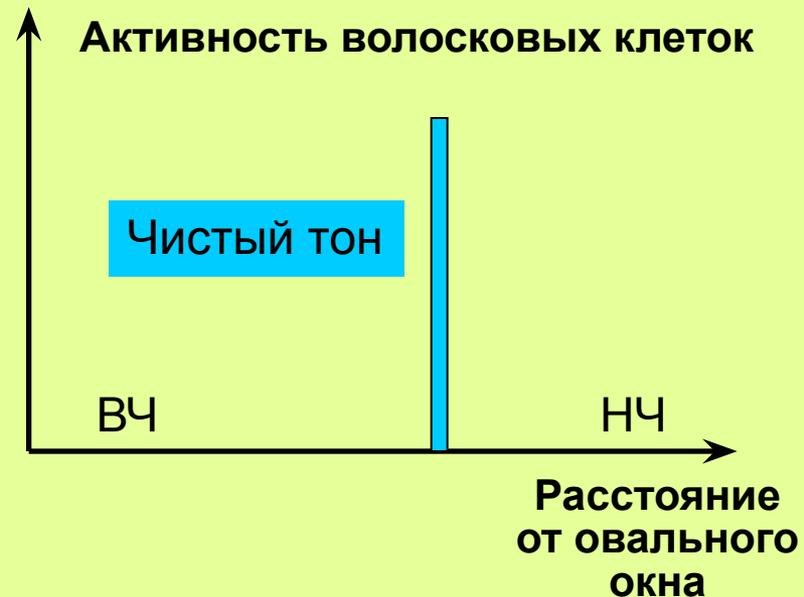
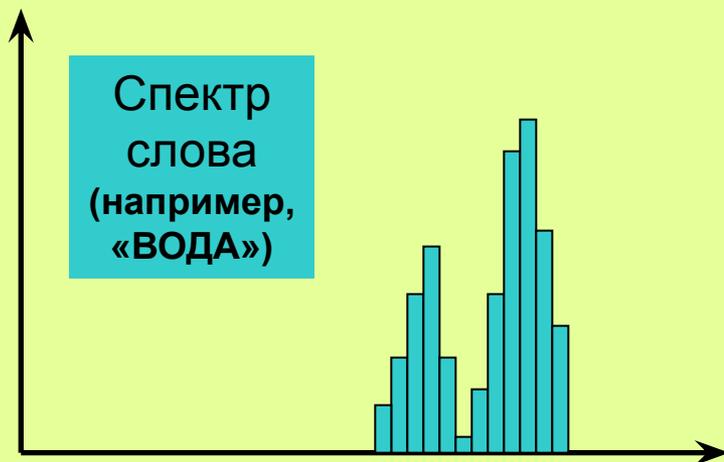


Диапазон слышимости от 20-30 Гц до 10-20 кГц.

«Ля» 1-й октавы – 440 Гц

Средн. частота мужского голоса 130 Гц, женского – 220 Гц, детского – 265 Гц.

Наиболее тонкое различие частот – именно в речевом диапазоне.



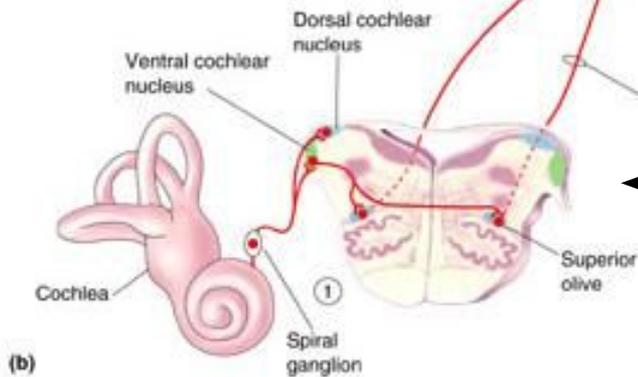
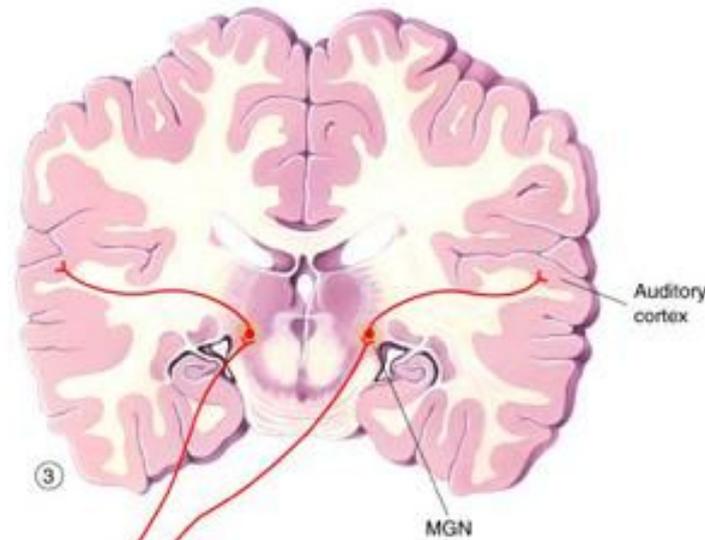
2. Нижние холмики четверохолмия.

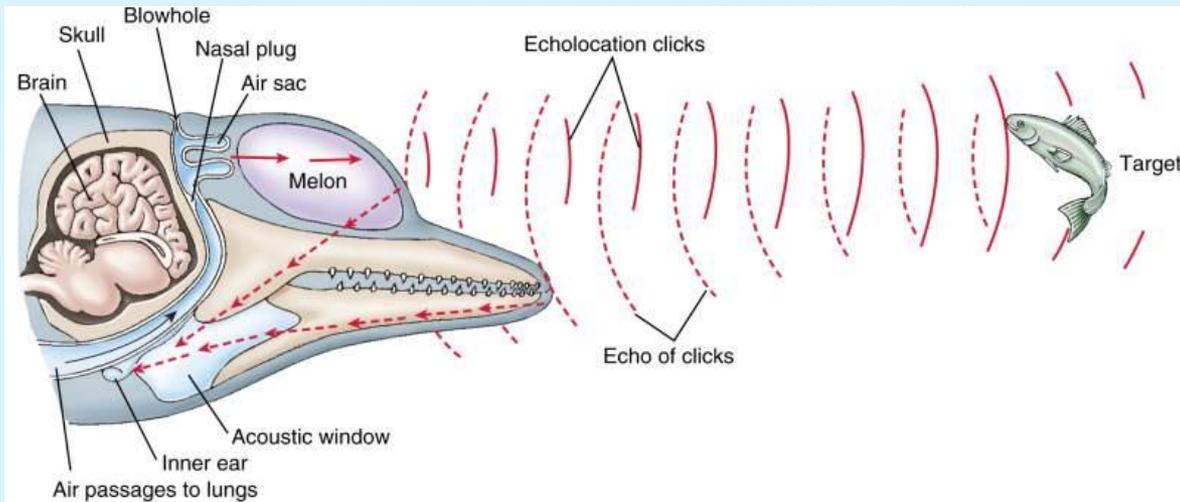
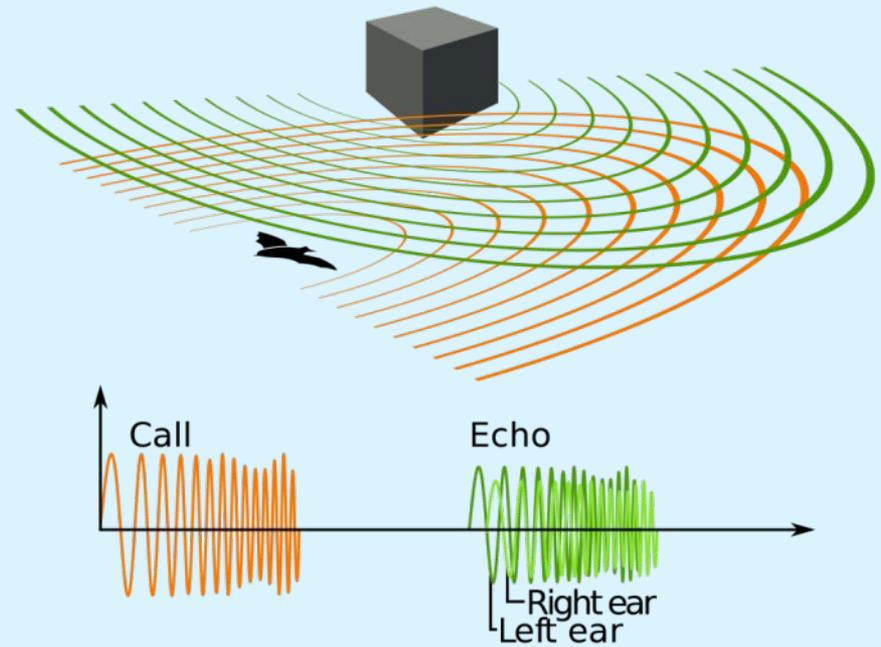
3. Медиальные коленчатые тела таламуса.

