

Анатомия, физиология и патология органа слуха

**Кафедра
специальной
психологии КГПУ**

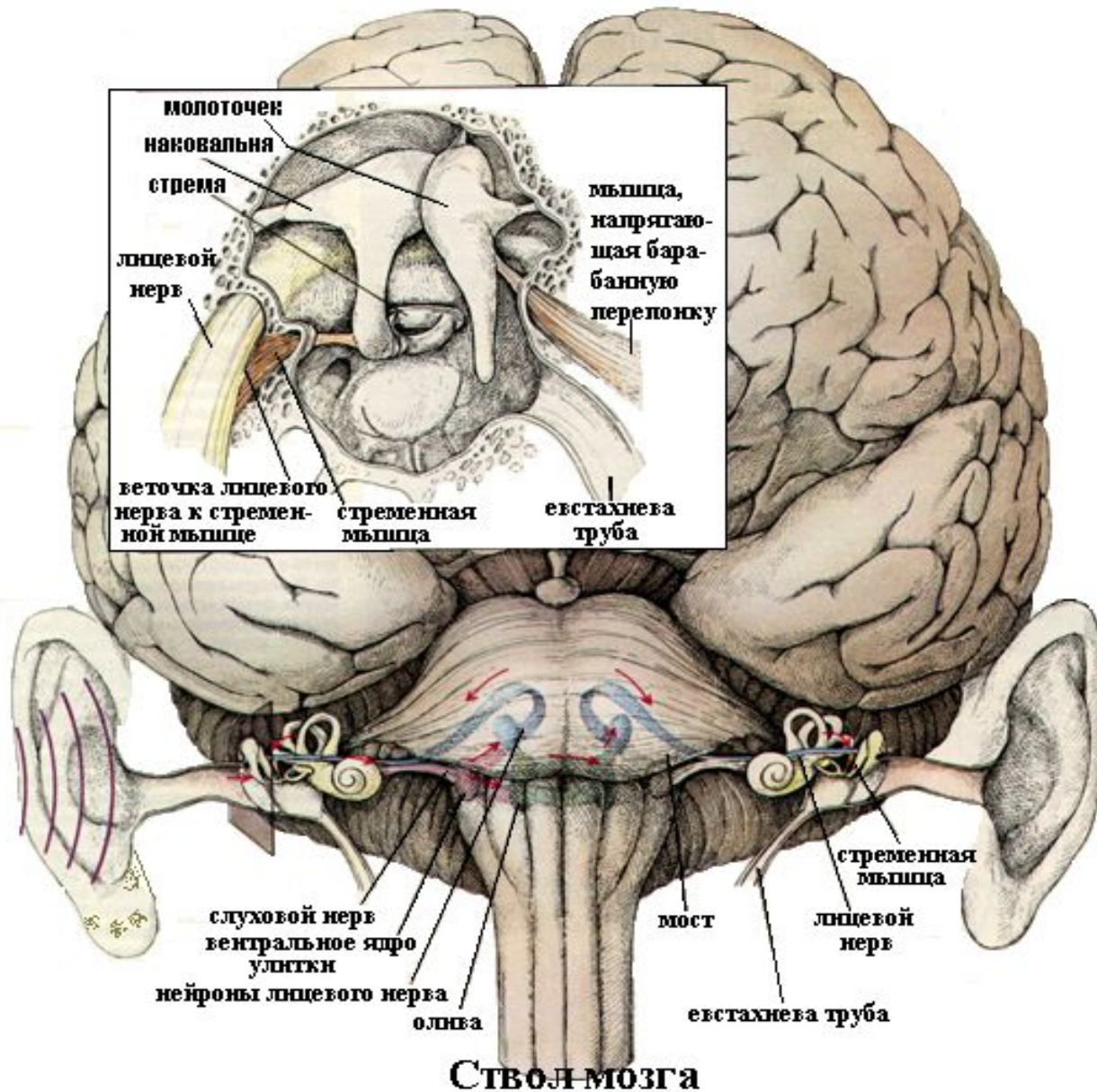
- **Чувство слуха одно из главных в человеческой жизни; слух и речь составляют вместе весьма важное средство общения между людьми и служат основой сложных социальных взаимоотношений.**
- **Потеря слуха может привести к тяжелым нарушениям поведения.**
- **С самого начала своей истории люди знали, что слухом ведает ухо. Но до XVII в. никто не подозревал, что слух связан с системой полостей, лежащих в толще кости у основания черепа. То, что эта система служит органом слуха, было окончательно доказано в начале XIX в.**

Анатомия органа слуха

- Орган слуха относится к числу тех рецепторных (воспринимающих) аппаратов, при помощи которых осуществляются связь и уравнивание организма животного и человека с внешней средой.
- Эти аппараты носят название анализаторов. Каждый анализатор представляет собой единую целостно функционирующую систему, состоящую из трех отделов: а) периферического, или рецепторного; б) среднего, или проводникового, с промежуточными нервными центрами; в) центрального, или коркового.
- Периферический отдел анализатора состоит из особо устроенных нервных клеток, рецепторов, воспринимающих преимущественно определенный вид раздражения. Эти клетки являются специальными трансформаторами (преобразователями) энергии внешнего раздражения в энергию нервного возбуждения.

- **Проводниковый отдел** состоит из нервных волокон и клеток промежуточных нервных центров в стволовой части головного мозга. Функцией этого отдела является проведение нервного возбуждения от рецептора к корковому концу анализатора.
- **Центральный, или корковый, отдел** является высшим отделом анализатора. В этом отделе нервное возбуждение превращается в ощущение. Происходит высший анализ и синтез раздражений, приходящих из периферического конца анализатора. Здесь же, в коре головного мозга, осуществляется синтезирование раздражений, поступающих из разных рецепторов.
 - **Орган слуха** состоит из наружного, среднего и внутреннего уха.

