

Анатомия и физиология органа слуха

**Кафедра специальной психологии КГПУ
канд. мед. наук, доцент Бардецкая Я.В.**

- **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 (**слуховой анализатор**) относится к числу тех рецепторных (воспринимающих) аппаратов, при помощи которых осуществляются связь и уравнивание организма животного и человека с внешней средой.
- Он 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.

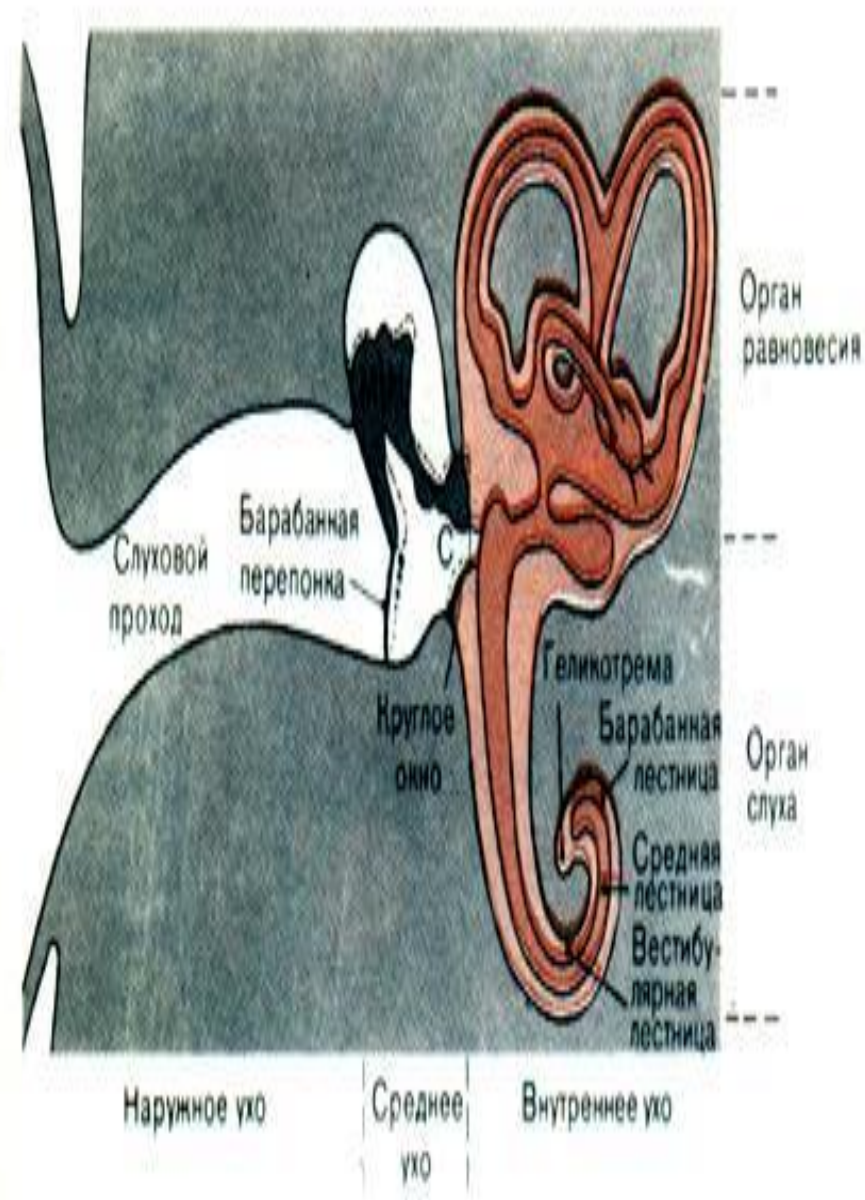
- **Периферический отдел анализатора состоит из особо устроенных нервных клеток, рецепторов, воспринимающих преимущественно определенный вид раздражения.**
- **Эти клетки являются специальными трансформаторами (*преобразователями*) энергии внешнего раздражения в энергию нервного возбуждения.**

• **Периферический отдел
слухового анализатора, или
собственно ухо, в
анатомическом отношении
состоит из трех
частей:**

**наружного, среднего и
внутреннего уха.**

Схема наружного, среднего и внутреннего уха.

- Слуховой проход, соединяющий наружное и среднее ухо, 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).

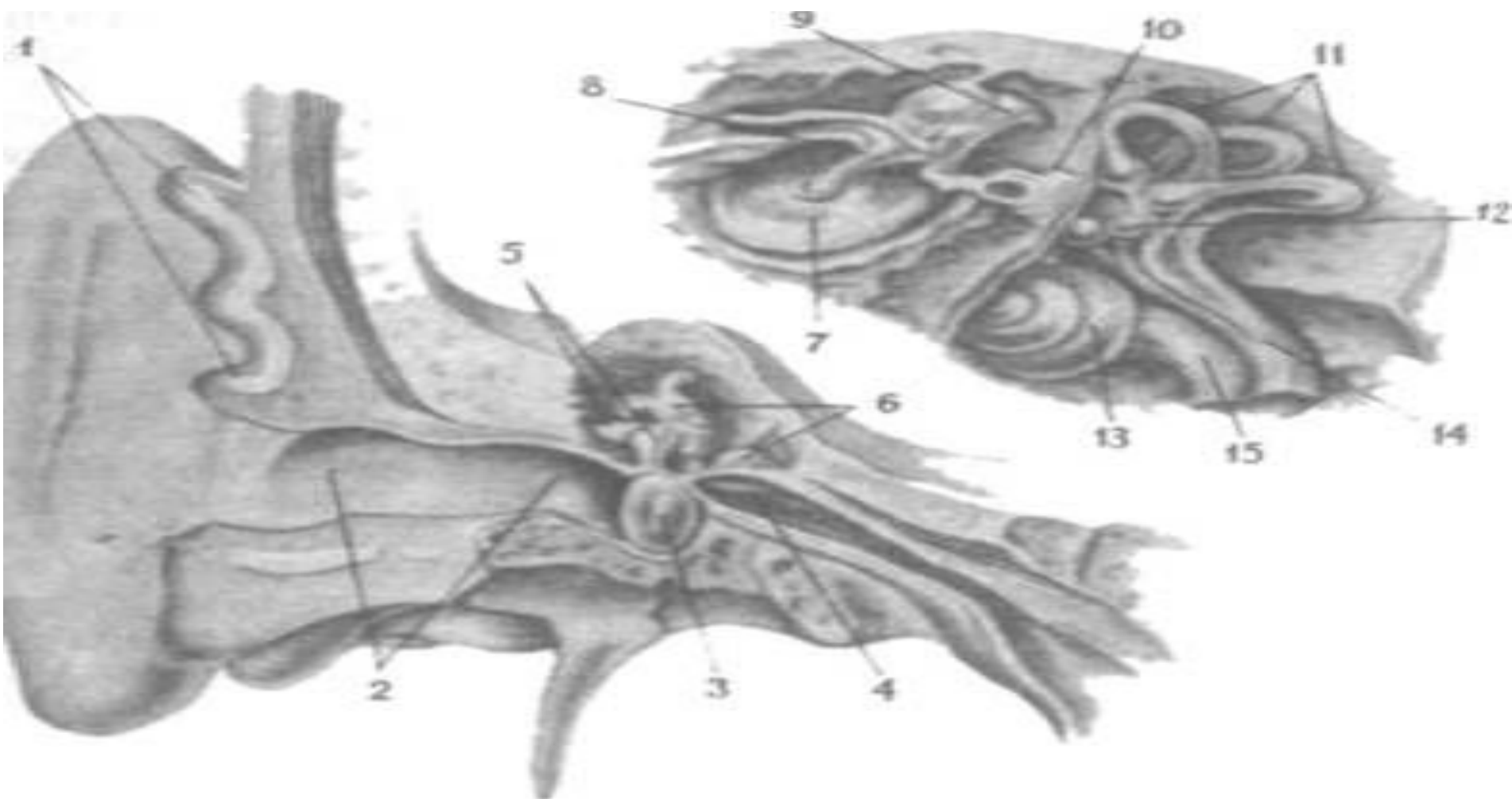


- Наружное ухо состоит из ушной раковины и наружного слухового прохода. **Ушная раковина** представляет собой воронкообразную хрящевую пластинку, покрытую кожей и переходящую непосредственно в наружный слуховой проход. Нижняя часть ушной раковины, или мочка, лишена хряща. Впереди наружного слухового прохода расположен выступ ушной раковины — **козелок**.



