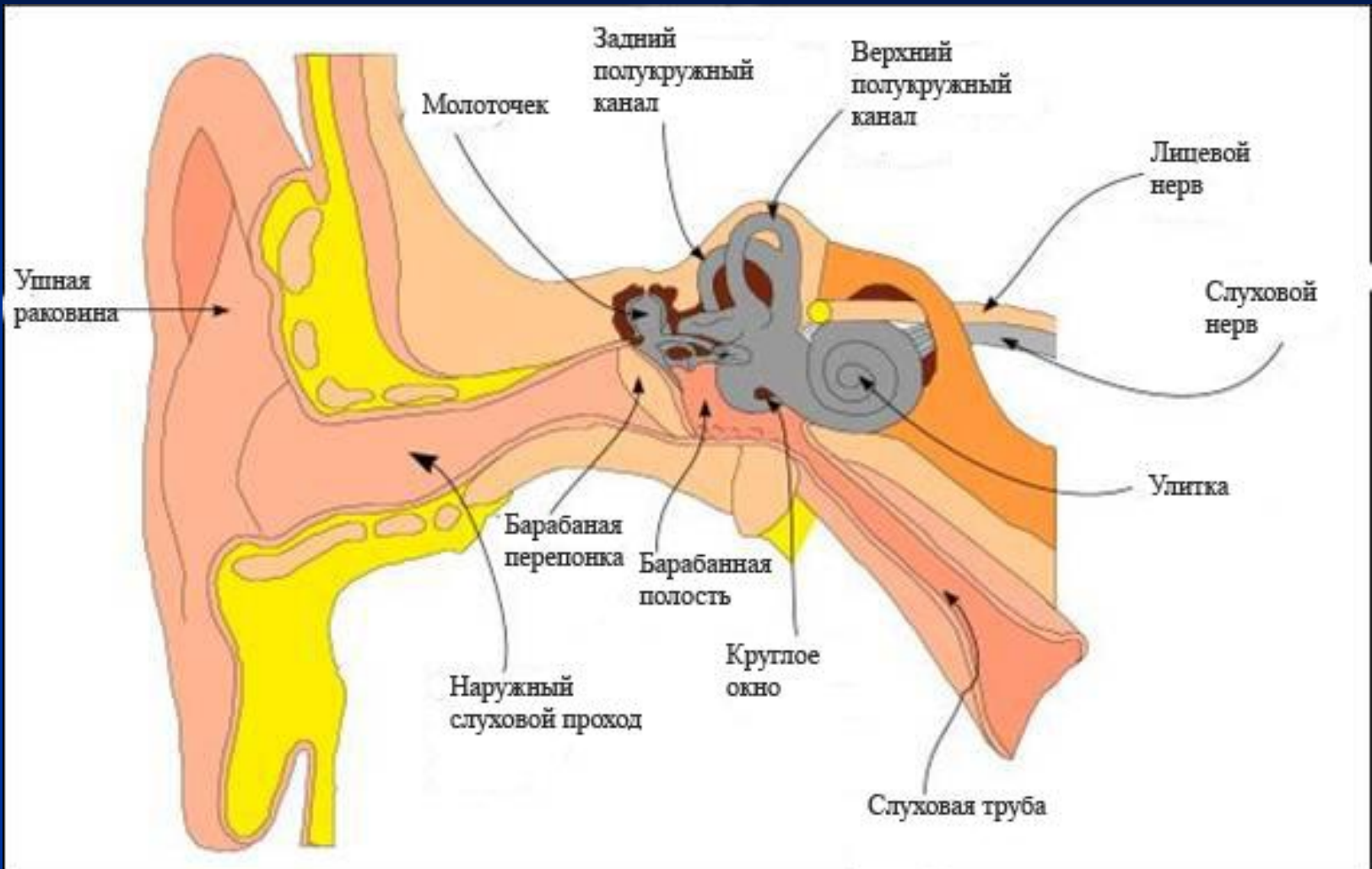
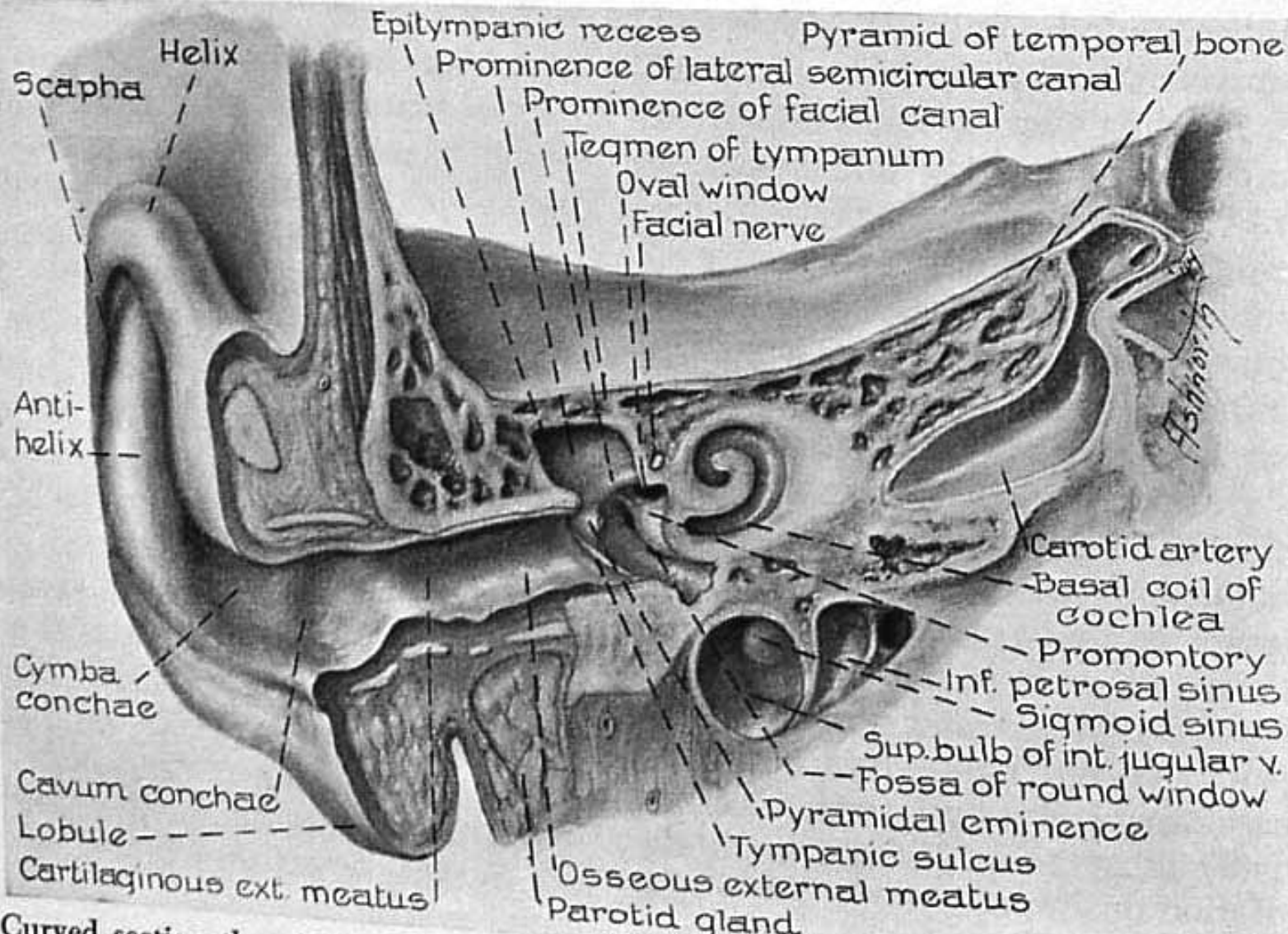


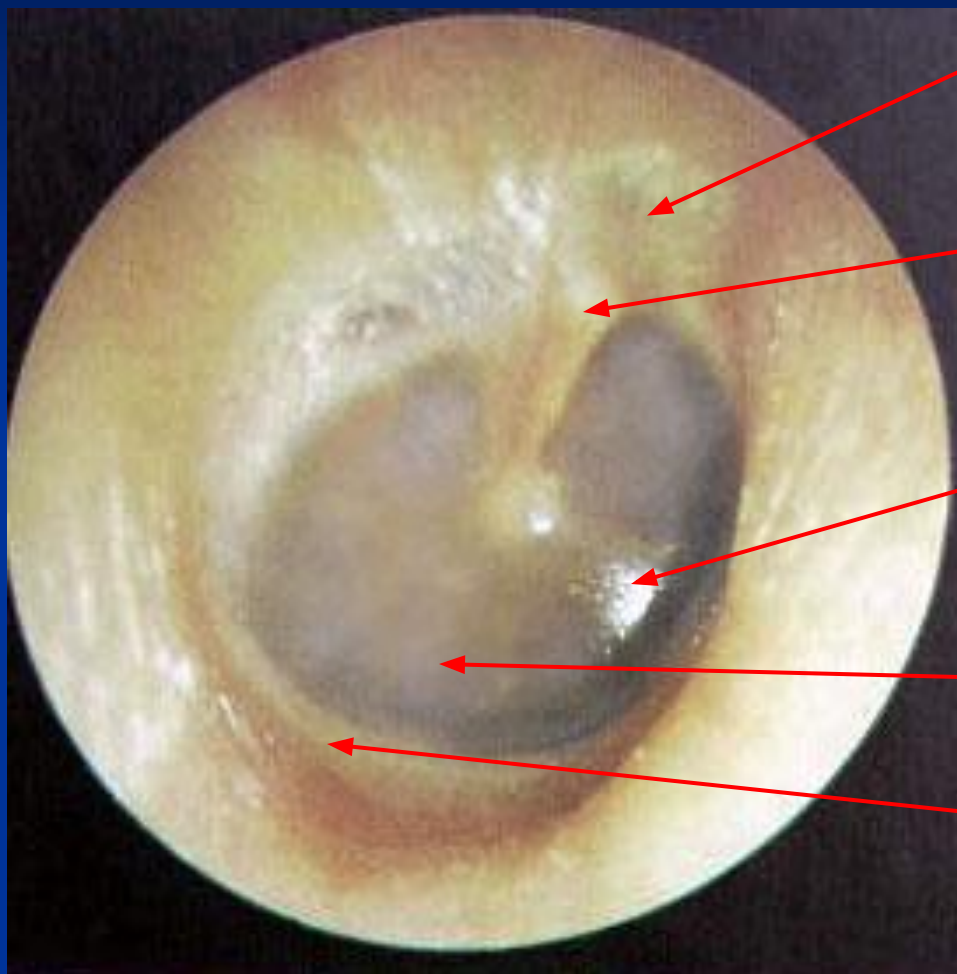
**Анатомия, физиология,
методы исследования
слухового и
вестибулярного
анализаторов**

Схематическое строение уха

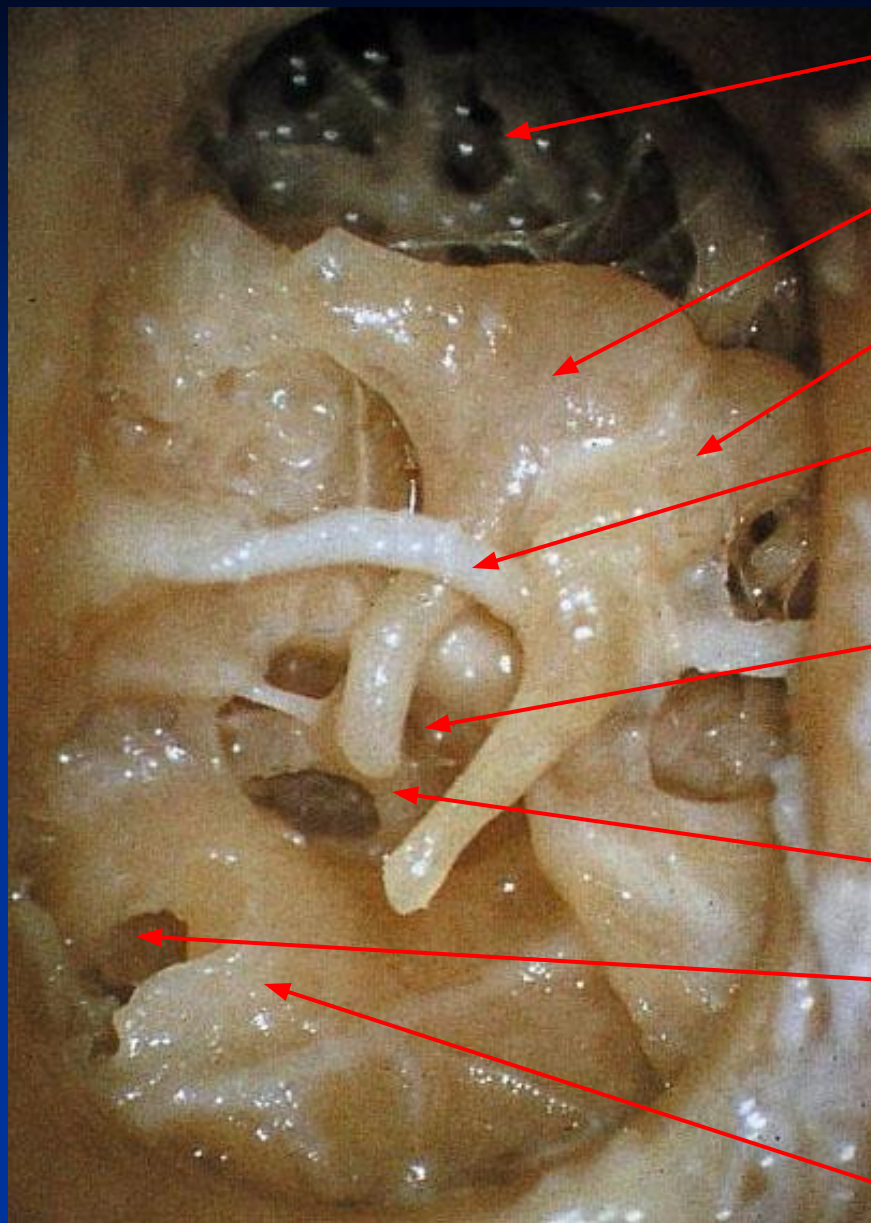




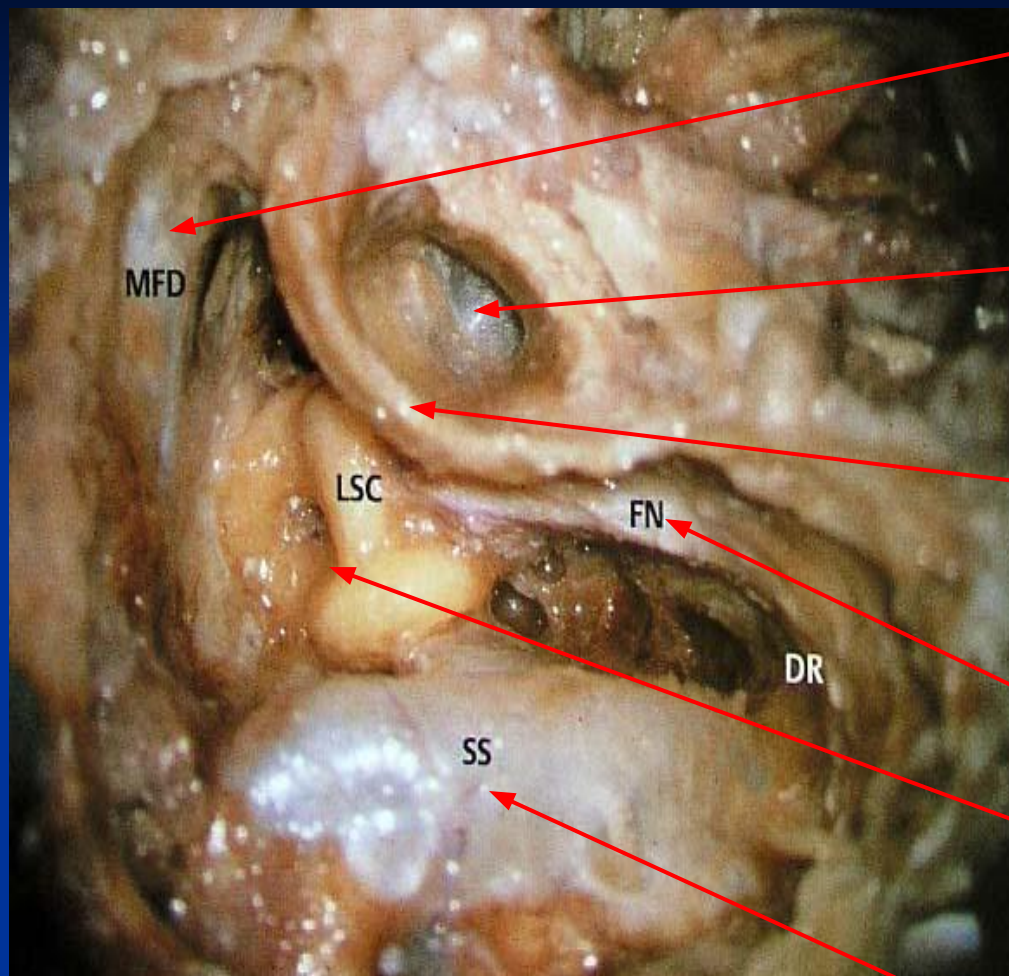
Нормальная барабанная перепонка.