Слуховая система



Слуховой анализатор

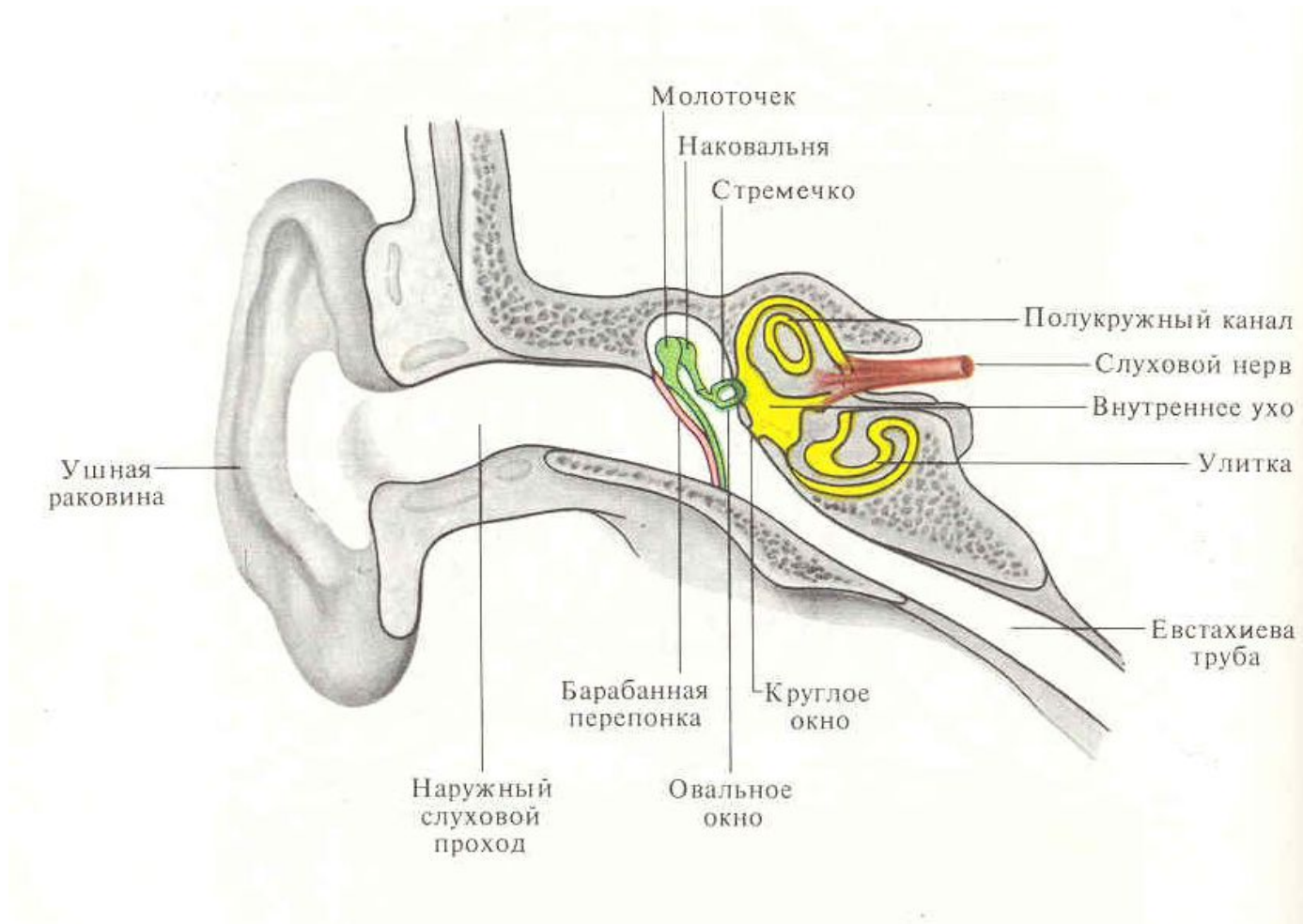
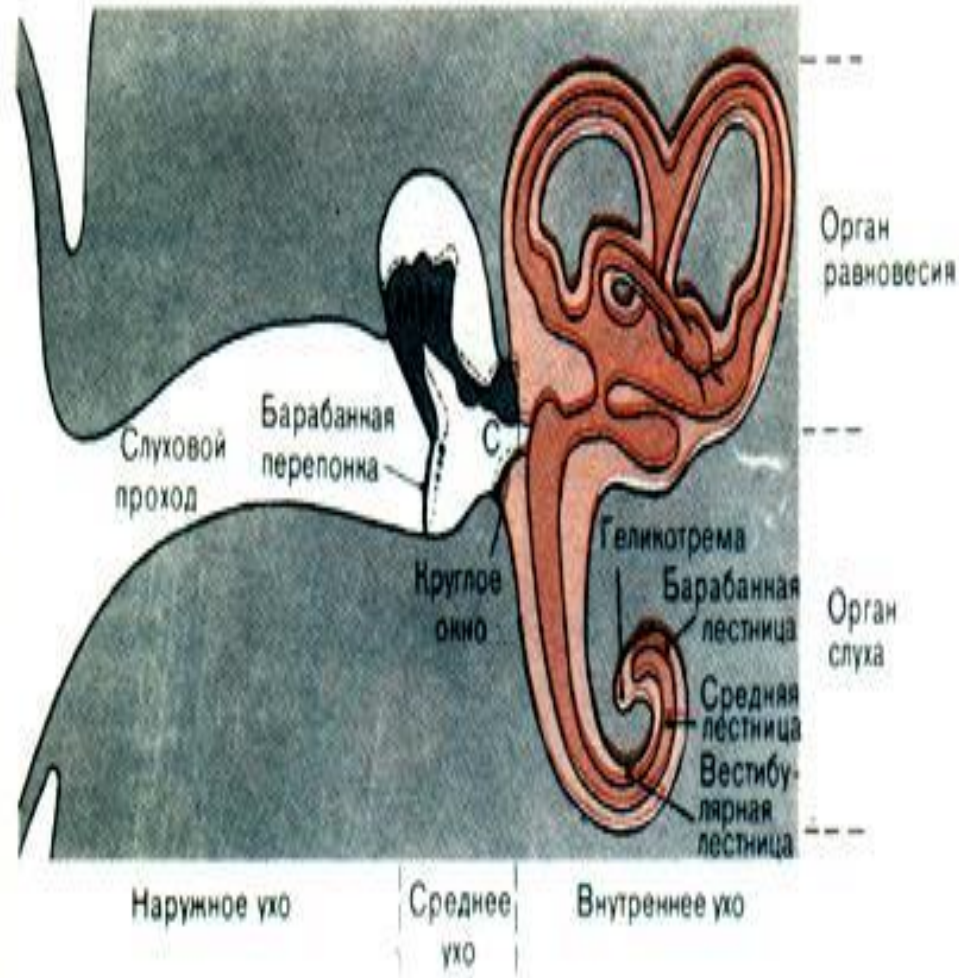


Схема наружного, среднего и внутреннего уха.

- Слуховой проход, соединяющий первые два из них, перегороден на своем внутреннем конце барабанной перепонкой. Эта тонкая мембрана в здоровом состоянии отсвечивает перламутром, что дает в руки врача ценный диагностический критерий. За барабанной перепонкой лежит наполненная воздухом полость среднего уха. Полость эта соединена с глоткой узким проходом-евстахиевой трубой. В среднем ухе расположены три маленькие косточки-молоточек, наковальня и стремечко. Внутреннее ухо находится в височной кости; оно непосредственно сообщается с органом равновесия. Вместе оба органа называются лабиринтом. Из-за своей формы внутреннее ухо называется также улиткой (cochlea).



- У маленьких детей наружный слуховой проход короткий, вследствие того, что костная его часть еще не успела развиться.
- Просвет наружного слухового прохода у новорожденных и маленьких детей щелевидный; по мере роста ребенка просвет слухового прохода из щелевидного постепенно становится овальным.
- Барабанная перепонка отделяет наружный слуховой проход от среднего уха и представляет собой тонкую упругую пластинку, покрытую со стороны слухового прохода тонким наружным слоем кожи (эпидермисом), а со стороны среднего уха слизистой оболочкой.
- Барабанная перепонка имеет округло-овальную форму с наибольшим поперечником около 10 мм и наименьшим — 8,5 мм, Толщину — около 0,1 мм. Она расположена под углом к оси наружного слухового прохода и втянута в сторону среднего уха, образуя подобие очень плоского конуса.

Барабанная перепонка и полости среднего уха

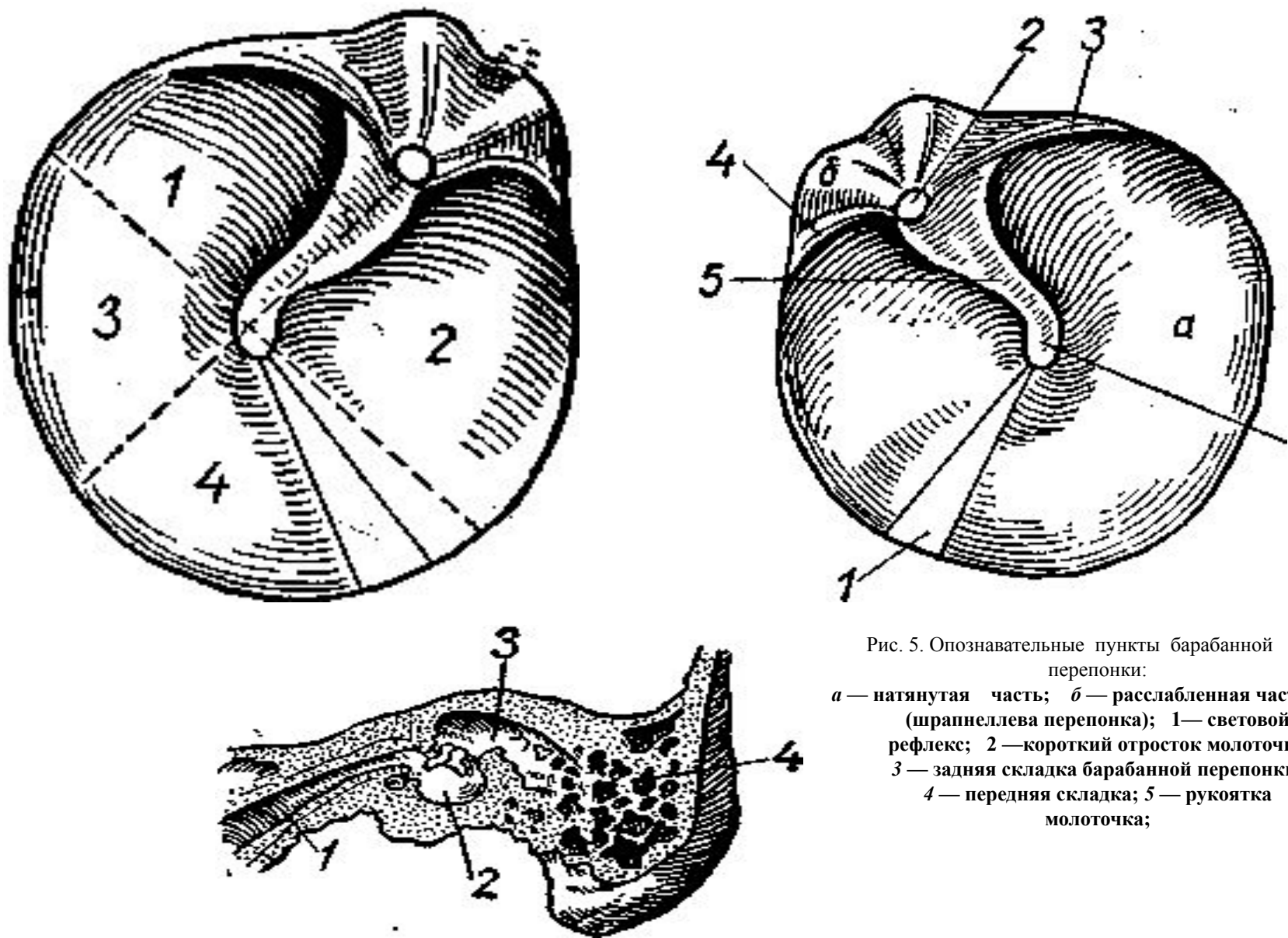


Рис. 5. Опознавательные пункты барабанной перепонки:

a — натянута часть; *б* — расслабленная часть (шрапнеллева перепонка); 1 — световой рефлекс; 2 — короткий отросток молоточка; 3 — задняя складка барабанной перепонки; 4 — передняя складка; 5 — рукоятка молоточка;

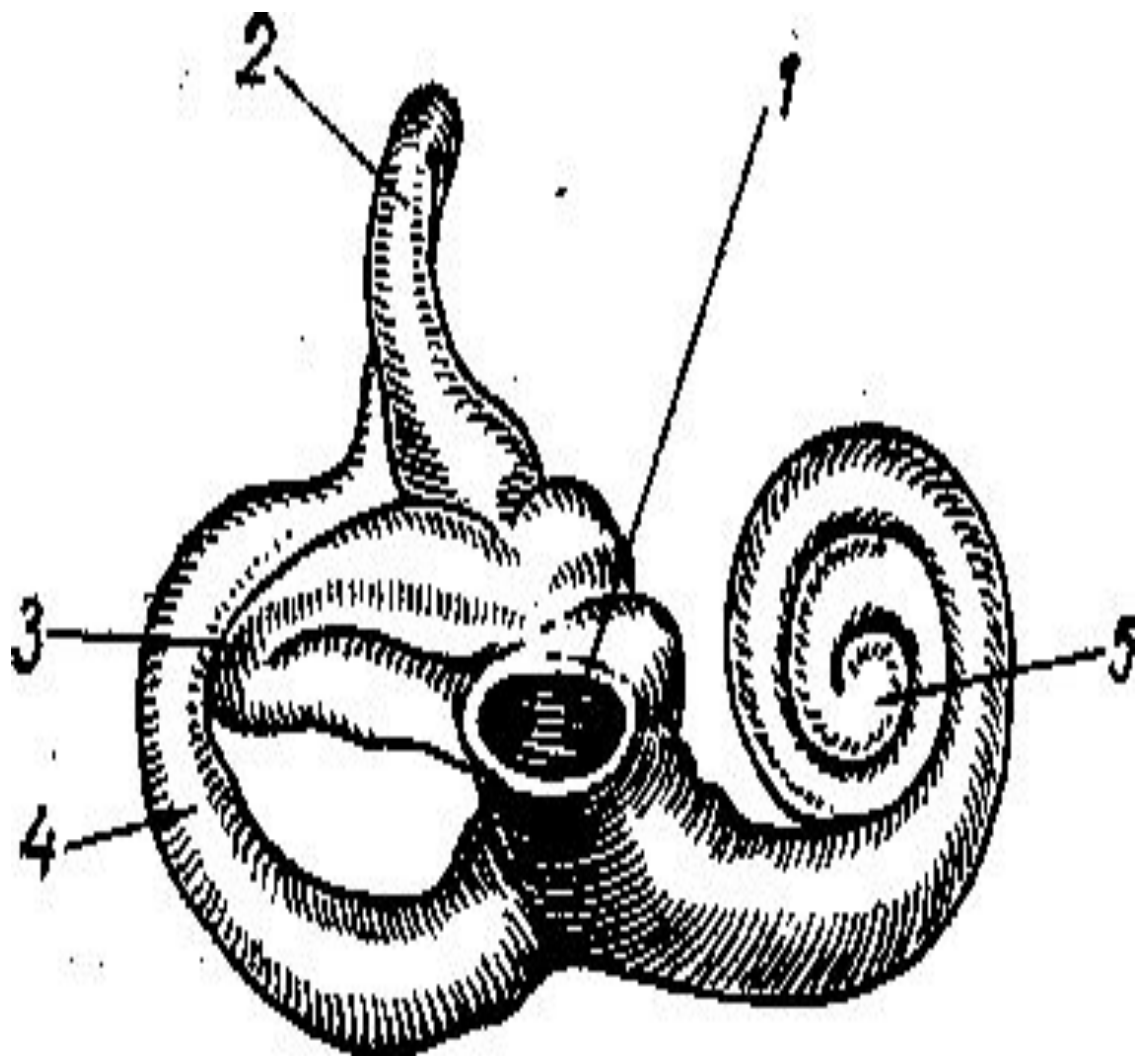
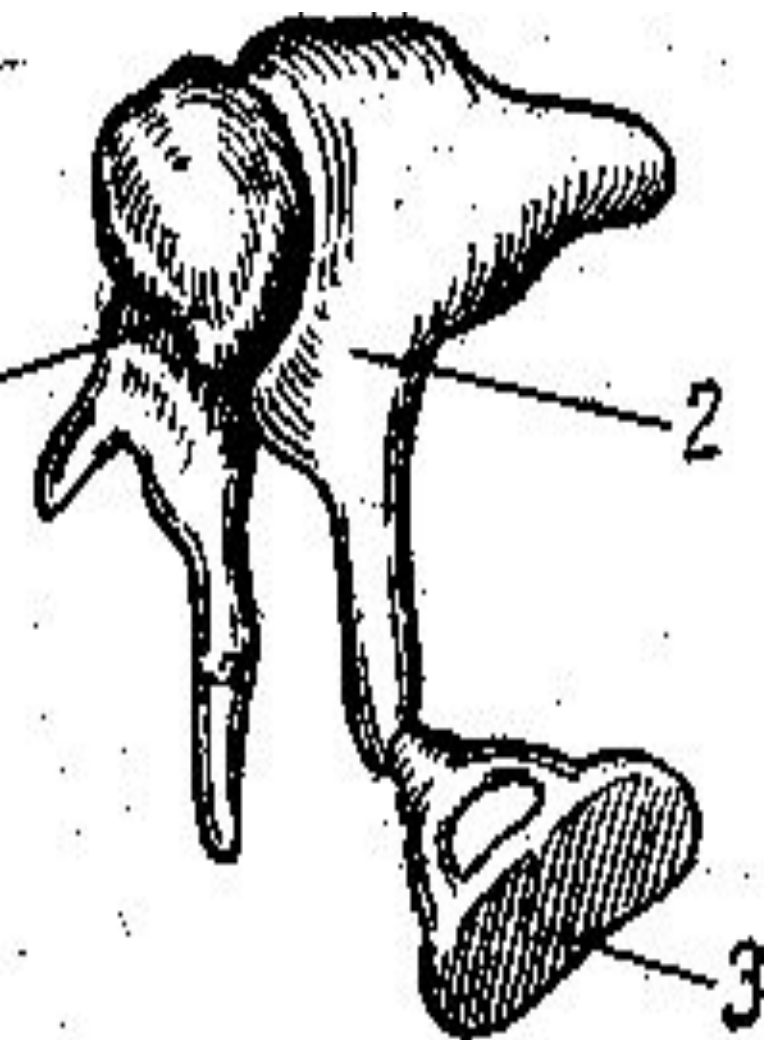
- **Полость среднего уха** соединена с глоткой узким проходом евстахиевой трубой; при глотании происходит некоторый обмен воздухом между глоткой и средним ухом. Изменение давления наружного воздуха, как, например, в самолете, вызывает неприятное ощущение "закладывает" уши. Оно объясняется натяжением барабанной перепонки из-за разницы между атмосферным давлением и давлением в полости среднего уха. При глотании евстахиева труба открывается, и таким образом давление по обе стороны барабанной перепонки выравнивается.