## Слуховые центры головного мозга.

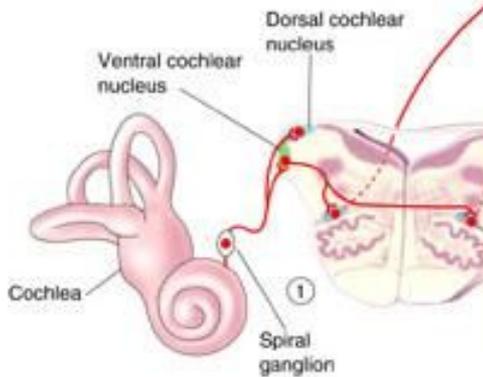
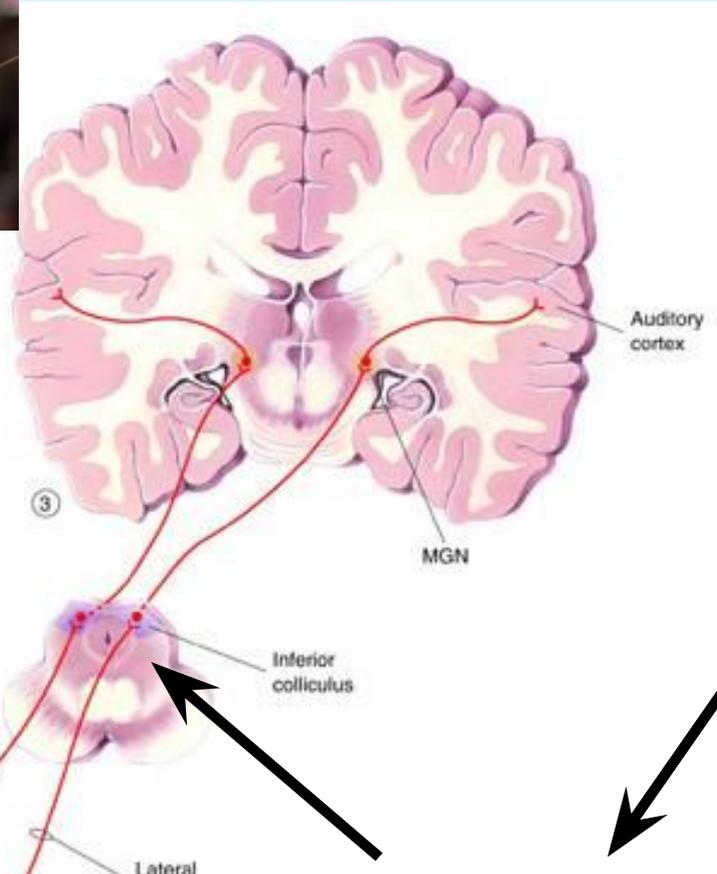
1. Улитковые ядра; ядра верхней оливы.

Сравнение сигналов от правой и левой улитки = определение направления на источник звука (ближе с той стороны, где громче и раньше).





На основе работы улитковых ядер – способность дельфинов и летучих мышей к эхолокации (анализ отражения звука – щелчка от объектов и препятствий).

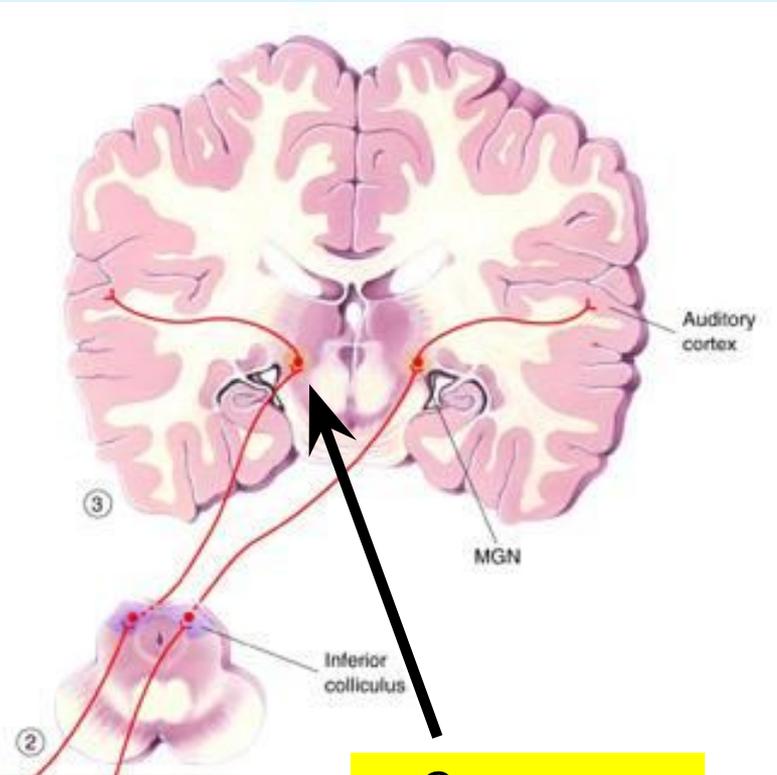
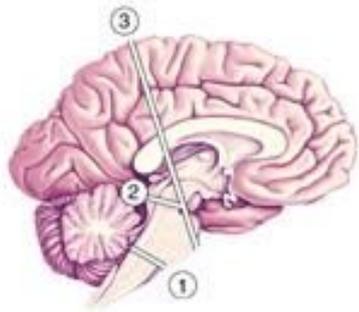


Ориентировочный рефлекс: поворот глаз, головы, ушных раковин в сторону нового сигнала (сбор новой информации).

# Слуховые центры головного мозга.

2. Нижние холмики четверохолмия: новизна (изменение частоты и громкости, движение источника звука).

3. Медиальные коленчатые тела таламуса.



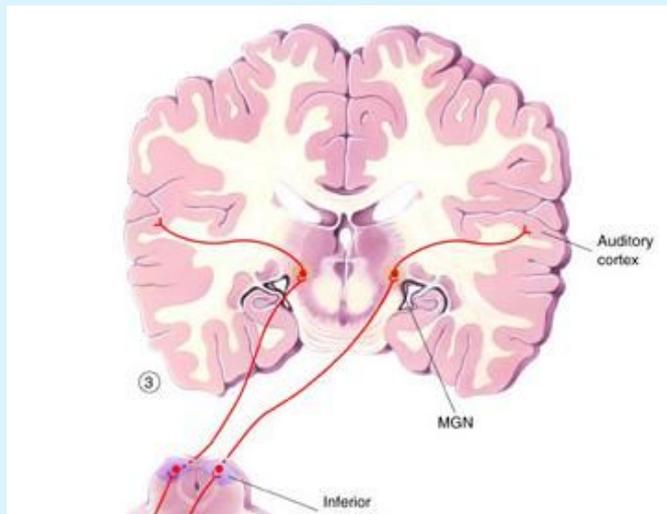
# Слуховые центры головного мозга.

2. Нижние холмики четверохолмия: новизна (изменение частоты и громкости, движение источника звука).

3. Медиальные коленчатые тела таламуса: контрастирование сигнала перед передачей в кору.

Слуховое внимание, настройка на определен. диапазон частот





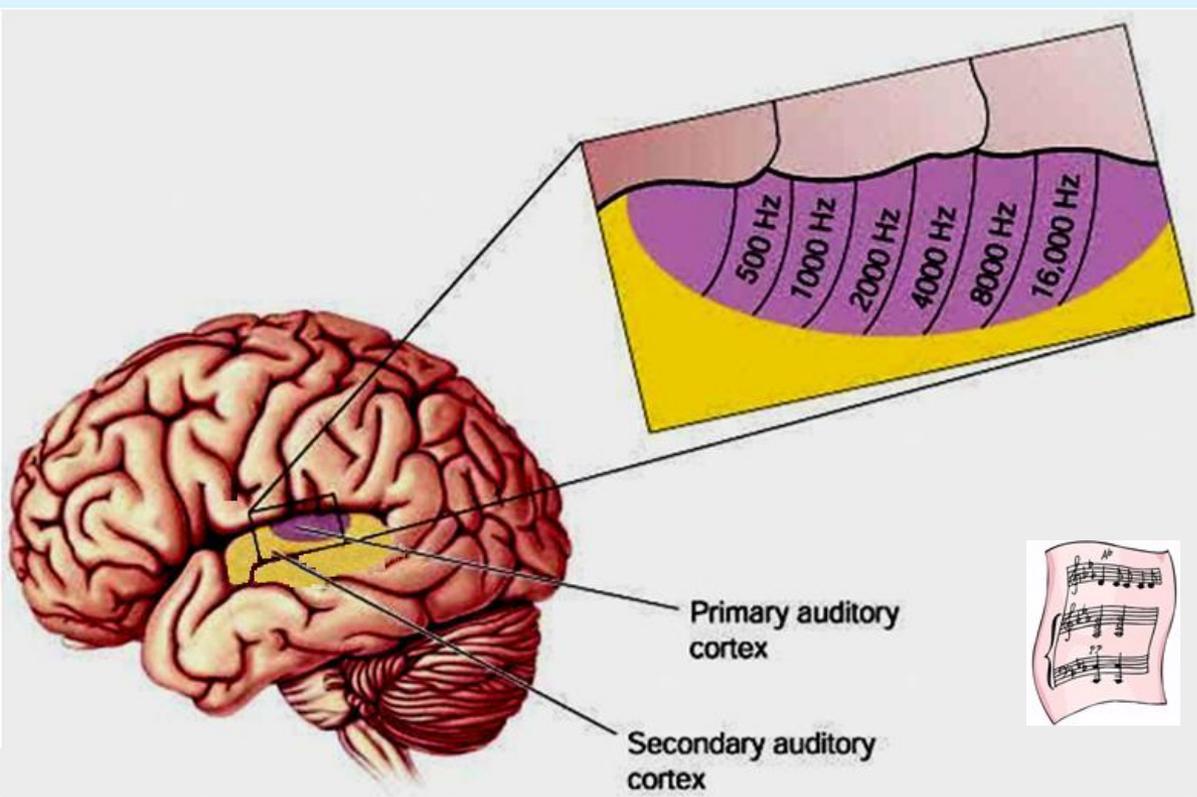
## Слуховая кора:

Первичная – височная доля, по границе боковой борозды.

Завершение частотно-амплитудного анализа, наиболее точная тонотопическая карта.

В передних зонах – низкие частоты; особенно детально анализируется речевой диапазон – 50-500Гц; точность – до 1 Гц.