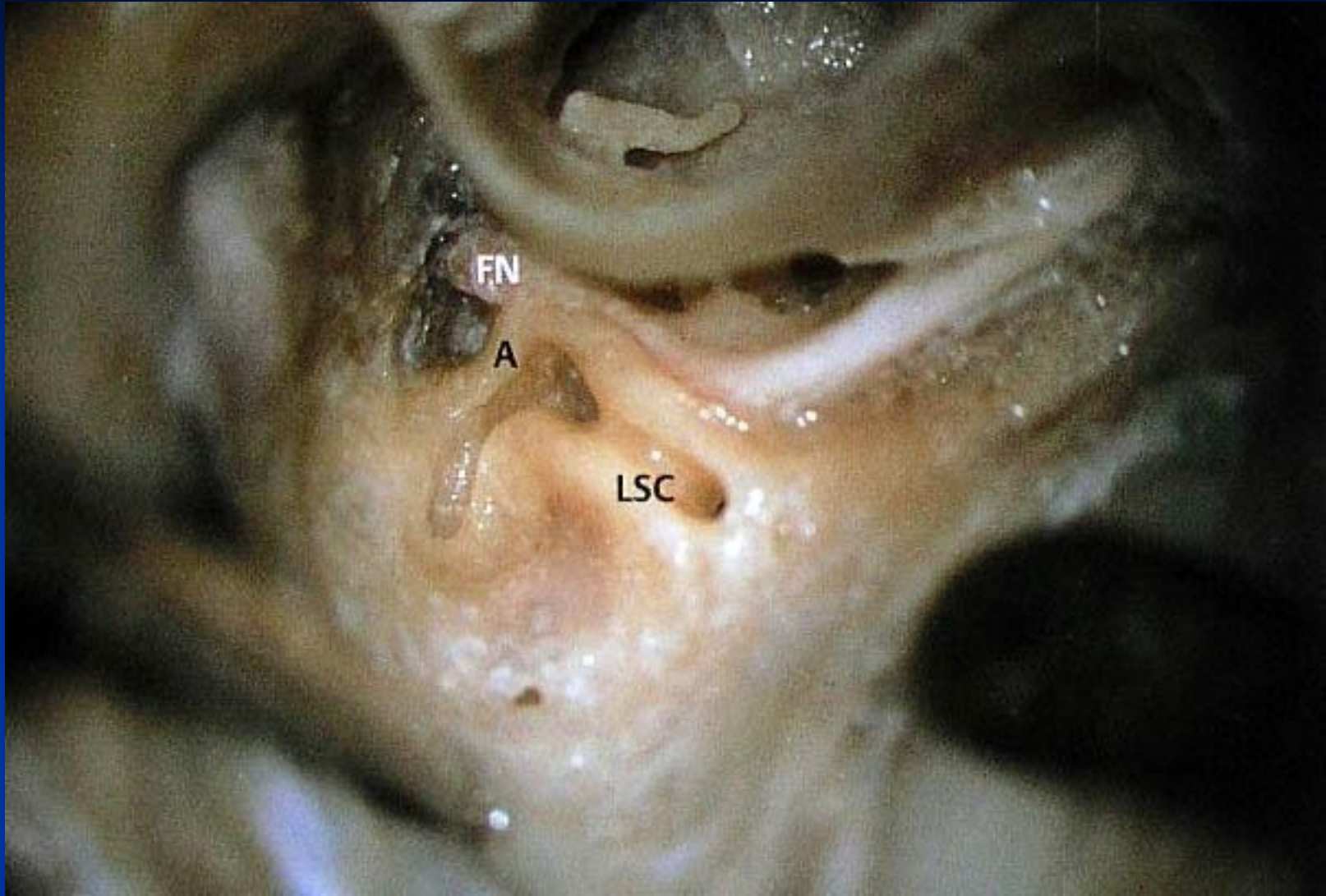
- Расслабленная (ненатянутая) часть
- Короткий отросток молоточка
- Световой рефлекс («конус»)
- Натянутая часть
- Сухожильное кольцо



- Аттик
- Наковальня
- Молоточек
- Барабанная струна
- Ниша овального окна (преддверия)
- Стремля
- Ниша круглого окна (улитки)
- Промонториум



- Средняя черепная ямка
- Барабанная перепонка
- Барабанное кольцо
- Лицевой нерв
- Полукружные каналы
- СИГМОВИДНЫЙ синус



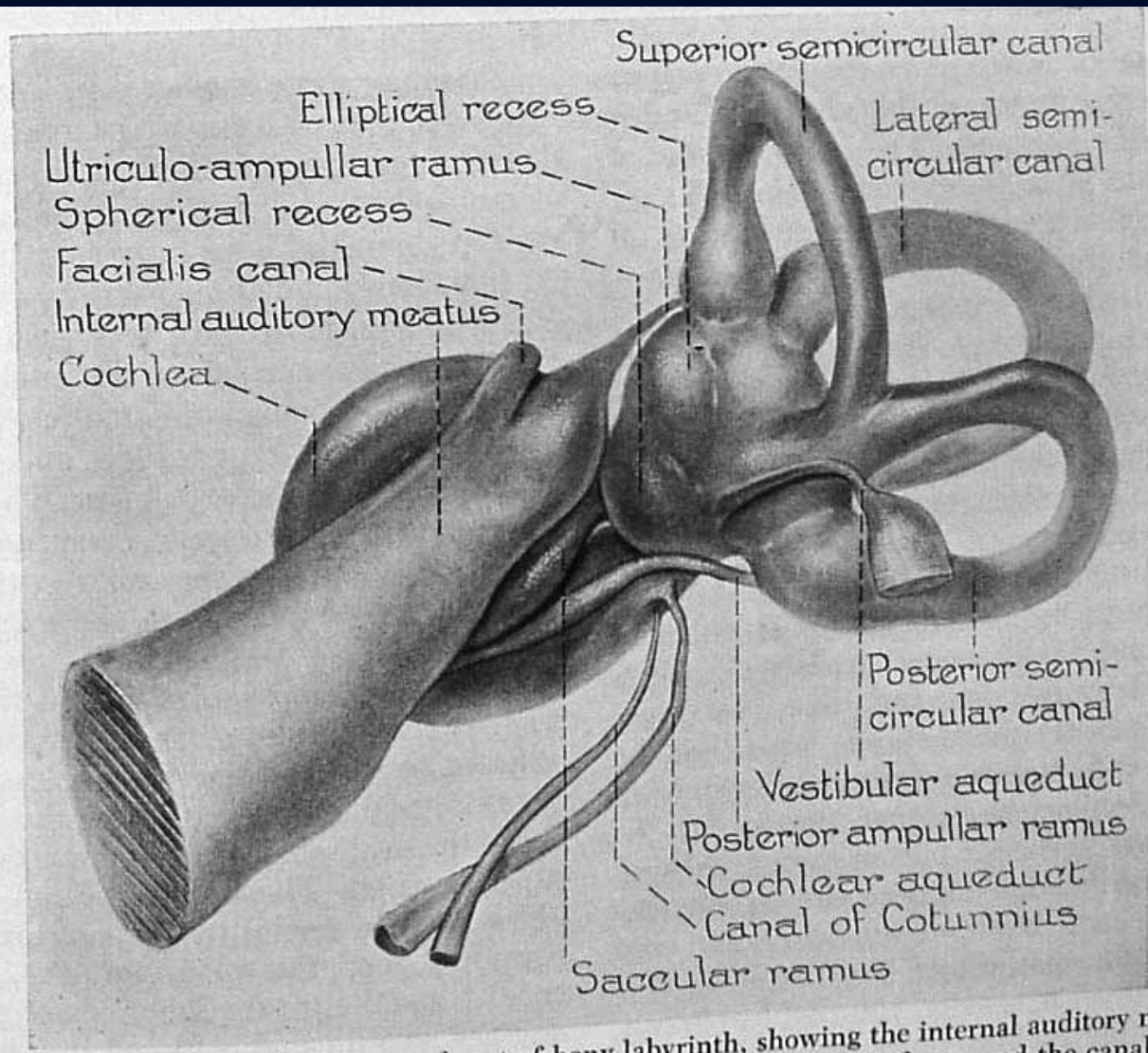
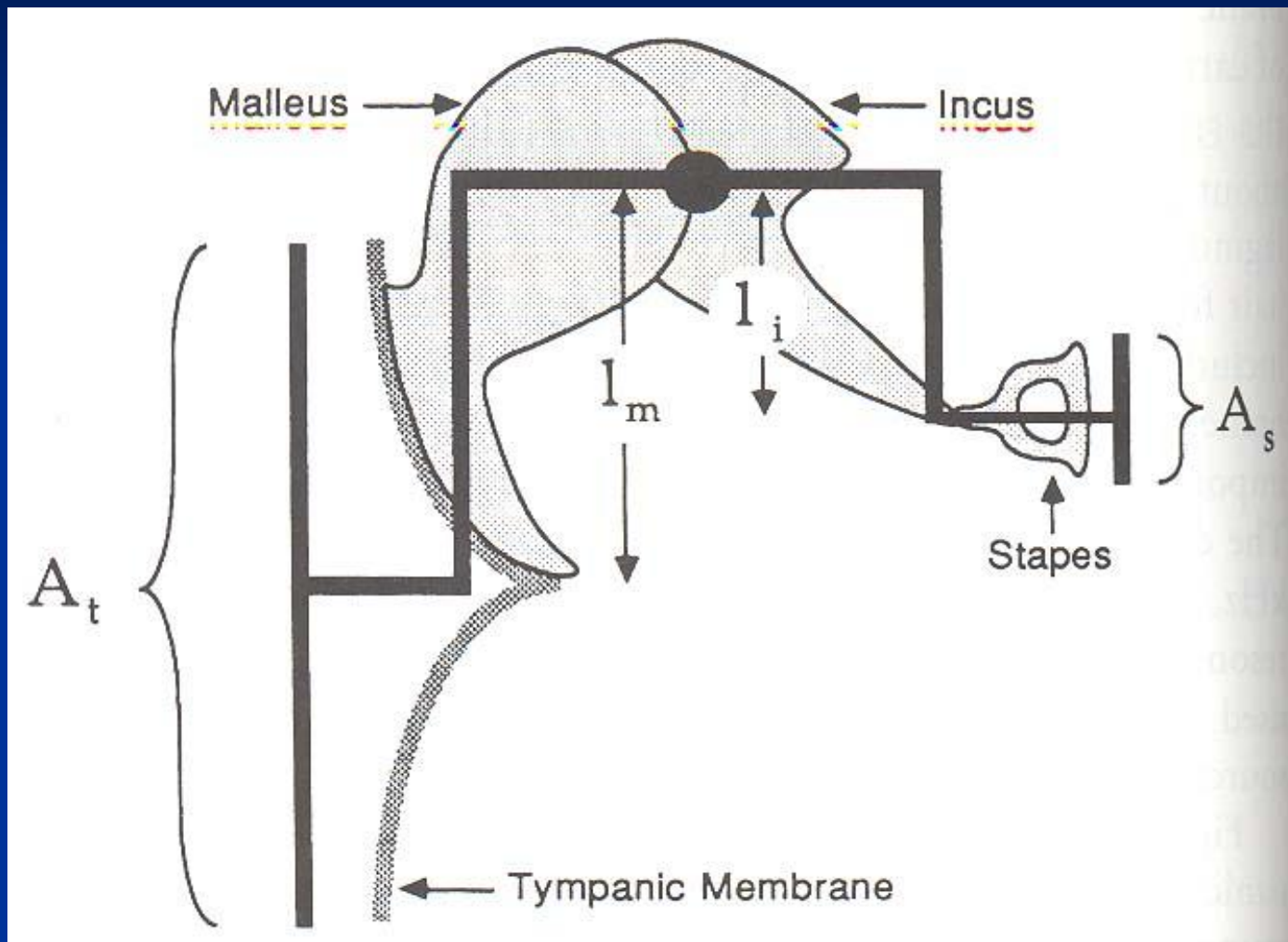
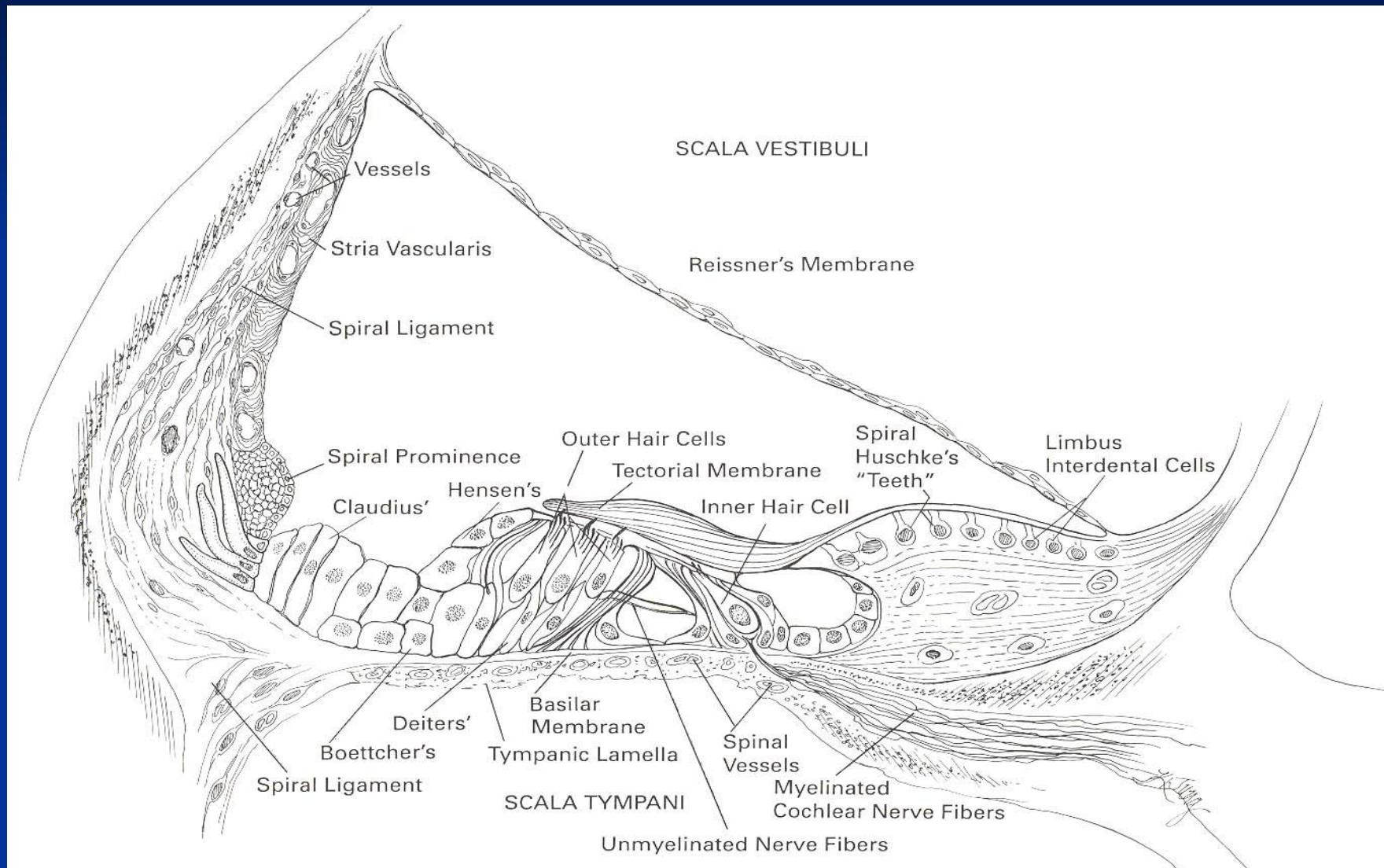