1 — козелок; 2 — мочка

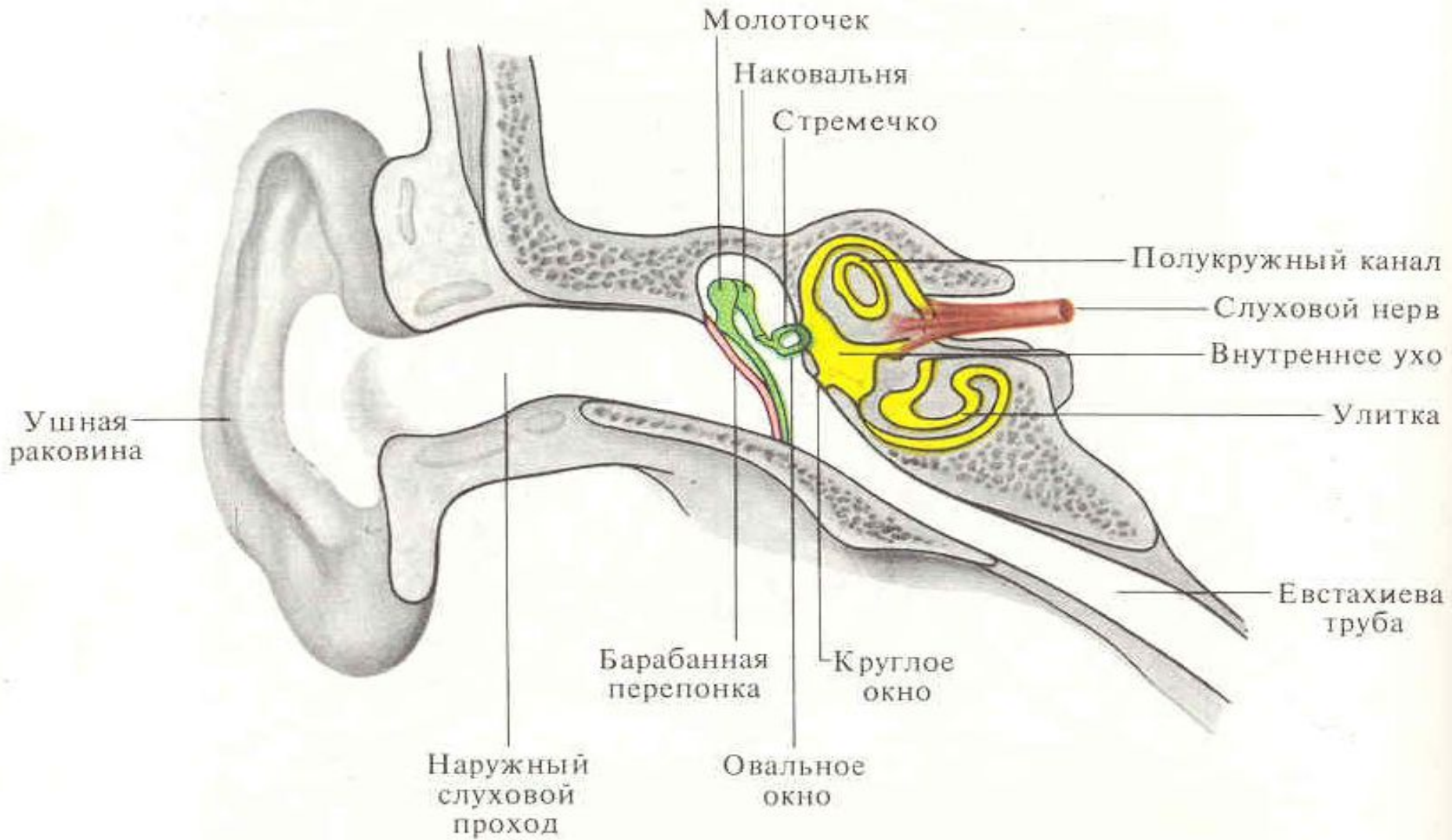
- Наружный слуховой проход состоит из хрящевой (**наружной**) и костной (**внутренней**) частей. Общая длина наружного слухового прохода у взрослых около 2,5 см.
- На месте перехода хрящевой части в костную наружный слуховой проход образует изгиб.
- Для выпрямления оси наружного слухового прохода приходится при его осмотре оттягивать ушную раковину **у взрослых и у детей старшего возраста кзади-кверху, а у маленьких детей — кзади-книзу**.



1 — хрящ ушной раковины; 2 — наружный слуховой проход; 3 — барабанная перепонка; 4 — слуховая труба; 5 — слуховые косточки; 6 — лабиринт; 7 — внутренняя поверхность барабанной перепонки; 8 — молоточек; 9 — наковальня; 10 — стремя; 11 — полукружные каналы; 12 — преддверье; 13 — улитка; 14 — преддверный нерв; 15—улитковый нерв

- **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.

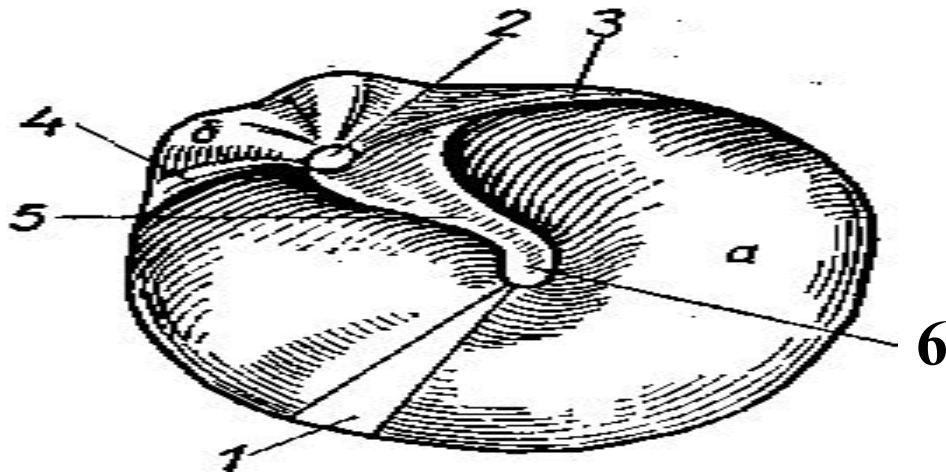
Слуховой анализатор



- **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

Нормальная барабанная перепонка



Опознавательные пункты барабанной перепонки:

а — натянута часть;

б — расслабленная часть (шрапнеллевая перепонка);

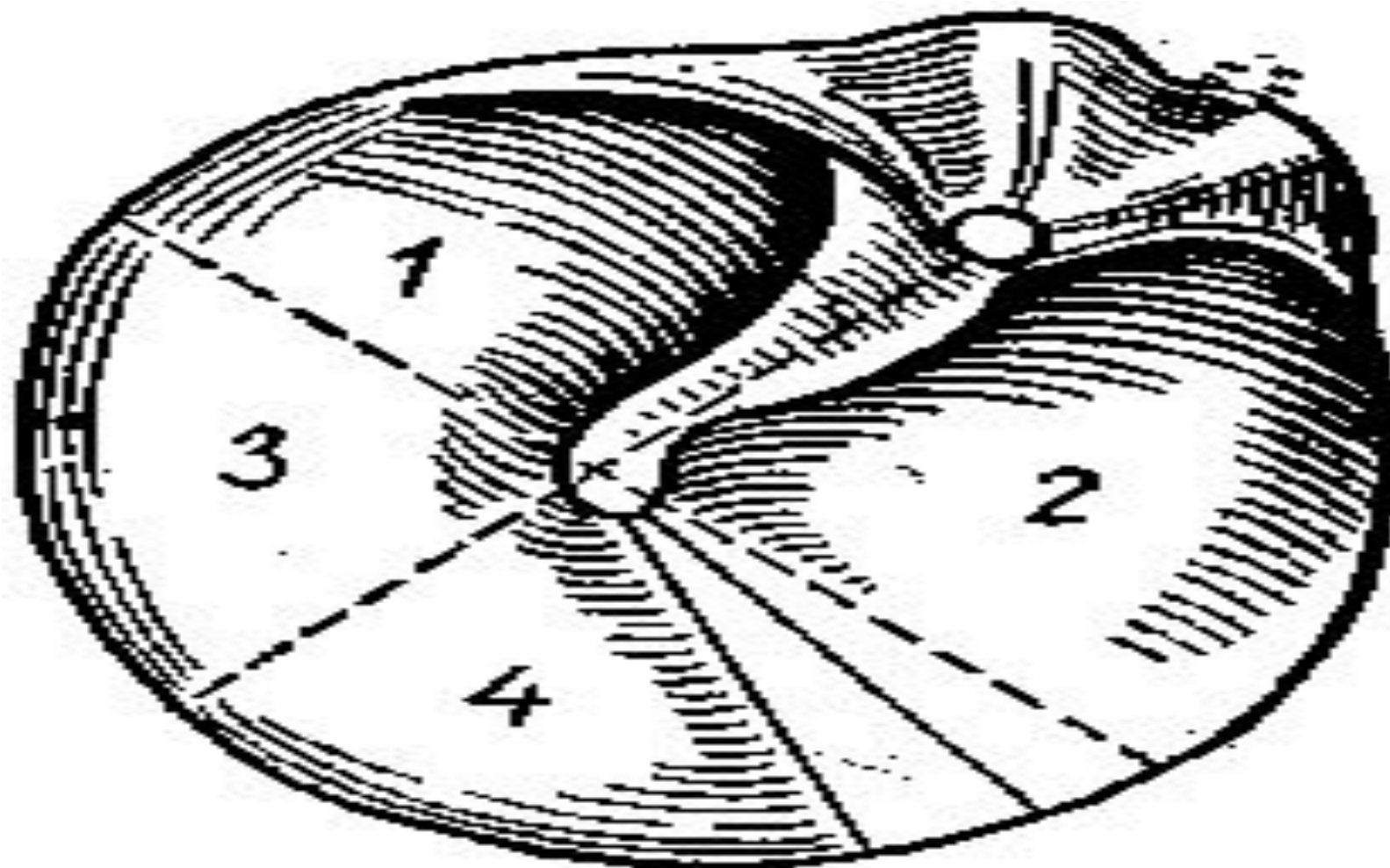
1— световой рефлекс;

2 —короткий отросток молоточка;

3 — задняя складка барабанной перепонки;

4 — передняя складка;

5 — рукоятка молоточка; 6 - пупок



Для обозначения изменений, возникающих на барабанной перепонке, ее делят условно на четыре части или квадранты:

**1 – задне-верхний; 2 - задне-нижний; 3 - передне-верхний;
4 - передне-нижний**

- **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 $10\text{—}20^\circ$;**
- **у детей старшего возраста угол наклона к горизонтали достигает $40\text{—}45^\circ$.**

Среднее ухо

1. Барабанная полость
2. Слуховая труба
3. Сосцевидный отросток
с костными ячейками

- Полость среднего уха соединена с носоглоткой 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.