- **Величина барабанной перепонки с возрастом изменяется очень незначительно: у новорожденного она имеет почти те же размеры, что и у взрослого.**
- **Положение барабанной перепонки по мере развития ребенка подвергается заметным изменениям.**
- **У ребенка до двух месяцев она расположена почти горизонтально, являясь как бы продолжением верхней стенки наружного слухового прохода и образуя с горизонтальной плоскостью угол всего лишь в 10—20°;**
- **у детей старшего возраста угол наклона к горизонтали достигает 40—45°.**

- **Сосцевидный отросток височной кости представляет собой костное образование, похожее по форме на сосок (→ название).** Расположен позади ушной раковины. В нем расположены ячейки, сообщающиеся друг с другом посредством узких щелей. Форма, величина и количество этих ячеек очень изменчивы. **Самая крупная, носящая название Пещеры (антрум), имеется постоянно.** Пещера сообщается с барабанной полостью через отверстие в задней стенке последней, пещера отделяется от полости черепа костной пластинкой, иногда очень тонкой.
- **У детей приблизительно до трех лет сосцевидный отросток еще не развит и представляет собой только костный бугорок, но пещера существует уже у новорожденного ребенка.**

- **В среднем ухе** расположены три маленькие косточки - ***молоточек, наковальня и стремечко***. Они гибко связаны между собой и образуют своего рода цепочку. Один из отростков молоточка слит с барабанной перепонкой. Когда воздушные колебания приводят в движение барабанную перепонку, оно передается костной цепочке. Стремечко похоже на стремя, основание которого входит в отверстие в кости, называемое ***овальным окном***. Эта пластинка образует границу между полостью среднего уха и третьим отделом органа слуха, ***внутренним ухом***.
- Цепочка из косточек служит мостиком между барабанной перепонкой и овальным окном, между атмосферой и внутренним ухом. По этому пути звуковая энергия достигает внутреннего уха, где, заложены сенсорные клетки.

Слуховые косточки и костный лабиринт



- **Внутреннее ухо** находится в височной кости; оно непосредственно сообщается с органом равновесия. Вместе оба органа называются лабиринтом.
- Из-за своей формы внутреннее ухо называется также **улиткой**.
- Улитка состоит из трех параллельных, свернутых в катушку трубчатых каналов. Эти каналы называются *scala vestibuli* (лестница преддверия, или вестибулярная), *scala media* (средняя лестница, или улитковый проток) и *scala tympani* (барабанная лестница).
- У человека улитка образует два с половиной витка.
- Пластинка стремечка в овальном окне примыкает к вестибулярной лестнице, которая (как и остальные каналы) заполнена жидкостью.

Среднее и внутреннее ухо в разрезе

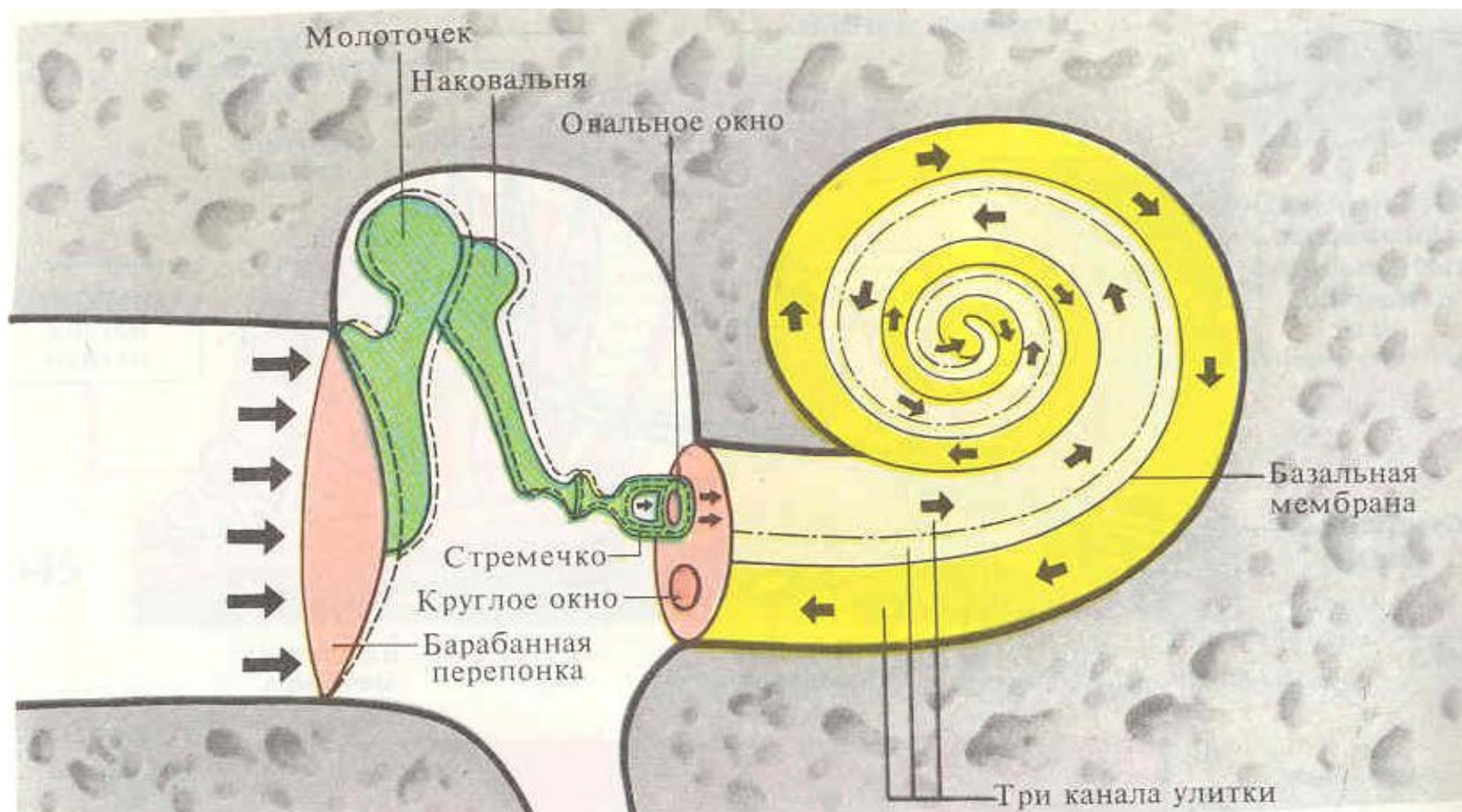


Схема строения улитки

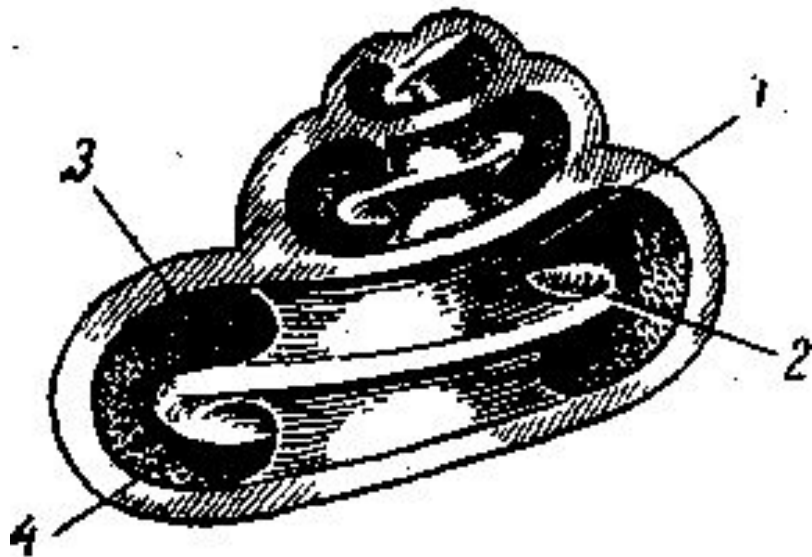


Рис.