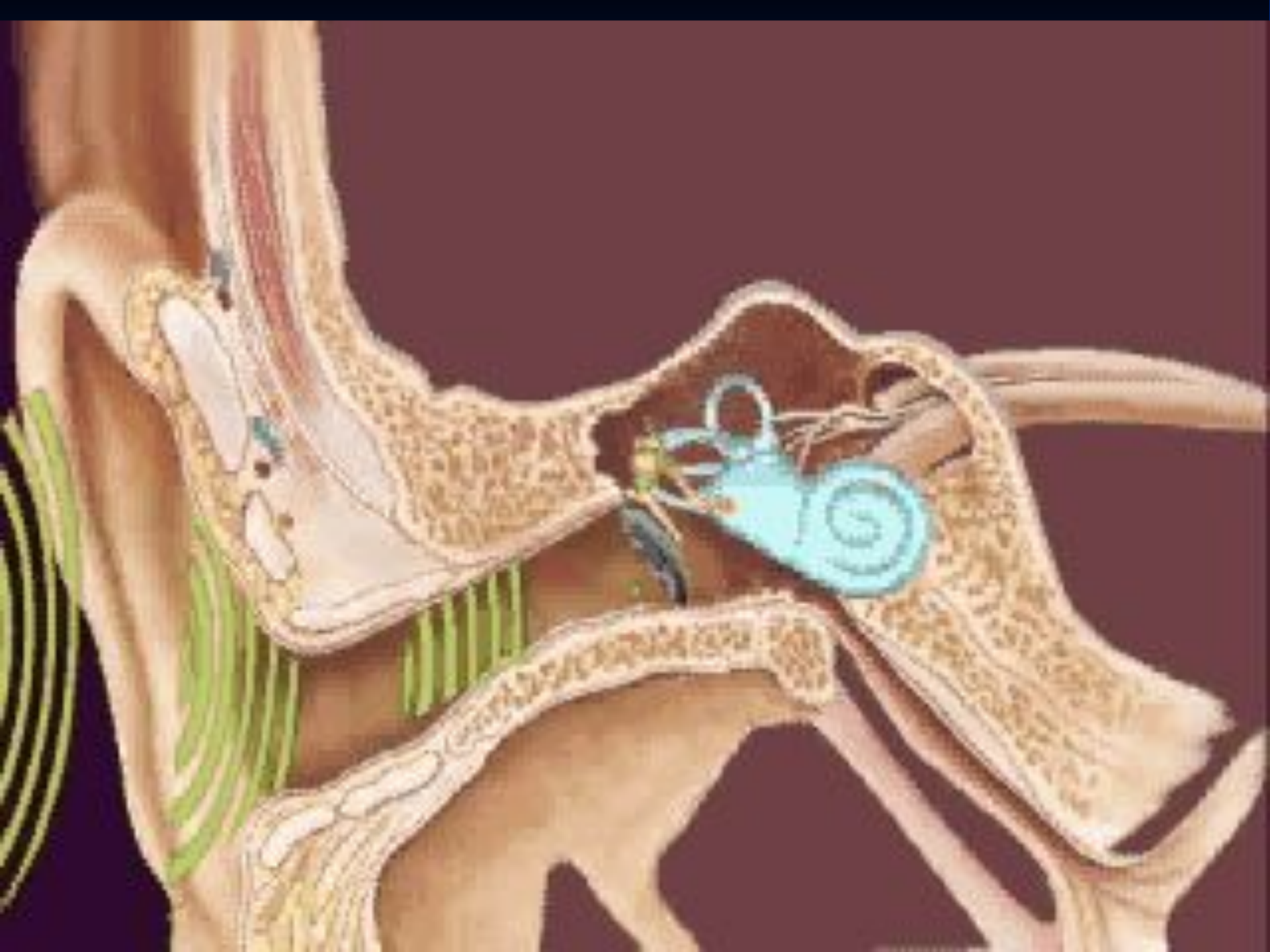
FIG. 9. Posterior view of Wood's metal cast of bony labyrinth, showing the internal auditory meatus, the channels for vestibular and cochlear nerves, the vestibular and cochlear aqueducts, and the canal of Cotunnus for transmission of the vein of the cochlear aqueduct. (From Shambaugh.)

Усиление звука с помощью звукопроводящей системы



Строение Кортиева органа





Частотный анализ звуков в улитке

- Теория Бекеша (бегущей волны) звуковая волна, проходя по перелимфе вызывает колебания базилярной мембраны в виде бегущей волны. В зависимости от частотной характеристики звука происходит максимальный изгиб основной мембраны на ограниченном участке

Теории слуха

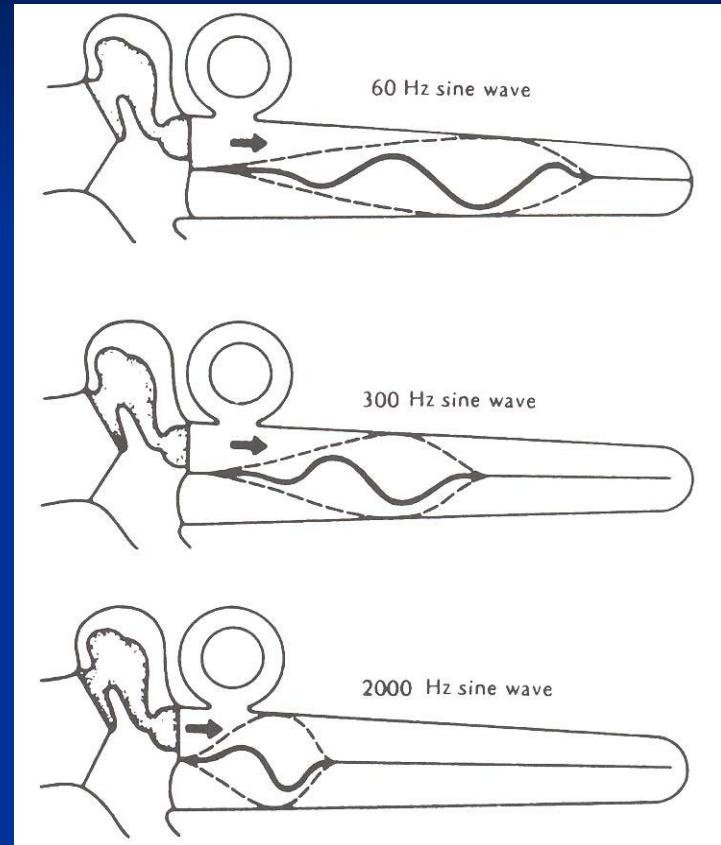
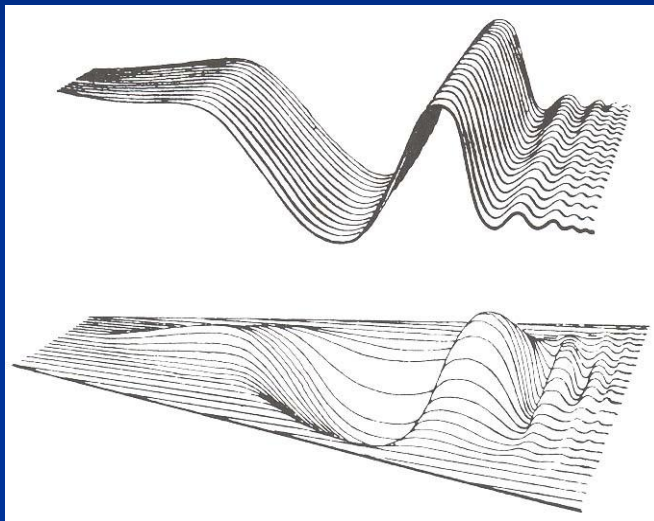
■ Теории периферического анализа звука

- **Теория Гельмгольца** (резонаторная) – базилярная мембрана состоит из «струн» разной длины и натянутости, которые резонируют на соответствующие частоты. У верхушки улитки волокна базилярной мембраны длиннее – резонируют на низких частотах, у основания короче – резонируют на высоких частотах.
- **Теория Бекеши** (бегущей волны) – звуковая волна, проходя по перелимфе вызывает колебания базилярной в виде бегущей волны. В зависимости от частотной характеристики звука происходит максимальный изгиб основной мембраны на ограниченном участке.
- **Теория Ухтомского** (физиологического резонанса клеток) – сенсорные клетки Кортиева органа обладают различной лабильностью и реагируют на разные частоты звуковых волн.

■ Теории центрального анализа звука

- **Теория Розенфорда и Эвальда** – анализ звуковых волн происходит на уровне головного мозга.
- **Дуалистическая теория**
- **Теория Ребула** – анализ низкочастотных звуков происходит на уровне головного мозга, высокочастотных – на уровне улитки.

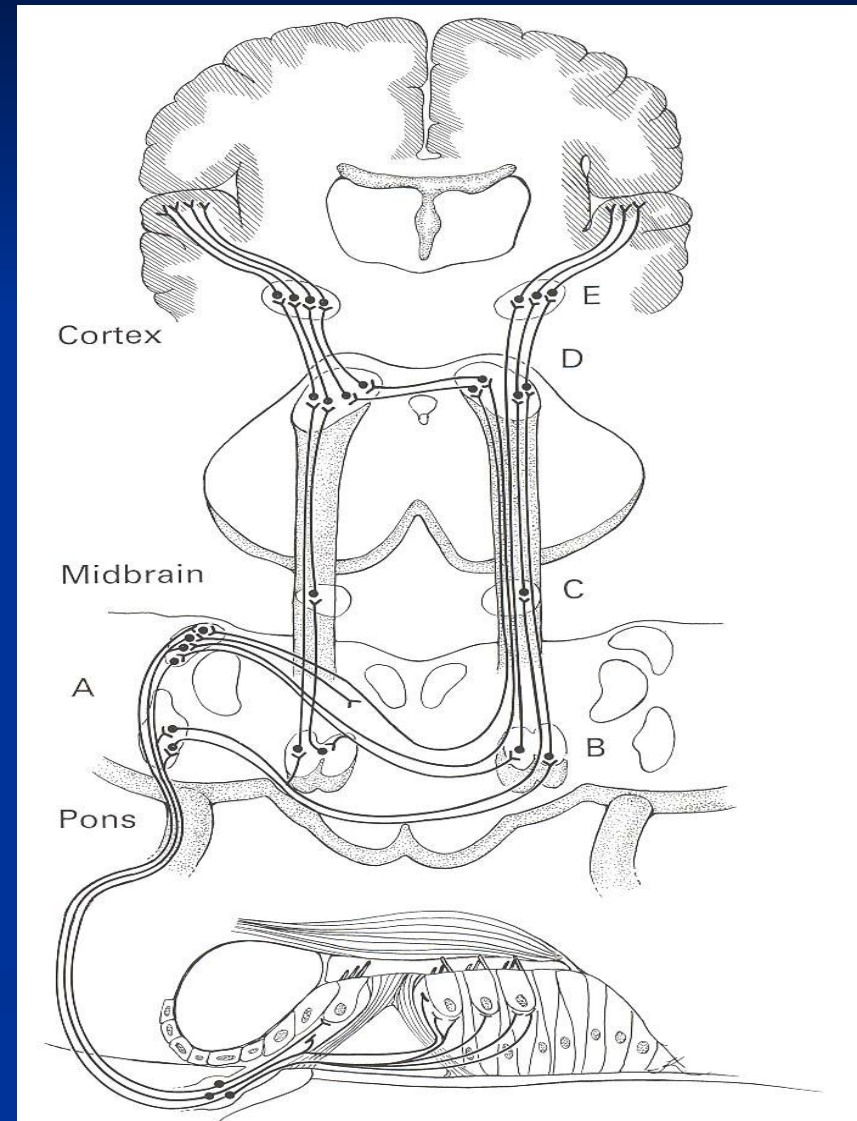
Тонотопика в улитке



- Сдвиг перилимфы под действием звуковой волны вызывает колебание базилярной пластинки
- Происходит смещение и деформация клеток спирального («кортиева») органа, расположенных в точке максимального изгиба базилярной мембраны
- Механическая энергия звуковой волны преобразуется в электрическую
- Электрический потенциал дает начало процессу передачи возникшего нервного импульса на дендриты, ганглий, улитковый корешок преддверно-улиткового нерва, ствольные ядерные образования и дальше – в подкорковые и корковые слуховые центры, где происходит «высший» анализ звуковых сигналов

Проводящие пути и ядра

- А – кохлеарные ядра
- В – верхняя олива
- С – латеральная петля
- D – ядра нижних холмиков
- Е – медиальное коленчатое тело



Методы исследования слуховой функции

- Сложное строение органа слуха обусловило появление относительно большого количества методов исследования
- Оценка функции периферических отделов органа слуха
 - В основном интересует отоларингологов
- Оценка функции центральных отделов (проводящие пути, корковый анализатор)
 - Развилась сравнительно недавно
 - Интересует представителей других специальностей (невропатологов, нейрохирургов, психиатров)

Оценка периферических отделов

- Исследование шепотной и разговорной речью
- Камертональные пробы
- Тональная аудиометрия
- Речевая аудиометрия
- Тимпанометрия
- Исследование слуховых вызванных потенциалов
- Электрокохлеография
- Отоакустическая эмиссия

Исследование разговорной и шепотной речью

- Самый распространённый метод исследования
- Производится в тихом кабинете с размерами помещения не менее 6 метров по диагонали
- Восприятие шепотной речи – специально подобранными словами с шипящими звуками
- Шепотная речь в норме – не менее 6 метров
- Шепотная речь менее 1 метра с сохранением восприятия разговорной речи более 5 метров – поражение звуковоспринимающей системы

Камертональные методы

- С помощью камертонов различных частот
- Чаще – 128, 512 Гц
- Позволяют определить тип потери слуха (звукопроводящий или звуковоспринимающий)
- Проба Вебера – латерализация костнопроведенного звука
- Проба Ринне – сравнение восприятия костно- и воздушнопроведенного звука