- **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.

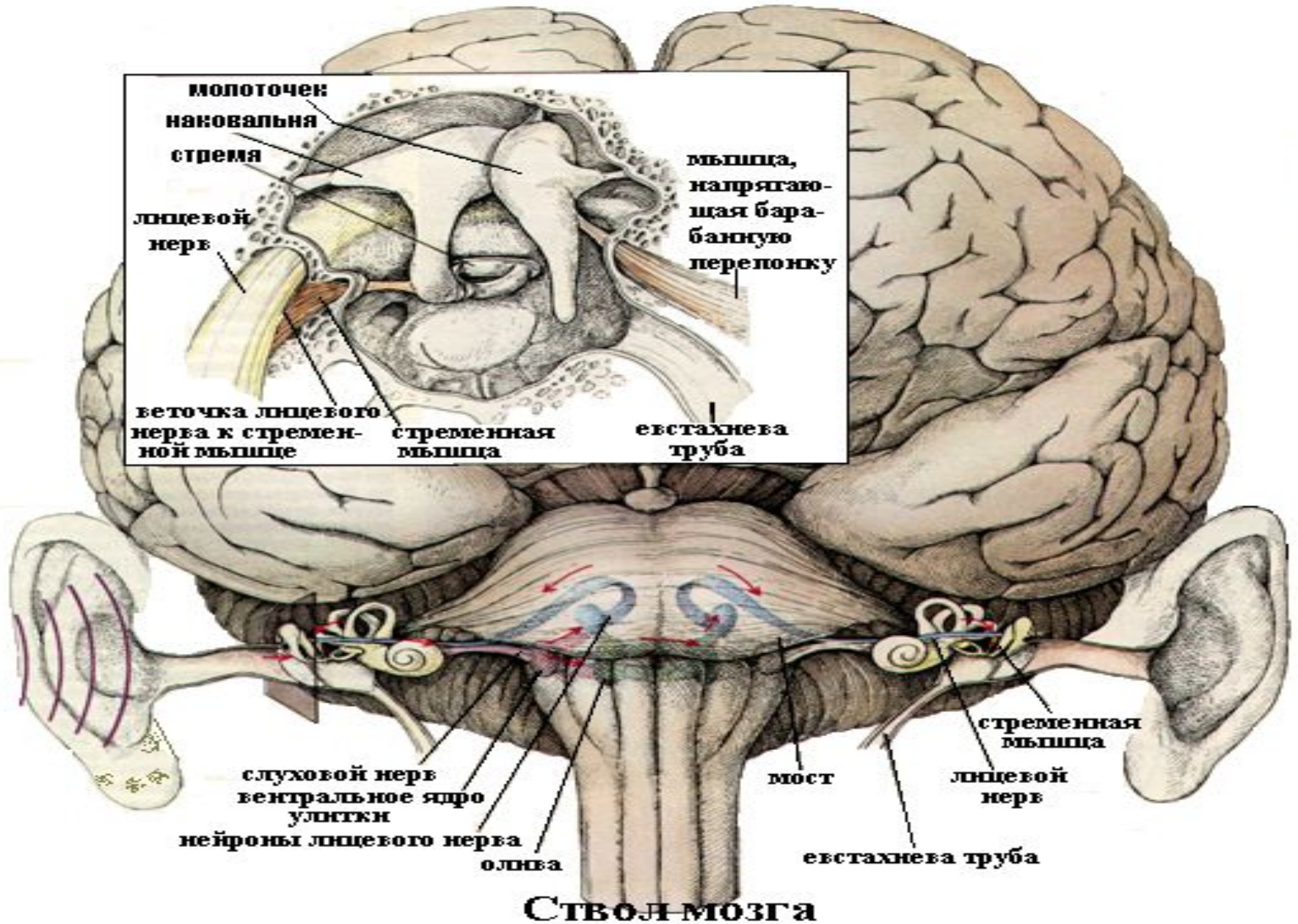
Полости среднего уха:



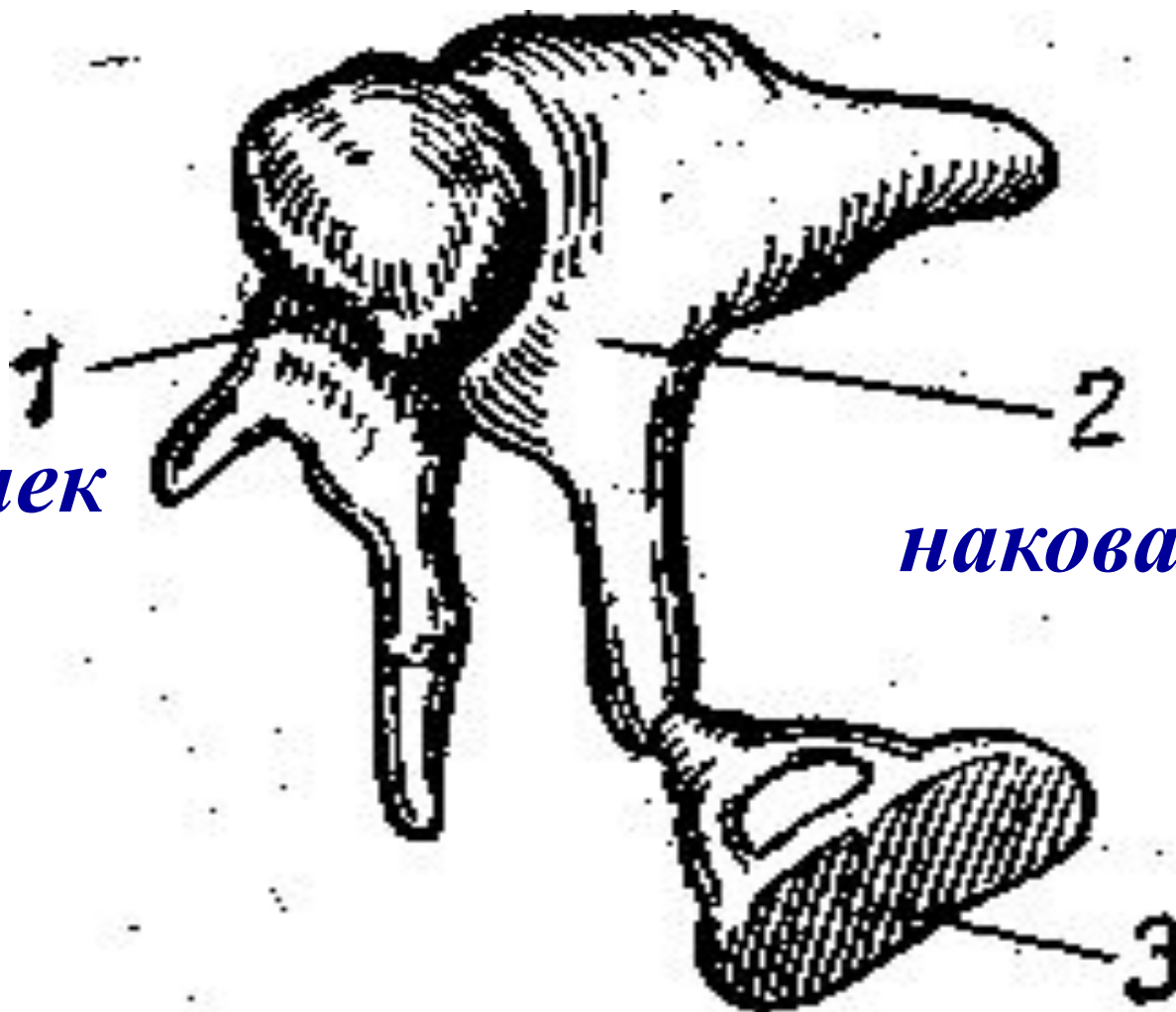
1 — слуховая труба; 2 — барабанная полость, 3 — пещера; 4 — ячейки сосцевидного отростка

- **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.**

Слуховая система



Слуховые косточки



молоточек

наковальня

стремя

Внутреннее ухо

- 1. Преддверие**
- 2. Полукружные каналы**
- 3. Улитка**

- Внутреннее ухо, или ушной лабиринт, представляет собой систему каналов и полостей в толще височной кости.
- Различают костный и перепончатый лабиринты, причем костный лабиринт является как бы футляром для перепончатого.
- Перепончатый лабиринт наполнен особой жидкостью — **эндолимфой**, а пространство между перепончатым и костным лабиринтами также заполнено жидкостью — **перилимфой**.
- Преддверие составляет центральную часть лабиринта и состоит из двух перепончатых мешочков: переднего (круглого) и заднего (овального). Передний мешочек сообщается с улиткой, а задний — с полукружными каналами.

