

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КАФЕДРА ОТОРИНОЛАРИНГОЛОГИИ

Э.А. Стринкевич В.Л. Чекан

СЛУХОВАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕКА

Учебно-методическое пособие

Минск БелМАПО
2016

УДК 611.85+612.85+616.28(075.9)

ББК 56.8я73

С 85

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
НМС Белорусской медицинской академии последипломного образования
протокол № 9 от 20.12. 2016

Авторы:

старший преподаватель каф. оториноларингологии, к.м.н. *Э.А. Стринкевич*,
доцент кафедры оториноларингологии, к.м.н., доцент *В.Л. Чекан*

Рецензенты:

ГУ «Республиканский научно-практический центр оториноларингологии»

Еременко Ю.Е., заместитель директора по научной работе РНЦ
оториноларингологии, к.м.н., доцент

Стринкевич Э.А.

С 85

Слуховая система человека: учеб-метод. пособие
/Э.А. Стринкевич, В.Л. Чекан. – Минск: БелМАПО, 2016. –57 с.

ISBN 978-985-584-096-2

В издании для врачей сделаны акценты на практическую значимость анатомо-физиологических особенностей слуховой системы и связанные с ними закономерности функционирования и развития патологии слуха.

В учебно-методическом пособии широко освещены современные методы исследования слуха с объяснением физиологической природы возникающих эффектов, что позволит практикующему оториноларингологу самостоятельно интерпретировать полученные результаты исследования и оценивать динамику состояния слуховой системы в каждом конкретном случае

Пособие предназначено для врачей анестезиологов-оториноларингологов, педиатров, врачей общей практики.

УДК 611.85+612.85+616.28(075.9)

ББК 56.8я73

ISBN 978-985-584-096-2

© Стринкевич Э.А., Чекан В.Л., 2016

© Оформление БелМАПО, 2016

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА СЛУХОВЫХ НАРУШЕНИЙ

Предисловие

Согласно традиционным представлениям о процессе эволюции животного мира, на этапе развития вида *Homo sapiens* произошло качественное видоизменение системы сигнализации, обеспечивающее адаптивное приспособительное поведение. Оно обусловлено появлением второй сигнальной системы — возникновением и развитием речи.

Человеческая речь имеет две составляющие: смысловую (содержание) и физическую (звучание — в устной речи, очертание букв и слов — в письменной). Функция речи осуществляется определенными структурами коры большого мозга (рисунок 1). Двигательный центр речи, обеспечивающий устную речь (центр Брока), расположен у основания нижней фронтальной извилины. При повреждении этого участка мозга наблюдаются расстройства двигательных реакций, обеспечивающих устную речь (моторная афазия или алалия). Акустический центр речи (центр Вернике) находится в области задней трети верхней височной извилины и в прилегающей части — надкраевой извилине (*gyrus supramarginalis*). Повреждение этих областей приводит к потере способности понимать смысл услышанных слов (сенсорная афазия или алалия). Оптико-акустический центр речи расположен в угловой извилине (*gyrus angularis*). Поражение этого участка мозга лишает возможности узнавать написанное (алексия). Левое полушарие ответственно за развитие отвлеченного логического мышления, связанного с преимущественной обработкой информации на уровне второй сигнальной системы. Правое полушарие обеспечивает восприятие и переработку информации, преимущественно на уровне первой сигнальной системы, связанной с непосредственными реакциями на раздражители. Несмотря на определённую левополушарность локализации центров речи в структурах

коры большого мозга, и как результат — соответствующие нарушения устной и письменной речи при их повреждении, следует отметить, что нарушения функции второй сигнальной системы обычно наблюдаются и при поражении многих других структур коры и подкорковых образований. Функционирование второй сигнальной системы определяется работой целостного мозга.

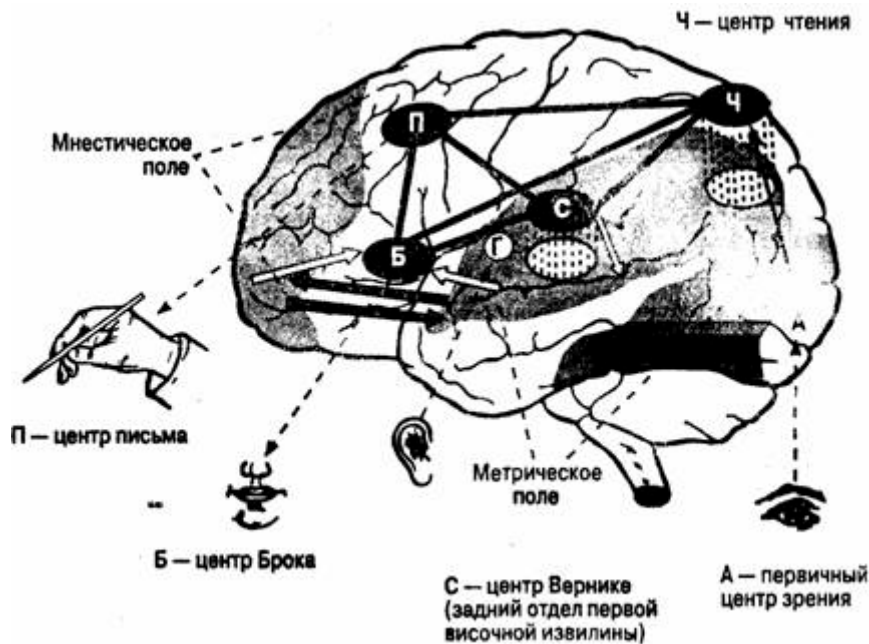


Рисунок 1 – Кортиковые центры речи.

Центральный (корковый) отдел слухового анализатора расположен в височных долях коры головного мозга. Нервные импульсы от правого уха проходят в основном в левое полушарие мозга, и наоборот, от левого уха – в правое. Слуховые зоны обоих полушарий выполняют различные функции. Исследователями было доказано, что у большинства правшей левое полушарие лучше обрабатывает высокочастотные, быстро изменяющиеся звуки, лучше воспринимает отдельные звуки, слоги и слова речи. Именно поэтому для большинства (левши составляют только 10-17% населения нашей планеты) левое полушарие и соответственно правое ухо назвали доминантными по восприятию речи. У левшей, как правило, наоборот. При более поздних исследованиях было показано, что полушарие,

противоположное доминантному при восприятии отдельных слов, лучше воспринимает интонацию, ритм речи, которые необходимы для понимания того, утверждает ли что-то говорящий или спрашивает, серьезно ли говорит или шутит - то есть благодаря ему мы понимаем фразу в целом. Более того, именно противоположное доминантному полушарие связывает все предложения в единое целое, выделяя общий смысл. Таким образом, считавшееся «доминантным» полушарие (левое у правшей) осуществляет последовательный анализ отдельных звуков, а считавшееся «не доминантным» – целостное восприятие речевых сообщений. Это доказывает важность бинаурального слуха не только для облегчения ориентации.

В настоящее время человек существует в активной информационной среде, поэтому системы коммуникации выходят на первое место. В связи с тем, что человек даже в повседневной жизни все чаще использует абстрактные понятия и образы, а скорость передачи информации непрерывно увеличивается, устное общение становится наиболее актуальным. На сегодняшний день звуковые (голосовые) сообщения имеют значительный удельный вес (бытовое общение, радио, телевидение, видео, аудио, интернет, телефон). Кроме того, по содержательной насыщенности вербальная составляющая любого теле-, видео- интернет- или иного изобразительного сообщения превосходит зрительный образ. С точки зрения физиологии сенсорных систем это означает, что для современного человека слуховая функция приобретает всё большее значение.

Нарушения слуха оказывают огромное влияние, как на психосоматическое развитие человека, так и его социально-психологический статус в силу нарушения формирования или деятельности второй сигнальной системы. В качестве комплексного раздражителя (звук и смысл) слово начинает играть важную роль во второй половине первого года жизни ребенка. По мере роста, развития и пополнения жизненного опыта, расширяется и углубляется содержание используемых ребенком слов.

Основная тенденция развития слова заключается в том, что оно обобщает большое количество первичных сигналов. По мере информационного обогащения слово перестает обозначать только возможное разнообразие и делает заключенное в нем понятие все более абстрактным. Таким образом, первые годы жизни ребенка являются критическими для развития речи, познавательных и социально-эмоциональных навыков, что обуславливает первостепенную значимость раннего выявления нарушений слуха. Раннее выявление нарушений функции звукового анализатора крайне важно и для своевременного проведения адекватного лечения и реабилитации. Диагностикой функционального состояния слуховой системы занимается аудиология.

Всемирной организацией здравоохранения учрежден и отмечается ежегодно 3 марта Международный день охраны здоровья уха и слуха.