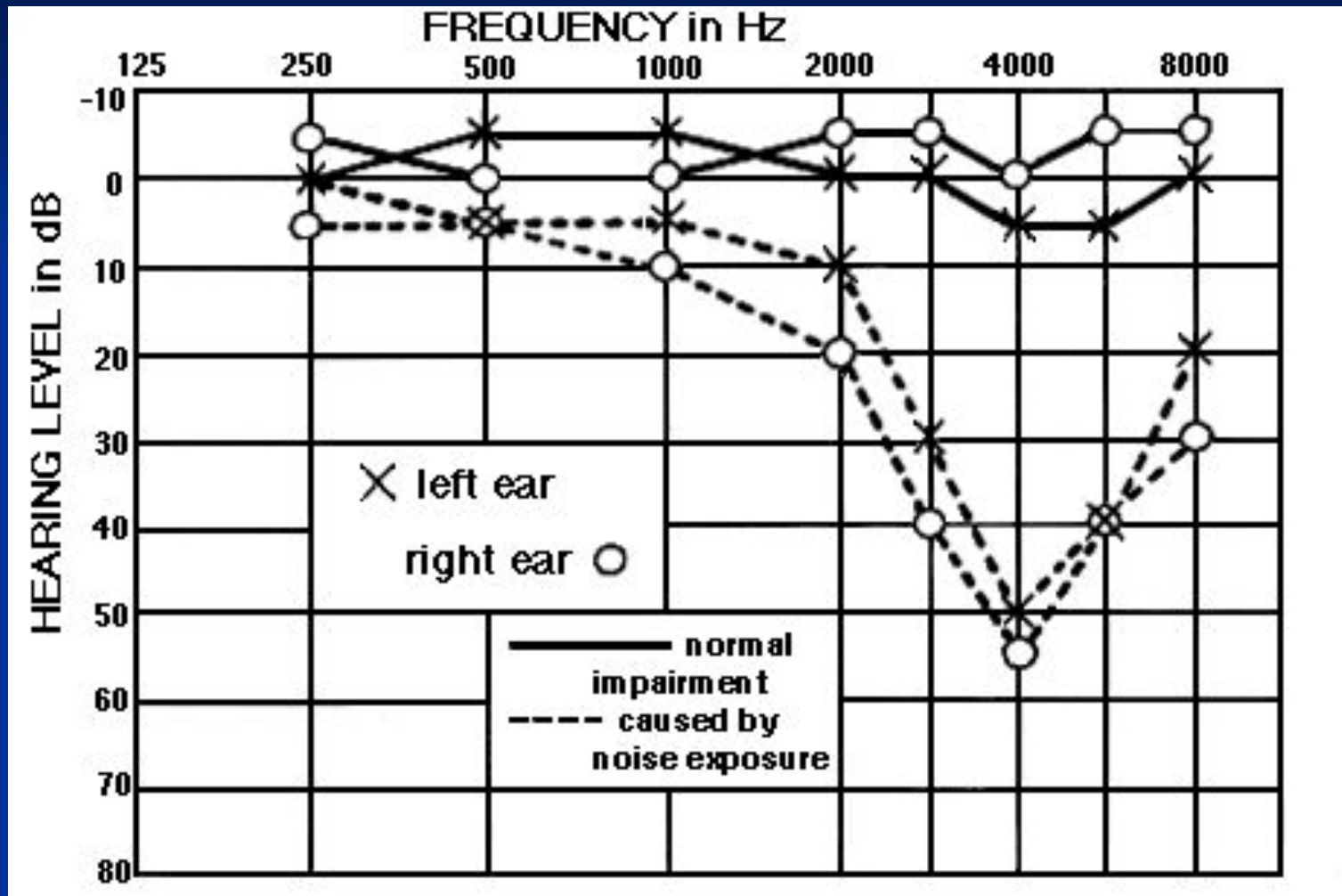
Камертоны



Тональная аудиометрия

- Общепринятый метод
- Чистые тоны (синусоидальные колебания) вызывают резонансное колебание базальной мембраны определённого участка улитки.
- Исследуется восприятие через воздух (наушники)
- И восприятие через кость — с помощью костного телефона

Тональная аудиограмма



Частотное восприятие

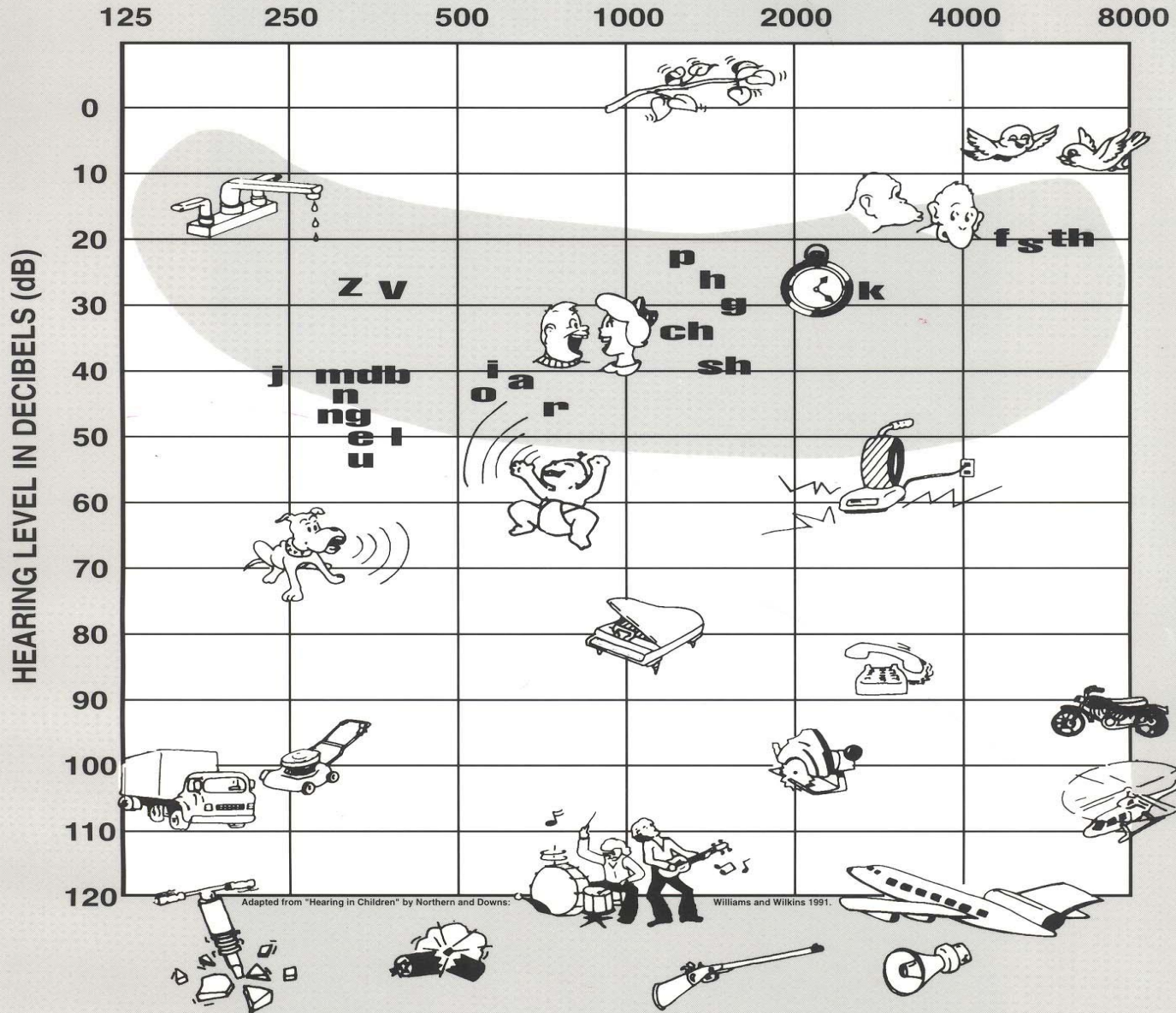
- Спектр воспринимаемых человеком частот - 20- 20,000Hz.
- Чувствительность к звукам разной частоты различна
 - 125Hz : 45dB
 - 1000Hz: 6.5dB
 - 10,000Hz: 20dB

Уровни потери слуха по данным аудиометрии:

- Нормальный слух
 - 0 - 20dB
- Слабая потеря слуха
 - 20 - 40dB
- Умеренная потеря слуха
 - 40 – 60dB
- Значительная потеря слуха
 - > 60 dB

AUDIOGRAM OF FAMILIAR SOUNDS

FREQUENCY IN CYCLES PER SECOND (HZ)



«Переслушивание»

- Результаты аудиометрии полезны только в том случае, если звук действительно воспринимается только исследуемым ухом
- Слышание ухом звука, подаваемого в другое ухо называется переслушиванием.
- При воздушном проведении - 40-80dB
- При костном проведении – даже с 0dB

Маскировка

- Аудиометрическая техника, применяемая для устранения переслушивания.
- В не-исследуемое ухо подаётся шум во время исследования другого уха.
- Уровень маскирующего звука должен превосходить порог слуха не-исследуемого уха, но не вызывать переслушивания исследуемым ухом.

Речевая аудиометрия

- Определяет, насколько хорошо исследуемый слышит и понимает речь
- Используются специально подобранные слова, начитанные диктором
- Определяется уровень распознавания речи при различной интенсивности звука

Речевая аудиометрия

- Определяется % распознанных слов
- 20-50 фонетически сбалансированных слов
- Потеря слуха при поражении звукопроводящего аппарата
 - Хорошее распознавание речи при повышении уровня звука
- Сенсоневральная потеря слуха
 - Плохое распознавание речи

Поведенческие реакции детей раннего возраста на звуковые раздражители

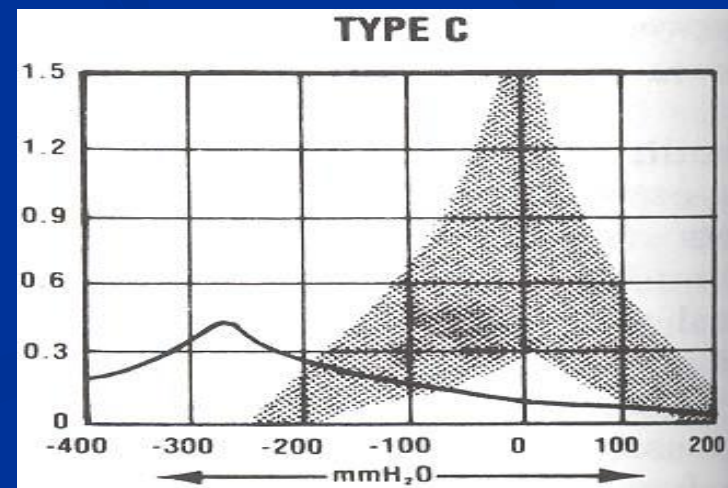
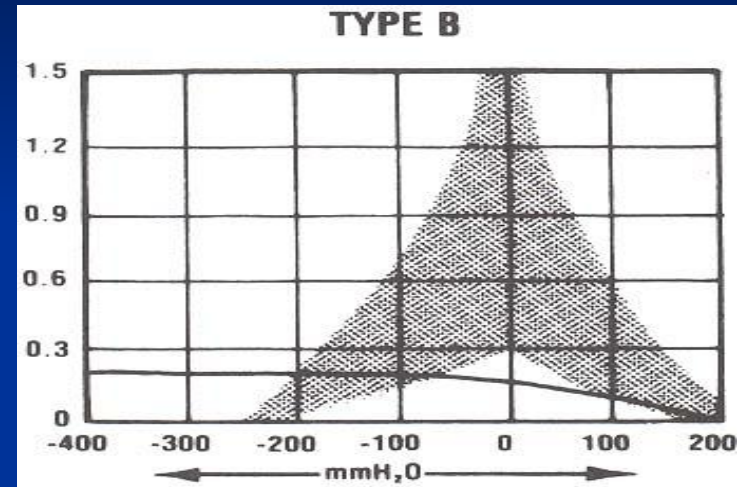
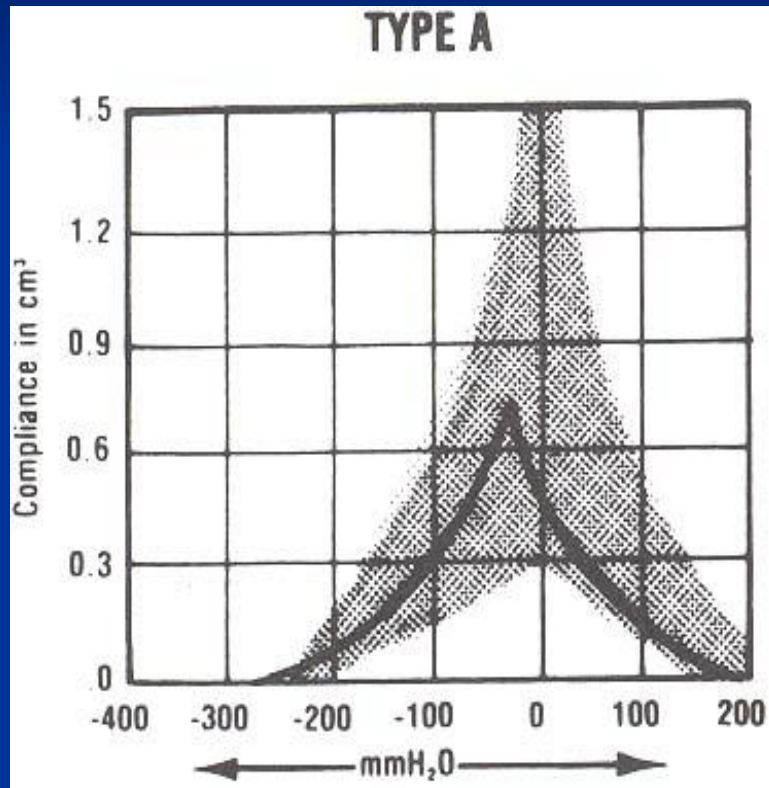
Table 5.3.
Auditory Behavior Index for Infants: Stimulus and Level of Response*

Age	Noisemakers (Approx. SPL)	Warbled Pure Tones (Re: dB HL)	Speech (Re: dB HL)	Expected Response	Startle to Speech (Re: dB HL)
0–6 wk	50–70 dB	78 dB	40–60 dB	Eye-widening, eye-blink, stirring or arousal from sleep, startle	65 dB
6 wk–4 mo	50–60 dB	70 dB	47 dB	Eye-widening, eye-shift, eye-blinking, quieting; beginning rudimentary head turn by 4 mo	65 dB
4–7 mo	40–50 dB	51 dB	21 dB	Head-turn on lateral plane toward sound; listening attitude	65 dB
7–9 mo	30–40 dB	45 dB	15 dB	Direct localization of sounds to side, indirectly below ear level	65 dB
9–13 mo	25–35 dB	38 dB	8 dB	Direct localization of sounds to side, directly below, ear level, indirectly above ear level	65 dB
13–16 mo	25–30 dB	32 dB	5 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB
16–21 mo	25 dB	25 dB	5 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB
21–24 mo	25 dB	26 dB	3 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB

Тимпанометрия

- Исследование акустического импеданса — податливости звукопроводящей системы
- Исследование:
 - Тимпанометрия
 - Акустический стапедиальный рефлекс

Основные типы тимпанограмм по Джергеру



Акустический стапедиальный рефлекс

- Наименьшая интенсивность звука, вызывающая сокращение стапедиальной мышцы (вытягивающей стремя из овального окна и уменьшающая его подвижность)
- 3 основные характеристики стапедиального рефлекса:
 - Наличие или отсутствие рефлекса
 - Порог возникновения
 - «Распад» рефлекса

Распад акустического рефлекса

- Характеризует способность стапедальной мышцы удерживать сокращение
- Уменьшает интенсивность звука в течение 10 секунд
- Нарушение – при патологии улитки, проводящих путей, лицевого нерва

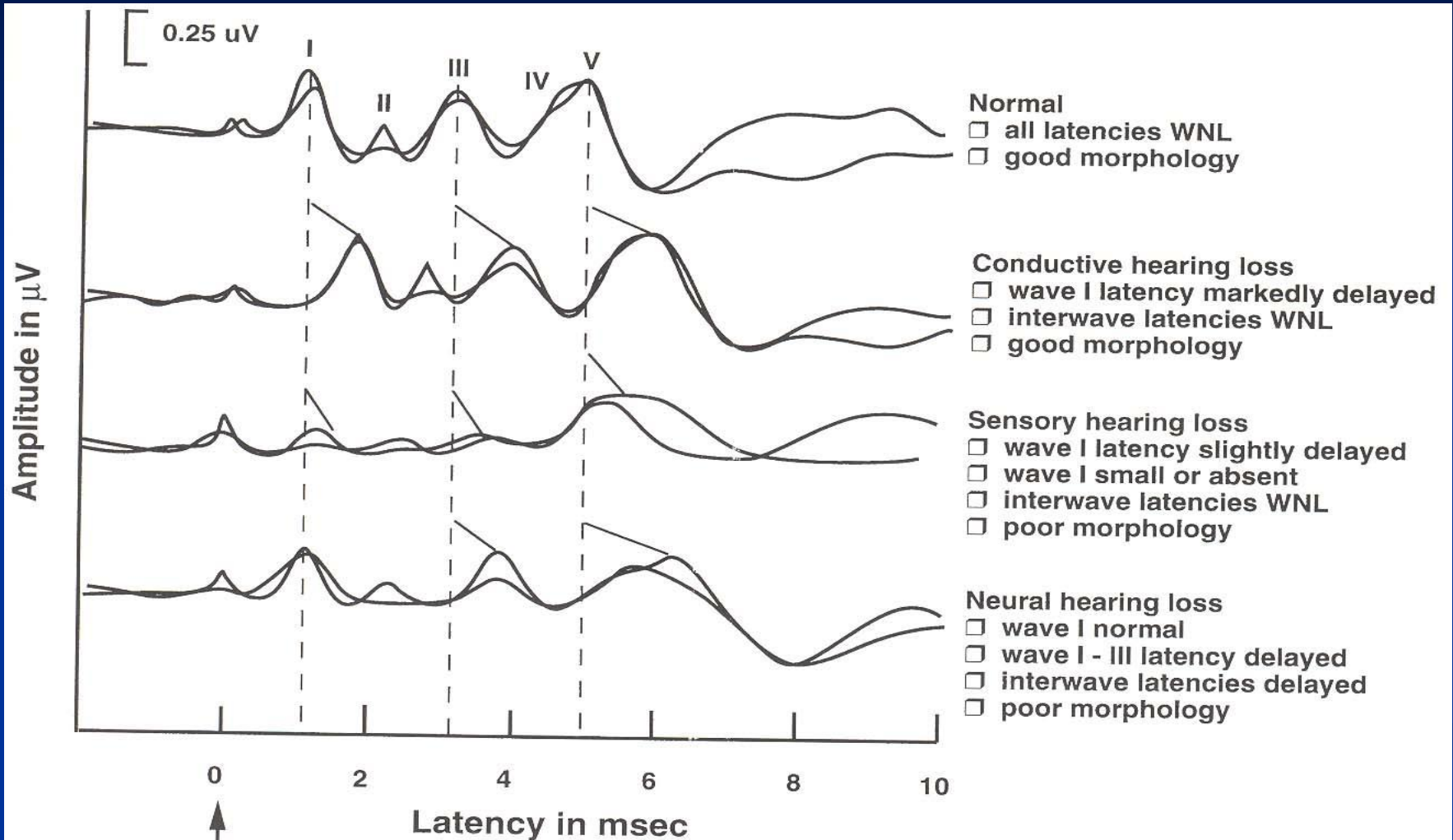
Исследование слуховых вызванных потенциалов (СВП)