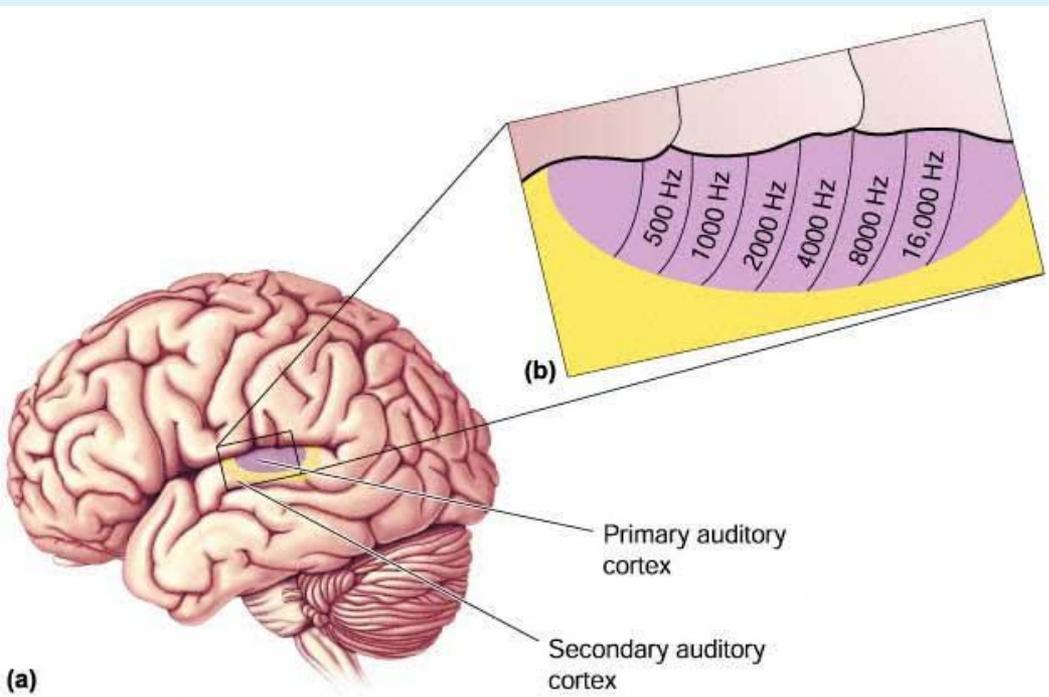
*Способность к различению частот в значительной степени задана врожденно.*



Ниже расположена вторичная слуховая кора – опознавание звуковых образов как совокупности частот (шумы, «звуки природы» и т.п.).

Как правило, свойства нейронов этой области – результат обучения.

Невербальная коммуникация (плач, смех и т.п.) опознается врожденно.



## Слуховая кора:

Первичная – височная доля, по границе боковой борозды.

Завершение частотно-амплитудного анализа, наиболее точная тонотопическая карта.

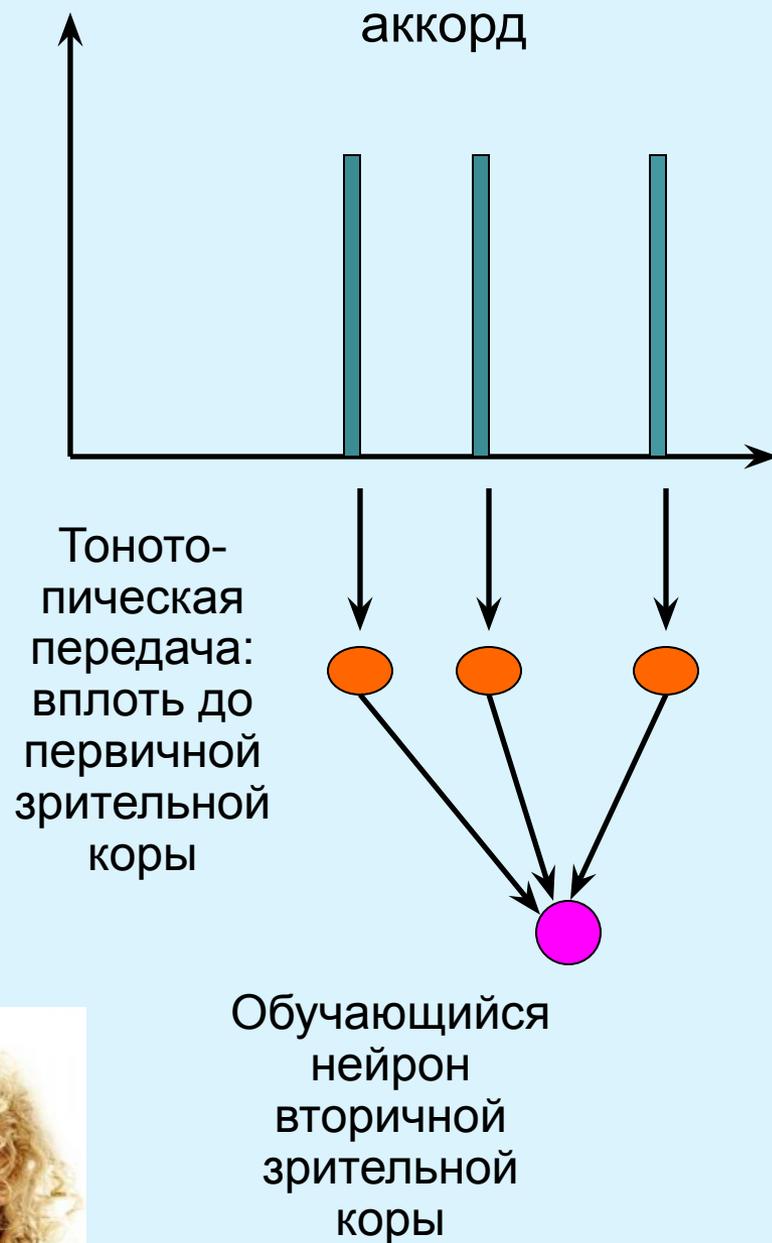
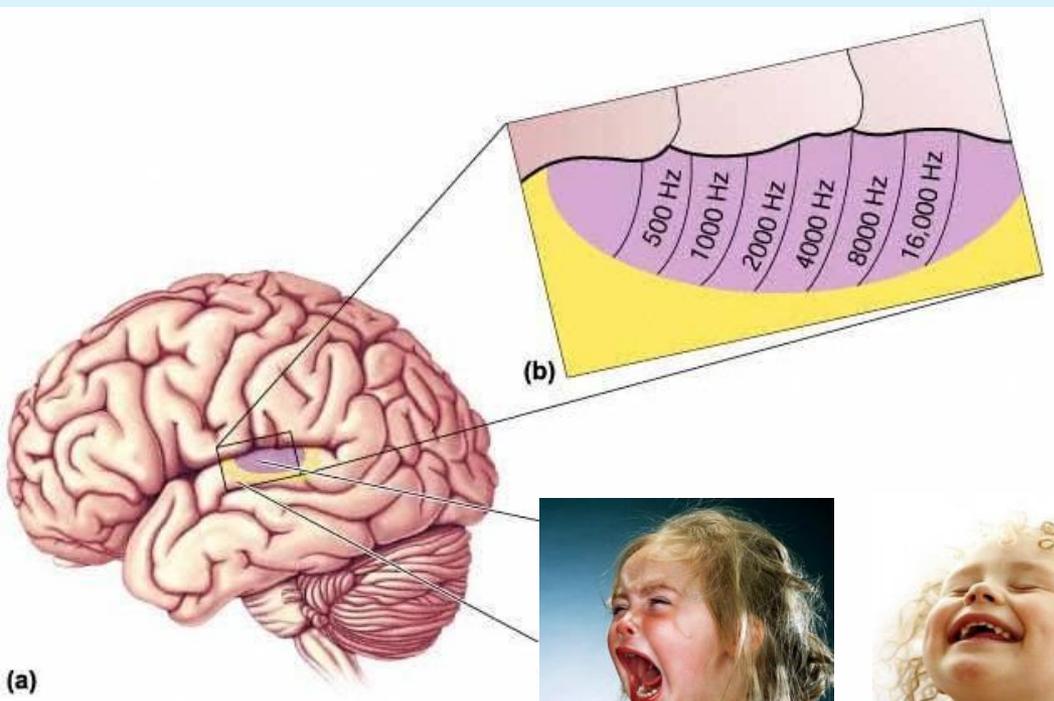
В передних зонах – низкие частоты; особенно детально анализируется речевой диапазон – 50-500Гц; точность – до 1 Гц.

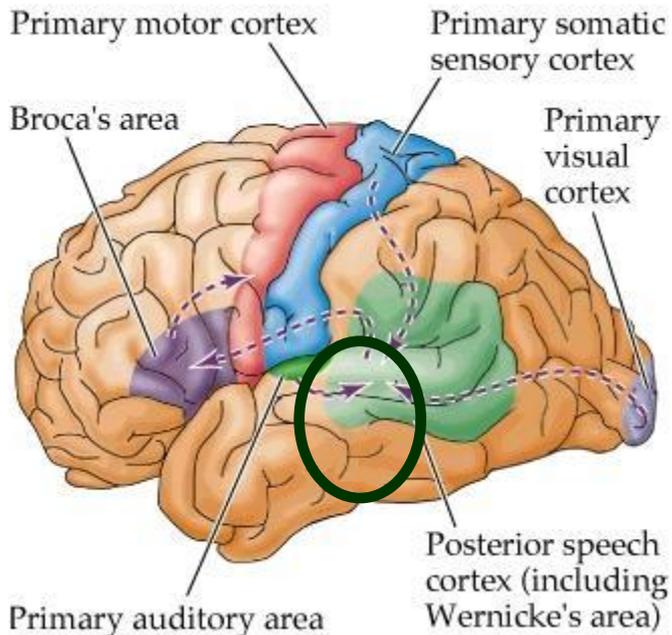
*Способность к различению частот в значительной степени задана врожденно.*

Ниже расположена **вторичная** слуховая кора – опознавание звуковых образов как совокупности частот (шумы, «звуки природы» и т.п.).

Как правило, свойства нейронов этой области – **результат обучения**.

Невербальная коммуникация (плач, смех и т.п.) опознается **врожденно**.