Введение

Аудиология — раздел оториноларингологии, изучающий слух и его нарушения в физическом, физиологическом, медицинском, психологическом и социальном аспектах.

В настоящее время методы определения остроты слуха, основанные на субъективных ощущениях обследуемого, расширены комплексом объективной оценки состояния слухового анализатора. Весь арсенал средств позволяет определить уровень нарушения и степень слуховых потерь у пациентов в любом возрасте.

Традиционное аудиологическое обследование включает: акуметрию, камертональное исследование, тональную пороговую аудиометрию. При необходимости возможно выполнение дополнительных исследований: аудиометрия в расширенном диапазоне частот, проведение различных надпороговых тестов. По совокупности получаемых данных можно судить об уровне и степени тугоухости. Однако результаты зависят от соматического, психического и интеллектуального состояния пациента, его способности концентрироваться на выполняемом задании.

Исключить подобные погрешности позволяют объективные методы исследования. Последние так же не лишены недостатков, поскольку объективизировать данные о степенях потери слуха удается не всегда. Тем не менее, вопрос о топике поражения с их помощью решается довольно успешно. К методам объективной диагностики относятся: импедансометрия, регистрация отоакустической эмиссии и различных классов слуховых вызванных потенциалов.

Современная аудиология, при комплексном использовании методов субъективного и объективного исследований, располагает достаточным арсеналом средств для решения задач дифференциальной диагностики поражений слухового анализатора.

Анатомо-физиологические аспекты звукопроводения и звуковосприятия

Напомним отдельные моменты из анатомии и физиологии органа слуха, физиологической акустики, которые на наш взгляд важны для понимания механизмов развития слуховых нарушений.

Звуковой анализатор – это сложный орган, в котором различают несколько отделов.

С анатомической точки зрения различают 3 отдела:

1. Наружное ухо (ушная раковина, наружный слуховой проход).
2. Среднее ухо (барабанная полость, сосцевидный отросток, слуховая труба).
3. Внутреннее ухо (улитка, преддверие, полукружные каналы).

С физиологической точки зрения выделяют 2 отдела:

1. Звукопроводящий (наружное ухо, барабанная перепонка, среднее ухо, лабиринтная жидкость).
2. Звуковоспринимающий отдел (Кортиев орган, звукопроводящие пути, слуховые центры в коре головного мозга).

Звукопроводящий отдел

Специфическим (физиологическим) раздражителем для органа слуха является звуковое давление (звук). Звук – это колебания определенной частоты, распространяющиеся в окружающей среде. Можно определить иначе: колебания определенной частоты воспринимаются органом слуха как звук. В любом случае, звук – это механическая волна, распространяющаяся в окружающей среде.

Для того чтобы звук был воспринят как информационный сигнал, он должен достигнуть рецепторных клеток Кортиева органа, преодолев звукопроводящую систему органа слуха и переход из воздушной среды в

жидкость внутреннего уха. Применительно к открытым пространствам, звуковая волна при распространении в воздухе угасает. При переходе из воздуха в морскую воду (в так называемой «открытой модели») потеря энергии составляет больше 90%. При переводе в децибелы, потеря звуковой энергии, рассчитанной для «открытой модели» составляет около 30дБ. Поправки для указанной модели, применительно к звуковому анализатору следующие. Во-первых, внутреннее ухо представляет собой систему капиллярных трубок. Во-вторых, звукопроводящая система среднего уха обладает большим сопротивлением. Значит, предполагается искажение теоретических расчетов. Однако, биофизических наблюдений, которые убедительно доказывали бы разницу между теоретической «открытой» и фактической «капиллярной» системами нет. Очевидно, что для формирования слухового ощущения звукопроводящая система среднего уха должна усиливать поступающий звук. В действительности, усиление звукового давления происходит на всех этапах от наружного до внутреннего уха.

Наружное ухо

Ушная раковина не играет большой роли в механизме слуха. Однако увеличение её площади приводит к усилению звука на 10 дБ. В большей степени ушная раковина влияет на ототопiku – определение локализации источника звука в пространстве. Для ототопики важно: 1) наличие ушной раковины – это необходимо для ориентации в переднезаднем направлении (сложное строение самой ушной раковины облегчает ориентацию по вертикали); 2) наличие двух ушей, расположенных диаметрально – обеспечивает восприятие звуковой волны в разную фазу, что облегчает ориентировку по сторонам; 3) расстояние между ушами (база) – облегчает уточнение локализации источника звука – ориентировочные реакции (прислушивание).

Наружный слуховой проход – 1) искривлен и сужается по направлению к барабанной перепонке – происходит частичное отражение звуковой волны от стенок наружного слухового прохода и её усиление; 2) это полая трубка, открытая с одного конца – такая система будет резонировать на длину волны в 4 раза превышающую длину трубки (если длина слухового прохода в среднем 2,3 см, то длина волны - 9,2 см). Все эти составляющие приводят к усилению звука на 15 дБ. Обтурация наружного слухового прохода приводит к снижению слуха на 30-40 дБ, причем в большей степени это касается высоких тонов (>1000 Гц). Эффект заглушения зависит и от расстояния между препятствием и барабанной перепонкой. Максимальный эффект заглушения достигается, когда блокируется барабанная перепонка.

Среднее ухо

Для достижения адекватного возбуждения Кортиева органа посредством движения жидкостей необходима разница в давлении между обеими лестницами улитки. В здоровом среднем ухе разница достигается практически только благодаря повышению давления у овального окна по сравнению с давлением у круглого окна. **Величина повышения давления средним ухом** - это отношение размера барабанной перепонки к размеру подножной пластинки стремени, умноженному на рычажное действие косточек. Концентрация звуковой энергии происходит при передаче давления звука в момент прохождения барабанной перепонки (преимущественно заднее-нижний квадрант), площадь которой в среднем $\approx 55-60 \text{ мм}^2$ на малую площадь основания стремени $\approx 3,2 \text{ мм}^2$. Соотношение размеров подножной пластинки стремени и колеблющейся части pars tensa барабанной перепонки - от 1:14 до 1:17 (пределы варьирования этих соотношений $\pm 15\%$). Повышение звукового давления, благодаря соотношению величин полезной площади барабанной перепонки и площади подножной пластинки стремени составляет от 22,9 дБ до 24,6 дБ (1,5 на рисунке 2). **Рычажный механизм** слуховых косточек усиливает звуковое

давление от 1:1,1 до 1:1,5 или 2,2 дБ (2, 3, 4 на рисунке 2). Эффективность функции всего трансформатора звукового давления определяется произведением обоих факторов - барабанной перепонки и косточек (от 1:18,2 до 1:22,1). Действие трансформатора звукового давления составляет от 25,2 дБ до 26,9 дБ.

Состояние круглого и овального окон. Для обеспечения оптимальных условий слуха необходимо, чтобы звуковое давление на овальное окно было значительно больше, чем на круглое, а подвижность подножной пластинки стремени меньше, чем вторичной барабанной перепонки. Разница давления между обеими лестницами улитки вызывает движение пери- и эндолимфы – без смещения мембран окон нет слуха даже при интактном Кортиевом органе (4, 6, 7, 8, 9 на рисунке 2).

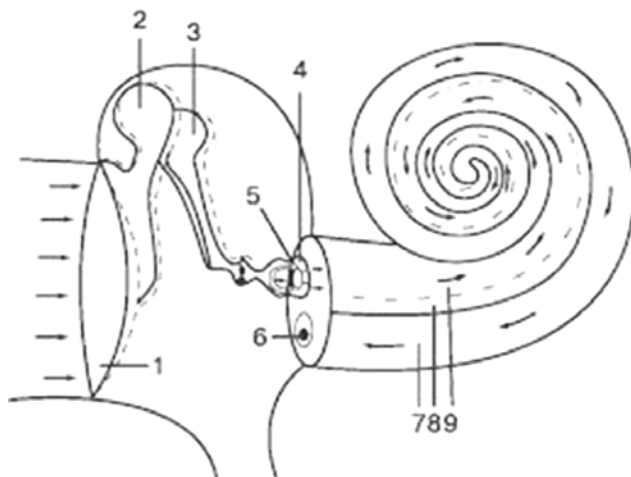


Рисунок 2 – Схема трансформации звукового давления (1- барабанная перепонка, 2,3,4 – слуховые косточки, 5 – овальное окно, 6 – круглое окно, 7,8,9 – лестницы улитки).

Воздушность полостей. Все полости среднего уха в норме содержат воздух и выполняют роль резонаторов.

Таким образом, эффективность здорового звукового трансформатора на основании теоретических вычислений следует считать равной 22-30 дБ.

Внутреннее ухо.