- Исследуются электрические импульсы на поверхности головы, генерируемые различными отделами слуховых проводящих нервных путей при подаче звукового сигнала различной интенсивности.
- Является объективным методом, но не характеризует «слышание»
- Можно определять уже с 25 недели развития плода
- Не изменяется под действием седации или во сне

СВП

- Первичная цель – получение ясной и надёжной «первой волны» Primary goal is a clear and reliable Wave I
 - Волна I : дистальная часть 8^{го} нерва
 - Волна II : проксимальная часть 8^{го} нерва
 - Волна III : кохлеарные ядра
 - Волна IV : верхне-оливарный комплекс
 - Волна V : Латеральная петля

СВП



Электрокохлеография

ЕсоG

- Измерение электрических потенциалов, возникающих после стимуляции в наиболее периферически расположенной части органа слуха.
- 3 главных компонента:
 - Микрофонный потенциал улитки
 - Суммирующий потенциал
 - Потенциал действия

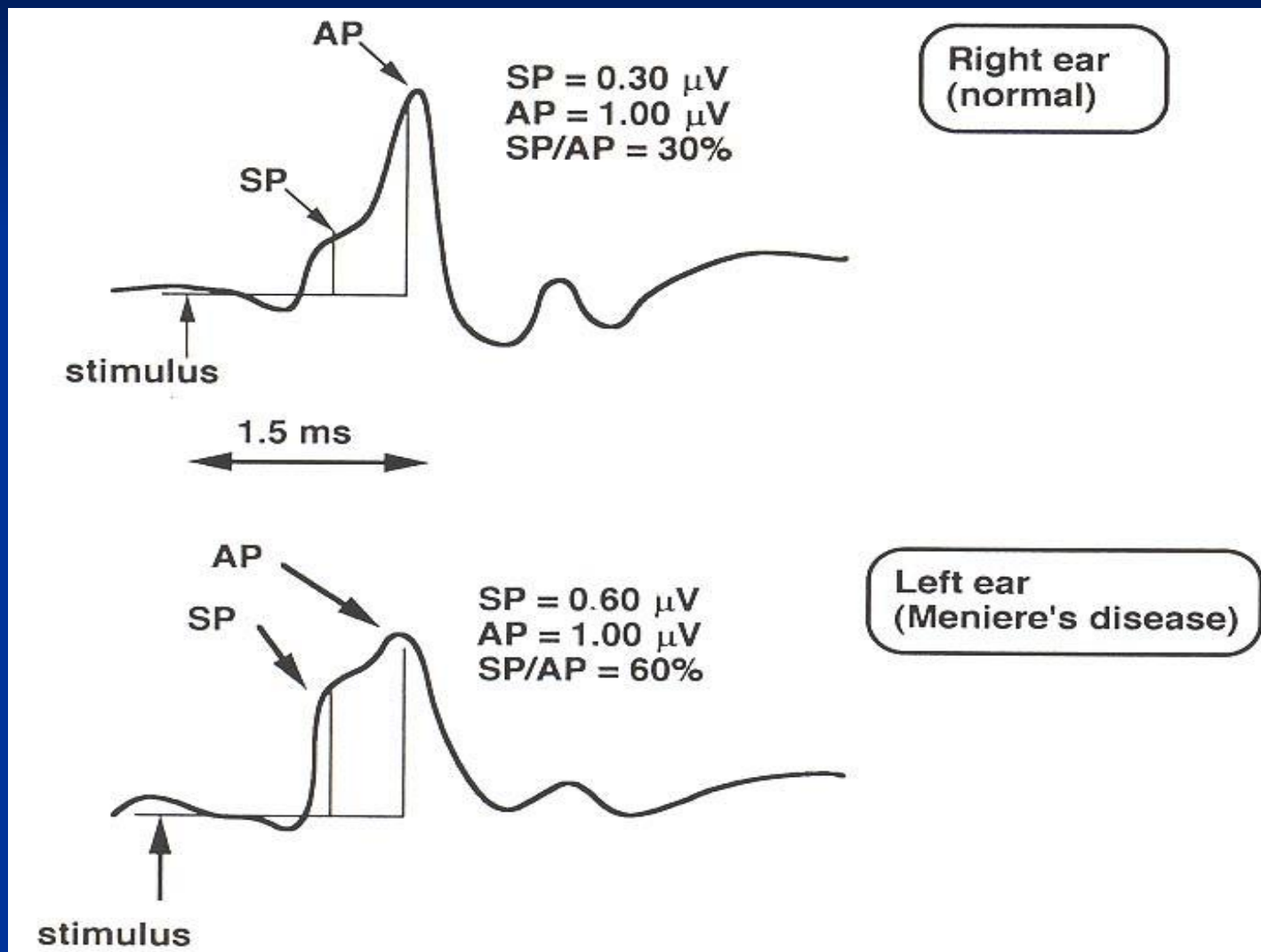
ЕсоG

Размещение электрода

- Неинвазивное
 - Наружный слуховой проход
 - Барабанная перепонка
- Инвазивное
 - Транстимпанальное

ЕсоG

Болезнь Меньера

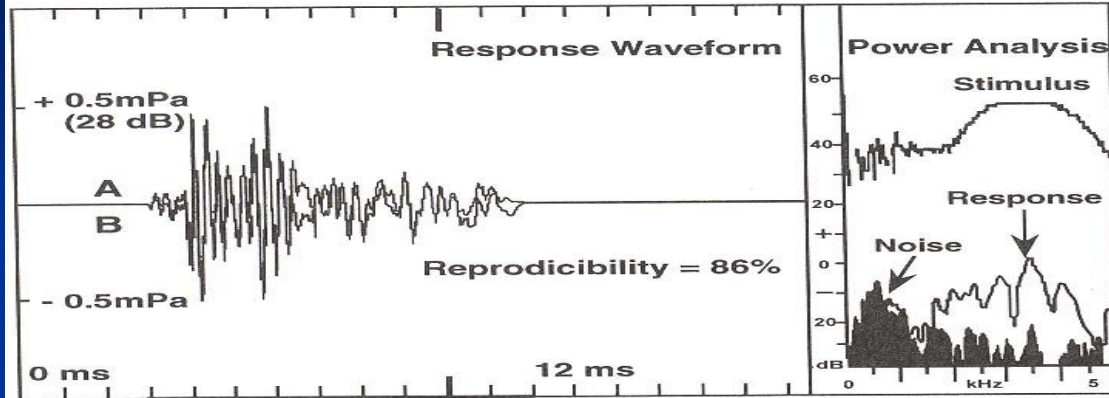


Отоакустическая эмиссия (ОАЭ)

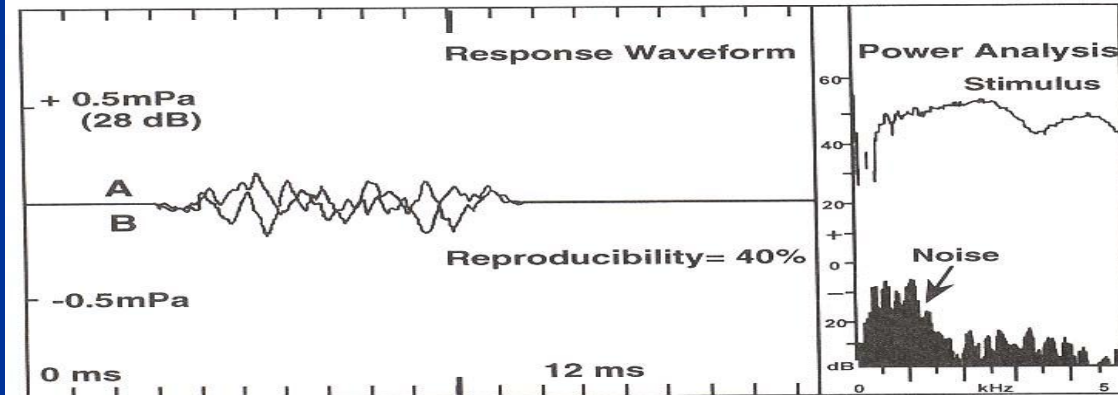
- Звуки очень низкой интенсивности, продуцируемые наружными волосковыми клетками улитки
- Усиливающая способность наружных волосковых клеток улитки.
- Спонтанная эмиссия
 - Отсутствует при потере слуха более 25dB.
- Вызванная эмиссия
 - Транзиторная
 - Продукт дисторсии

OAЭ

Right Ear



Left ear



ОАЭ и патология среднего уха

- Звукопроводящая способность структур среднего уха оказывает прямое действие на ОАЭ.
 - Средний отит
 - Новорожденные
 - Перфорации барабанной перепонки

Анатомия и физиология
вестибулярного
аппарата

- Система обеспечения равновесия
- Мембранозный и костный лабиринт в толще каменистой части височной кости
- Различают 5 различных чувствительных органа
 - 3 полукружных канала: верхний, латеральный, задний
 - 2 отолитовых органа: маточка и сферический мешочек (utricle и saccule)

- Полукружные каналы чувствительны к угловым ускорениям
- Отолитовые органы (utricle и saccule) чувствительны к линейным ускорениям

Анатомия

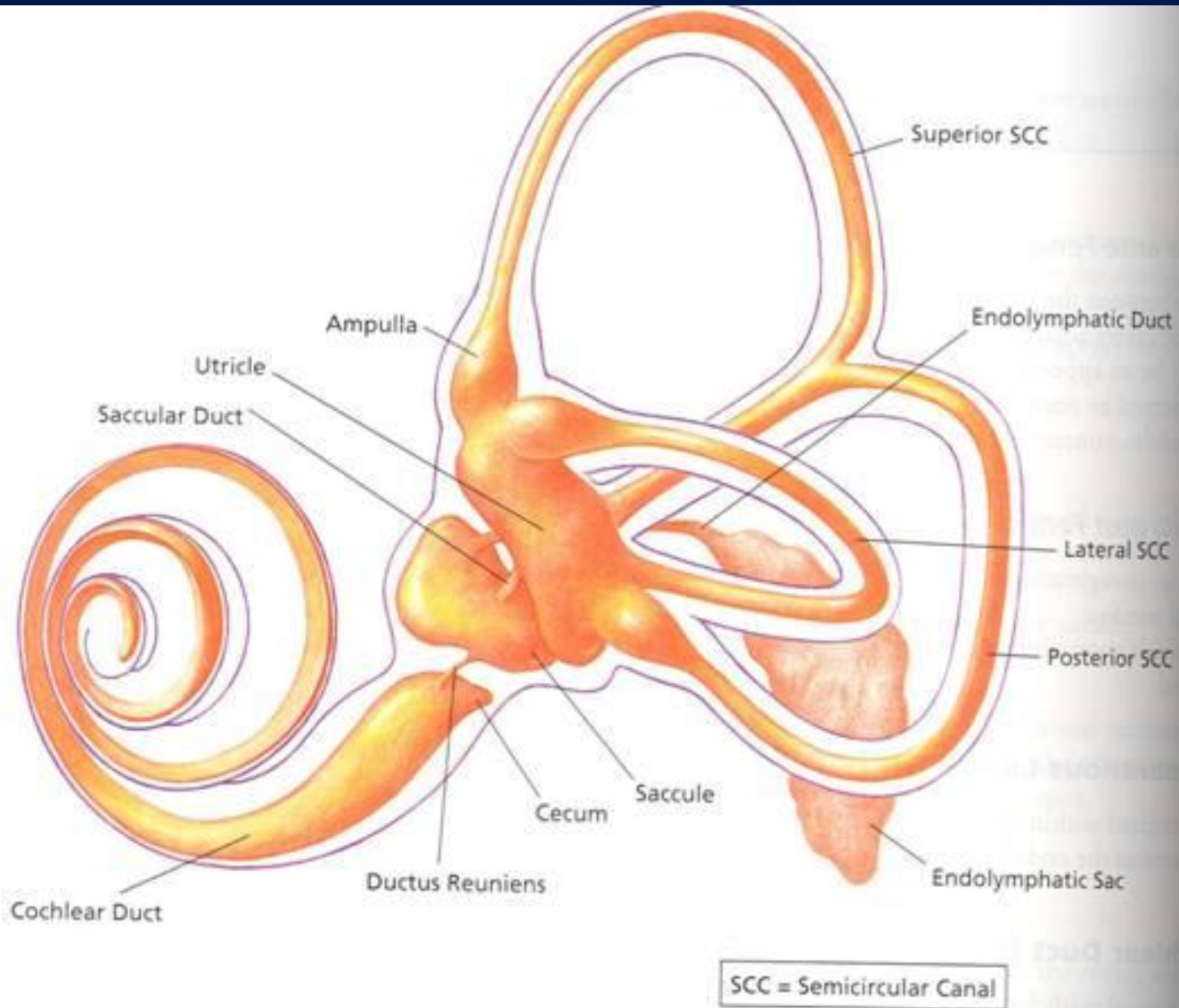
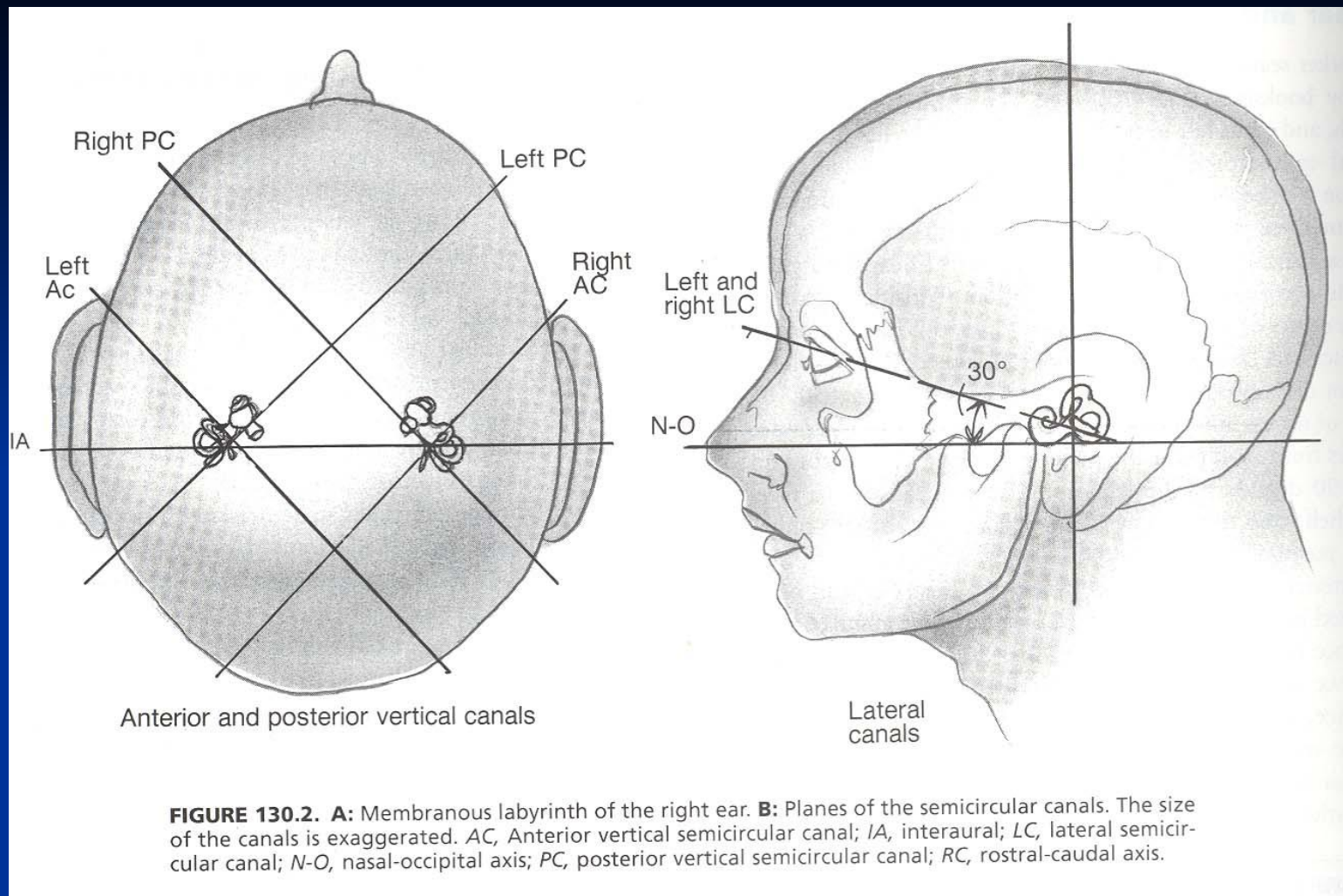


FIG. 9.22. Membranous labyrinth.