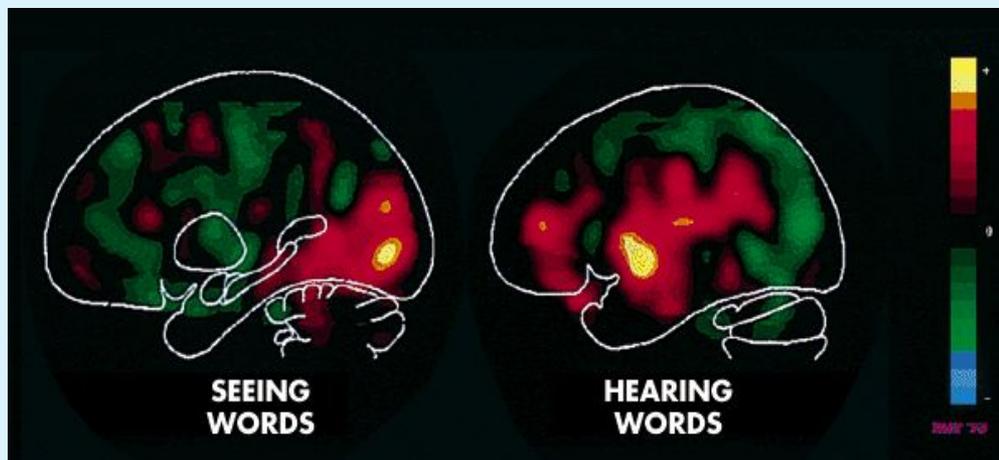
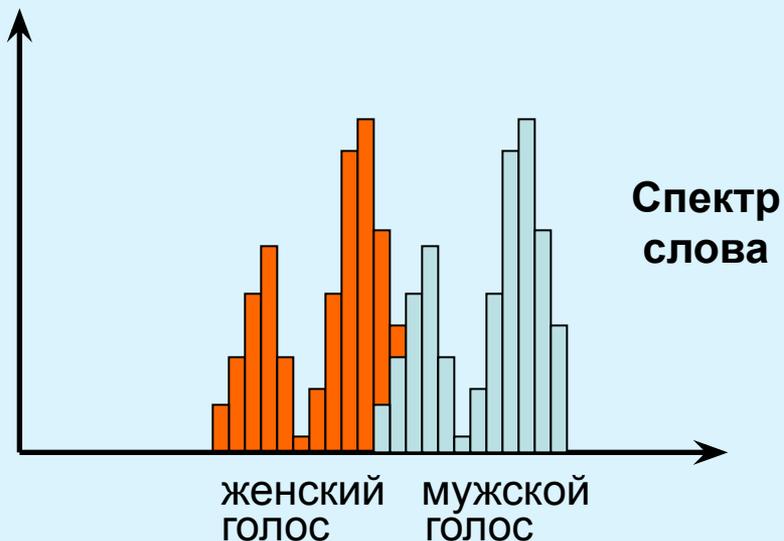


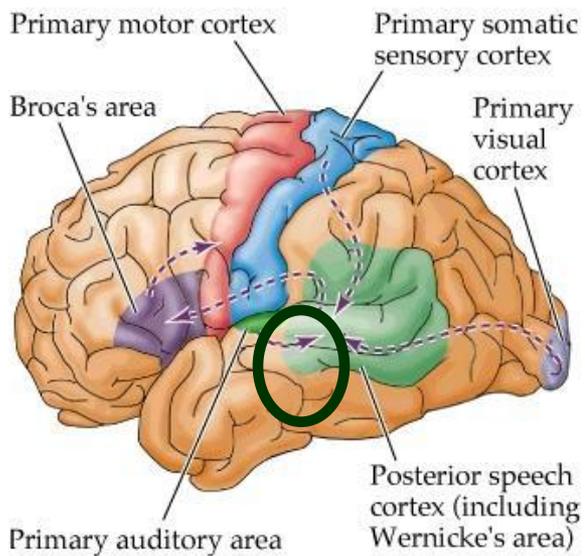


Задняя часть височной доли – **третичная** слуховая кора: узнавание наиболее сложных слуховых образов (музыки, речи).

Узнавание речи на слух – **зона Вернике** (доминантное полушарие). **Зона Брока** – речедвигательная зона.

Основная проблема: нужно реагировать не на частоты и их совокупность, а **общую форму спектра** (вне зависимости от конкретных частот) + делать это в реальном времени.



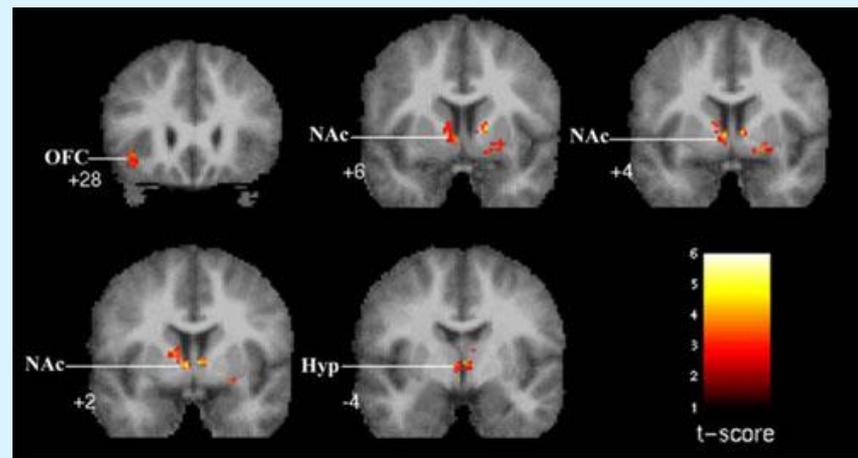


Задняя часть височной доли – **третичная** слуховая кора: узнавание наиболее сложных слуховых образов (музыки, речи).

Узнавание музыки – субдомин. полушарие.  
Эмоции: гипоталамус и прилежащее ядро.

Тональная речь – нет межполушарной асимметрии.

Во вьетнамском языке выделяют шесть «тонов», то есть типов слогов: **высокий ровный** (*ma* 'призрак'); **нисходящий плавный**: падение тона со среднего на низкий уровень (*mà* 'который'); **нисходяще-восходящий**: падение со среднего на низкий и подъём до высокого; долгота гласного, придыхательная фонация (*mã* 'лошадь'); **восходяще-нисходящий**: в среднем регистре; может сопровождаться гортанной смычкой на тональном переломе (*mả* 'могила'); **восходящий**: в высоком регистре, часто сопровождается гортанной смычкой (*má* 'мама'); **резко нисходящий**: быстрое падение с высокого на низкий, ларингализация, часто краткость гласного (*mạ* 'рисовый побег').



«Music Makes Your Brain Happy»





Индивидуальные особенности организации мозга и слуховой системы во многом определяют восприятие музыки («изоляция», «порядок»).

Диапазон слышимости от 20-30 Гц до 10-20 кГц.

Октавы – геометрич. прогрессия (x2)

«Ля» 1-й октавы – 440 Гц

Контроктава (32-65 Гц), большая октава (65-131 Гц), малая (131-262), первая (262-523), вторая (523-1047), третья (до 2093), четвертая (до 4184).

Оперные рекорды – от 44 Гц до 2300 Гц («ре» четвертой октавы).

Ноты	Первая	Вторая
ДО	261,63	523,26
ДО диез	277,18	554,36
РЕ	293,66	587,32
РЕ диез	311,13	622,26
МИ	329,63	659,26
ФА	349,23	698,46
ФА диез	369,99	739,98
СОЛЬ	392,00	784,00
СОЛЬ диез	415,30	830,60
ЛЯ	440,00	880,00
ЛЯ диез	466,16	932,32
СИ	493,88	987,76



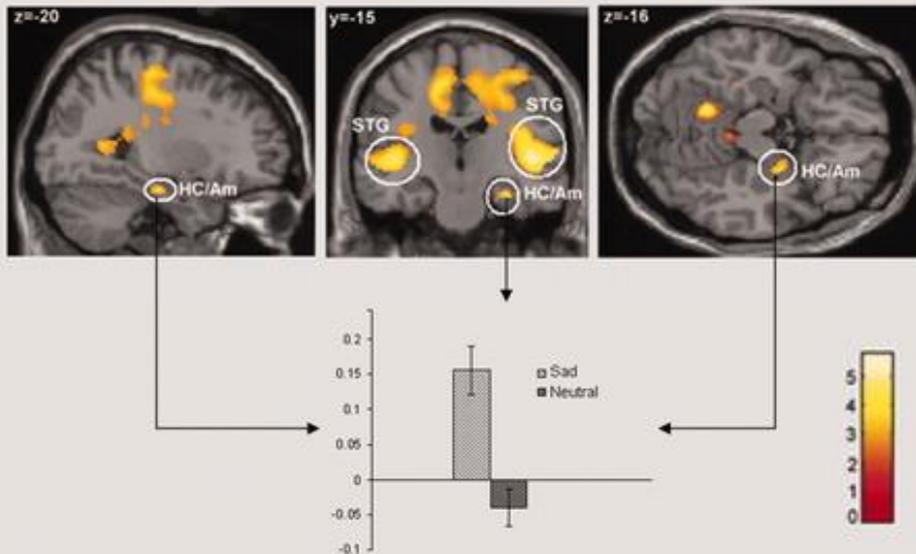
Внутри октавы: формула, дающая геометрическую прогрессию с опорой на 12 полутонов:

$$f_i = f_0 \times 2^{i/12},$$

где  $f_0$  - частота камертона,  $i$  - кол-во полутонов в интервале от искомого звука к эталону  $f_0$ .

Консонансы – простые соотношения частот, дающие субъективное слияние звука (2:3, например). У диссонансов соотношение сложнее (5:9), они дают более сложные биения.