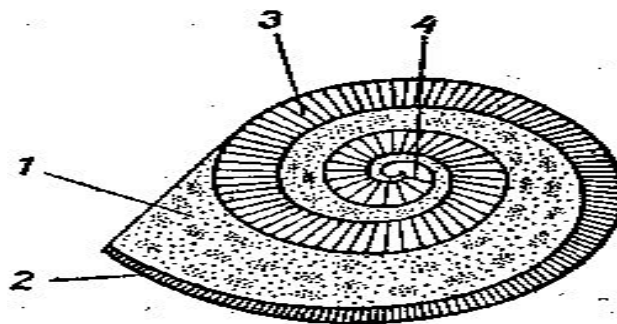
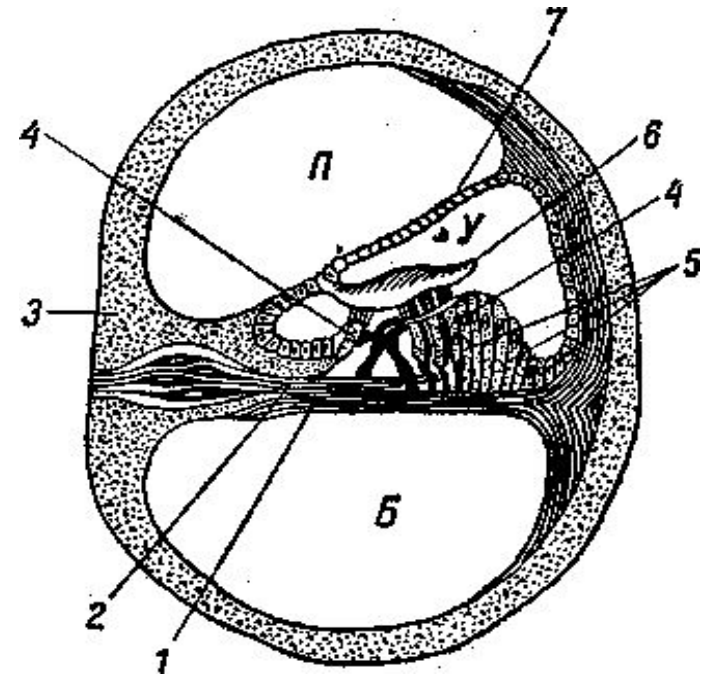
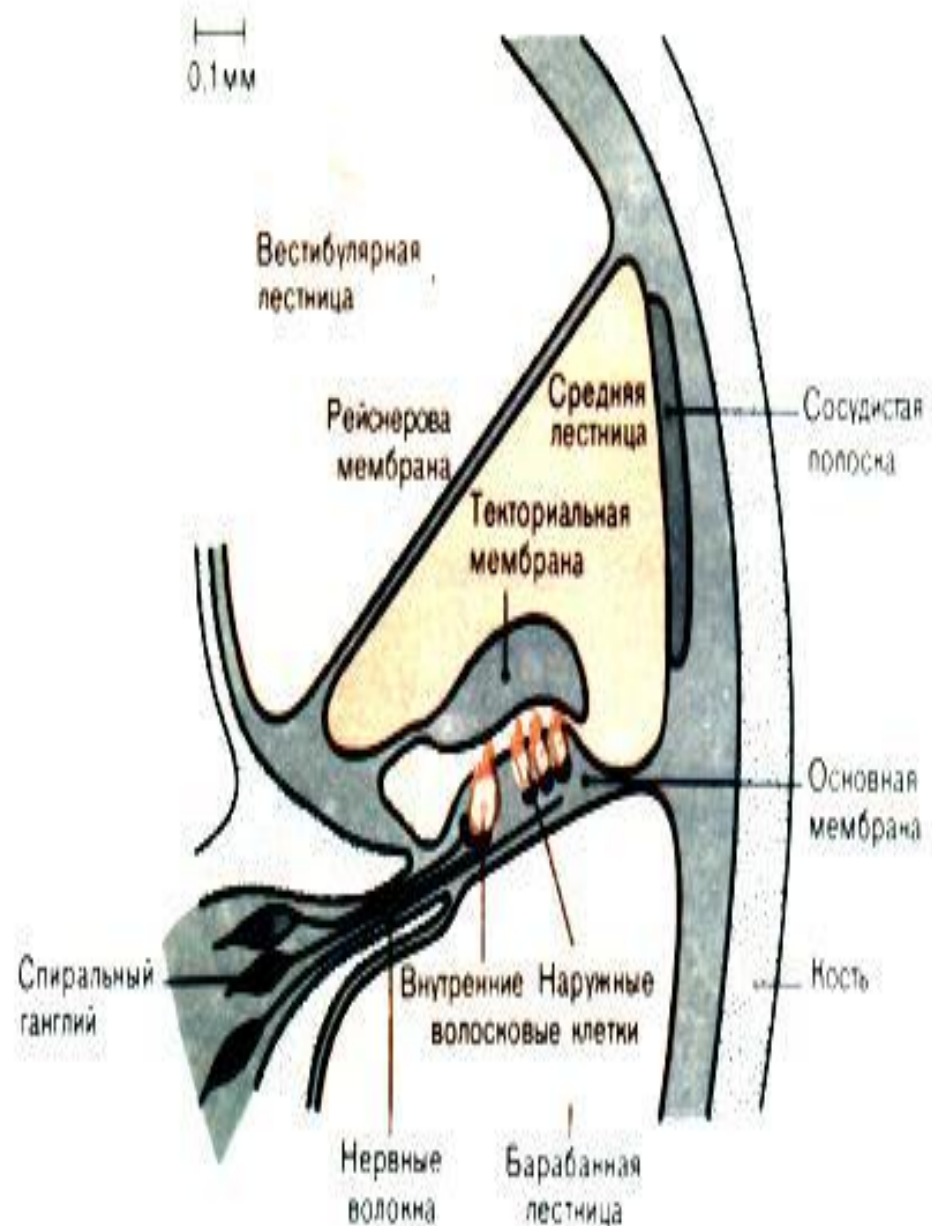


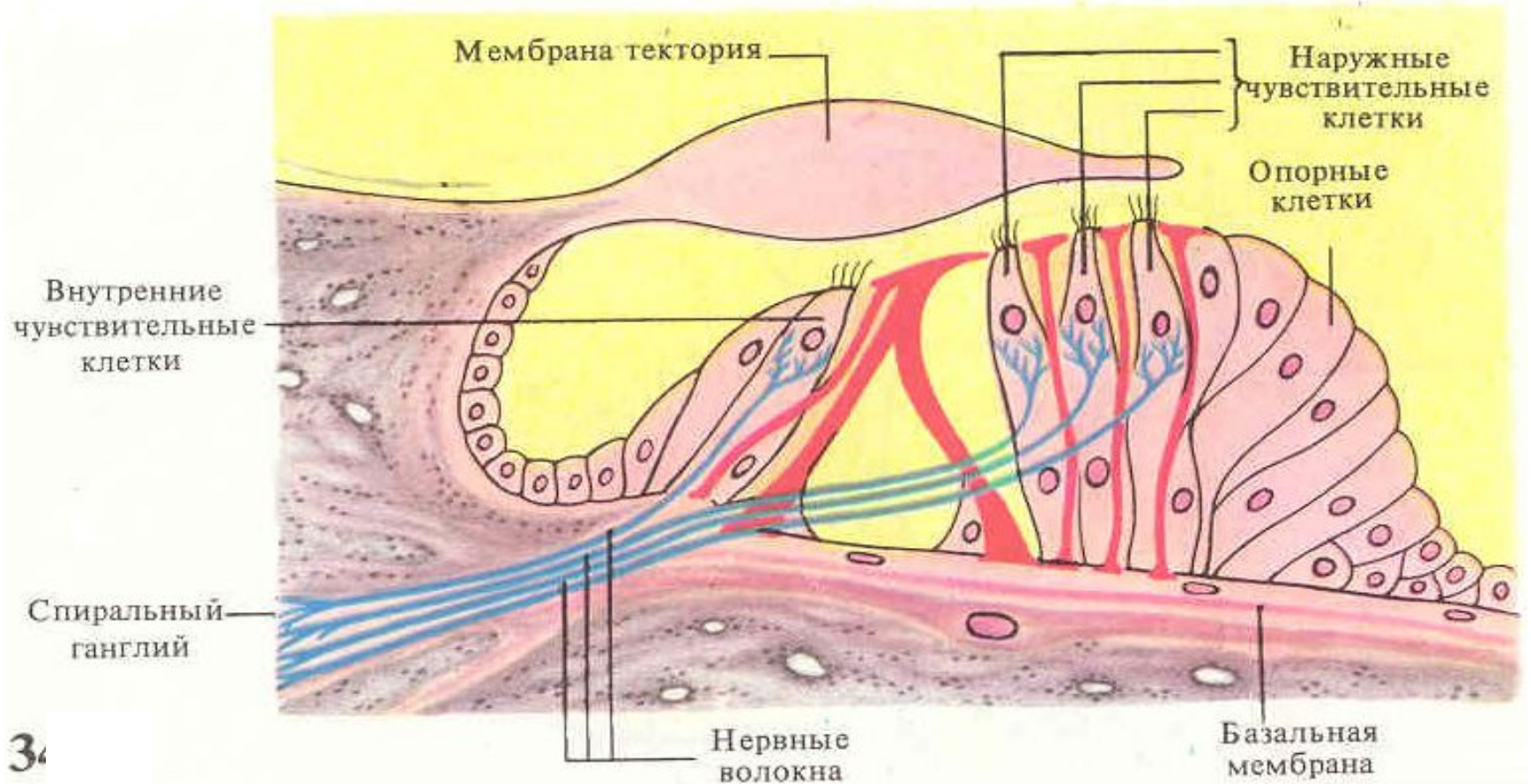
Схема строения
мембраны

Поперечный разрез завитка улитки.