Лабиринтные жидкости. Жидкая среда внутреннего уха способствует лучшему звукопроведению. На всех этапах звукопроведения происходит усиление звуковой волны. Это дает возможность прислушиваться и реагировать на едва различимые звуки, интенсивность которых близка к порогу слуха. В то же время нарушение любого физиологического этапа усиления звука приводит к нарушению звукопроведения и развитию кондуктивной тугоухости.

Для объяснения некоторых механизмов нейросенсорной потери слуха важно упомянуть несколько общеизвестных моментов.

Внутренняя среда уха представлена 3 жидкостями различными по происхождению, химическому составу и физиологическому значению (рисунок 3).

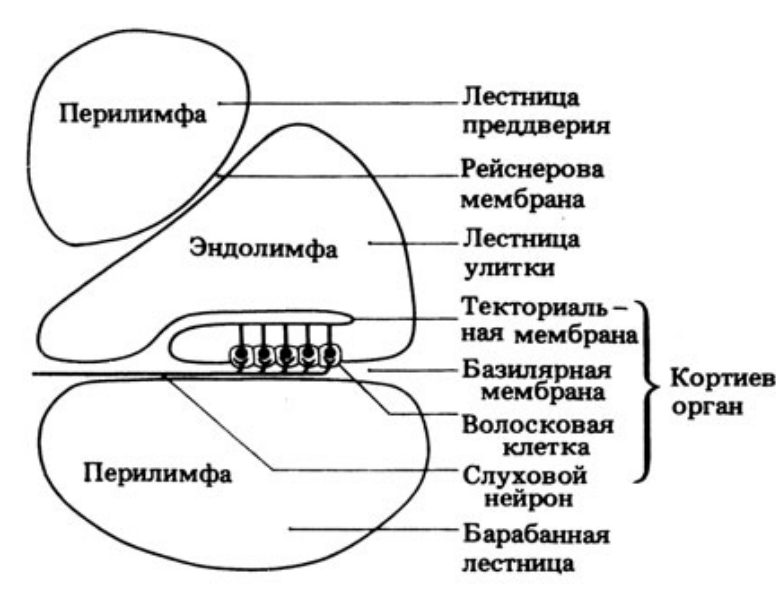


Рисунок 3 - Схема поперечного разреза улитки, на котором не обозначена кортилимфа: между текториальной мембраной (медиально) и волосковыми клетками (латерально).

Перилимфа заполняет пространство между костным и перепончатым лабиринтом. По химическому составу перилимфа подобна ликвору, но по ряду показателей отличается. В частности, содержит больше кетокилот,

белка (в 2 раза), ферментов (фосфогекоизомеразы, лактикодегидрогеназы) – в несколько десятков раз. Принято считать, что происхождение перилимфы внутрилабиринтное (источники: главным образом сосудистая сеть перилимфатического пространства, капилляры спиральной связки), но не исключают участие и внелабиринтных образований. Перилимфа резорбируется спиральной связкой внутри барабанной лестницы вблизи базилярной пластинки.

Эндолимфа, заполняющая перепончатый лабиринт, отличается от всех других жидкостей организма, т.к., будучи внеклеточной, она аналогична внутриклеточной среде по соотношению электролитов (больше K^+ , Cl^- , меньше Na^+). Высокое содержание K^+ приводит к тому, что эндолимфатическому пространству свойственен высокий электрический потенциал покоя +80 мВ (это в 16 раз выше, чем в перилимфе - +5 мВ). Суммарная трансмембранная разность потенциалов для волосковых клеток составляет примерно 140 мВ. Это способствует, кроме усиления клеточного дыхания и аэробного гликолиза, проведению нервного импульса по немиелинизированным волокнам улитки. Т.е. минимальные смещения стереоцилий приводят к возникновению электрического импульса. В эндолимфе также содержится растворенный O_2 , при этом его напряжение прямо пропорционально функциональной активности Кортиева органа, и наоборот, функция Кортиева органа напрямую зависит от напряжения O_2 . Это объясняет целесообразность гипербарической оксигенации при невритах слухового нерва.

Кортилимфа заполняет туннель Кортиева органа. Источником кортилимфы служат кровеносные сосуды, расположенные под базилярной пластинкой. Кортилимфа, как и перилимфа, богата Na^+ , но признать их идентичными нельзя, т.к. перилимфа токсична для волосковых клеток и источники образования различны. От других жидкостей лабиринта кортилимфа изолирована.

Сообщение между эндо- и перилимфой осуществляется через Рейснерову мембрану, которая состоит из двух слоев клеток, между которыми расположена редкопетлистая сеть тонких соединительнотканых волокон. Поддержание разной концентрации ионов осуществляется микроворсинками на эндолимфатической поверхности Рейснеровой мембраны.

Звуковоспринимающий отдел

Звуковая энергия, достигшая рецептора, в чувствительных клетках спирального органа преобразуется в нервное возбуждение, которое в виде электрических импульсов передается по улитковой части VIII пары черепно-мозгового нерва в ЦНС. Слуховой раздражитель проходит через улитковые ядра в продолговатом мозгу, далее через боковую петлю, трапециевидное тело и медиальное коленчатое тело доходит до коры мозга. Кортиковое представительство слуховой системы – извилина Гешля в височной доле.

Улитка

Рецептор. Слуховой рецептор (спиральный орган или орган Корти) располагается на базилярной мембране, которая образована примерно 24 тысячами тонких радиальных коллагеновых волокон, длина которых возрастает от основания улитки к ее вершине. Кроме того, у основания она толще, чем у верхушки. Кортиев орган по всей базилярной мембране распределяется продольно. В поперечном направлении он состоит из одного ряда внутренних волосковых клеток (ВВК) и трех рядов наружных волосковых клеток (НВК) – у человека приблизительно 3500 ВВК и 12000 НВК, а также различных опорных и столбовидных клеток, образующих туннель Кортиева органа (рисунок 4). Этот туннель отделяет ВВК от НВК. На каждой ВВК имеется около 50-70 стереоцилий. Каждая НВК имеет примерно 40-150 стереоцилий, выстроенных в U виде. Основание U обращено к наружной стенке улиткового протока, ножки U образуют тупой угол на НВК в основном завитке и острый угол на клетках верхушечного

завитка. Покровная мембрана с волосковыми клетками имеет различное отношение. С ВВК мембрана связана частично, а с НВК имеет плотный контакт.