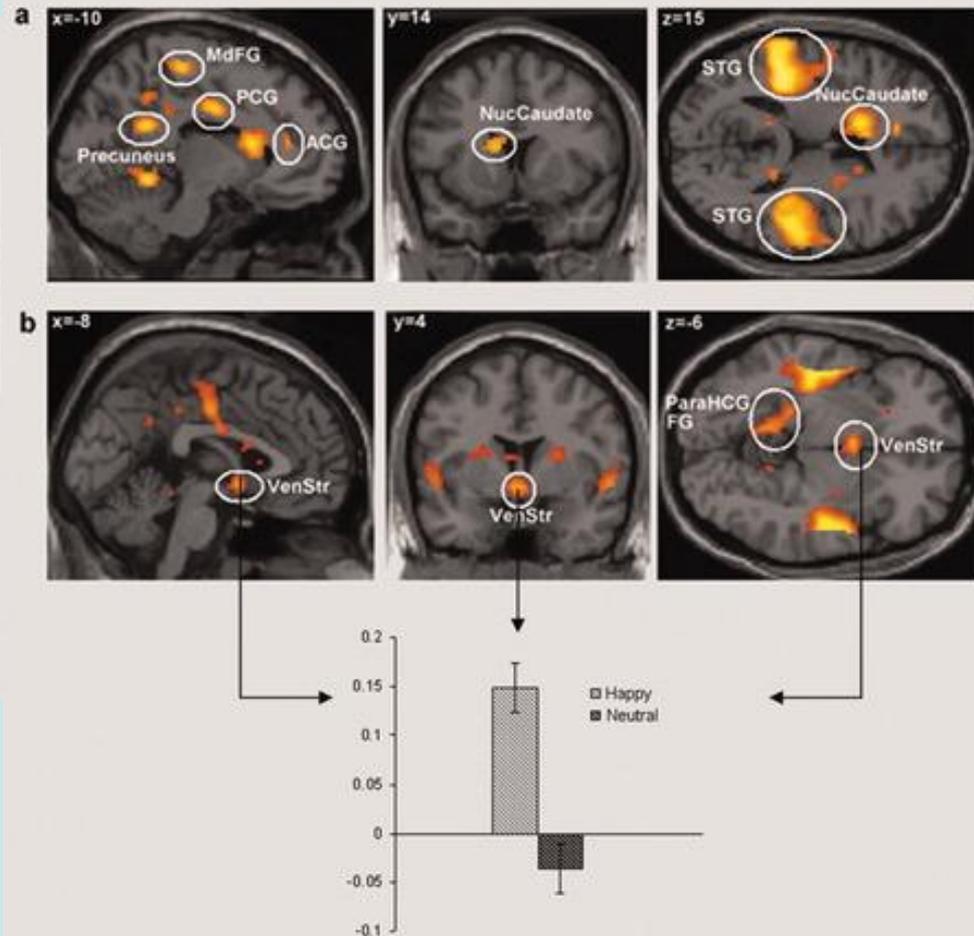
Brain activity during listening to sad music as main effect  
sad > neutral



Грустная музыка  
Минорные аккорды

Mitterschiffthaler et al.,  
2007

Brain activity during listening to happy music as main effect  
happy > neutral



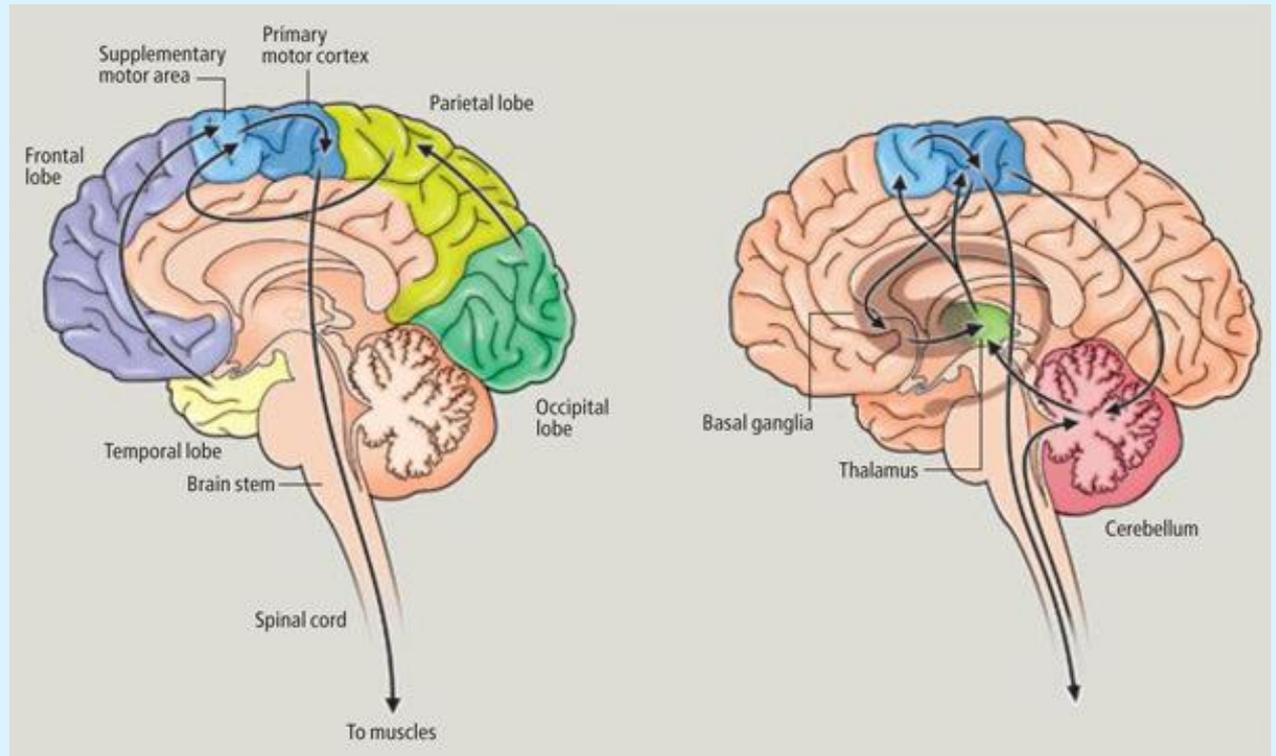
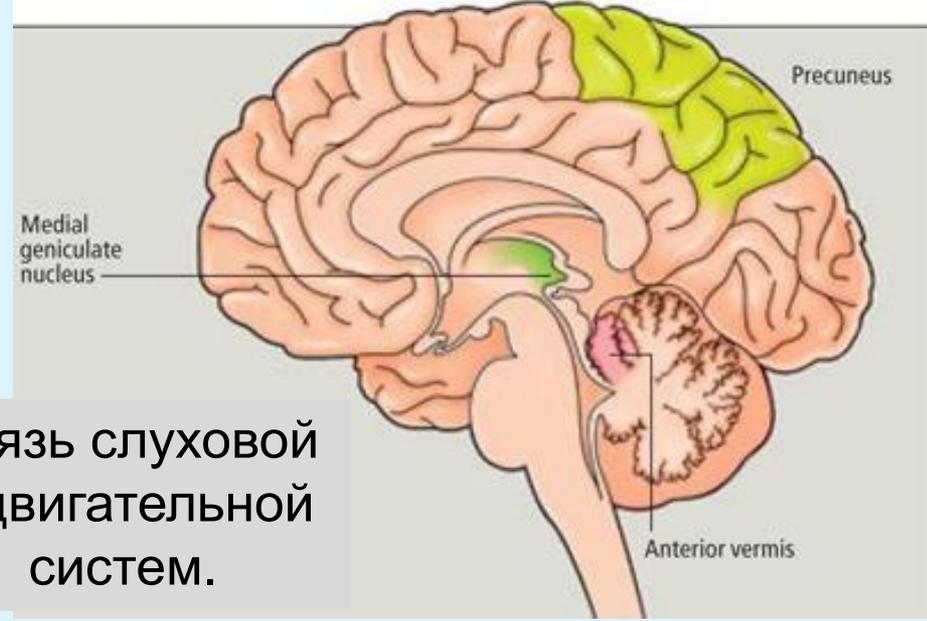
Веселая музыка  
мажорные аккорды

**Medial geniculate nucleus**  
 A stop along the lower auditory pathway, this area appears to help set the brain's metronome and underlies our tendency to unconsciously tap our toes or sway to music. We react unconsciously because the region connects to the cerebellum, communicating information about rhythm without "speaking" to higher auditory areas in the cortex.

**Precuneus**  
 Containing a sensory-based map of one's own body, the precuneus helps to plot a dancer's path from a body-centered, or egocentric, perspective.

**Anterior vermis**  
 This part of the cerebellum receives input from the spinal cord and appears to act something like a metronome, helping to synchronize dance steps to music.

Связь слуховой и двигательной систем.

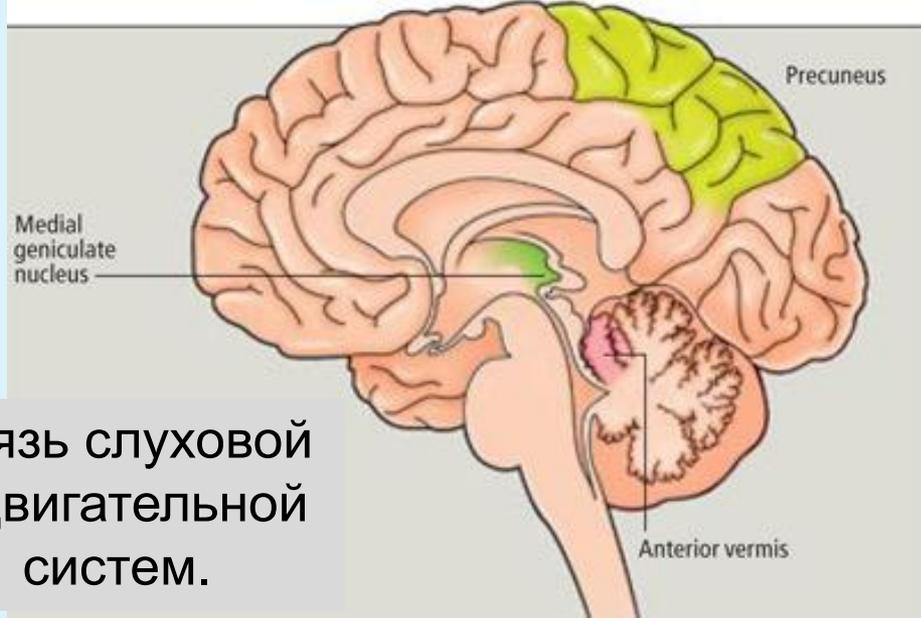


← Слева: представление движения;  
 ← справа – вращение под музыку.