- Полукружные каналы располагаются под прямым углом по отношению друг к другу
- Латеральные каналы располагаются под наклоном 30 градусов
- Верхние и задние – под углом 45 градусов

- Утрикулюс расположен в горизонтальной плоскости
- Саккулюс – в вертикальной

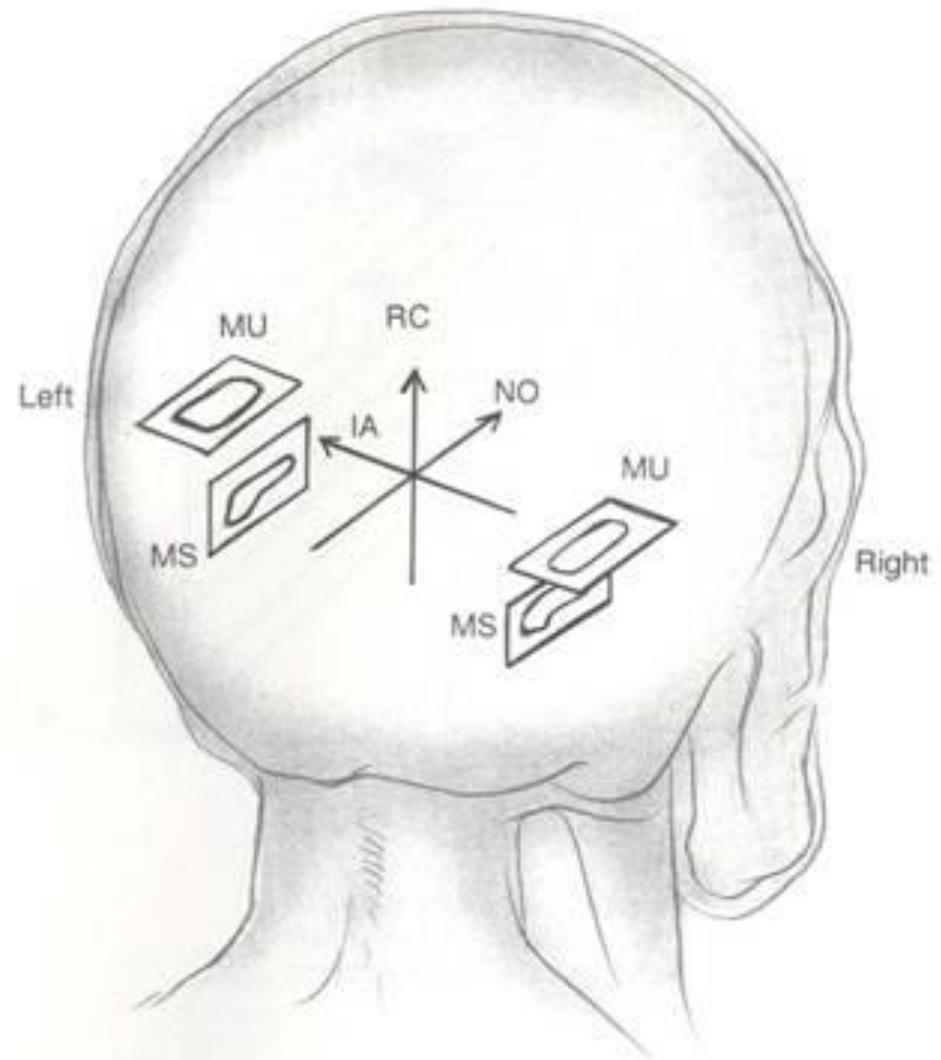
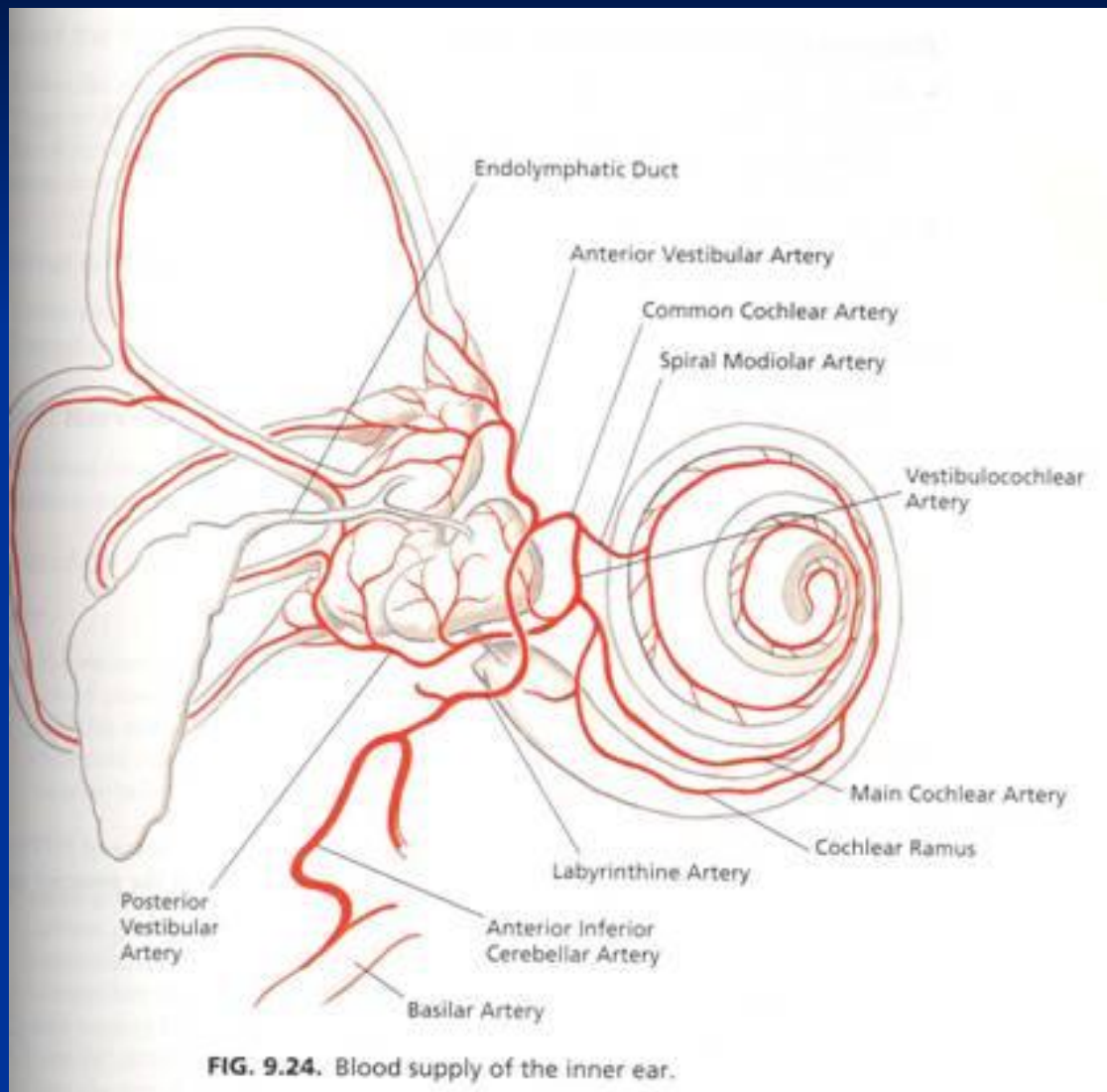


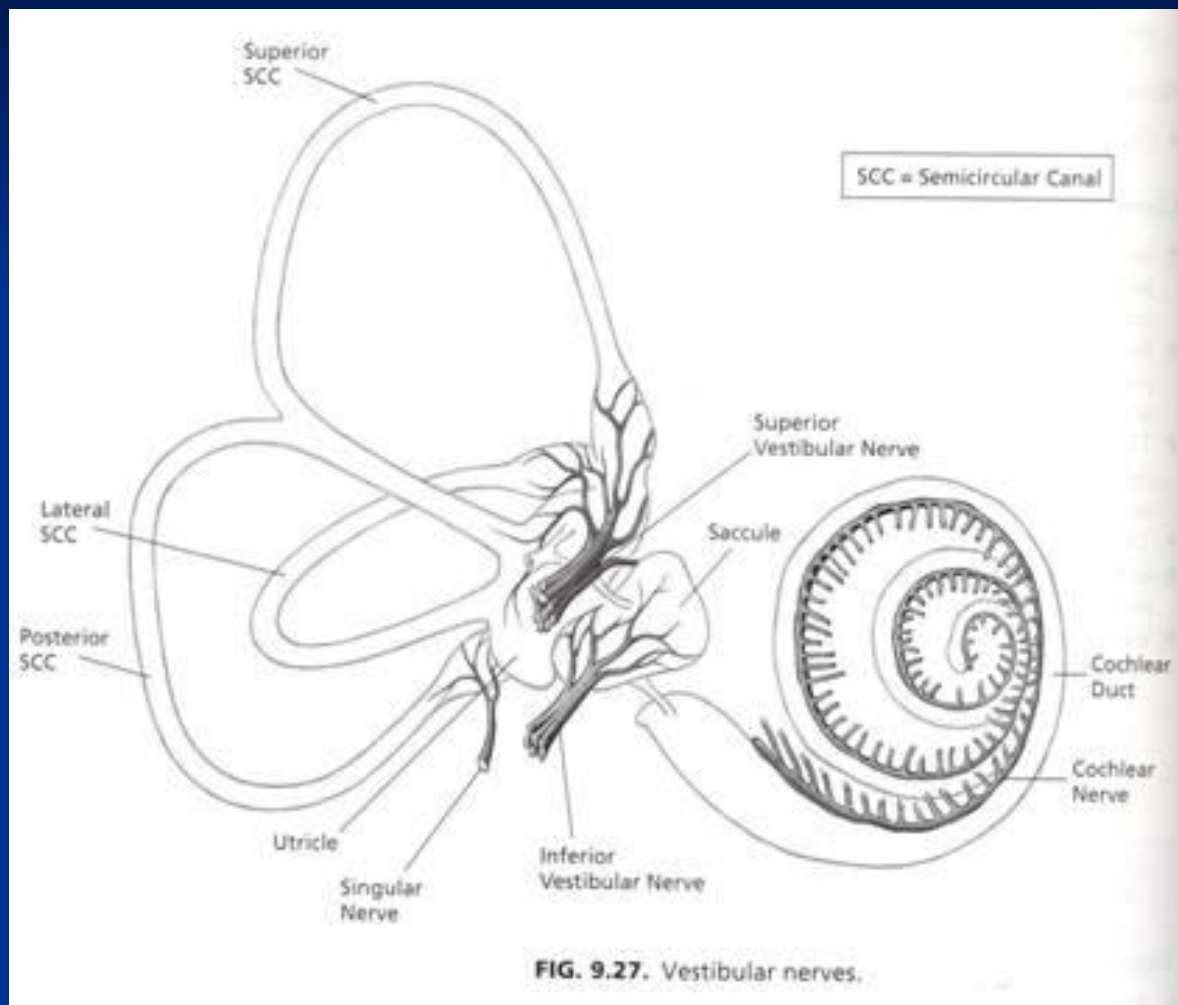
FIGURE 130.4. Approximate planar layout of the otolith organs. *MS*, Macular saccule; *MU*, macular utriculi; *IA*, interaural axis; *N-O*, nasal-occipital axis; *RC*, rostral-caudal axis.

Кровоснабжение



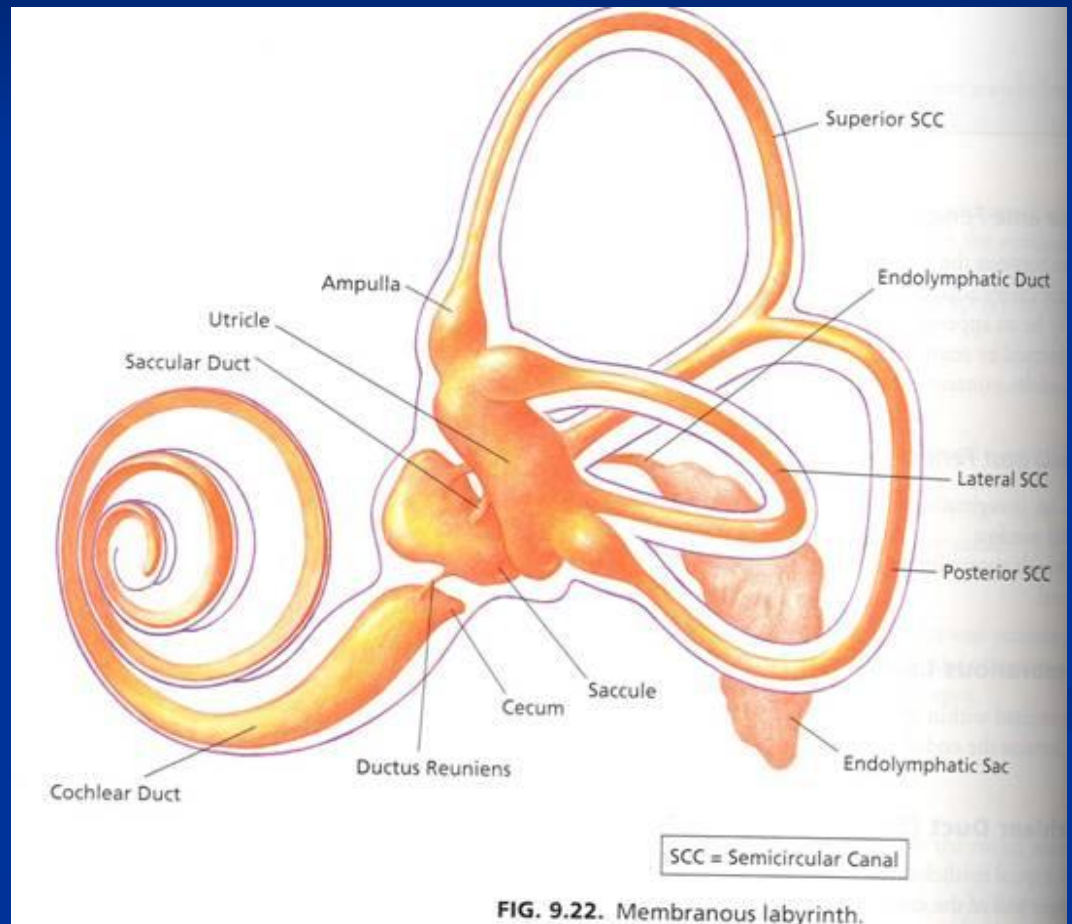
- 45% кровотока АІСА (передне – нижняя мозжечковая артерия)
- 24% из верхней мозжечковой артерии
- 16% кровотока из базилярной
- Две веточки: передняя вестибулярная и общая кохлеарная артерии