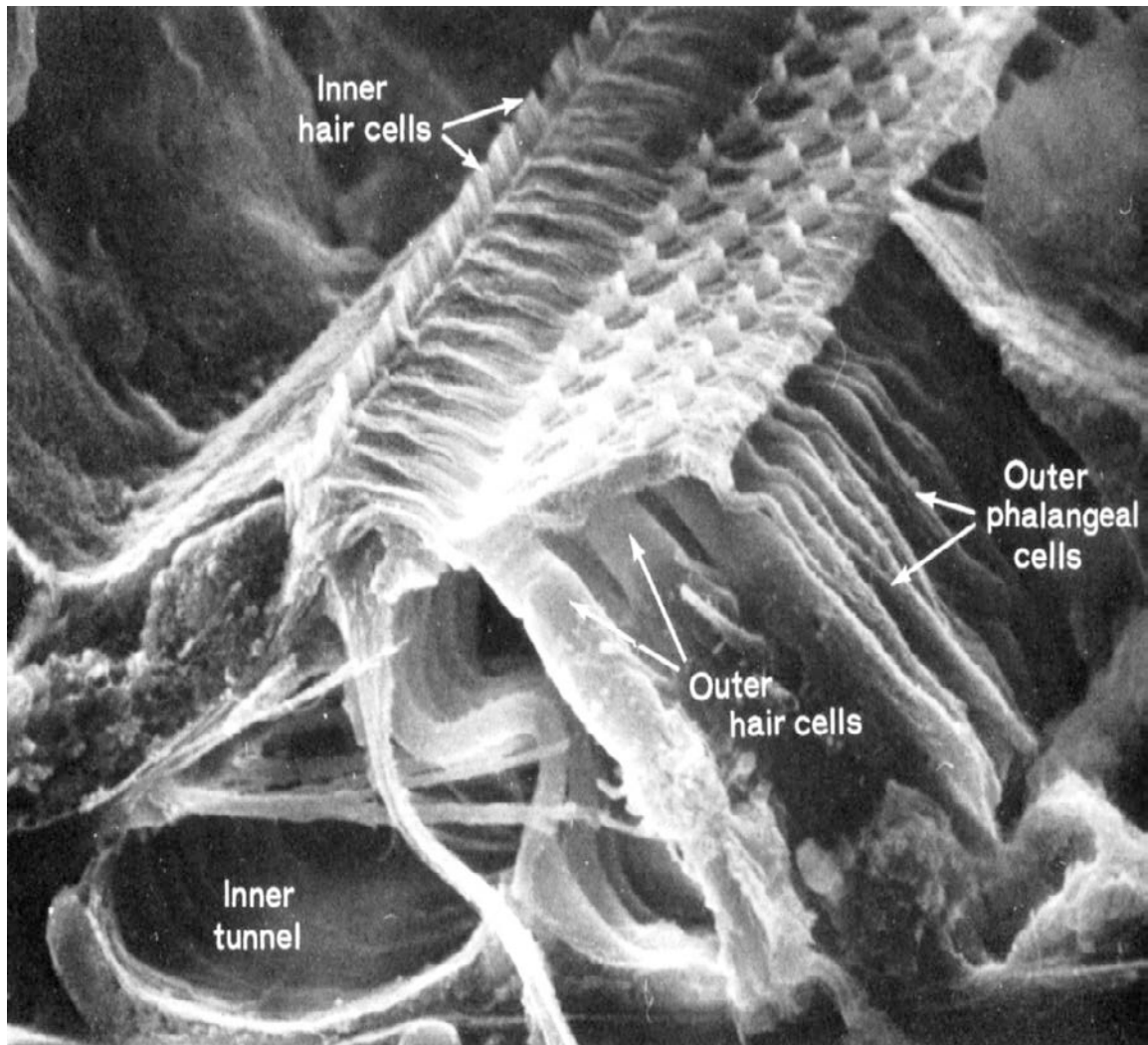


Рисунок 4 – Орган Корти морской свинки, сканированная электронная микрофотография наружных и внутренних волосковых клеток. (Bloom, W and Fawcett, DW, A Textbook of Histology 10th ed., WB Saunders, Philadelphia, 1975, p. 980)

В настоящее время принята теория, согласно которой, только ВВК преобразуют механические колебания в электрический импульс, который передается по слуховому нерву. НВК, имеют возможность сокращения как в области стереоцилий, так и в области тела клетки, благодаря чему усиливают

слабый звук, который поступает в улитку – без НВК слуховая чувствительность уменьшается на 50 дБ.

Анатомическими особенностями обусловлены функциональные различия наружных и внутренних волосковых клеток (таблица 1).

Таблица 1 – Функциональные отличия наружных и внутренних волосковых клеток органа Корти

ВВК	НВК
различение отдельных звуков	обеспечение соединения звуков (восприятия комплексных слуховых ощущений)
восприятие сильных звуков	восприятие слабых звуков

При различных патологических воздействиях раньше и чаще всего поражаются НВК. Это приводит к тому, что в первую очередь нарушается восприятие тихих звуков и плавная настройка громкости. Восприятие громких, отдельных звуков сохраняется дольше. Это морфологическая основа феномена ускоренного нарастания громкости (ФУНГ), как маркера поражений рецептора.

Под влиянием звука происходят гистоструктурные изменения в рецепторных клетках:

- изменяется величина и форма ядер, передвижение ядрышек к центру,
- изменяется концентрация РНК в ядрах и в цитоплазме;
- изменяется содержание белка, точнее, снижается (при длительном звуковом воздействии возможно повышение содержания белка);
- изменяется концентрация кислорода: нарушение функции тем больше, чем меньше O_2 , но при аноксии биоактивность улитки продолжается за счет гликогена, а после звукового воздействия в волосковых клетках снижается количество гликогена.

В большинстве случаев процессы обратимы, но при длительном или интенсивном воздействии все вышеуказанные изменения становятся

необратимыми. Это приводит к тому, что возникающие в разных элементах слуховой системы изменения, сказываются, прежде всего, на функции рецепторных структур слухового аппарата (рисунок 5).

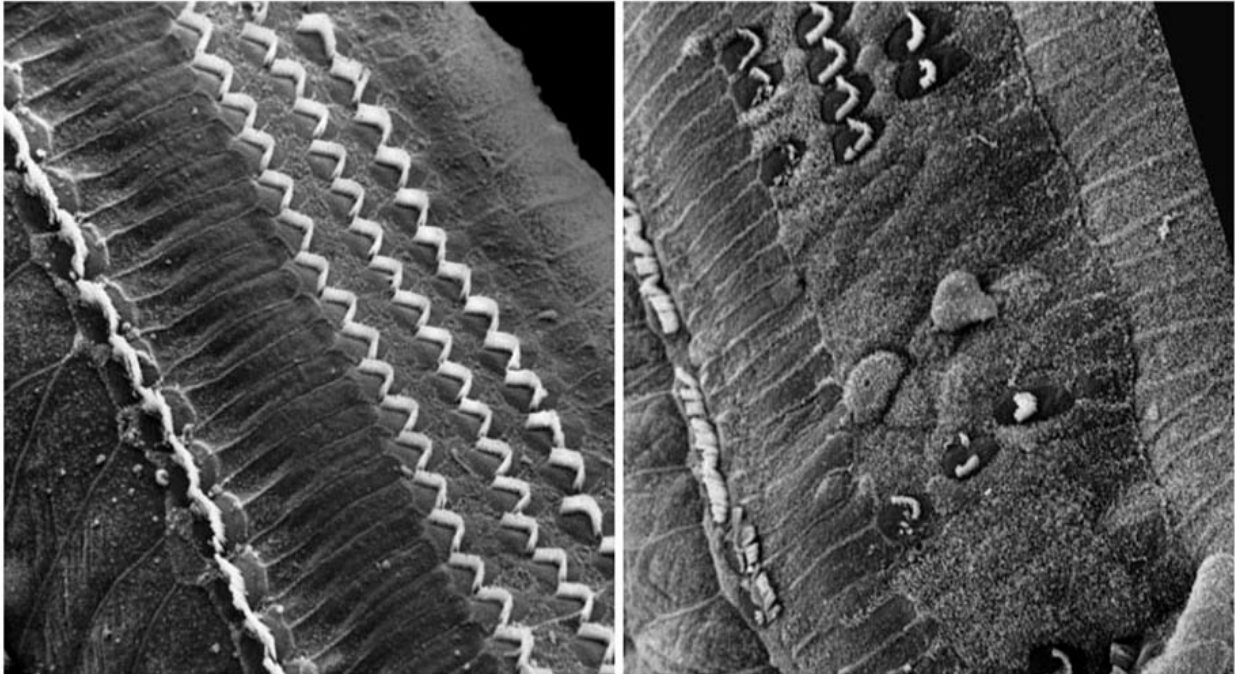
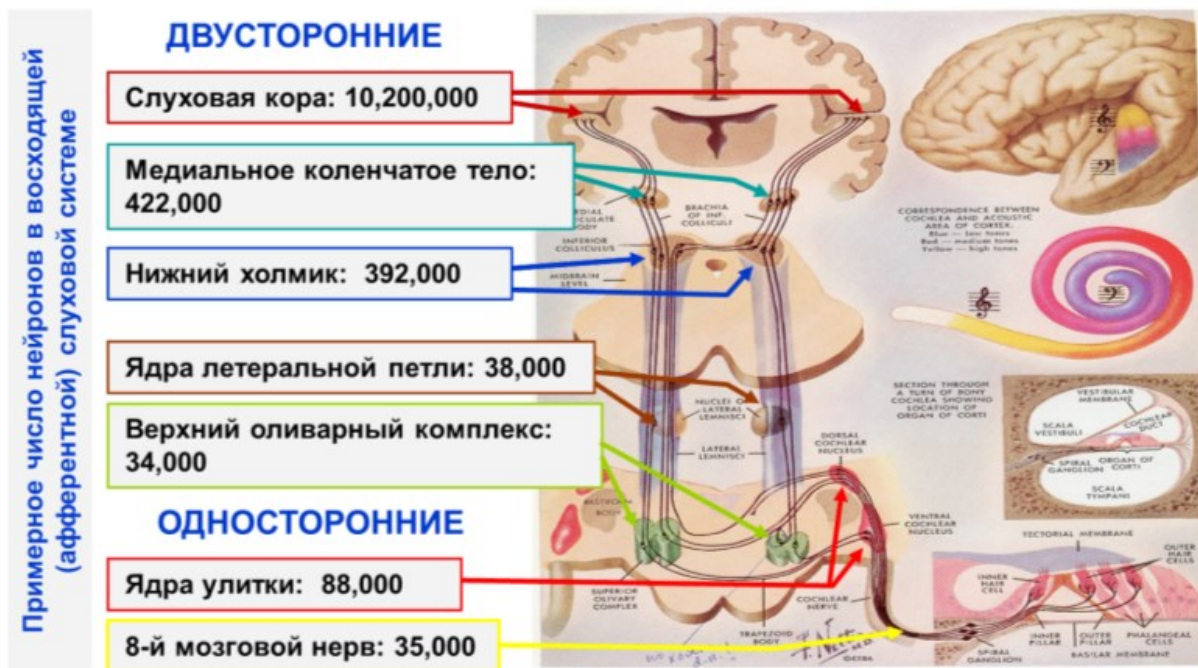