**Medial geniculate nucleus**  
 A stop along the lower auditory pathway, this area appears to help set the brain's metronome and underlies our tendency to unconsciously tap our toes or sway to music. We react unconsciously because the region connects to the cerebellum, communicating information about rhythm without "speaking" to higher auditory areas in the cortex.

**Precuneus**  
 Containing a sensory-based map of one's own body, the precuneus helps to plot a dancer's path from a body-centered, or egocentric, perspective.

**Anterior vermis**  
 This part of the cerebellum receives input from the spinal cord and appears to act something like a metronome, helping to synchronize dance steps to music.



Связь слуховой и двигательной систем.

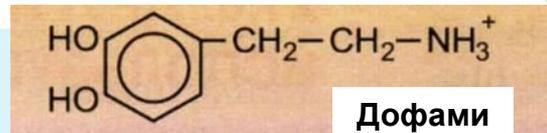
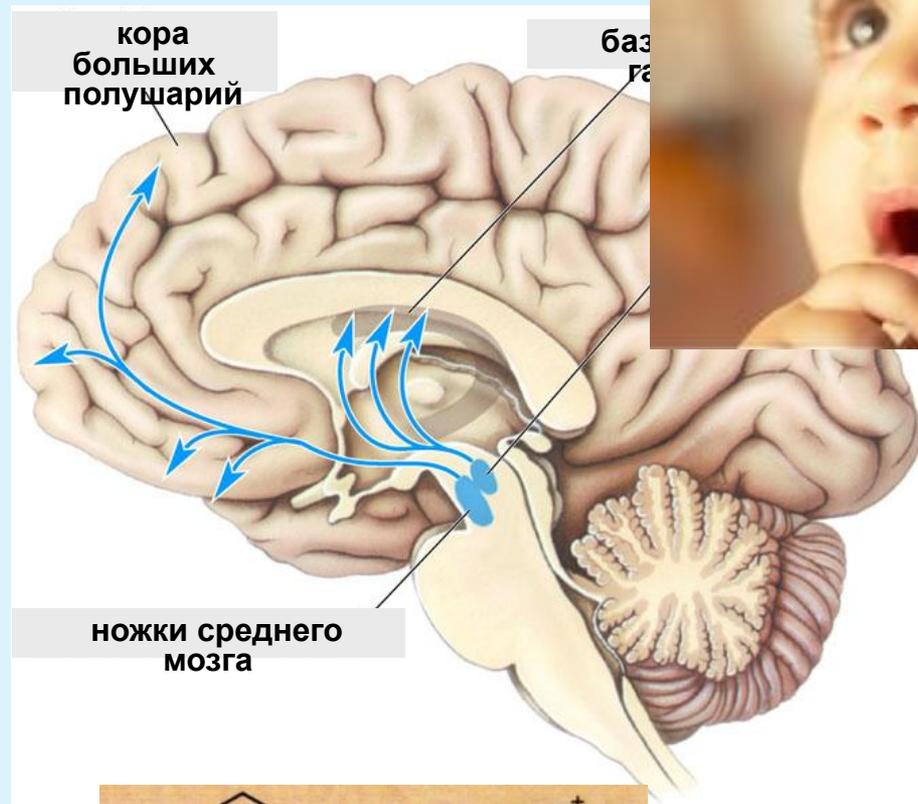
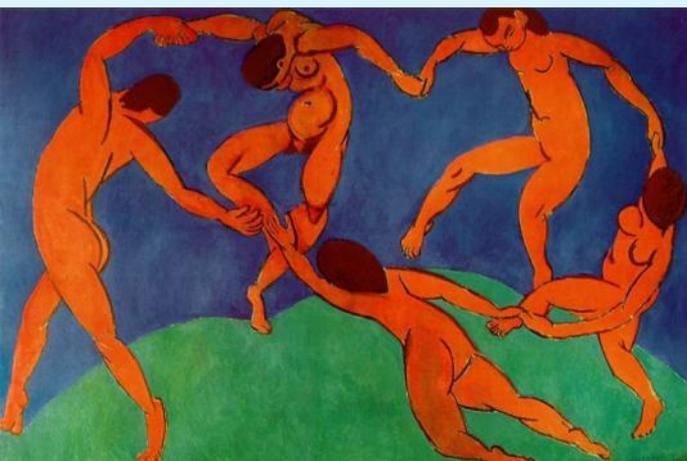
**ЛОКОМОЦИЯ → ритм похода → ритм барабана → музыка и танец**



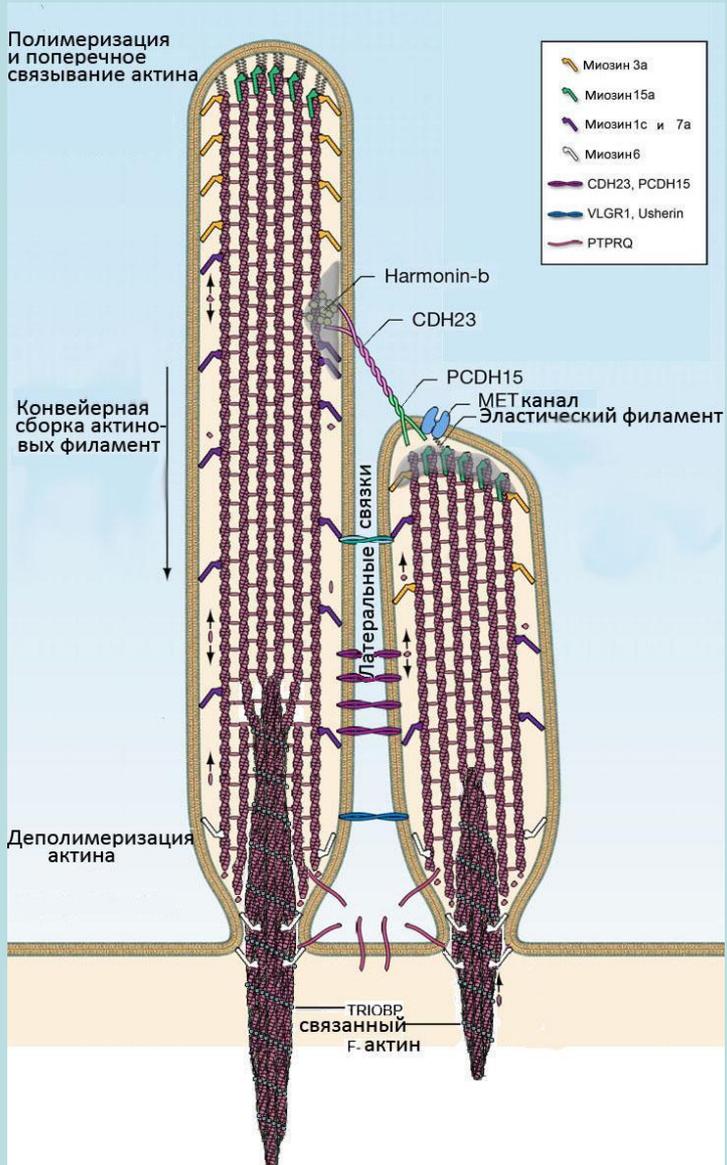
# Положит. эмоции, связанные с выделением дофамина:

удовольствие от  
движений, танца

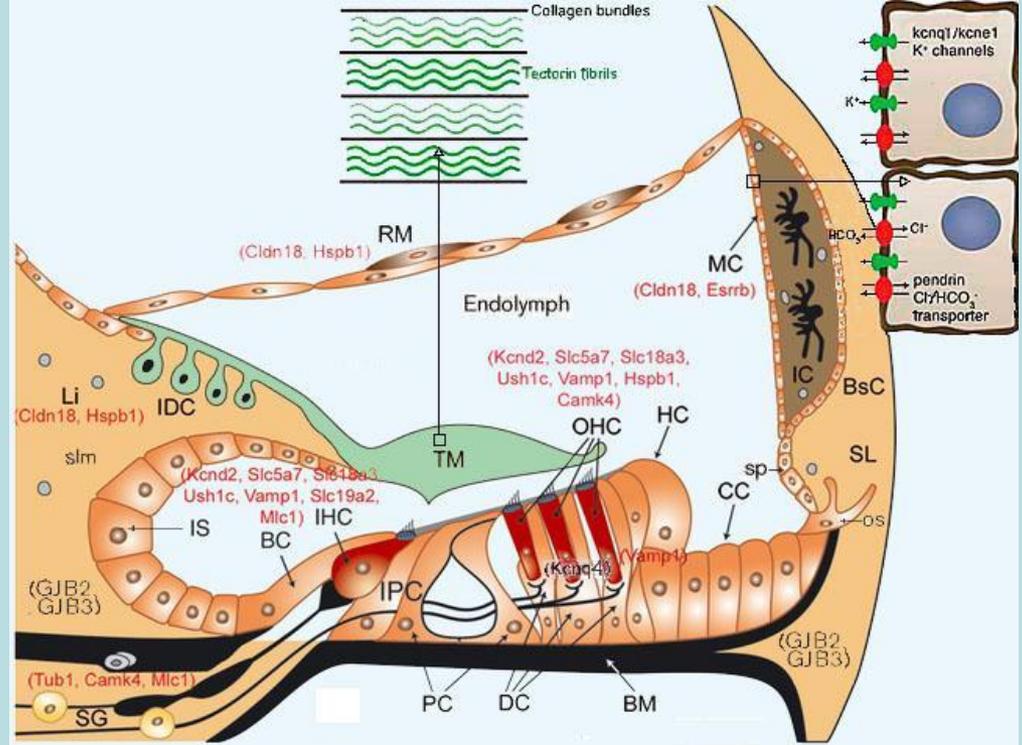
удовольствие от восприятия  
нового, от творчества