- **Полукружных каналов три: верхний, задний и наружный.**
- **Они расположены в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Один из концов каждого канала гладкий, а другой имеет расширение — ампулу.**
- **Преддверие и полукружные каналы образуют так называемый вестибулярный (от лат. *vestibulum* — преддверие) аппарат и являются периферическим отделом пространственного анализатора, или органа равновесия.**

КОСТНЫЙ ЛАБИРИНТ

верхний
полукружный
канал

2

преддверие

наружный
полукружный
канал

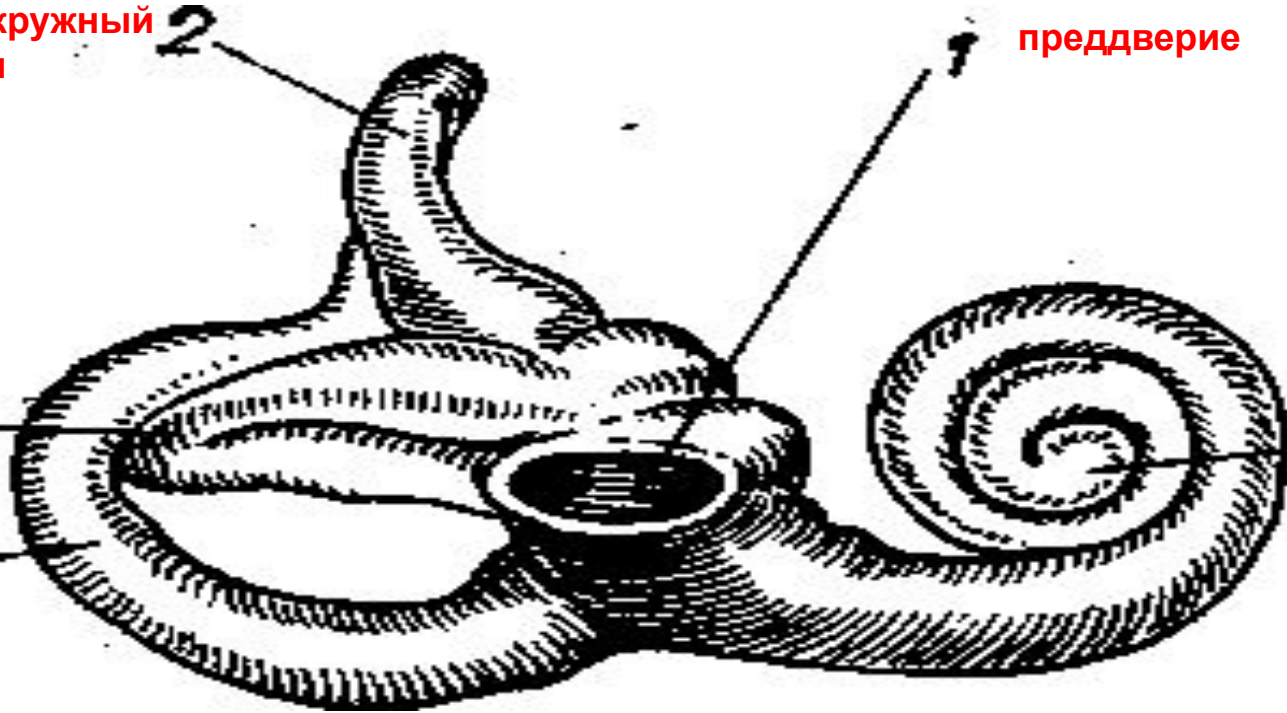
3

задний
полукружный
канал

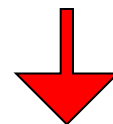
4

улитка

5

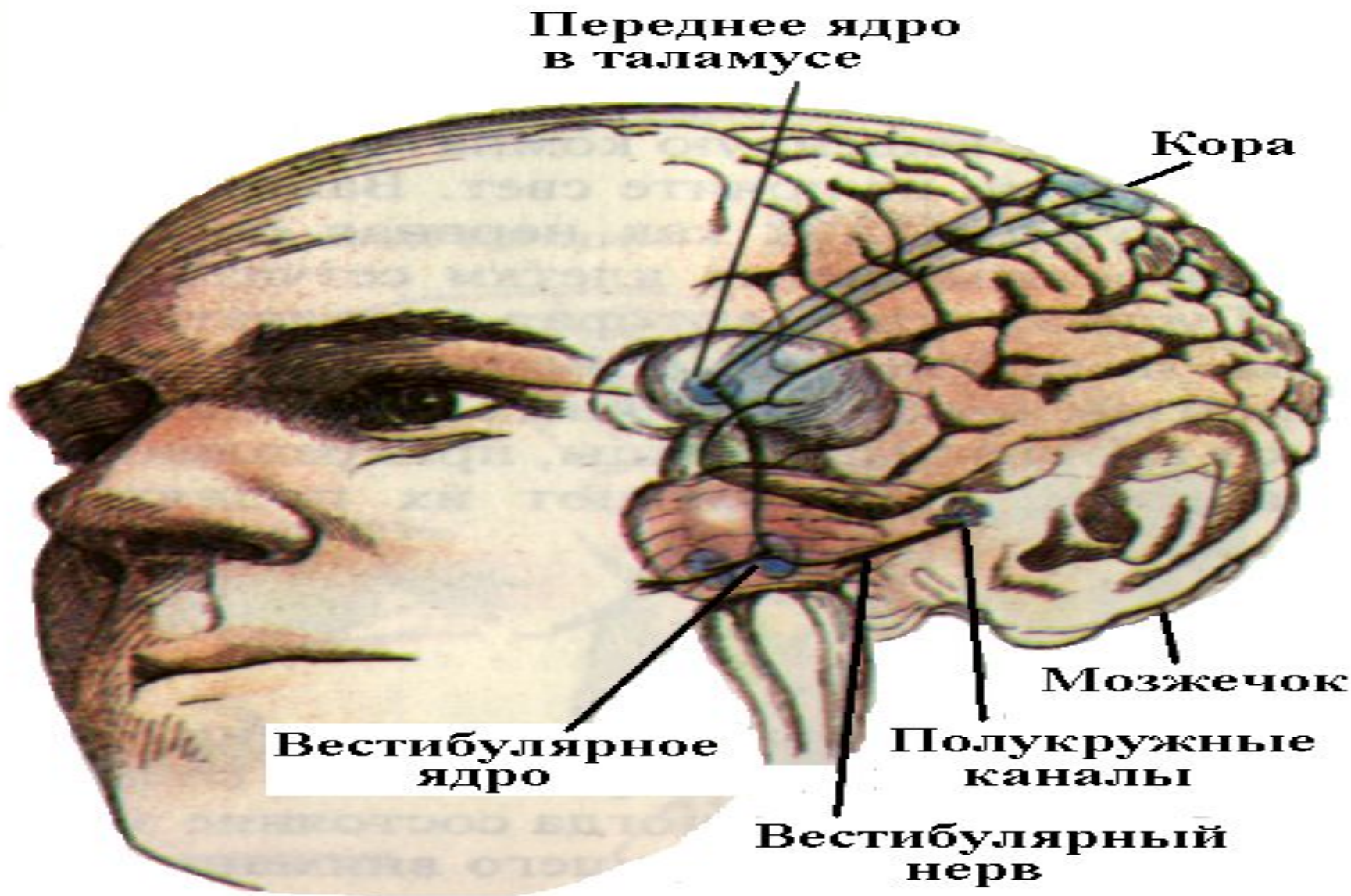


- В преддверии и полукружных каналах располагаются группы специфических нервных клеток, образующих концевой аппарат, или рецептор, вестибулярного нерва.
- В мешочках преддверия таким рецептором является **отолитовый аппарат**, т.е. концевые нервные клетки, покрытые перепонкой, содержащей особые кристаллы — **ОТОЛИТЫ**.
- В полукружных каналах рецептор состоит из **специфических волосковых нервных клеток**, образующих в ампуле каждого из каналов особый гребешок.
- Прямолнейные движения вызывают смещение отолитов в мешочках преддверия, а вращательные (угловые) движения сопровождаются перемещением эндолимфы в полукружных каналах и влекут за собой раздражение чувствительных волосковых клеток в ампулярных гребешках.



- **Раздражения концевого аппарата передаются по волокнам вестибулярного нерва в центральную нервную систему.**
- **В ответ на них возникают рефлекторные реакции, которые способствуют сохранению равновесия.**
- **Одной из таких рефлекторных реакций является лабиринтный нистагм, т.е. ритмические движения глазных яблок, состоящие из двух компонентов — быстрого отведения и медленного возвращения в первоначальное положение.**