Рисунок 5 - Сканированная электронная микрофотография поверхности органа Корти морской свинки с интактными стереоцилиями волосковых клеток (слева), повреждения под воздействием шума (справа). (Images courtesy of the House Ear Institute Segil Lab Eli and Edythe Broad CIRM Center for Regenerative Medicine and Stem Cell Research at USC, Los Angeles дата изображения не указана)

Иннервация

Афферентная иннервация. Слуховой нерв представляет собой ствол из 30000 перекрученных волокон. В середине ствола находятся волокна, идущие от верхушки (то есть низкие частоты), а наружные слои – от базальных участков улитки (из высокочастотной области улитки). Имеются биполярные нейроны, клеточные тела которых (спиральный ганглий) располагаются в стержне, их дендриты через перфорированную пластинку входят в Кортиев орган. Эти нейроны покрыты миелиновой оболочкой в стержне и костной спиральной пластинке, но внутри Кортиева органа они

демиелинизированы. Каждый нейрон иннервирует около 20 НВК. Соотношение нейронов и НВК по отношению к нерву конвергентное (сходящееся), что допускает анатомическую основу для пространственной суммации стимуляции. Соотношение нейронов и ВВК дивергентное (расходящееся) по отношению к нерву: одну ВВК иннервирует 20 нейронов. Улитковое ядро – это последняя структура нервного тракта, где слуховая информация идет с одной стороны (от одного уха), на вышележащих уровнях – импульсация двусторонняя (рисунок 6).



Строение восходящей (афферентной) слуховой системы.

Составлено к.б.н. Ю.К. Соколовым на основе плаката изд. CIBA и данным научной литературы.

Рисунок 6 – Схема строения афферентного слухового тракта.

Перекрест претерпевает большинство нейронов восходящей слуховой системы, между правой и левой стороной мозга существует множество связей и происходит постоянное взаимодействие на нескольких уровнях – верхнего оливарного комплекса (трапециевидное тело), нижних бугров четверохолмия (интерколликкулярная комиссура), медиального коленчатого

тела (комиссура Гуддена) и коры головного мозга (мозолистое тело). Именно эти связи обеспечивают бинауральное слияние сигналов от правого и левого уха в единый слуховой образ и бинауральный слух.

Эфферентная иннервация осуществляется от оливоулиткового пучка Расмуссена. Эфферентные нервные волокна находятся в прямом контакте с НВК, с ВВК контактируют через афферентное волокно. Т.е. на НВК эфференты действуют непосредственно (пресинаптическое действие), а на ВВК – через соединяющие афферентные волокна (постсинаптическое действие). Нейромедиатором является ацетилхолин, оказывающий тормозящее действие на волосковые клетки (рисунок 7).

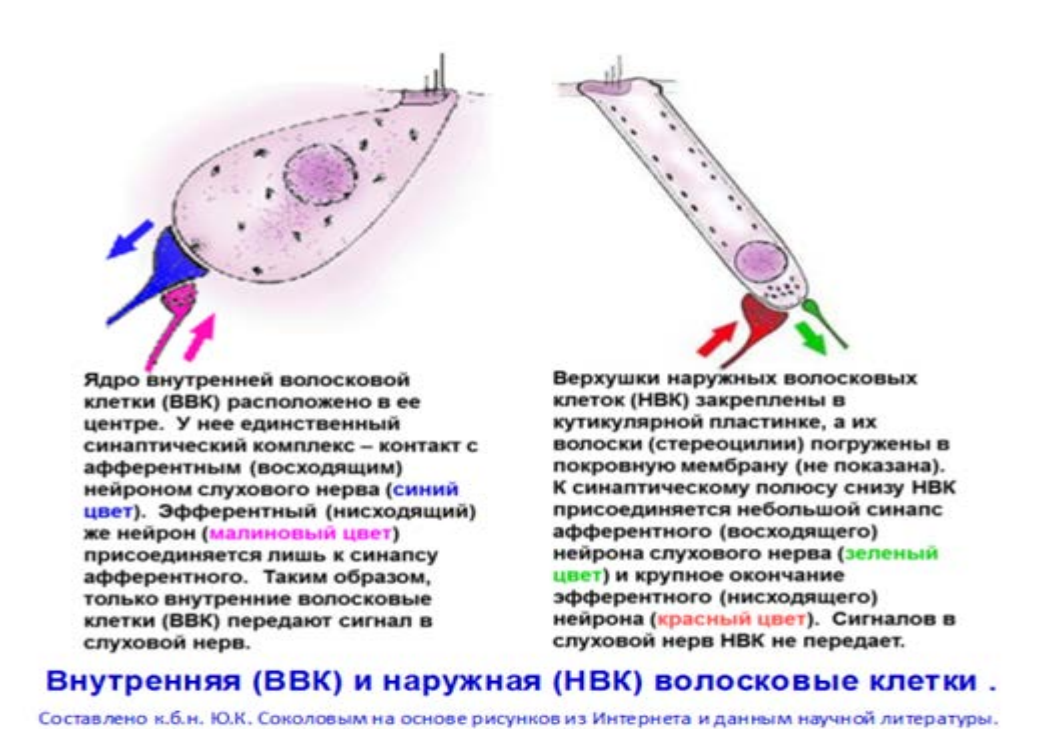


Рисунок 7 – Схема строения внутренних волосковых клеток и наружных волосковых клеток.

Аудиологические аспекты акустики

Звук, с физической точки зрения – это *механическая волна*, которая имеет все характерные свойства: длину, частоту, амплитуду. Обладает дифракцией (способностью огибать препятствия), интерференцией (способностью накладываться на саму себя, вызывая локальное усиление или подавление звука, в зависимости от того совпадают ли накладываемые волны по фазе). Звук с физиологической точки зрения – это *ощущение* воспринимаемого звука.

Воспринимаемые звуки делятся на 3 группы:

1. Простой тон (чистый тон) – гармоническое колебание, графически изображается синусоидой (на рисунке 8 представлены гармоники различной частоты).

2. Сложный тон (созвучие) – сложное гармоническое колебание, описывается сложной синусоидой. Это сумма простых тонов, при чем звук самой низкой частоты (с наибольшей длиной волны) будет основным, а все остальные – добавочными, т.е. обертонами (на рисунке 8 представлен реальный звук).

3. Шум – негармоническое колебание, графическому описанию не поддается. Различают широкополосный шум, белый - это сигнал с равномерной спектральной плотностью на всех частотах слышимого спектра. Узкополосный - в нем представлены все частоты, но с преобладанием одной.

Из всего частотного спектра волн диапазон от 16-20 Гц до 20-22 кГц воспринимается как звук. Акустические сигналы с частотой колебания менее 16 Гц называются инфразвуками, с частотой более 20-22 кГц — ультразвуками (таблица 2).

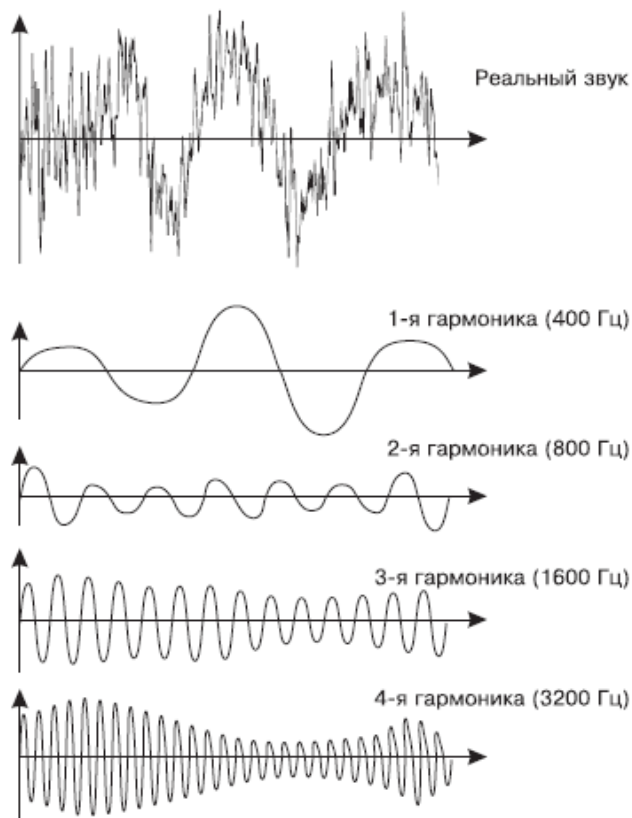


Рисунок 8 – Реальные звуки образуются сочетанием множества колебаний разных частот.