- Граница между вестибулярной лестницей и улиточным ходом образована мембраной, которая называется **вестибулярной (рейснеровой)**. Границу между улитковым протоком и барабанной лестницей образует **базиллярная (основная) мембрана**, на которой находится собственно сенсорный аппарат - **кортиев орган**. В кортиевом органе лежат рецепторные клетки, окруженные обкладочными клетками. Они называются **волосковыми клетками** из-за их субмикроскопических, подобных волоскам отростков, **стереоцилий**. Различаются **внутренние и наружные** волосковые клетки.



Кортиев орган



- Над кортиевым органом лежит желатинозная масса, ***текториальная (покровная) мембрана***. Она прикреплена к внутренней стороне улитки, ближе ее оси. Она также прикасается к цилиям волосковых клеток, образуя довольно тесный контакт с ними.

- Тела клеток, передающих возбуждение от кортиева органа к центральной нервной системе, находятся в **спиральном ганглии**, который лежит в улитке, завиваясь вокруг ее оси вместе с каналами.
- У каждой клетки один отросток идет на периферию, к волосковым клеткам кортиева органа, другой в составе **слухового нерва к ЦНС.**
- Несмотря на то, что наружных волосковых клеток больше, **основная часть волокон в слуховом нерве идет от внутренних волосковых клеток.**

Звук и субъективное слуховое ощущение

- Для того чтобы человеческое ухо могло воспринять звук, **звуковое давление должно превысить определенный уровень.**
- Звуковое давление, при котором тон едва слышен, называется **слуховым порогом**. Его давление, зависит от частоты тестируемого тона. **Ухо наиболее чувствительно в пределах от 2000 до 4000 Гц.** При более высоких и более низких частотах требуются большие звуковые давления.
- По мере возрастания звукового давления над порогом тон слышится все громче независимо от его частоты. Отношение между (физическим) **звуковым давлением** и (субъективно воспринимаемой) **громкостью** описывается количественно. Испытуемый может не только сказать, когда тон стал слышимым (превысил порог слышимости), но и сообщить, когда два тона одинаковой частоты различаются по громкости.

- Взрослый человек слышит звуки с частотами в диапазоне от 20 до 16000 Гц (16 кГц). Частоты > 16 кГц называются *ультразвуковыми*, а < 20 Гц- *инфразвуковыми*.
- Таким образом, все, что мы слышим, связано со звуками между 20 Гц и 16 кГц .
- У "тугоухих" людей слуховые пороги повышены;
- Для восприятия звука им требуется более высокое звуковое давление, чем для людей с нормальным слухом.

Слуховое поле



Роль среднего уха

- Барабанная перепонка отвечает на звук и передает энергию своих колебаний по цепи косточек внутреннему уху, точнее, → перилимфе вестибулярной лестницы. Колебания, проводимые таким путем, называются воздушными.
- Ощущение звука создается также если камертон, прямо соприкасается с черепом. При этом колебание передается через кости черепа - костное проведение звука. В повседневной жизни костное проведение играет роль только при слушании собственного голоса.

- Проводимый по воздуху звук должен быть передан из воздуха жидкости, наполняющей внутреннее ухо. В норме, когда звуковые волны переходят из воздуха в жидкость, большая часть звуковой энергии отражается от этой границы.
- Сложный механизм, состоящий из барабанной перепонки и аппарата косточек, природа "изобрела" для уменьшения потерь из-за отражения.
- Косточки подстраивают акустический импеданс воздуха к импедансу внутреннего уха. В результате потери из-за отражения значительно уменьшаются, и большее количество звуковой энергии достигает внутреннего уха.

- Отростки косточек так расположены в цепочке, что действуют как рычаги и усиливают давление.
- Таким образом, по своему действию система перепонка - косточки сходна с трансформатором.
- Этот механизм улучшает слух приблизительно на 15-20 дБ. К молоточку и стремечку прикреплены тонкие мышцы, так называемые *мышцы слуховых косточек*. Они отвечают на звуковые стимулы рефлекторными сокращениями.

Прием звука внутренним ухом. Теория места

- Когда звук попадает в ухо, стремечко передает энергию перилимфе вестибулярной лестницы. Стремечко колеблется взад и вперед, увлекая за собой лимфу.
- При перемещении стремечка внутрь, мембрана круглого окна выпячивается наружу, и наоборот.
- При этих движениях стремечка происходят одновременные смещения близлежащих базальных частей улиткового протока, а именно **основной и вестибулярной мембран.**

Улитковый проток → средняя лестница, наполненная эндолимфой, и ограничивающие ее вестибулярная и основная мембраны.

- **Начальное смещение основания улиткового протока вызывает волну, бегущую вдоль него от базального конца к геликотреме подобно тому, как можно послать в горизонтальном направлении волну по веревке.**
- **Длительные тоны приводят стремечко в длительные колебания, и такие *бегущие волны* перемещаются вдоль наполненного эндолимфой хода.**

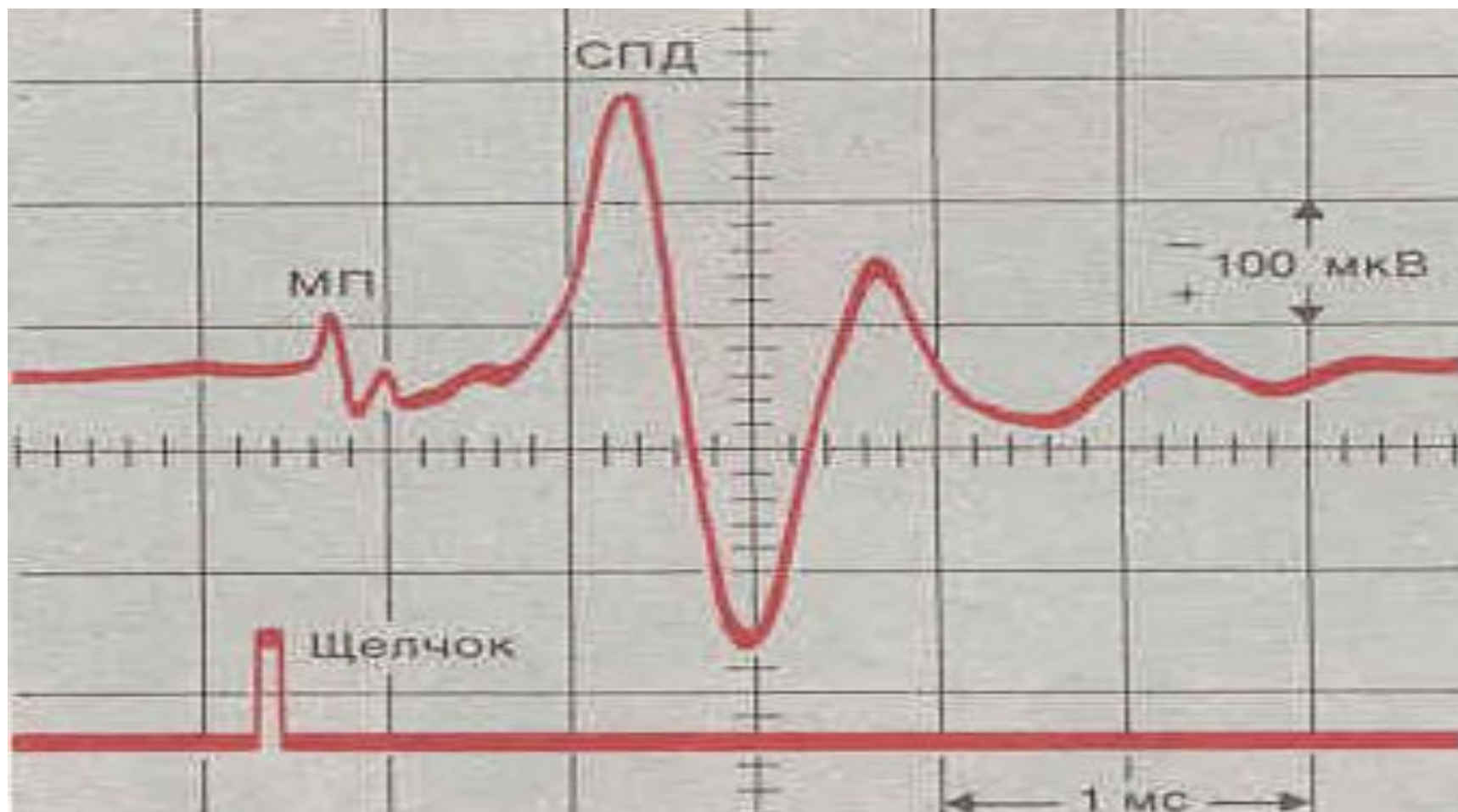
- Под действием звука основная мембрана колеблется вверх и вниз.
- *Жесткость* основной мембраны снижается от стремечка к геликотреме, → скорость распространения волн постепенно уменьшается в этом направлении.
- Амплитуда волн сначала возрастает, а дальше волны затухают достигая геликотремы.
- Поэтому между местом возникновения волны у стремечка и точкой, где она кончается, лежит точка максимального отклонения. Этот максимум для разных частот приходится на разные места, сдвигаясь к стремечку при повышении частоты и ближе к геликотреме для низких частот.
- Наличие этих точек максимального смещения помещает каждую частоту на определенное место улиткового протока. Сенсорные клетки возбуждаются главным образом в местах максимумов, и тем самым каждая частота возбуждает "свои" сенсорные клетки → "теория места".