Вестибулярные нервы



- Верхний вестибулярный нерв: верхний канал, латеральный канал, утрикулос
- Нижний вестибулярный нерв: задний канал и саккулос

- Мембранозный лабиринт погружен в перилимфу
- Эндолимфа наполняет вестибулярные органы и улитку



■ Перилимфа

- По составу сходна с внеклеточной жидкостью
- $K^+ = 10 \text{ mEq}$, $Na^+ = 140 \text{ mEq/L}$
- Неясно, является она ультрафильтратом спинно-мозговой жидкости или крови
- Дренируется через венулы и слизистую оболочку среднего уха

■ ЭНДОЛИМФА

- Сходна с внутриклеточной жидкостью
- $K^+ = 144 \text{ mEq/L}$, $Na^+ = 5 \text{ mEq/L}$
- Продуцируется маргинальными клетками сосудистой полоски из перилимфы в улитке и из тёмных клеток в преддверии лабиринта
- Абсорбируется в эндолимфатическом мешке через эндолимфатический, утрикулярный и саккулярный протоки

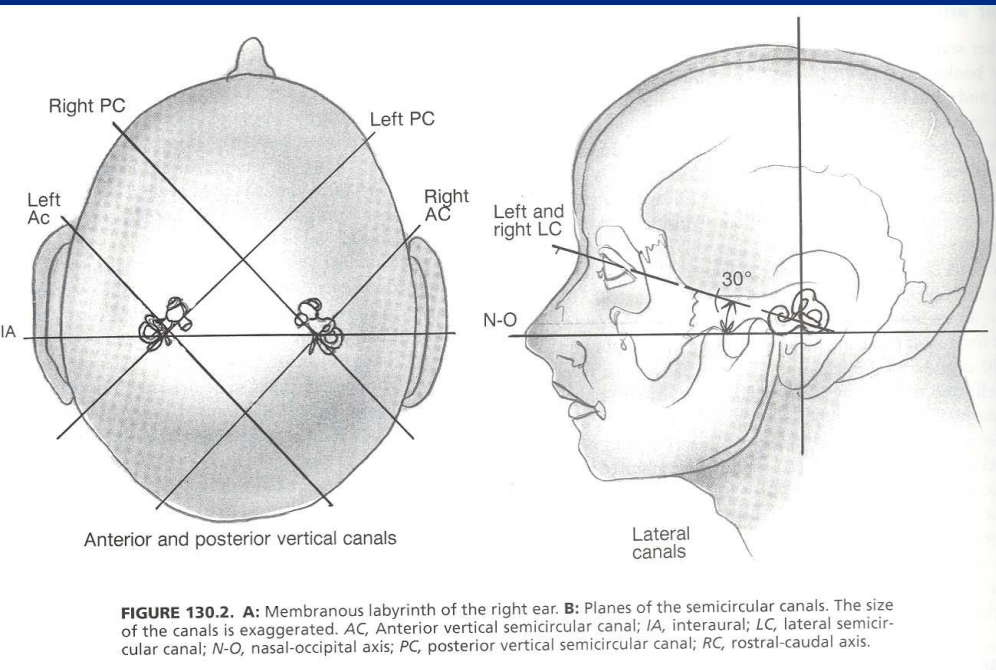
Сенсорные структуры

- Ампула полукружных каналов
- Расширенное окончание канала
- Содержит сенсорный нейроэпителий, купулу, поддерживающие клетки

- Чувствительные реснички нейроэпителия (киноцилии) расположены вблизи утрикулуса в латеральных каналах и в противоположных окончаниях верхних и задних каналов
- Ампулопетальный ток (по направлению к ампуле) оказывает возбуждающий эффект в латеральных каналах и угнетающий — в верхних и задних каналах
- Ампулофугальный ток (от ампулы) оказывает противоположное действие

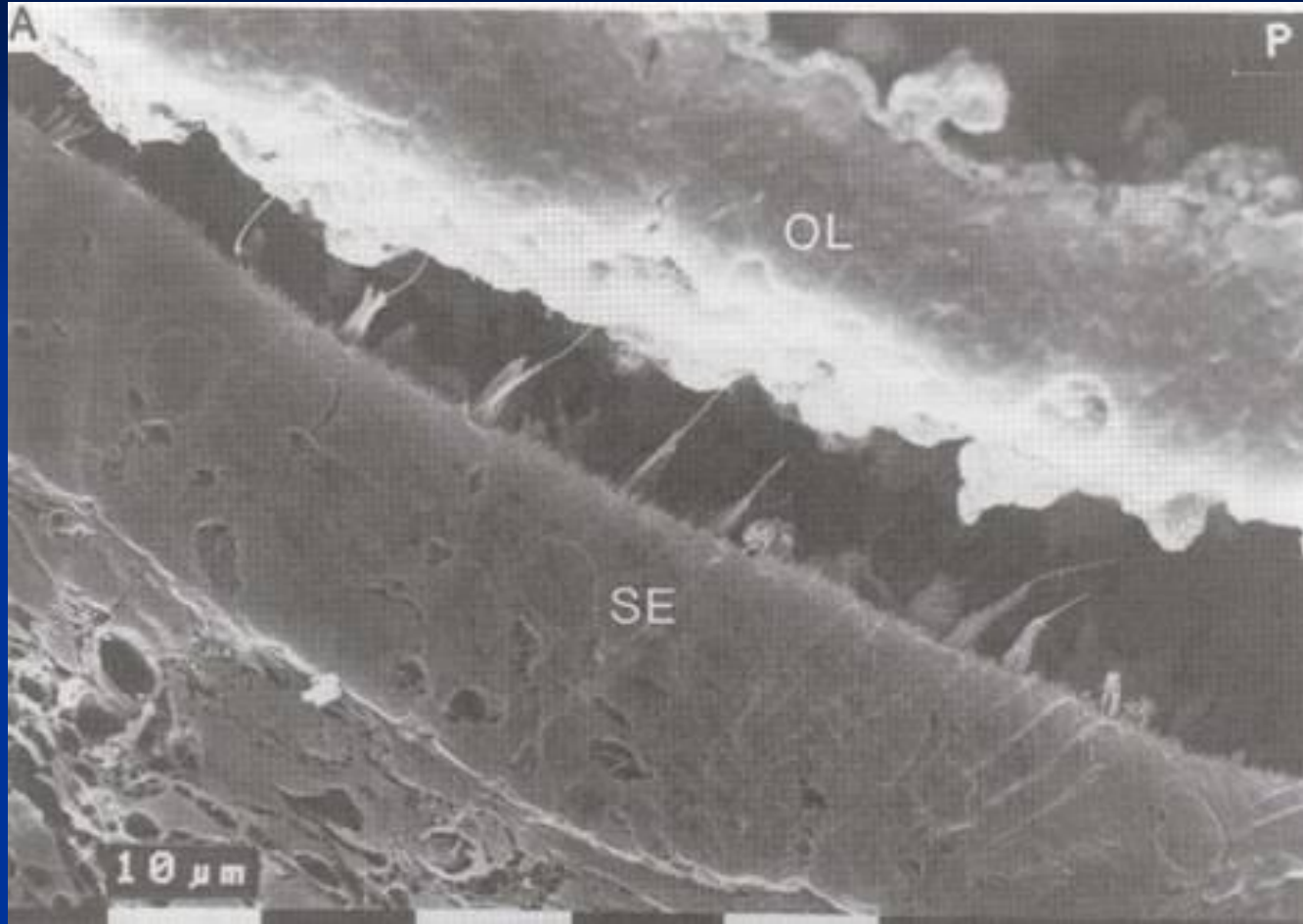
«Парность» каналов

- Полукружные каналы правого и левого лабиринтов «спарены»
 - Горизонтальные каналы — друг с другом
 - Правый верхний/ левый задний
 - Левый верхний/ правый задний
 - Это позволяет дублировать ощущение движения и объясняет компенсацию функции при одностороннем поражении лабиринта



Отолитовые органы

- Утрикулюс и саккулюс «чувствуют» линейные ускорения
- Реснички волосковых клеток погружены в желеобразный слой
- Отолиты или отоконии находятся на поверхности



ОТОЛИТЫ

- Кальция карбонат или кальцит
- 0.5-30μm
- Специфичной является гравитация 2.71-2.94
- Центральная область отолитовой мембраны называется стриолой

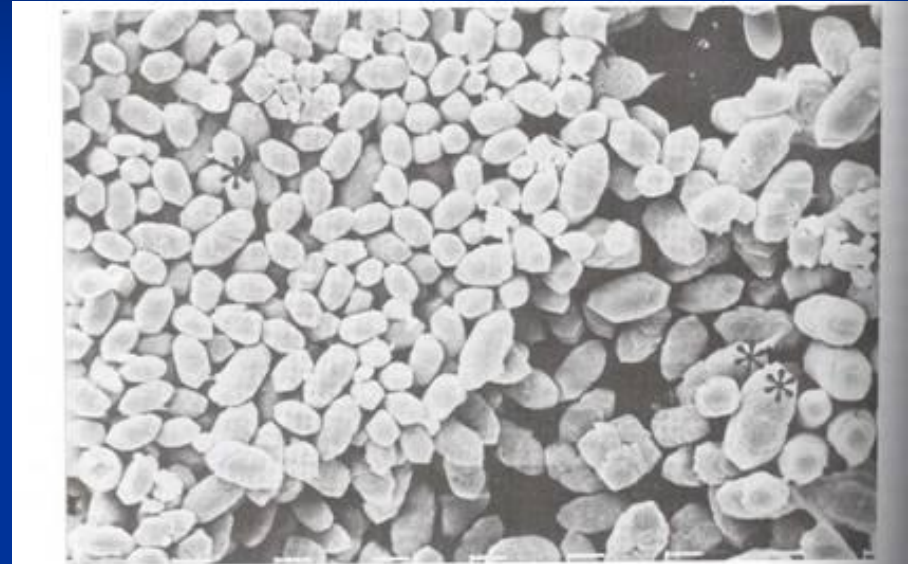


Figure 21-18. Scanning electron micrograph of utricular otoconia from Shaker-2 mouse. Small otoconia (single asterisk) are located in the striolar region whereas larger otoconia are found immediately outside the striola (double asterisks). $\times 1,600$.

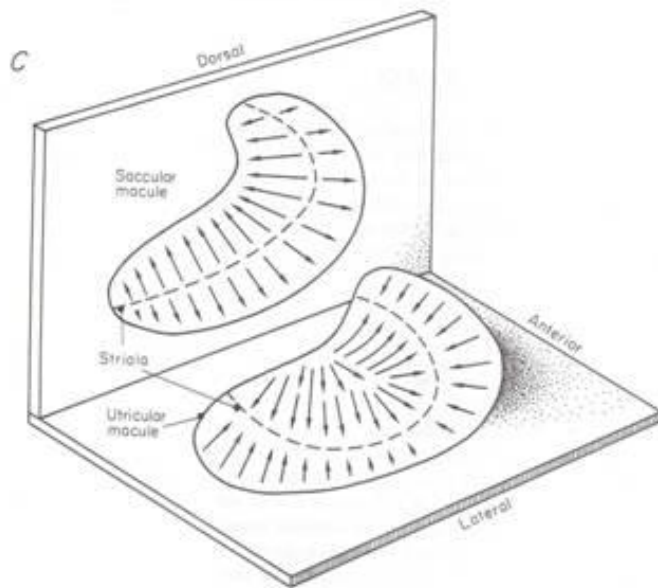
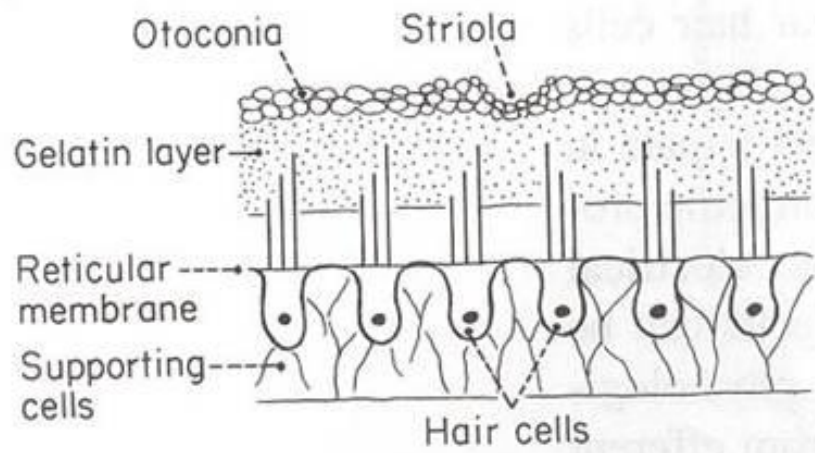


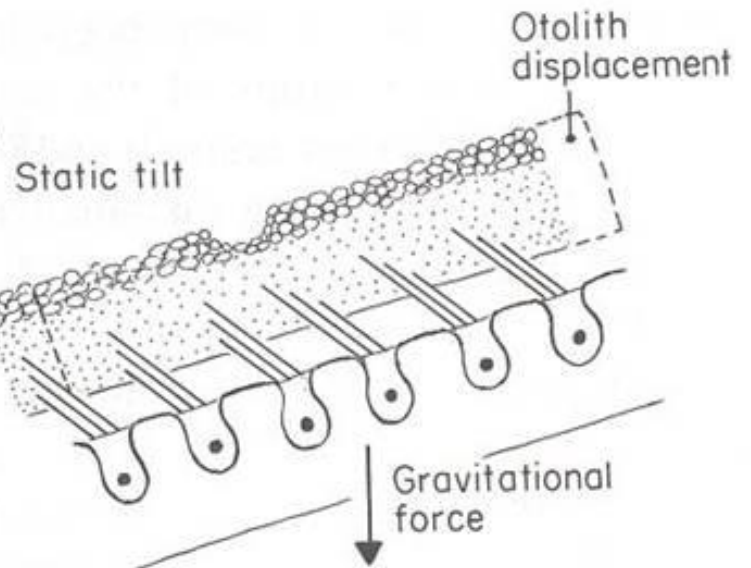
FIGURE 9 The macule: (A) anatomy, (B) mechanism of hair cell activation with static tilt, and (C) spatial orientation of saccular and utricular macules. Arrows indicate the direction that the kinocilia point toward. (Adapted from Barber, HO and Stockwell, CW: *Manual of Electronystagmography*. CV Mosby Co., St. Louis, 1976.)

- Волосковые клетки саккулюса ориентированы по направлению от стриолы
- Волосковые клетки утрикулюса ориентированы по направлению к стриоле
- Стриола имеет изогнутую форму, поэтому отолитовые органы чувствительны к линейным ускорениям в различных направлениях

A



B



Центральные вестибулярные пути

- Скарпов узел расположен во внутреннем слуховом проходе
- Состоит из биполярных клеток нейронов первого порядка
- Верхние и нижние отделы формируют общий пучок, который входит в ствол мозга
- Вестибулярные афферентные волокна первого порядка правой и левой сторон не пересекаются

- Афферентные волокна оканчиваются в вестибулярных ядрах дна четвёртого желудочка
 - Верхнее вестибулярное ядро
 - Латеральное вестибулярное ядро
 - Медиальное вестибулярное ядро
 - Нисходящее вестибулярное ядро

- Возбуждение вестибулярных ядер «проецируется» на:
 - Мозжечок
 - Экстраокулярные ядра
 - Спинной мозг
 - Контралатеральные вестибулярные ядра

- Некоторые волокна вестибулярных нервов идут к разным центрам мозжечка. Нервные волокна вестибулярных ядер контактируют с многими отделами ЦНС: с α - и γ -мотонейронами мышц-разгибателей, ядрами глазодвигательного нерва, мозжечка, ретикулярной формации, с таламусом и гипоталамусом. Вследствие этого при интенсивном раздражении рецепторов вестибулярного анализатора возникают не только соответствующие моторные рефлексы, а и нистагм глаз, вегетативные реакции (изменение частоты сердечных сокращений, сужение сосудов кожи, усиленное потоотделение, тошнота и т.п.), что характерно для так называемой морской болезни.