Таблица 2 – Частоты, воспринимаемые человеком.

Низкочастотные звуки	до 500 Гц	Речевая зона: 250 – 4000 Гц
Среднечастотные звуки	500-3000 Гц	
Высокочастотные звуки	> 3000 Гц	

Важной характеристикой звука является *амплитуда*. Амплитуда прямо пропорциональна интенсивности, однако зависит от частоты звука, т.е. от длины волны, от среды в которой распространяется звук.

Интенсивность звука — это абсолютная величина, равная количеству звуковой энергии проходящей через 1см^2 поверхности за 1 сек. Логарифм (десятичный) этой величины обычно измеряется в децибелах (дБ/dB).

С аудиологической точки зрения важны не физические параметры звука, а то слуховое ощущение громкости, которое звук вызывает. Иначе

говоря, какое ощущение громкости формирует звук определенной интенсивности.

Громкость звука — это субъективное восприятие силы звука. То есть это ощущение, позволяющее слуховой системе располагать звуки по субъективной шкале от тихих до громких. Громкость, главным образом, зависит от звукового давления и частоты звуковых колебаний. Обычно, чем больше звуковое давление, тем звук громче. Однако на громкость звука влияют его тембр, длительность воздействия звуковых колебаний, его локализации в пространстве и некоторые другие факторы.

На основании соотнесения интенсивности звука и ощущения громкости, которое она формирует, важны следующие характеристики:

- порог слухового восприятия – это минимальное звуковое давление, вызывающее звуковое ощущение ($N = 0-10 \text{ dB}$);
- болевой порог - уровень звукового давления, вызывающий болевое ощущение ($> 100 \text{ dB}$).

Между этими двумя порогами расположено слуховое поле. Область человеческой речи зона занимает незначительную его часть. Примерные характеристики окружающих звуков и голосов (рисунок 9,10):

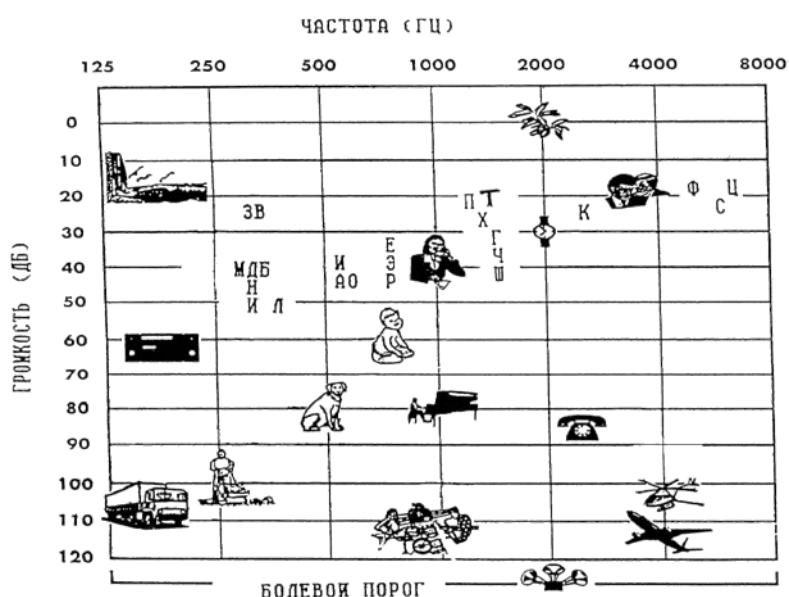


Рисунок 9 – Амплитудно-частотные характеристики отдельных речевых звуков и звуков окружающей среды.

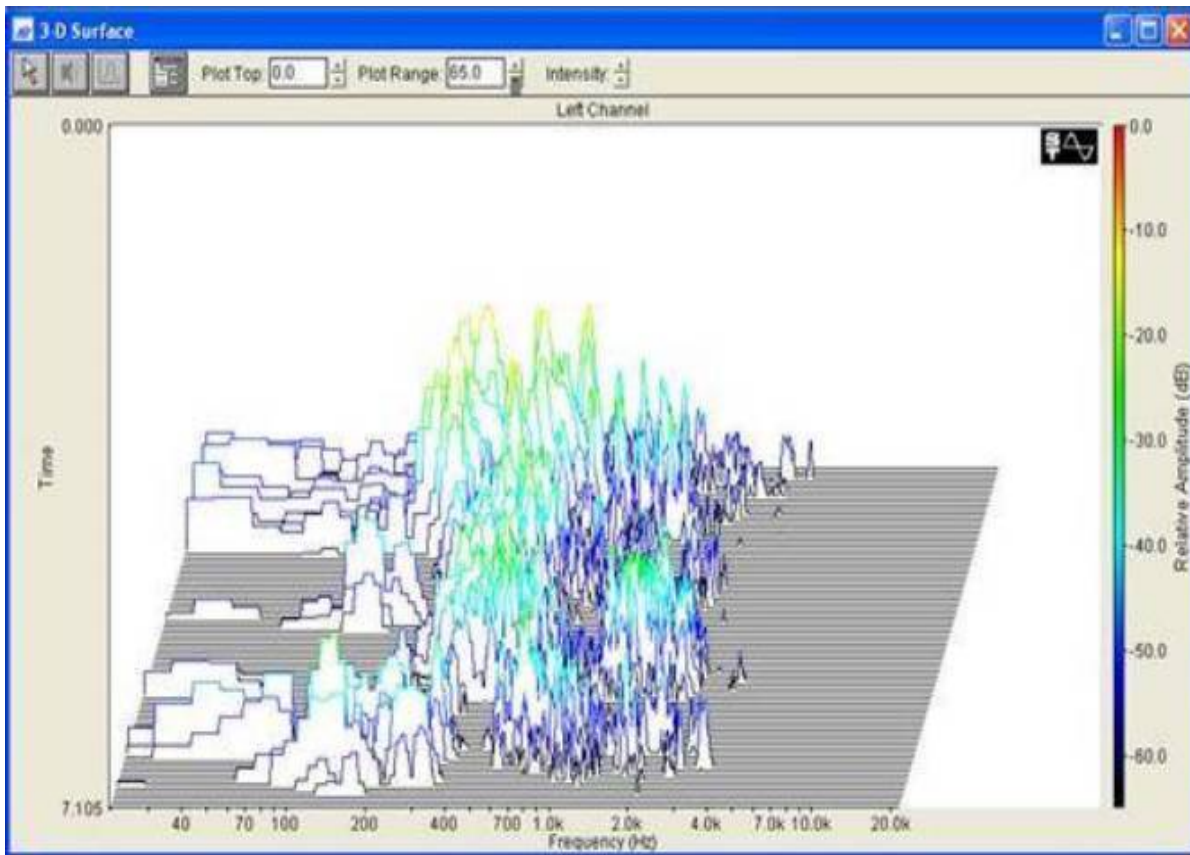


Рисунок 10 – Графики спектров голосов русскоязычного наречия при диалоге.

Методы исследования слуха

Все существующие методы исследования слуха делятся на: субъективные и объективные.

К субъективным методам диагностики относятся: исследование слуха шепотной и разговорной речью, камертональное исследование, аудиометрия (тональная пороговая, надпороговая, речевая).

Объективные методы: импедансометрия, отоакустическая эмиссия, слуховые вызванные потенциалы.

В каждом конкретном случае для постановки диагноза применяются различные сочетания вышеназванных методов. Постановка диагноза заключается в определении степени потери слуха и локализации поражения.

Расстройство слуха, вызванное болезнью уха, называется «периферической тугоухостью» в отличие от «центральной тугоухости», возникающей в результате нарушения функции центральной нервной системы.

Субъективные методы исследования слуха

Субъективные методы исследования до настоящего времени не утратили своей актуальности, поскольку дают представление не только о состоянии слуховой системы, но и о функционировании второй сигнальной системы в целом, чего лишены объективные методы.

Исследование слуха шепотной и разговорной речью

Для каждого языка разработаны таблицы слов, содержащие все фонемы, характерные для того или иного языка. При проведении исследования необходимо учитывать и предъявлять бытовые слова из разных групп (басовые, дискантные, одно- и многосложные). Рекомендуется избегать преобладания числительных, поскольку в их фонематической структуре преобладает дискантный компонент и высок процент догадки

схожих по звучанию чисел (15-13-16, 50-60-70, 62-52-72 и т.д.). В таком случае трудно отличить «ослышки» от сознательного искажения услышанного слова, что также имеет диагностическое значение.