Рецепция стимула волосковыми клетками

- Звук вызывает колебания улиткового протока попеременно в сторону вестибулярной и в сторону барабанной лестницы. Одним из эффектов этого движения является *смещение основной и покровной мембран относительно друг друга*.
- *Цилии волосковых клеток* плотно соприкасаются с покровной мембраной → **смещение вызывает их отклонение**. Сгибание цилий для волосковых клеток → адекватный стимул.
- Если пользоваться микроэлектродом для измерения потенциалов в среднем ухе с индифферентным электродом в вестибулярной лестнице, то в улитковом протоке регистрируется большой положительный потенциал ($\sim +80$ мВ). По отношению к тому же уровню сосудистая полоска и кортиев орган обладают отрицательными потенциалами.
- Все эти потенциалы наблюдаются *в отсутствие звука*, поэтому их называют **стоячими (т.е. постоянными) потенциалами**.

- Когда звук попадает в ухо, возникают добавочные потенциалы, так называемые микрофонные потенциалы и потенциалы действия слухового нерва. Термин **микрофонный потенциал** (который можно регистрировать у круглого окна) возник потому, что этот потенциал ведет себя подобно выходному потенциалу микрофона, т е **близко воспроизводит колебания звукового давления**. Микрофонный потенциал следует за стимулом практически без латентного периода не подвержен утомлению.
- **Вероятно, микрофонный потенциал представляет собой регистрируемую внеклеточно сумму рецепторных потенциалов всех возбужденных волосковых клеток.**

Микрофонный потенциал улитки и потенциал действия, зарегистрированный у овального окна в ответ на щелчок



- Акустический стимул в результате сгибания цилий вызывает *одновременное изменение проводимости* мембраны рецепторной клетки.
- Изменение проводимости мембраны сопровождается **быстрыми токами ионов** внутрь или наружу, что в свою очередь создает *рецепторный потенциал*.
- Рецепторный потенциал каждой волосковой клетки вызывает *высвобождение медиатора на ее базальном полюсе* → это вещество возбуждает афферентные нервные волокна.
- *Потенциалы действия* в волокнах слухового нерва сигнализируют центральной нервной системе о возбуждении волосковых клеток. Эти потенциалы действия можно зарегистрировать микроэлектродами.

Глухота при поражении среднего или внутреннего уха

Нарушения слуха можно грубо разделить на два вида:

1. **Нарушение проведения**, при котором среднее ухо по разным причинам не передает достаточную звуковую энергию к внутреннему уху;

2. Поражение внутреннего уха, при котором глухота вызвана **повреждением улитки-волосковых клеток или афферентных нервных волокон.**

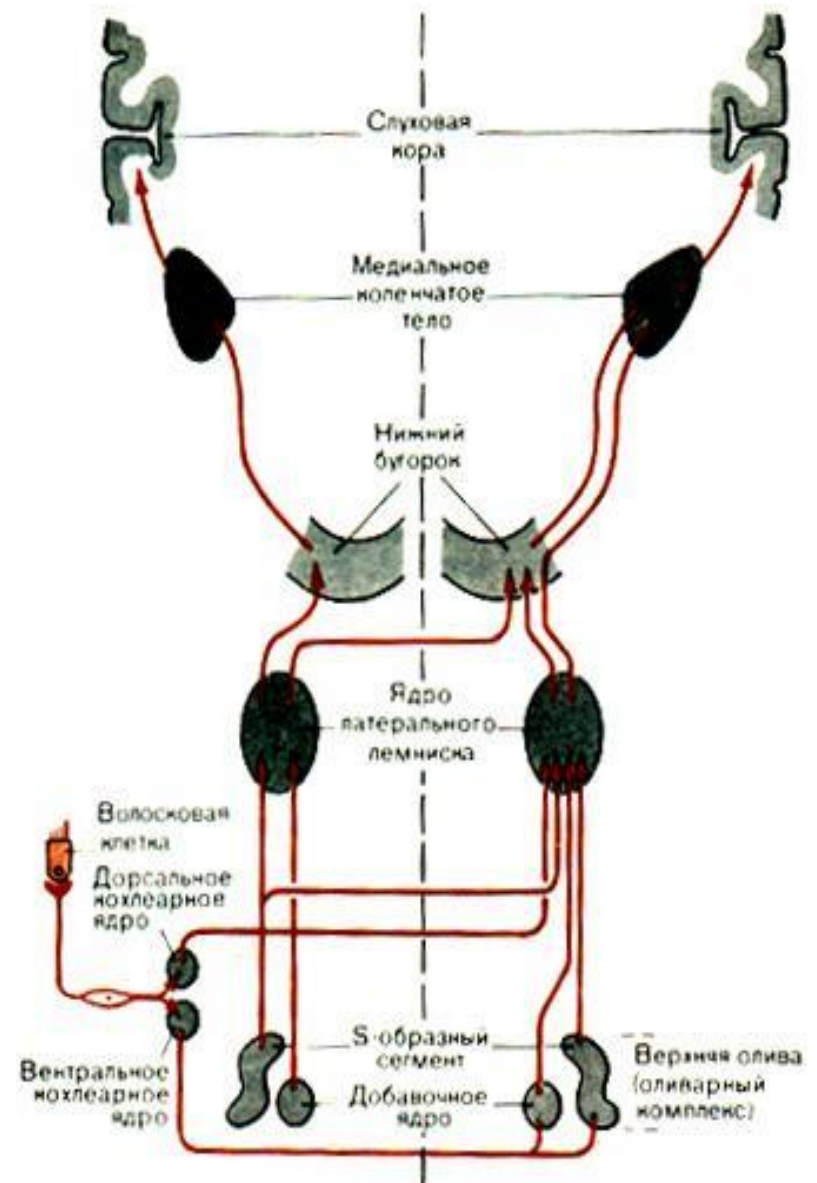
- При аудиометрическом обследовании проверяют не только ответы на звуки, возникшие в воздухе, но и эффективность костного проведения. Вибратор помещается на сосцевидный отросток, костный выступ за ушной раковиной, с той стороны, которую надо обследовать.
- Если нарушение слуха вызвано **повреждением внутреннего уха**, слуховой порог возрастет и при воздушном, и при костном проведении, так как затронут сам процесс рецепции.
- Если же глухота связана с **поражением среднего уха**, проведение возникших в воздухе звуков нарушается, а внутреннее ухо продолжает функционировать и порог костного проведения остается неизменным.