н



<http://mglinets.narod.ru/mypubl/mgl8.htm>



<http://mglinets.narod.ru/mypubl/mgl6.htm>

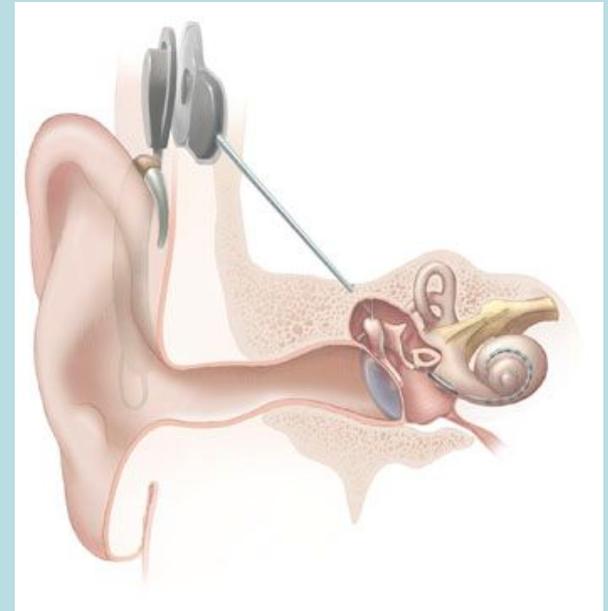
Molecular evolution of the vertebrate mechanosensory cell and ear  
 BERND FRITZSCH, KIRK W. BEISEL, SARAH PAULEY and GARRETT SOUKUP  
 Int. J. Dev. Biol. 51: 663-678 (2007)

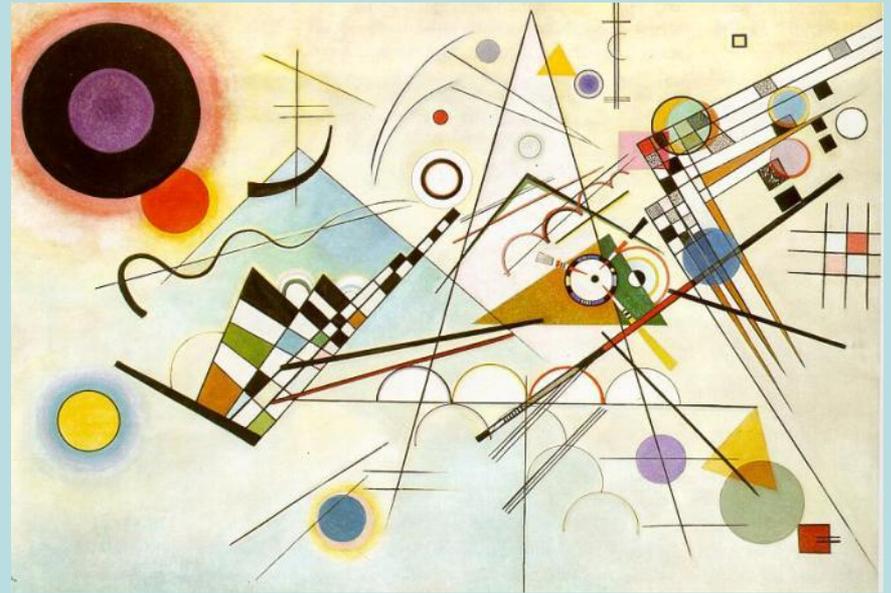
<http://mglinets.narod.ru/slova5/mechSensEv.htm>

Импланты улитки используют при нарушениях работы волосковых клеток (как правило, генетически обусловленных).

Пример: нарушение состава эндолимфы, недостаток ионов калия и потеря способности генерировать нормальный рецепторный потенциал (прежде всего, на высоких частотах).

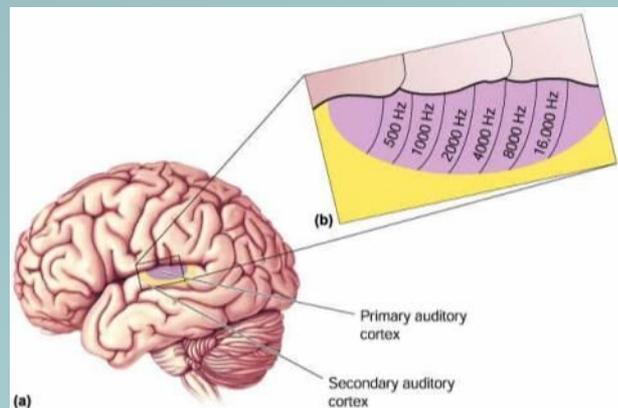
Количество электродов – 20 и более; требуется индивид. настройка речевого процессора после операции; стоимость 20-30 тыс. у.е.; оказывается гос. поддержка по программе «Дети-инвалиды» (~ 200 операций/год).



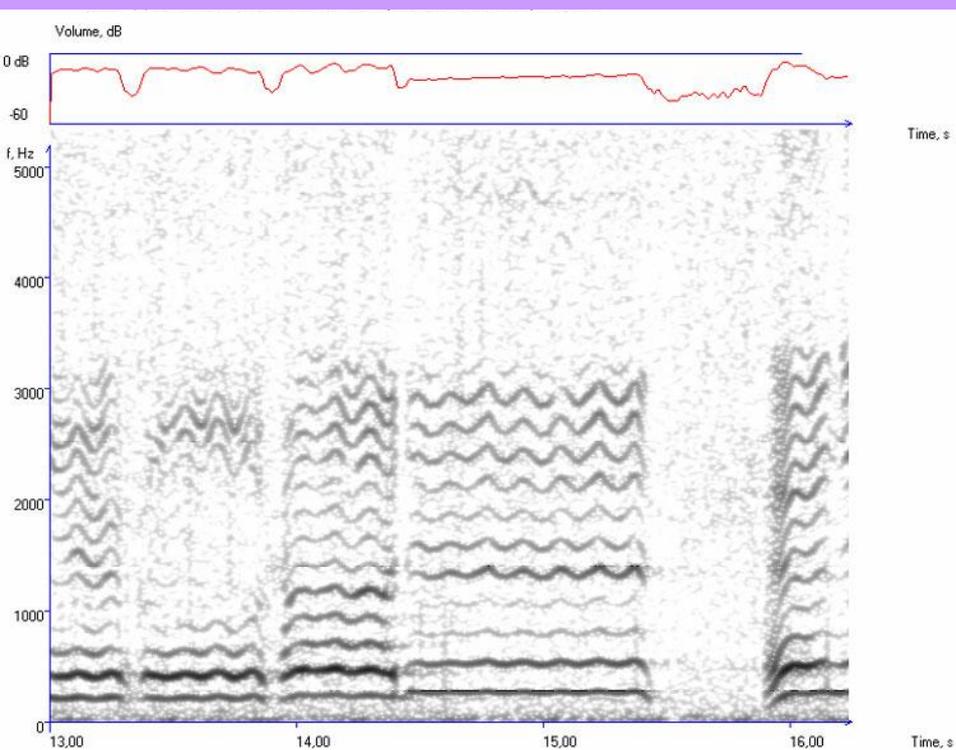
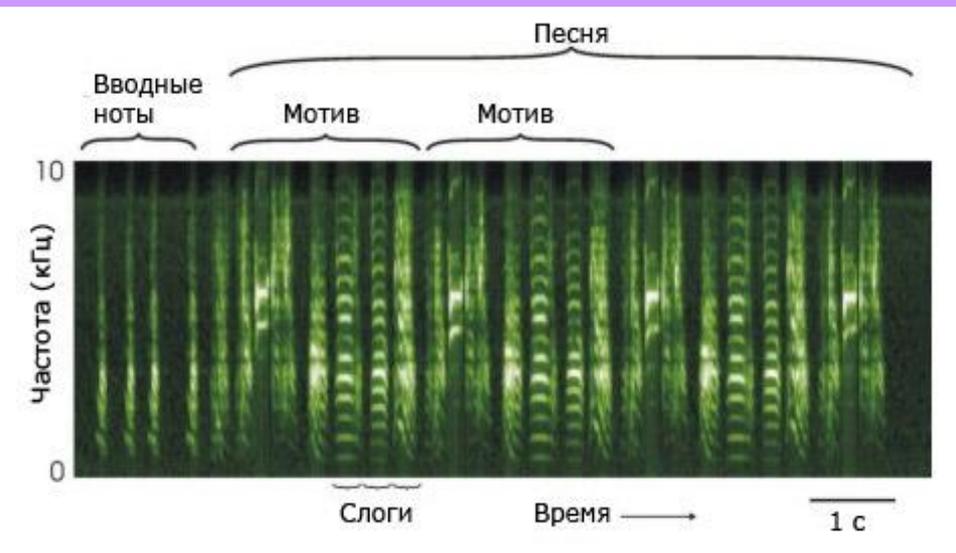