Ощущение движений тела и контроль над ними

- «Вестибулярная» информация комбинируется с данными, получаемыми из зрительной и проприоцептивной систем
- Обеспечивается удержание тела в равновесии и компенсация эффектов, возникающих при движениях головы

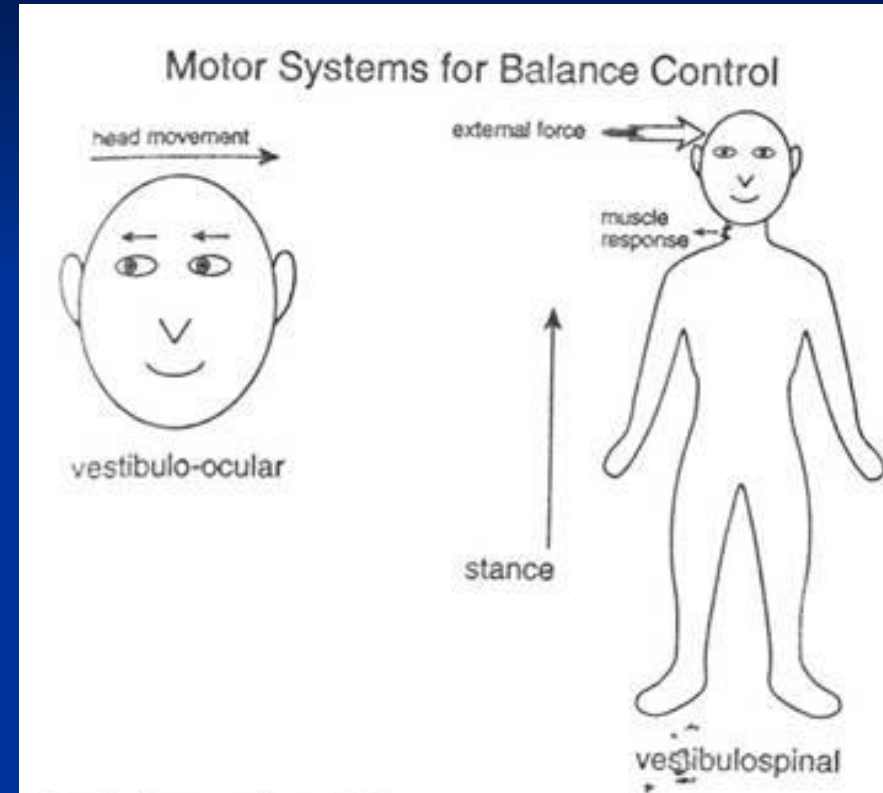


Fig. 7. An overview of the motor systems that are responsible for control of vestibular reflexes. Movements of the eye constitute the motor output of vestibulo-ocular reflexes. Movements and muscle tone of the neck, trunk, and lower extremities mediate vestibulospinal reflexes. These reflexes act to oppose effects of external forces and maintain stance (body orientation in relation to gravity).

Вестибуло-окулярный рефлекс

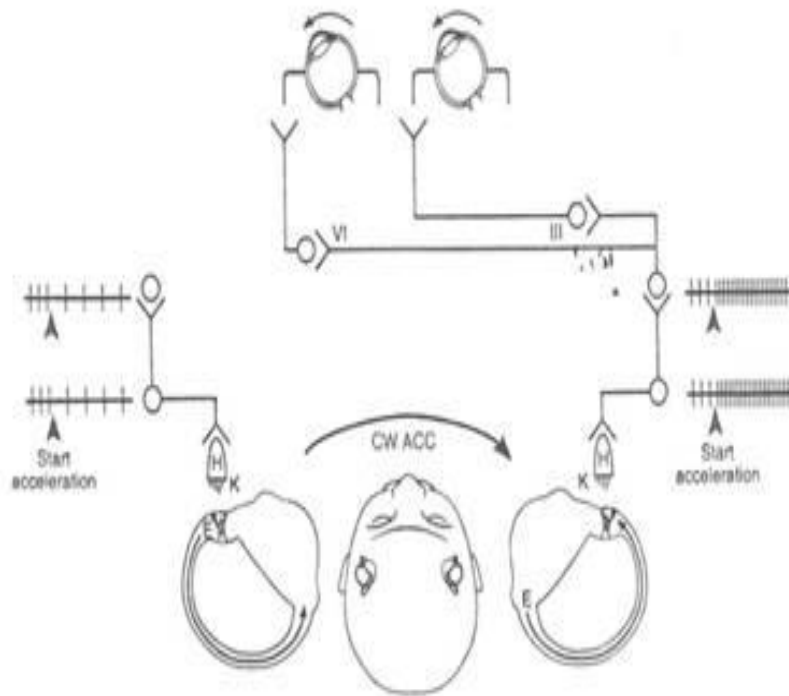


Figure 1. The functioning of the horizontal semicircular canals under the condition of angular acceleration (ACC) in the clockwise (CW) direction. Indications of firing rate changes on the primary afferent nerve fibers and at the level of the vestibular nuclei are given in the spike trains in the right and left sides of the figure. E = endolymph; K = kinocilium; H = hair cell of the lateral crista; III = oculomotor nerve, cranial nerve III; VI = abducens nerve, cranial nerve VI. (From Shepard NT, Telian SA: Practical Management of the Balance Disorder Patient. San Diego, Singular Publishing Group, 1996, p 5; with permission.)

- Мембранозный лабиринт движется вместе с головой
- Эндолимфа – нет, что вызывает её смещение относительно мембранозного лабиринта
- Возбуждение вестибулярного ядра вызывает возбуждение экстраокулярного ядра
- Активация глазодвигательных мышц возвращает глазное яблоко к первоначальному положению, стабилизирует изображение, проецируемое на сетчатке

- Продолжающееся возбуждение вестибулярного аппарата вызывает продолжение активации глазодвигательных мышц
- Движения глазных яблок, возникающие при этом, называются **нистагмом**

Нистагм

- По виду раздражителя (спонтанный (эндогенный), калорический, вращательный, прессорный, гальванический)
- По плоскости (горизонтальный, вертикальный, ротаторный)
- По направлению (быстрого компонента)— (вверх, вниз, вправо, влево)
- По силе (1,2,3 степени)
- По амплитуде (мелко-, средне-, крупноразмашистый)
- По частоте (число за 10с, живой, вялый)

Законы Эвальда

- Движение эндолимфы в горизонтальном полукружном канале от ножки к ампуле вызывает нистагм в сторону раздражаемого уха. Движение эндолимфы от ампулы к ножке вызывает нистагм в сторону нераздражаемого уха
- Движение эндолимфы к ампуле является более сильным раздражителем в горизонтальном полукружном канале, чем движение эндолимфы от ампулы
- Для вертикальных и задних полукружных каналов эти законы обратные

Вестибуло-спинальный рефлекс

- Смещения головы, связанные с гравитацией, вызывают возбуждение вестибулярных ядер
- Возбуждение проецируется на ядра, активирующие «антигравитационные» мышцы по 3 основным путям :
 - Латеральный вестибуло-спинальный тракт
 - Медиальный вестибуло-спинальный тракт
 - Ретикуло-спинальный тракт

Оценка функции вестибулярного аппарата

Цель исследований функции вестибулярного анализатора

- Дифференциальная диагностика патологических процессов в ухе и ЦНС
- Определение профессиональной пригодности

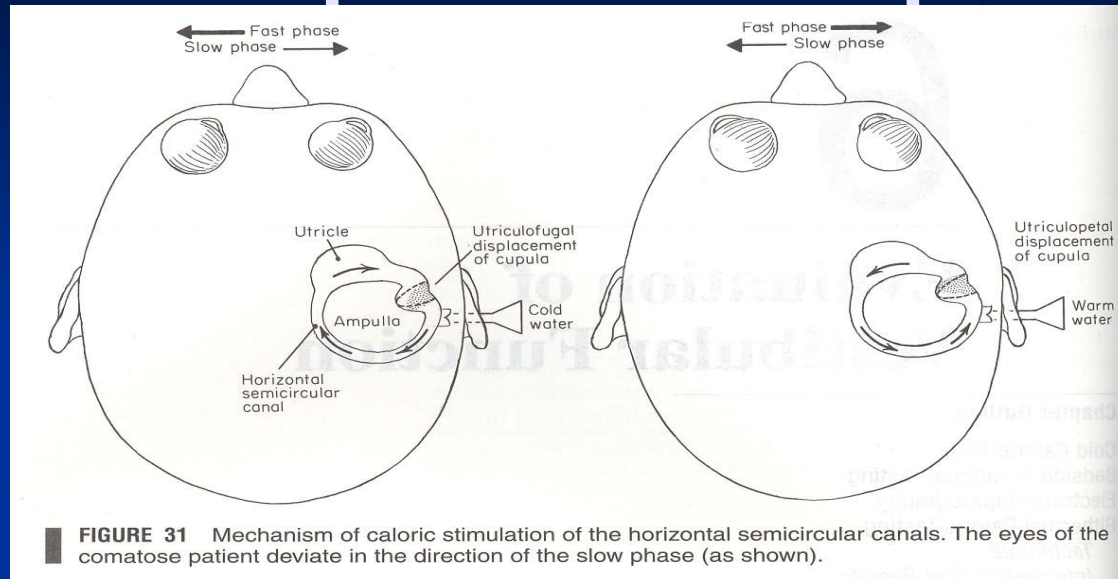
Этапы исследования

- Опрос больного о его ощущениях
- Исследование функции равновесия в покое (в позе Ромберга, стабилография) и при движении
- Выявление наличия или отсутствия спонтанного нистагма, прессорного нистагма (фистульная проба)
- Вращательная проба
- Калорическая проба
- Исследование отолитового аппарата (отолитовая реакция Воячека) – при профессиональном отборе

Вращательная проба

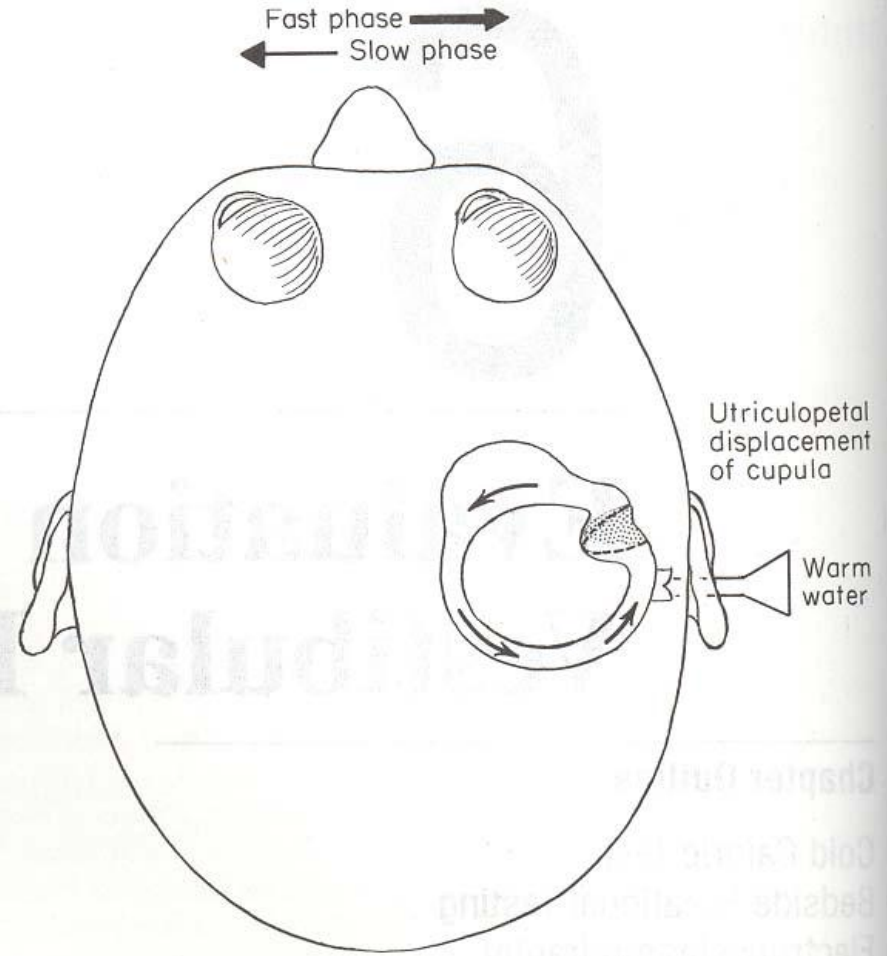
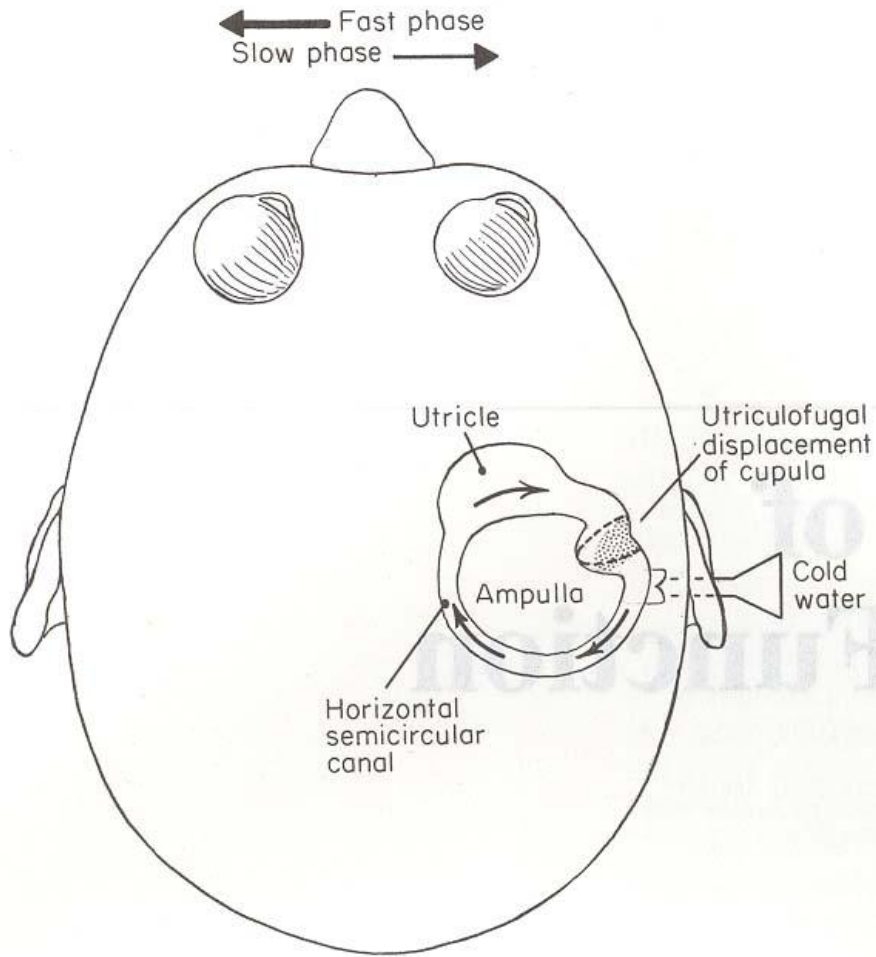
- Исследуют функцию горизонтального полукружного канала
- Раздражитель – адекватный
- 10 оборотов за 20 секунд в кресле Барани
- Оценка поствращательного нистагма (норма – 0-80 сек)

Калорическая проба



- Хотя раздражитель не является адекватным, проба применяется для исследования возбудимости вестибулярного аппарата
- Пациент лежит на спине. Горизонтальные каналы ориентированы вертикально (ампула расположена вверх)

- Вливание в слуховой проход холодной воды (5 мл ледяной или 100-300мл 25-30°C) вызывает отток эндолимфы от утрикуллюса и угнетение стимуляции чувствительных волокон
- Это вызывает появление нистагма с направлением быстрой фазы в противоположную сторону
- Вливание тёплой воды (44-49 °C) вызывает расширение и приток эндолимфы по направлению к утрикуллюсу.
- Результатом этого является возбуждение чувствительных нервных волокон и появление нистагма, направленного в сторону стимуляции.
- COWS (cold - opposite, warm - same)



Выводы по результатам исследования вестибулярного аппарата

- Спонтанные вестибулярные нарушения (есть, нет)
- Степень и симметричность возбудимости вестибулярного аппарата (гипо-, гиперрефлексия, справа, слева)