Слуховой нерв и высшие уровни слухового пути

- Каждое волокно в слуховом нерве начинается от узкой ограниченной области улитки, в некоторых случаях от одной внутренней волосковой клетки. **Отдельные участки улитки связаны с отдельными частотами** → каждое нервное волокно оптимально возбуждается звуком определенной частоты. Это **характеристическая частота** данного волокна.
- Таким образом, волокно в слуховом нерве подвергается возбуждению легче всего, когда ухо стимулируется звуком частоты, **характеристичной** для данного волокна. Если же ухо стимулируется тонами, частоты которых не являются характеристическими, то оно может быть активировано только при достаточном увеличении интенсивности.
- **Длительность** стимула кодируется длительностью активации, а **интенсивность - степенью** активации. При повышении уровня звукового давления не только усиливается возбуждение данных волокон (увеличивается частота их разряда), но в активность вовлекаются также дополнительные волокна (с частотами, близкими к характеристической).
- **Следовательно, на уровне первичных афферентных волокон звуковой стимул разлагается на свои частотные компоненты. На более высоких уровнях слухового пути переработка информации носит совсем иной характер**

Упрощенная схема слухового пути

- Первичные афферентные волокна идут сначала к кохлеарному ядру, подразделенному на *вентральную* и *дорсальную* части. От вентральной части вентральный тракт идет к ипсиплатеральным *оливарным комплексам*. Таким образом нервные клетки в каждом оливарном комплексе получают входы от обеих ушей. *Дорсальное кохлеарное ядро* служит началом дорсального тракта. Эти волокна переходят на противоположную сторону и там образуют синапсы с нейронами *ядра латерального лемниска*. Одни восходящие волокна клеток оливарного комплекса проецируются на ту же сторону, другие образуют перекрест. Над латеральным лемниском слуховой тракт идет через два ядра переключения - *нижний бугорок* и *медиальное коленчатое тело* - к своему последнему назначению - *первичной слуховой коре* в височной доле. Таким образом, этот тракт состоит из последовательности по меньшей мере пяти или шести нейронов



Характеристика ответов центральных слуховых нейронов

- Нейроны слухового нерва возбуждаются совсем простыми стимулами, например чистыми тонами, но для нейронов высших уровней слухового пути обычно требуются более сложные звуки.
- При отведении от клеток более высоких уровней ответы на чистые тоны часто вообще отсутствуют. Эти клетки **отвечают на сложные звуковые паттерны**, например на амплитудно- или частотно-модулированные звуки, т.е. звуки с непрерывно меняющейся интенсивностью или частотой. Другие нейроны реагируют только на начало или только на конец звукового стимула и т. п. Часто клетка активируется одними частотами и тормозится другими.
- **Чем выше уровень, на котором находится нейрон в слуховом пути, тем более сложные звуки вызывают его возбуждение.**

- В жизни звуки редко бывают чистыми тонами. Обыкновенно они содержат разнообразные компоненты. Это особенно верно для речи, структура которой все время меняется; некоторые ее элементы очень короткие, и, как правило, в ней возникает одновременная модуляция амплитуды и частоты.
- Нейроны в высших отделах слухового пути специализированы для извлечения специфических характеристик таких сложных звуков, например изменения частоты в произносимом слове, и тем самым для узнавания некоторых констелляций стимулов.
- Клетки, отвечающие на такие особые констелляции, являются слуховыми аналогами сложных или сверхсложных нейронов зрительной коры. В обеих модальностях такие клетки извлекают определенные свойства стимула, участвуя в процессе опознания его структуры.

Патология органа слуха

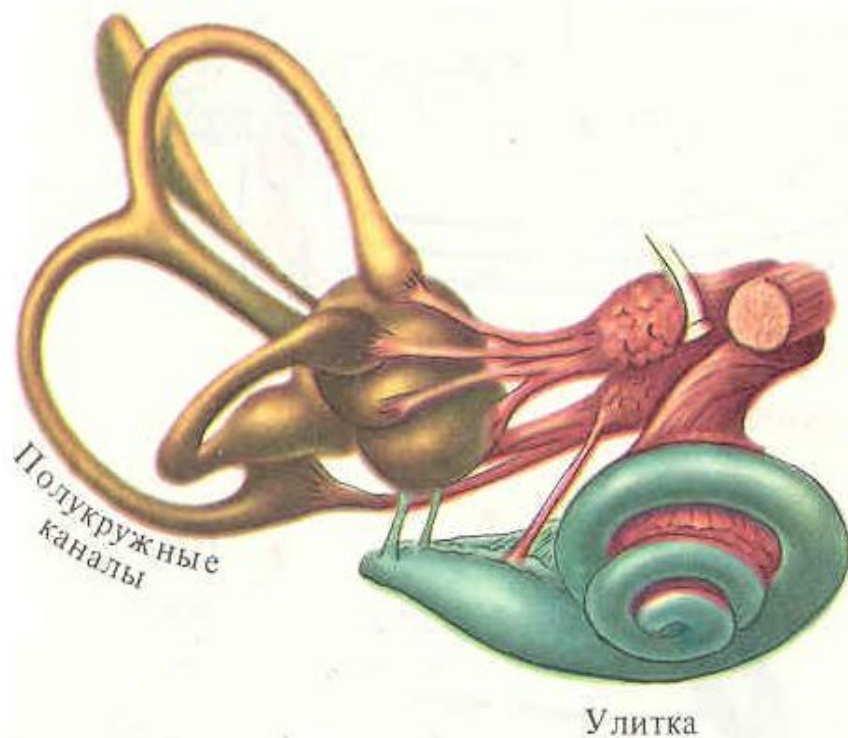
- **Снижение слуха может быть вызвано различными причинами: травмой уха, серной пробкой, воспалением наружного и/или среднего уха, поражением слухового анализатора → тугоухость может быть *кондуктивного, нейросенсорного или смешанного генеза.***

О конкретных формах патологии мы будем говорить в следующих лекциях.

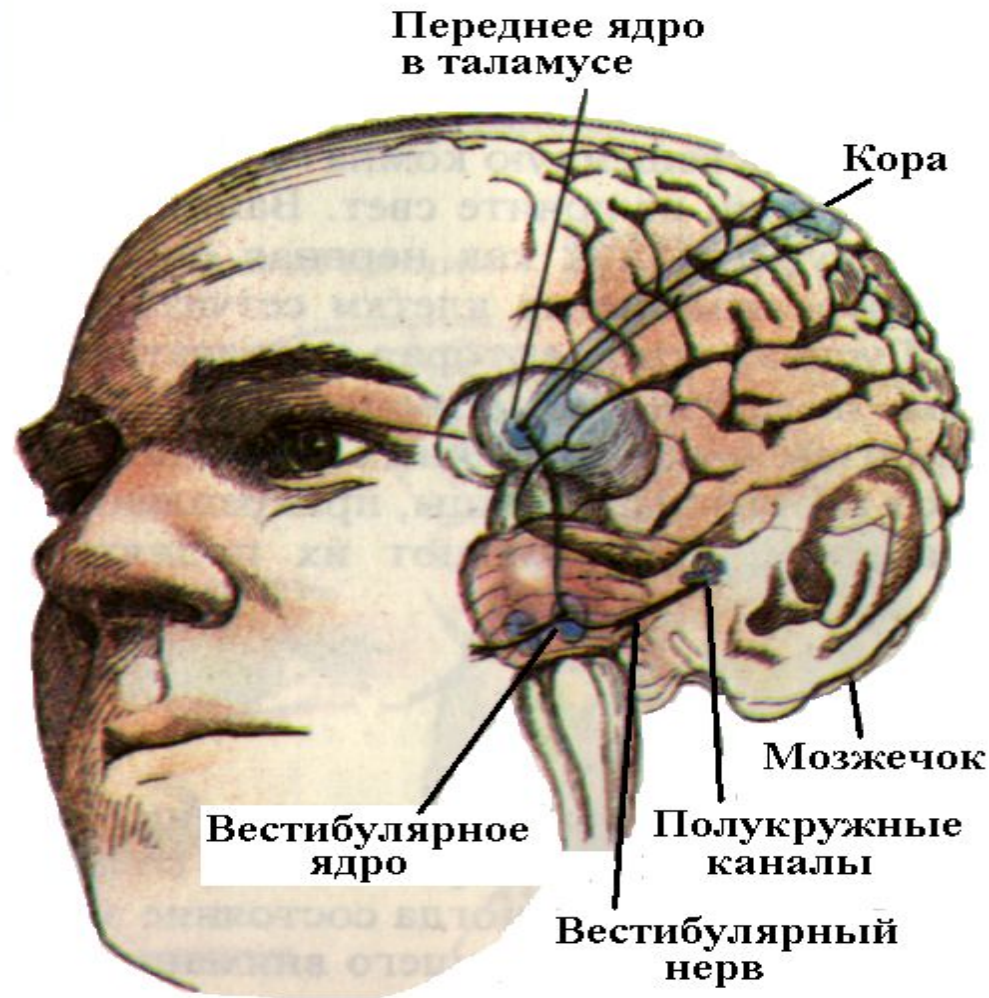
Схема исследования слухового анализатора

AD	С.ш.	AS
б м	Ш.речь	0,5 м
б м	Р. речь	2, м
Воздух = 22 (норма=22 сек)	С-128 (норма=22 сек)	Воздух=10
Кость=17	N (норма=17 сек)	Кость=17
30	С-2048 (норма=30 сек)	0
+ положительный	R	- отрицательный
	W	+
	Sch	Удлинен

Вестибулярный аппарат



Система равновесия





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