Система равновесия

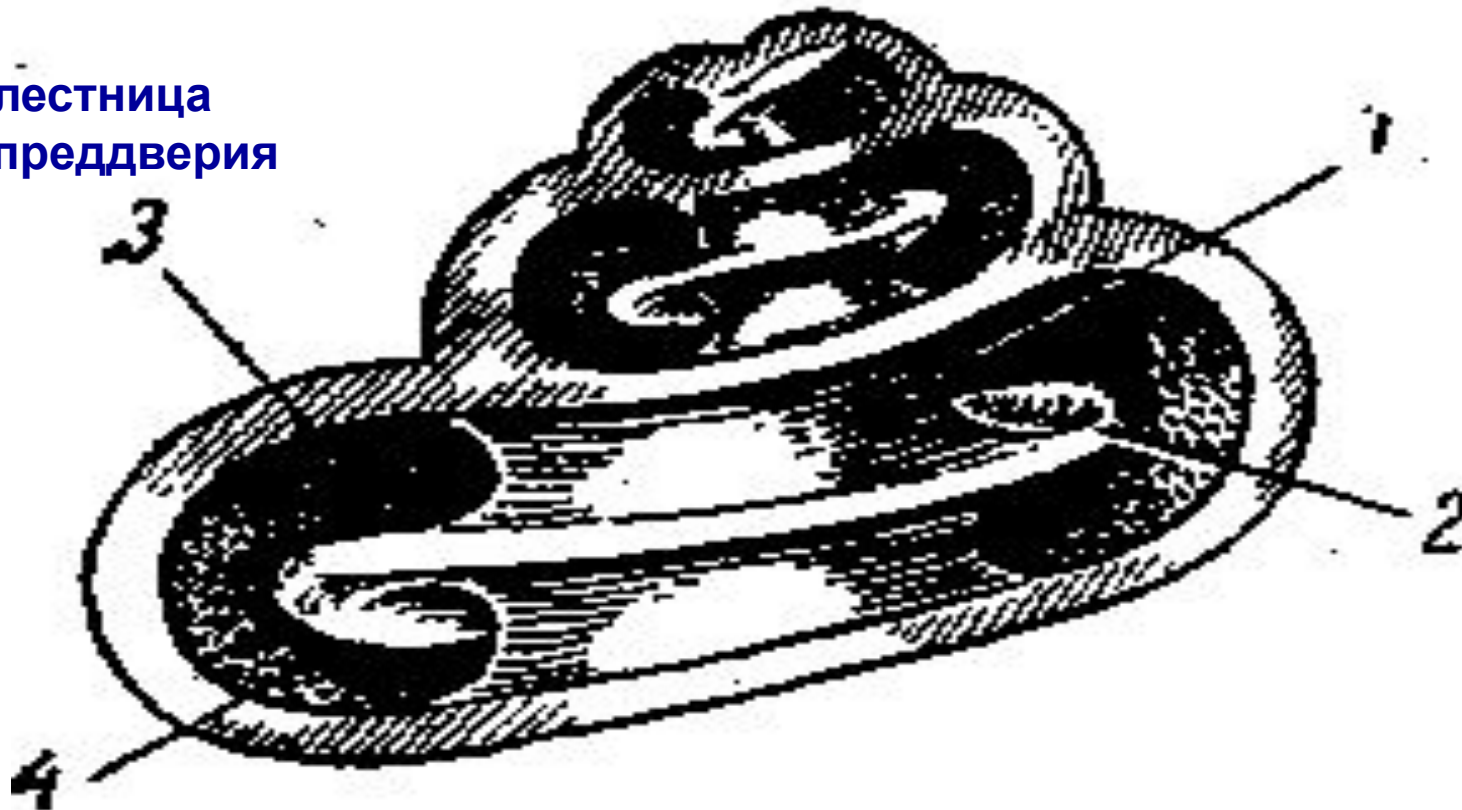


Улитка

- 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.

Схема строения улитки

лестница
преддверия



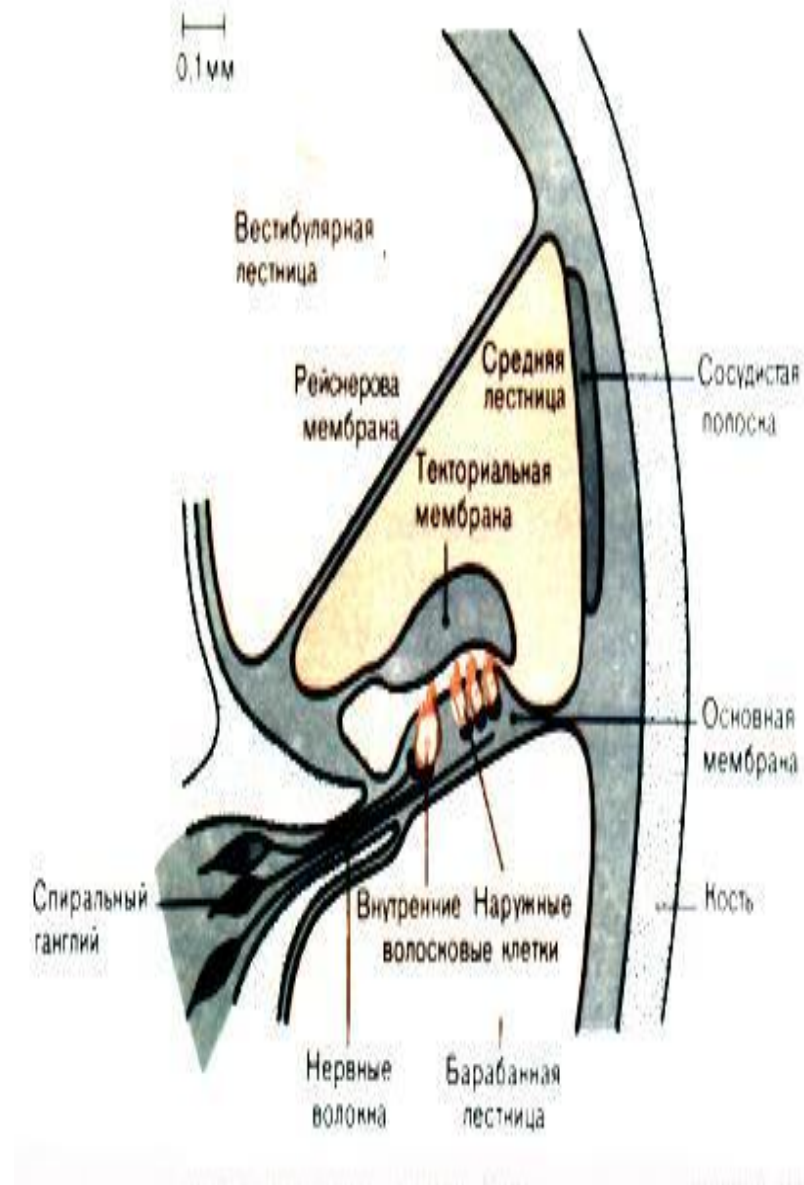
барабанная лестница

Рис.

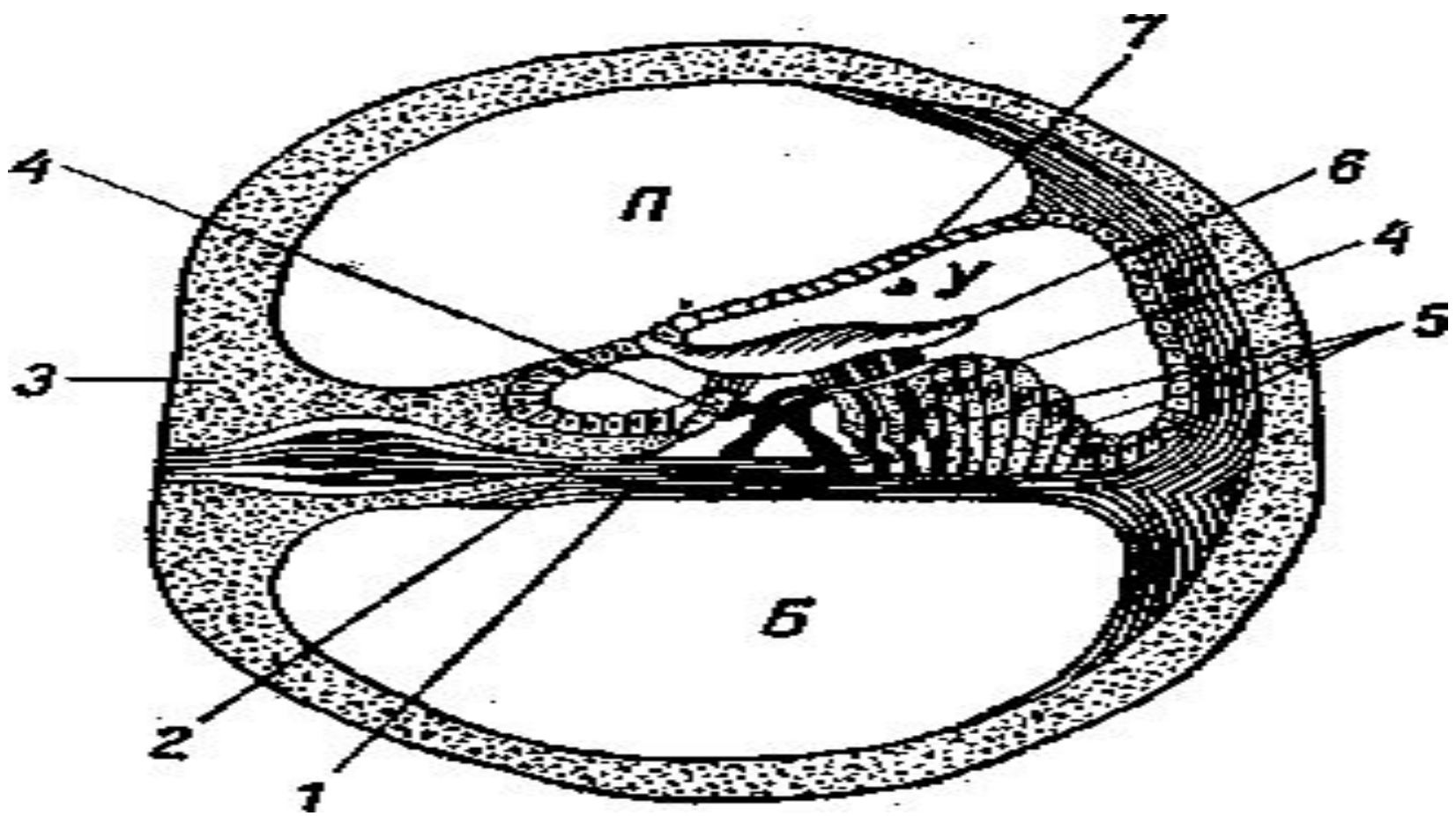
1 - костная колонка; 2 - спиральный костный гребень; 3 - преддверная лестница; 4 — барабанная лестница

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**.