*Дали, Кандинский, Шагал, Матисс*

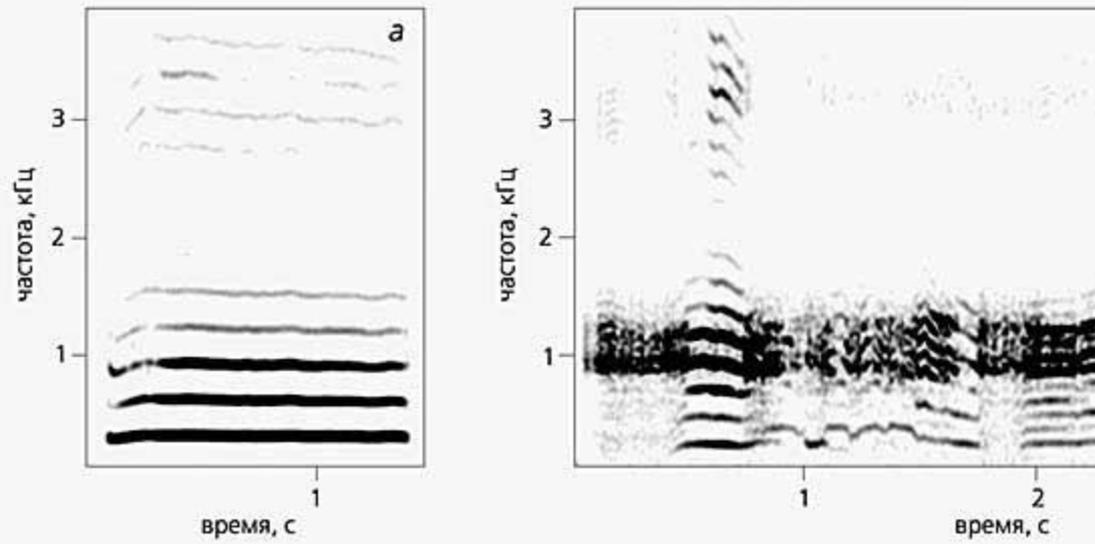
# Спасибо за внимание!



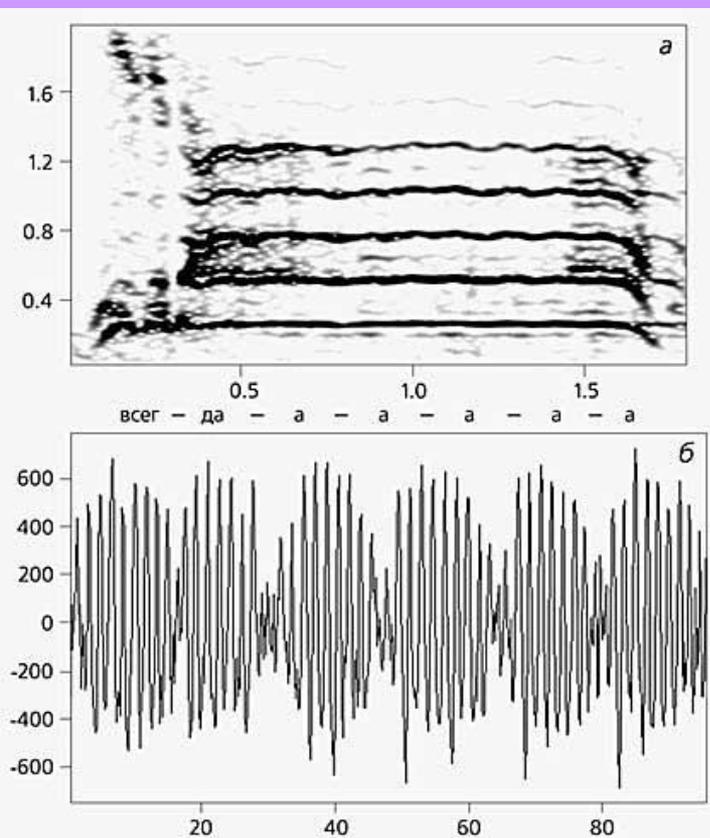
Через неделю (30-го июня):  
«Вкус, обоняние и немного осязания», последняя лекция цикла.



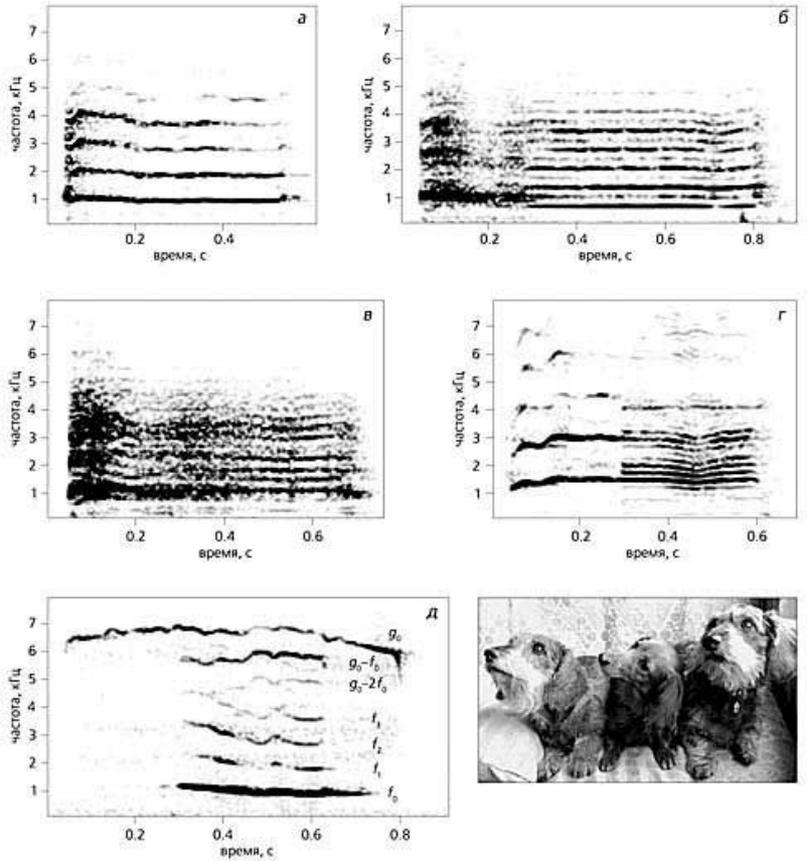
Спектрограммы песни зебровой амадины (около 10 сек) и русской народной песни (около 3 сек).



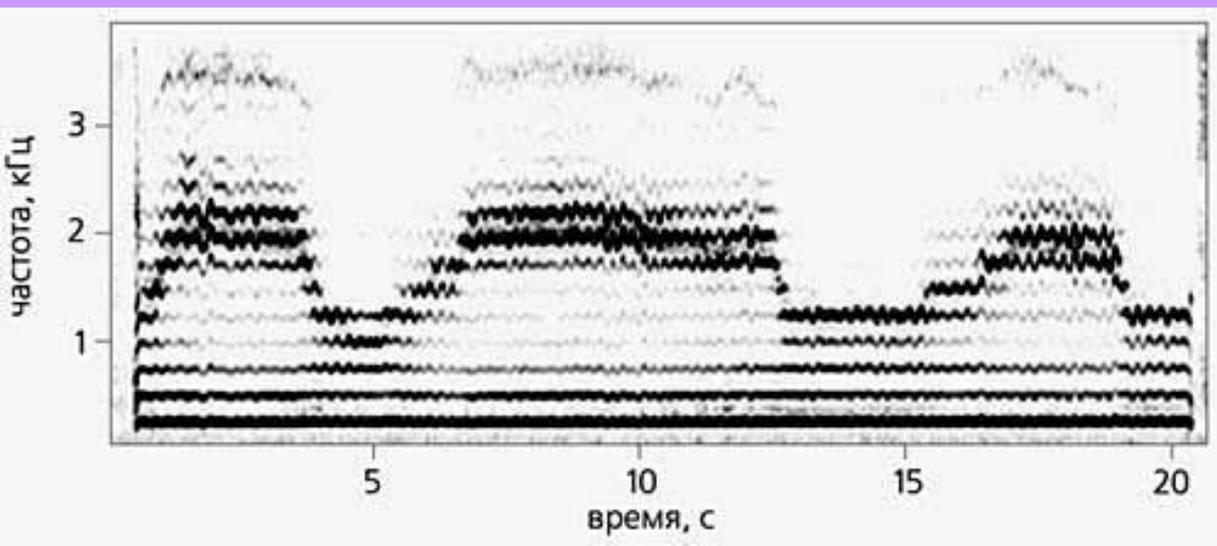
Спектрограммы голоса человека.  
 а - гласный звук "а-а" здорового содержит только основную частоту и кратные ей гармоники.  
 б - гласный звук "а-а" пациента с ларингитом начинается с голосового шума, затем следует участок нормального голоса, который опять переходит в шум.



Голос Владимира Высоцкого.  
 а - на спектрограмме слова "всегда-а-а" из песни "Ну вот исчезла дрожь в руках" хорошо заметны полосы сайдебандов над и под основной частотой и ее гармониками в начале и конце звука "а-а-а".  
 б - осциллограмма конца фразы "Я поля-а-а" из песни "Баллада о любви" показывает, что основная частота голоса с периодом 1.5 мс сильно модулирована по амплитуде второй низкой частотой с периодом около 15 мс.



д - бифонация в скулении.



На спектрограмме горлового пения хорошо видно, что в спектре звука присутствует всего одна частота с ее гармониками, но певец за счет тонкого управления перераспределяет энергию в области верхних гармоник, что создает воображаемый эффект двухголосия.

**Внутреннее ухо – орган сразу двух сенсорных систем: вестибулярной и слуховой. Какая из них является более древней? На что, кроме силы тяжести, реагирует наш орган равновесия? Каков биологический смысл вестибулярных рефлексов?**

**Для чего нужны слуховые косточки и барабанная перепонка? Как устроена улитка и волосковые рецепторы? За счет каких механизмов реализуется «частотно-амплитудный» анализ звука?**

**Для чего нам два уха и слуховые центры таламуса?**

**Как височная кора больших полушарий узнает ноты, аккорды, речь? Почему музыка способна вызывать эмоции (особенно – ритмичная музыка)? Что изучает наука «нейроэстетика», и причем здесь гаммы?**

**Как протезируют слух, и почему это оказалось проще, чем протезирование зрения?**