Проведение исследования начинают с лучше слышащего уха. Рекомендуется вначале предъявлять слова шепотной речи у уха, затем увеличивать расстояние. После определения расстояния (в метрах), с которого пациент воспринимает все предъявленные слова, предъявляют слова голосом разговорной громкости (без напряжения голосового аппарата исследователя). Противоположное ухо достаточно закрыть плотным прижатием козелка к входу в наружный слуховой проход указательным пальцем пациента.

При проведении исследования предлагаем ориентироваться на следующие параметры (таблица 3):

Таблица 3 – Ориентировочное определение расположения в речевом поле при проведении исследования шепотной и разговорной речью.

Речевая зона	Разговорная речь	Шепотная речь
0,25-4 кГц	0,25-1 кГц	1-3 кГц
	30-40 дВ	10-20 дВ

Аналогично проводят исследование хуже слышащего уха. В начале пациент, так же, как и в первый раз закрывает лучшее ухо и повторяет слова, предъявленные шепотом. При выявлении асимметрии восприятия шепотной речи более 4,5-5,0 м, необходимо применять маскировку лучше слышащего уха. Во всех случаях при необходимости маскировки при акуметрии применяется трещотка Барани (интенсивность её звука должна быть не менее 40 дБ). Если асимметрия восприятия шепотной речи меньшая (меньше 4м) маскировать не нужно, т.к. возможна «перемаскировка» хуже слышащего уха.

Вышеуказанные рекомендации обоснованы тем, что звук (в том числе и речь) воспринимается одновременно двумя ушами. Даже если закрыто здоровое ухо, то оно «расслышит» слова шепотной речи с расстояния 1-1,5 м (в том числе с противоположной стороны). Это явление называется междушной аттенуацией и составляет для воздушной проводимости 30-40 дБ, для костной проводимости 10-15 дБ. На этой закономерности так же основано получение так называемых «теневых кривых», то есть полученных на глухом ухе без маскировки здорового.

После проведения акуметрии возможно определение степени тугоухости. В 1997 г. Всемирная организация здравоохранения утвердила единую Международную классификацию степеней тугоухости (таблица 4).

Таблица 4 - Международную классификацию степеней тугоухости (ВОЗ 1997г).

Степень тугоухости	Средняя потеря слуха (дБ)	Восприятие речи (м)	
		Шепот	Разговор
I	26 - 40	1,5 – у уха	6-3
II	41 - 55	у уха – 0	3 – у уха
III	56 - 70	0	у уха громко
IV	71 - 90	0	0

При средней потере слуха более 91 дБ степень потери слуха трактуется как «Глухота».

Крупными центрами разрабатываются свои критерии степени тугоухости, но они так или иначе согласуются с рекомендованными ВОЗ или

с другими, например, с классификацией тугоухости по Б.С.Преображенскому (таблица 5).

Таблица 5 - классификация тугоухости по Б. С. Преображенскому.

Степень тугоухости	Средняя потеря слуха (dB)	Восприятие речи (м)	
		Шепот	Разговор
Легкая	До 10	6-3	> 6
Умеренная	10 – 50	3 – 1	6 – 4
Значительная	50 – 60	1 – 0,5	4 – 2
Тяжелая	> 60	0,5 – у уха	< 2

Для определения средней потери слуха необходимо провести тональную пороговую аудиометрию и вычислить среднее арифметическое для частот речевой зоны. Для этого суммируются уровни порогов воздушной проводимости на 0,5 кГц, 1 кГц, 2 кГц и сумма делится на 3.

Камертональное исследование

Для проведения исследования рекомендуется использовать камертоны, воспроизводящие частоты речевого диапазона, но с учетом того, что звуки выше 1 кГц лучше проводятся по воздуху, поскольку не маскируются окружающим шумом. Низкочастотные звуки (С₁₂₈) маскируются окружающим шумом и проводятся изолированно по костям черепа.

Технику выполнения опытов мы не приводим ввиду широкого её освещения в учебниках для медицинских вузов. Позволим себе только обратить внимание на диагностическую суть.

Опыт Вебера

При выполнении опыта Вебера важно установить камертон в точку, равноудаленную от обеих ушей. Звук при этом распределяется по костям

черепу и по воздуху равномерно. Пациента необходимо нацелить на определение смещения звука в голове, а не в ушах.

При *патологии среднего уха* исключается маскирующее влияние внешнего шума, и звук камертона воспринимается лучше пораженным ухом.

При *сенсоневральном поражении* звук латерализуется в лучше слышащее ухо.

Парадоксы:

При ФУНГе искажается восприятие громкого (надпорогового) звука. Это приводит к изменению латерализации по мере затихания колебаний камертона. Поэтому при исследовании необходимо периодически отрывать ножку камертона.

Опыт Ринне

Сравнение воздушной и костной проводимости для одного уха. В норме воздушная проводимость превалирует над костной проводимостью (ВП>КП). Это же будет и при нарушении звуковосприятия Rh +. КП>ВП при нарушении звукопроводения Rh -. (костно-воздушный разрыв 10 dB и более).

Результат может быть переменным (Rh \pm) при комбинированном поражении.

Парадоксы:

Rh+ при нарушении звукопроводения - это возможно, если слух снижен незначительно или при скоплении большого количества экссудата в барабанной полости;

Rh- при нормальном звукопроводящем аппарате, это возможно при выраженной тугоухости.

Опыт Левиса-Федеричи

Сравнение воздушно-хрящевой (с козелка) и костной проводимости для одного уха. Т.к. костно-хрящевая проводимость лучше, чем костная, то восприятие звука с козелка будет дольше - F+; если с козелка воспринимается хуже, то F-. Данные опыта интерпретируются аналогично

опыту Ринне, но с учетом того, что F- при костно-воздушном интервале 15-20 дБ.

Парадоксы:

F- при нормальном звукопроводящем аппарате, это возможно при выраженной тугоухости (т.н. «ложноотрицательный»)

Опыт Швабах

Исследование длительности КП у исследуемого и здорового человека. Если обследуемый слышит дольше здорового, говорят Швабах удлиннен (+) – это может быть при нарушении звукопроведения. Если слышит меньше здорового, говорят Швабах укорочен (-) – это бывает при нарушении звуковосприятия.

Окклюзионные тесты

Суть окклюзионных тестов в том, что при любом закрытии НСП костная проводимость улучшается у здоровых лиц и при нарушении звуковосприятия, а при нарушении звукопроведения остается практически неизменной.

Опыт Желле

Применяется для выявления подвижности стремени в овальном окне. При увеличении давления в НСП подвижность стремени уменьшается, что приводит к ухудшению восприятие звука (G+). Если стремя не подвижно, то изменение давления в НСП не влияет на восприятие звука (G-).

Опыт Бинга

Выявляет изменение восприятия звука через кость при открытом и закрытом слуховом проходе. Если при закрытом НСП звук с сосцевидного отростка воспринимается как более громкий, то Бинг+ - это бывает в норме и при нарушении звуковосприятия. При отсутствии изменений при закрытии НСП, Бинг- и это свидетельствует о нарушении звукопроведения.

Таким образом, камертональное исследование проводится для разделения тугоухости на две принципиально разные группы: *нарушение*

звукопроведения и нарушение звуковосприятия. Это возможно при проведении 2-3 опытов. Общие данные камертонального исследования представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Общие данные камертонального исследования.

Опыт	Нарушение	
	Звукопроведения (кондуктивная тугоухость)	Звуковосприятия (нейросенсорная тугоухость)
Вебера (W)	в хуже слышащее ухо	в лучше слышащее ухо (возможен парадокс)
Ринне (Rh)	-/ \pm	+ (возможен парадокс)
Федериче (F)	-/ \pm	+ (возможен парадокс)
Швабаха (Sch)	удлинен	укорочен
Желле (G)	отрицательный	положительный
Бинга (-)	отрицательный	положительный

Следует отметить, что ситуации «чистого» нарушения звукпроводения или звуковосприятия довольно редки. На практике чаще встречается комбинированное поражение органа слуха. Тем не менее, существует несколько аудиометрических данных, которые характеризуют кондуктивные потери. Для кондуктивной тугоухости типично:

1. расстройство воздушной проводимости (ВП) выражено сильнее, чем костной (КП);
2. характер кривой порогов чистого тона наименее типичен и наименее постоянен;
3. возможность полной компенсации потери слуха увеличением интенсивности стимула. Человек страдает тугоухостью на все уровни громкости, вследствие чего повышается и верхний предел переносимости (болевого порог);
4. отсутствие рекруитмента (ФУНГа).