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



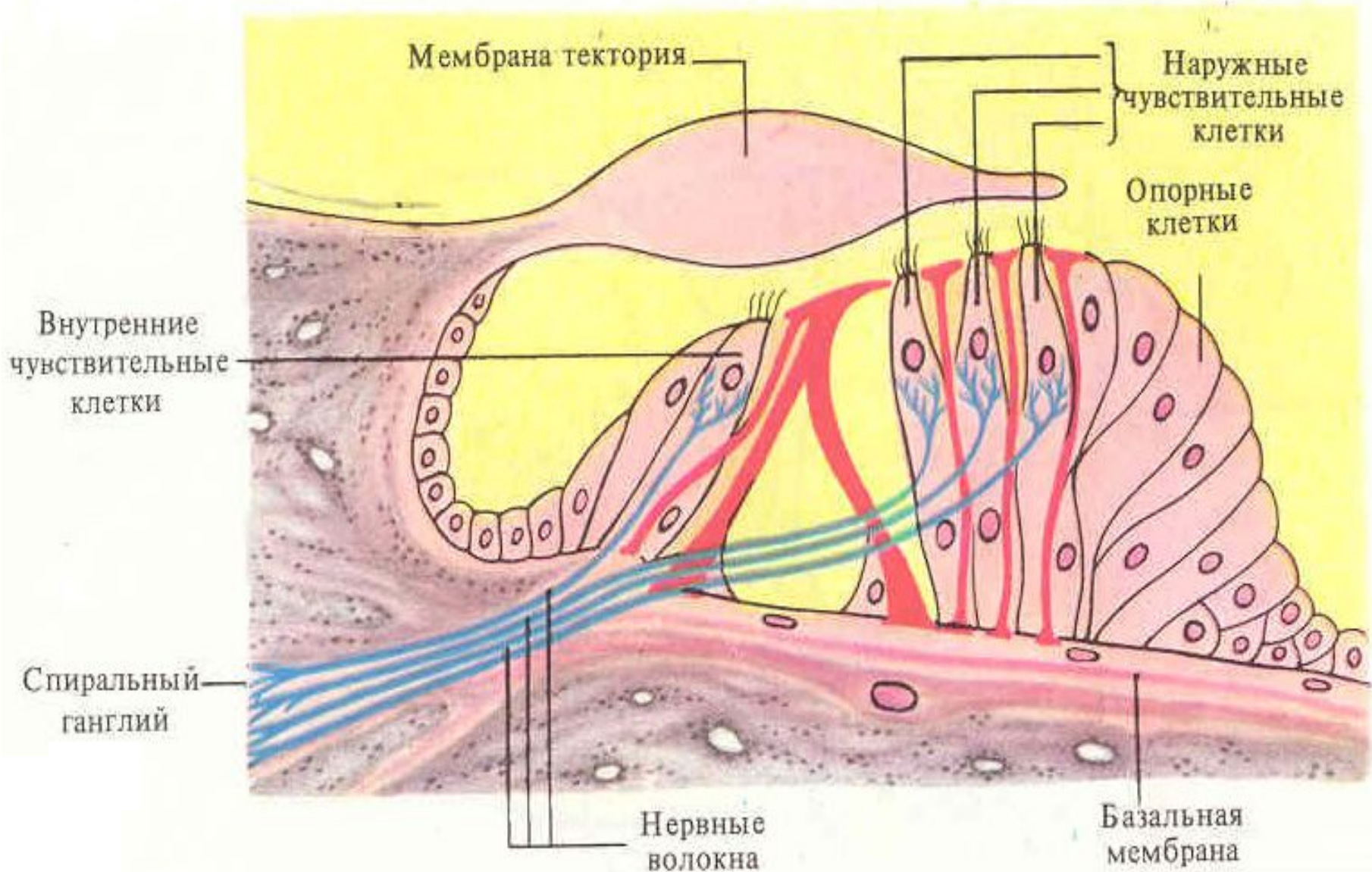
Поперечный разрез через один из завитков улитки:

П — преддверная лестница; **У** — улитковый ход ; **Б** — барабанная
лестница;

1 — основная мембрана; **2** — волокна слухового нерва; **3** — костная
стенка улитки; **4** — слуховые (волосковые) клетки; **5** —
поддерживающие клетки; **6** — покровная мембрана; **7** — рейснерова
мембрана

- 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.**

Кортиев орган

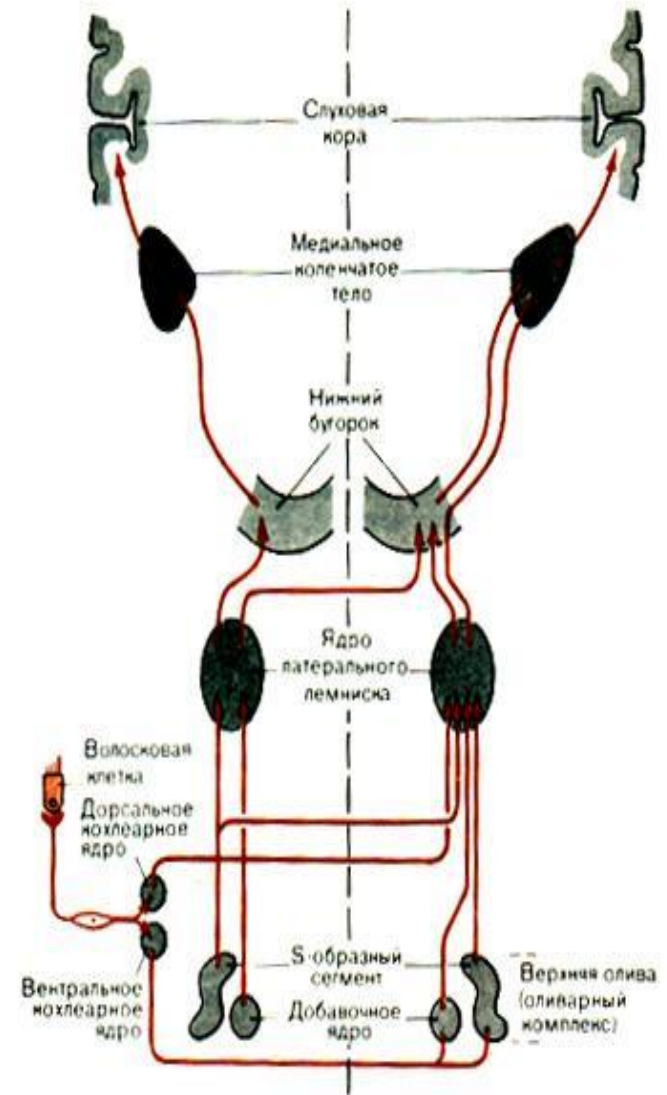


• Проводниковый отдел

- 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.**

Упрощенная схема слухового пути

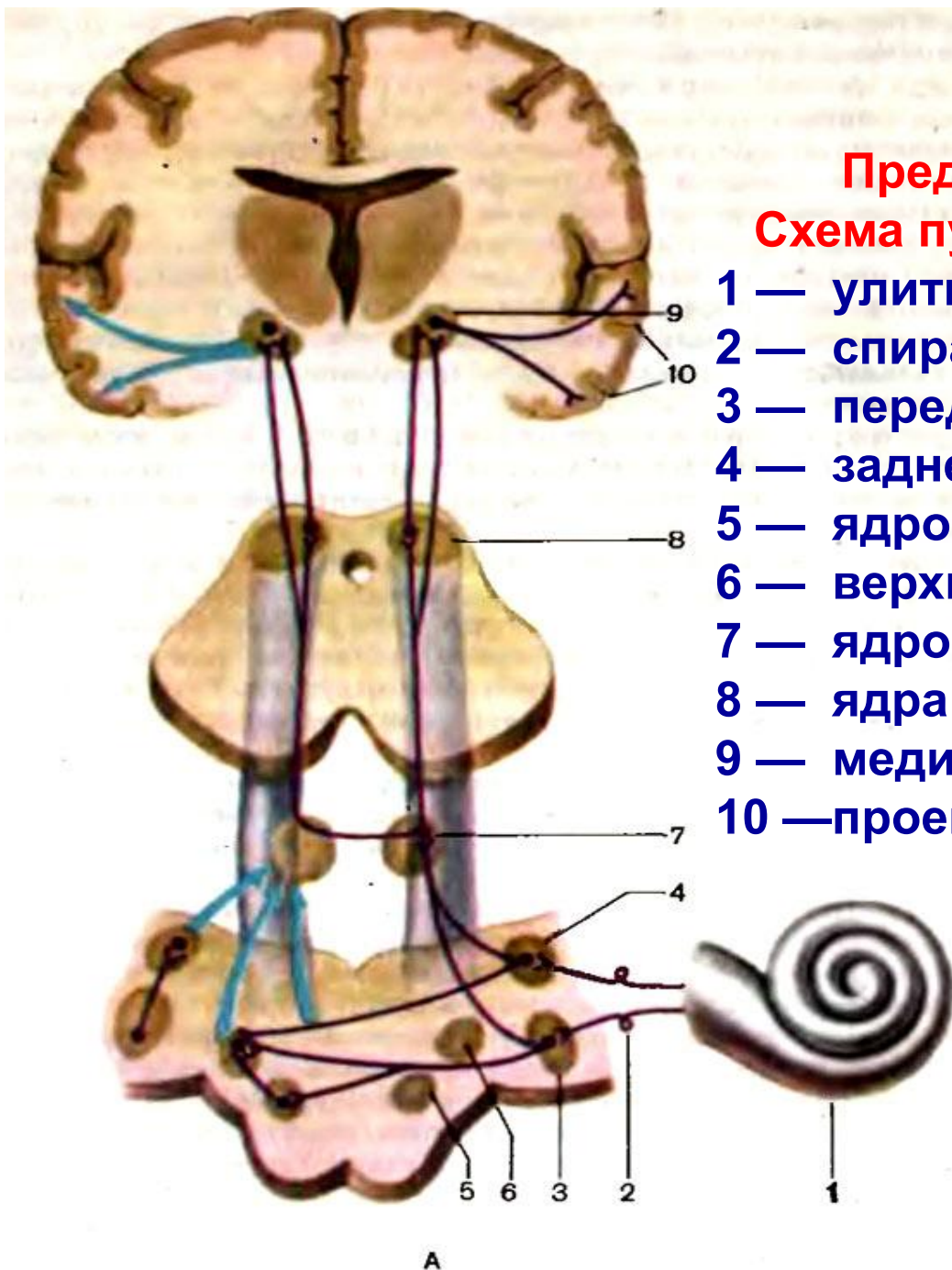
- Первичные афферентные волокна идут сначала к кохлеарному ядру, подразделенному на *вентральную* и *дорсальную* части.
- От вентральной части **вентральный тракт** идет к **ипси- и контралатеральным оливарным комплексам**. Таким образом нервные клетки в каждом оливарном комплексе получают входы от обеих 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 **медиа́льное коленчатое тело** к своему последнему назначению - **первичной слуховой коре** в височной доле.



Преддверно-улитковый нерв.

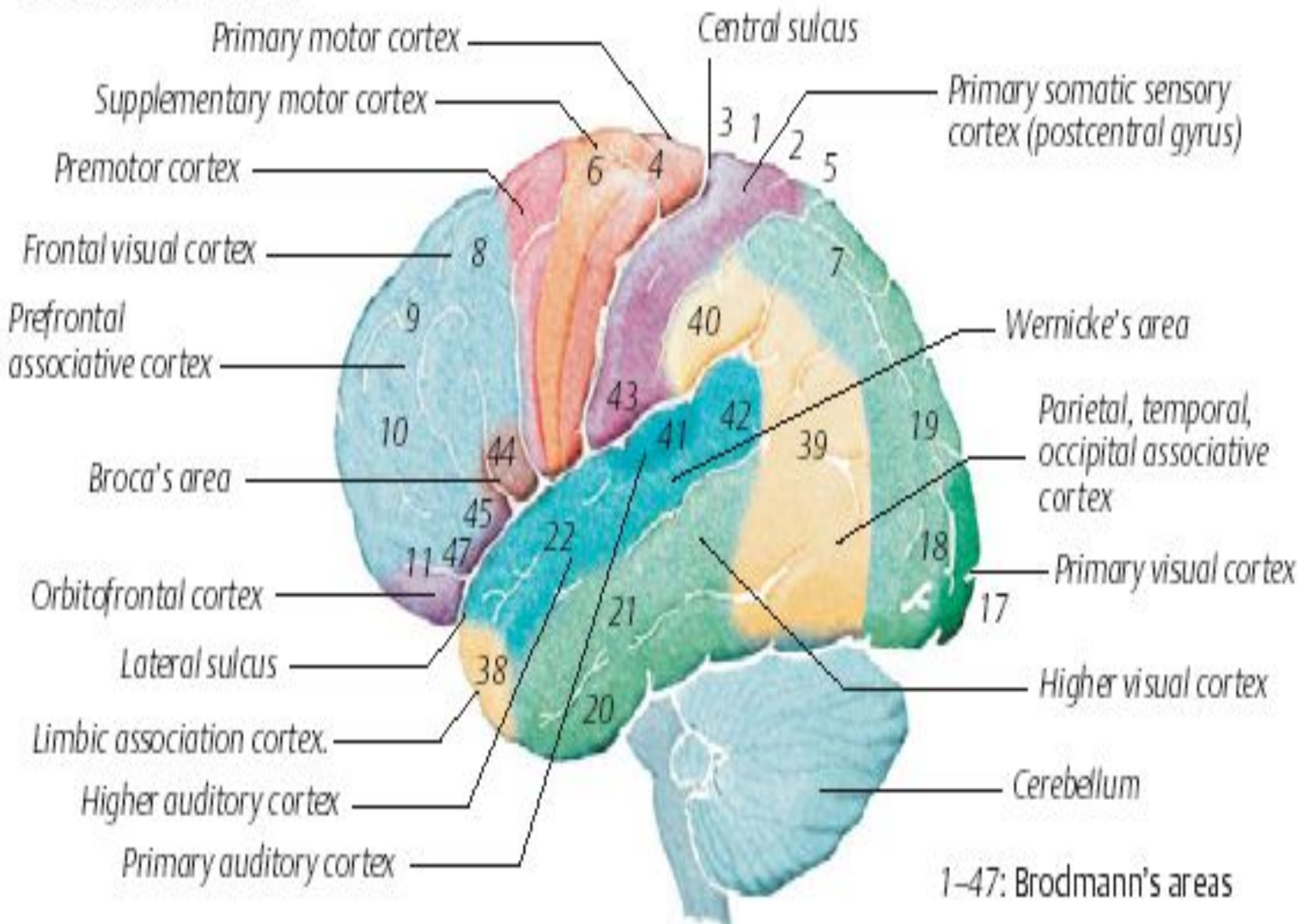
Схема путей слухового анализатора:

- 1 — улитка;
- 2 — спиральный узел;
- 3 — переднее улитковое ядро;
- 4 — заднее улитковое ядро;
- 5 — ядро трапецевидного тела;
- 6 — верхняя олива;
- 7 — ядро латеральной петли;
- 8 — ядра задних холмиков;
- 9 — медиальные коленчатые тела;
- 10 — проекционная слуховая зона.



- **Центральный, или корковый, отдел (верхний отдел височной доли обоих полушарий коры головного мозга (слуховая область коры)) 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.**

E. Areas of cortex



Слуховые функции

- **Адекватным раздражителем слухового анализатора является звук, который представляет собой колебательные движения среды (воздуха, воды, почвы и пр.).**
- **В звуке, как и во всяком колебательном движении, различают амплитуду — размах колебаний, период — время, в течение которого совершается полное колебательное движение, и частоту — число полных колебаний в 1 с.**

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 16 до 20 000 Гц. Частоты > 20 кГц называются *ультразвуковыми*, а < 16 Гц-*инфразвуковыми*.**
- **Таким образом, все, что мы слышим, связано со звуками между 16 Гц и 20 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.

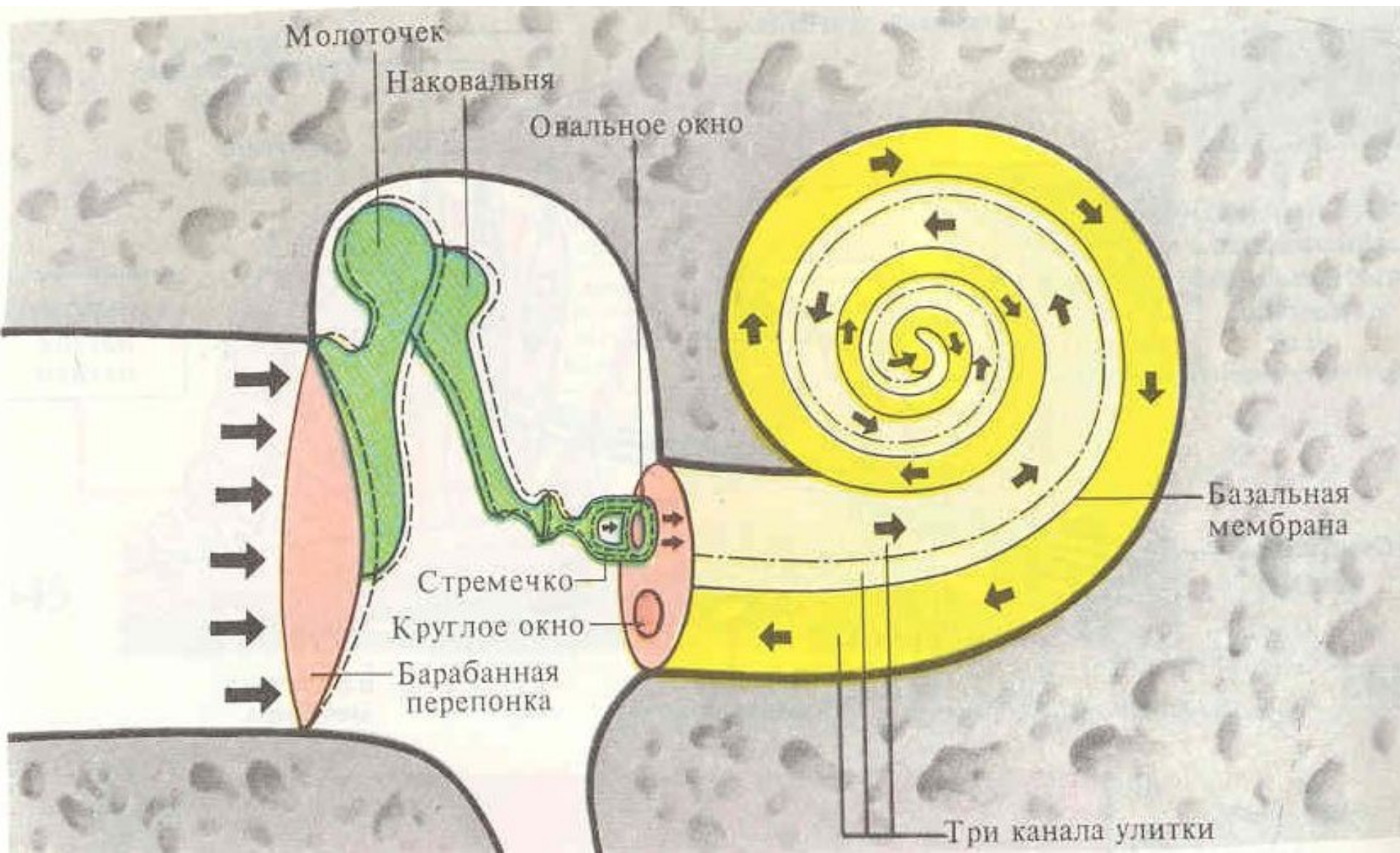
Прием звука внутренним ухом. Теория места

- 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.**

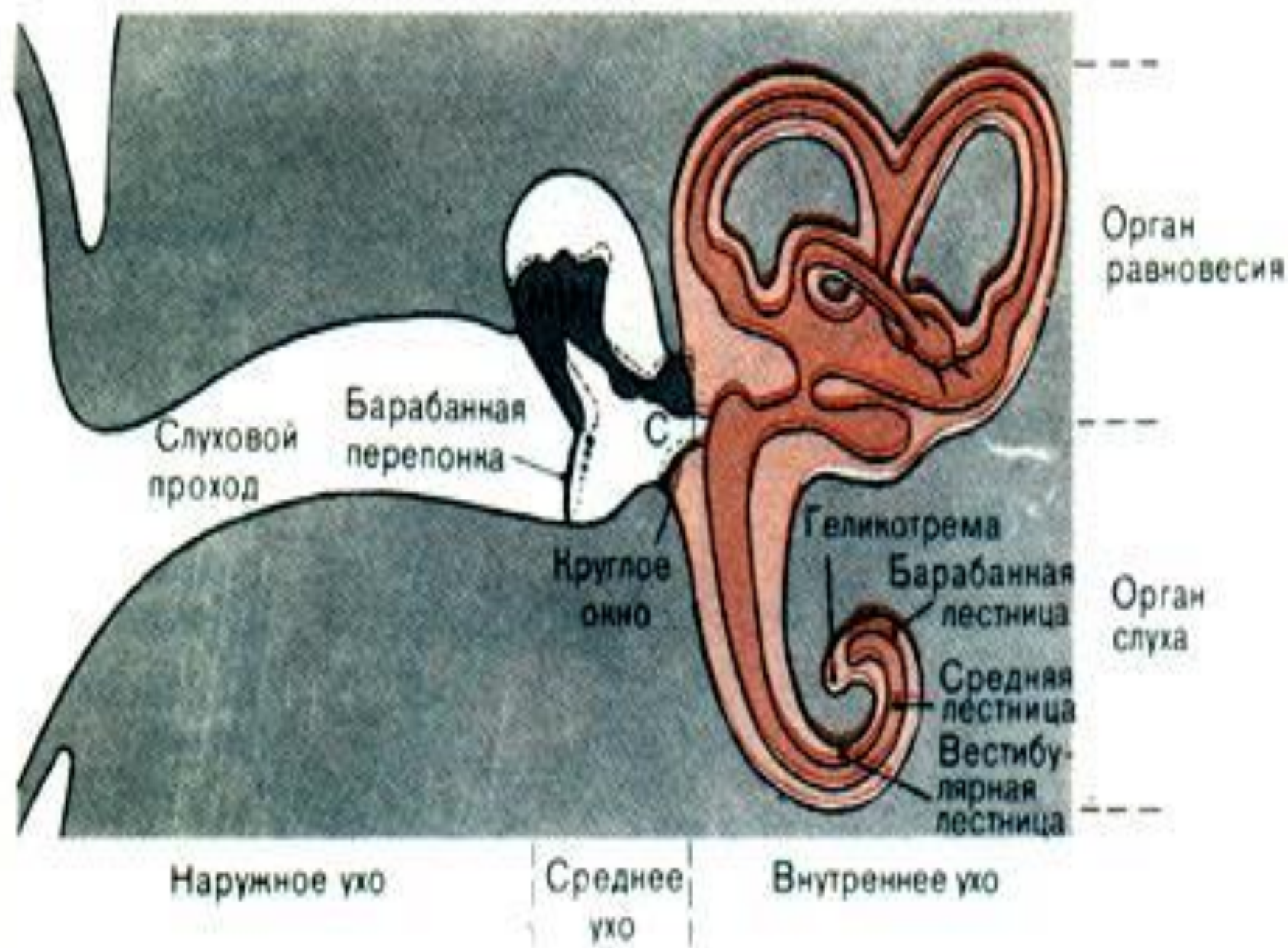
Улитковый проток (ход) → средняя лестница, наполненная эндолимфой, и ограничивающие ее вестибулярная и основная мембраны.

- 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.

Среднее и внутреннее ухо в разрезе



- 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 не 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"**.

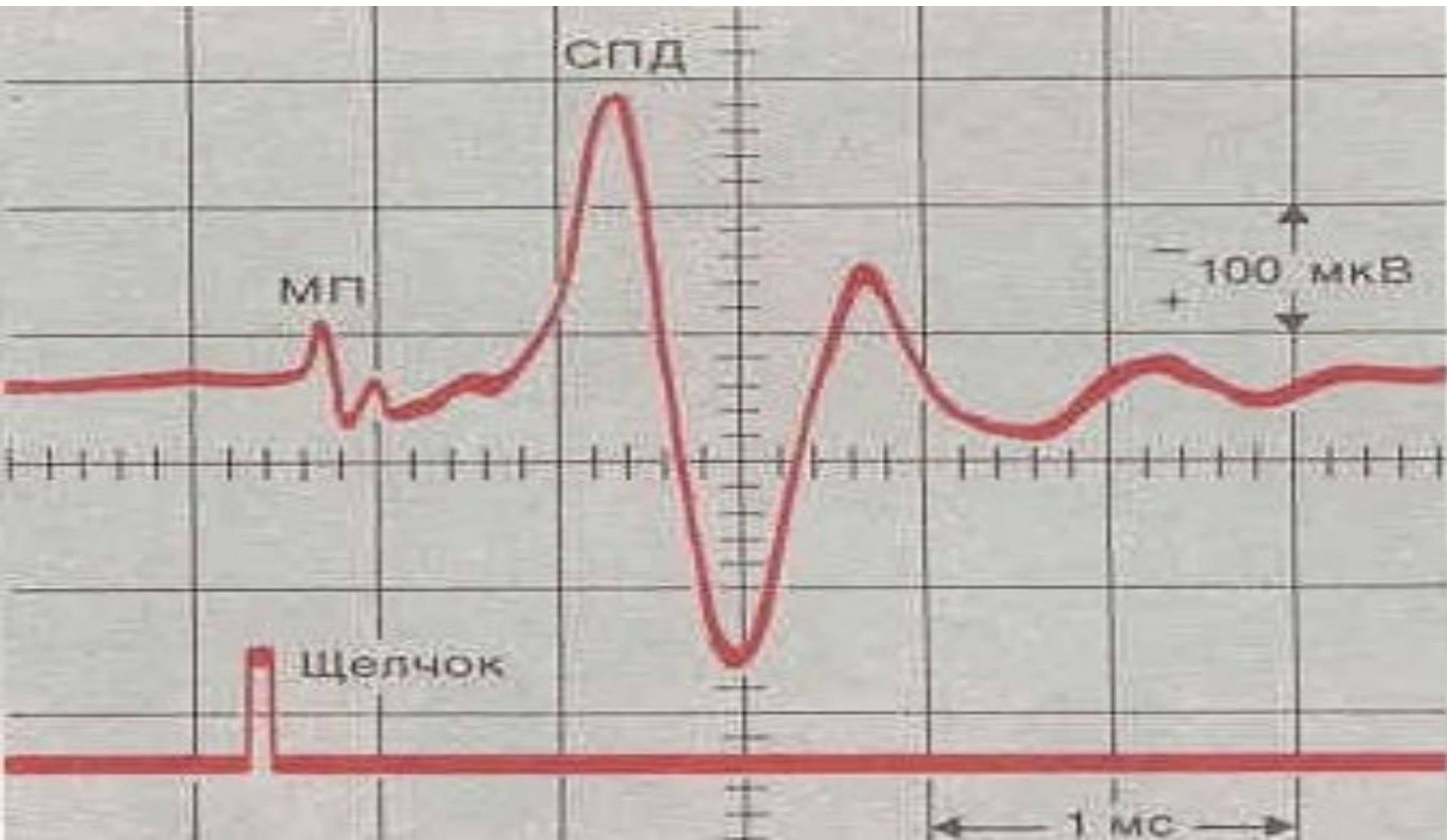


Рецепция стимула волосковыми клетками

- 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.

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

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. 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.

An aerial photograph of a large, multi-lane bridge spanning a wide river. The bridge has several concrete piers supporting its structure. In the background, a city skyline is visible under a blue sky with light clouds. The text 'БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!' is overlaid in a large, bold, blue serif font across the center of the image.

**БЛАГОДАРЮ
ЗА
ВНИМАНИЕ!**