Проба с костным телефоном

Выше уже упоминалось о том, что кондуктивная тугоухость не исключает наличие нейросенсорного компонента. Для диагностики комбинированного поражения проводят пробу с костным телефоном и по наличию прибавки слуха судят о кохлеарном резерве или костно-воздушном разрыве. При дальнейшем исследовании полученные данные должны подтвердиться тональной аудиометрией. Это чрезвычайно важно, как с диагностической, так и с тактической точек зрения, поскольку позволяет определить необходимость и перспективы слухоулучшения в каждом конкретном случае.

Для проведения пробы с костным телефоном используют слуховой аппарат костного типа. Методика проведения: выключенный костный телефон одет на исследуемое ухо. Противоположное ухо заглушается трещоткой Барани и проводится исследование восприятия разговорной речи (в случае, когда по правилам маскировки она была не нужна (для определения степени тугоухости), происходит умышленная «перемаскировка» исследуемого уха). Затем включают костный телефон (противоположное ухо заглушается) и определяют на сколько увеличилось восприятие разговорной речи. При этом целесообразно учесть возможную басово-дискантную разницу.

Важно:

1. Усиление костного телефона не должно превышать 3 (для аппарата К-11-К), поскольку эта величина эквивалентна тому максимальному усилению звука, которое может дать слухоулучшающая операция.

2. Прибавка по разговорной речи с учетом басово-дискантной диссоциации дает представление о костно-воздушном резерве для разных частотных спектров разговорного диапазона.

Тональная пороговая аудиометрия

Подробно техника выполнения изложена в многочисленных руководствах, мы только обращаем внимание на важные моменты с точки зрения практической работы.

Это исследование позволяет определить пороги восприятия чистых тонов по воздушной и костной проводимости для каждого уха. Исследование начинают с лучше слышащего уха и с определения порога восприятия тона частотой 1000 Гц по воздуху. Каждое предъявление тона должно быть не менее 1-2 сек — это время, необходимое для формирования и реализации условного рефлекса: нажатия кнопки на каждое предъявление сигнала. Каждое усиление сигнала на 5 дБ должно повторяться 2-3 раза до получения четкого ответа. Так же предъявляются тоны высоких, затем низких частот. Аналогично проводится определение порогов восприятия чистых тонов по костной проводимости.

Исследование хуже слышащего уха с маскировкой

Уровень маскирующего шума должен на 10 дБ превышать порог слуха на исследуемом ухе на каждой частоте.

При проведении пороговой тональной аудиометрии по воздушной проводимости хуже слышащего уха маскировка лучшего уха необходима, если:

- 1) при исследовании пациент указывает на «переслушивание» сигнала лучше слышащим ухом;
- 2) разница между уровнем кривой воздушной проводимости худшего уха и кривой костной проводимости лучшего уха превышает 40 дБ;
- 3) кривую костной проводимости необходимо проверять с маскировкой.

При проведении тональной аудиометрии по костной проводимости маскировка осуществляется через воздушный телефон.

Маскировка лучшего уха необходима, если:

- 1) звук в опыте Вебера латерализуется в лучшее ухо;
- 2) разница порогов по костной проводимости > 10 дБ;
- 3) пациент указывает на «переслушивание»;
- 4) «воздух» на этом ухе необходимо было маскировать.

Возрастные нормы

С возрастом происходят необратимые изменения со стороны органа слуха. Эти изменения отражаются и на тональной аудиограмме повышением порогов воздушной и костной проводимости изначально в области высоких частот, распространяясь затем на среднечастотный диапазон. В целом есть определенные закономерности: после 20 лет повышение порогов происходит на каждые 10 лет на 10 дБ. Однако, делая заключение о возрастных изменениях слуховой чувствительности, важно учитывать симметричность процесса и наличие жалоб (рисунок 11).

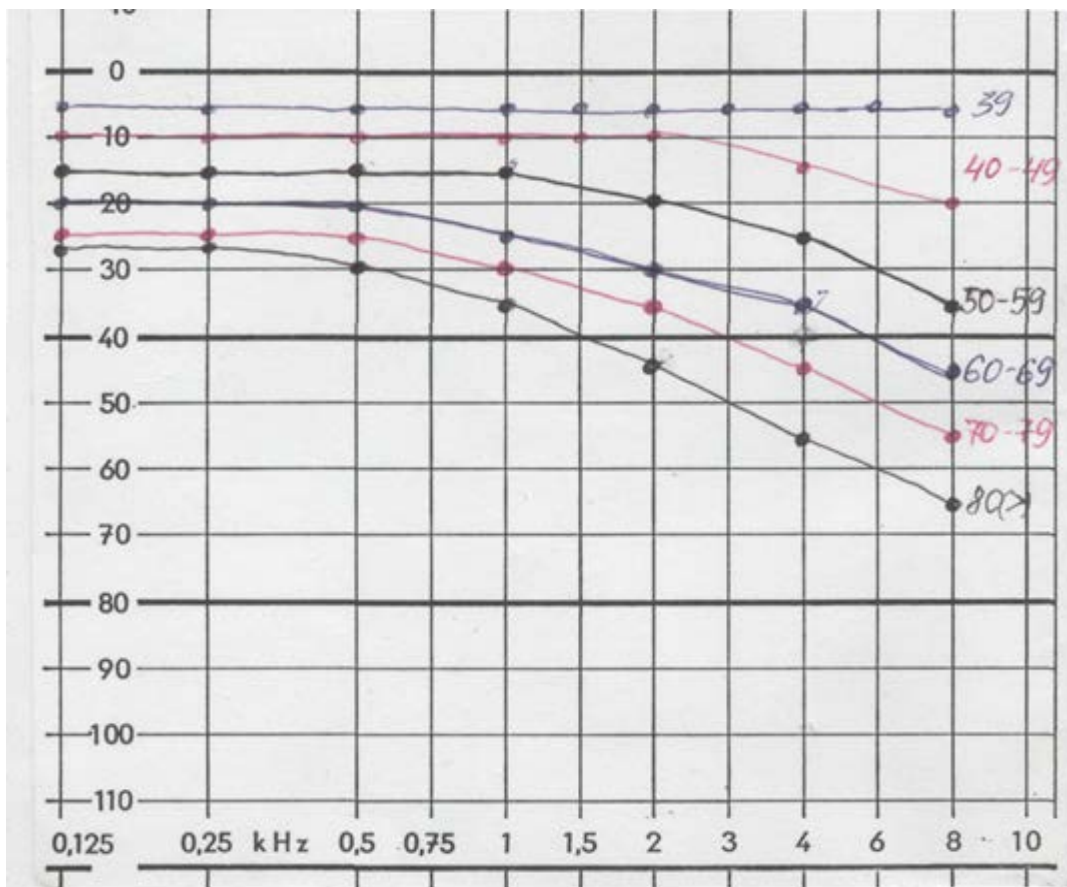


Рисунок 11 – Возрастные нормы слуха.

В целом, явление нарушения звуковосприятия в пожилом и старческом возрасте, называется пресбиакузис (греч. presbys - старый, akusis - слух) и обусловлено атрофическими и дегенеративными изменениями в спиральном органе и спиральном ганглии улитки.

«Нормальные возрастные изменения» не должны сопровождаться значительным ухудшением разборчивости речи и характеризуются сохранностью социального слуха. Такое определение наиболее оптимально для выбора тактики реабилитации и лечения.

Периферические возрастные изменения наиболее демонстративны по данным тональной пороговой аудиометрии. Общим для возрастных изменений слуха является:

- характерная для пресбиакузиса тугоухость: двусторонняя, симметричная, сенсоневральная;
- тенденция к ухудшению с возрастом, чаще с наибольшим снижением порогов слышимости на частотах выше 1 кГц;
- тональные пороги слышимости ухудшаются (в зависимости от частоты) на 5,5 – 9 дБ за 10 лет для лучше слышащего уха, темпы для хуже слышащего уха выше в 1,5 раза.

Наиболее признана в мире классификация возрастных изменения слуха по Н. Schuknecht (1974), согласно которой различают следующие типы пресбиакузиса:

- сенсорный;
- невральный;
- метаболический;
- механический.

Принципиально эта классификация не утратила своего значения, хотя и требуются уточнения, в частности, влияния генетических и внешних факторов, определения механизмов дегенерации волосковых клеток, афферентных нейронов, сосудистой полоски.

Сенсорный тип: высокочастотная тугоухость, мало затрагивающая речевую частотную зону и медленно прогрессирующая; в основе этого процесса лежит потеря волосковых и поддерживающих клеток с преимущественным поражением базальных отделов улитки.

Невральный тип: при этом типе разборчивость речи «хуже» тональных порогов; характерно быстрое прогрессирование процесса; гистологически определяется уменьшение количества нейронов на всем протяжении завитков улитки.

Метаболический тип: тональная аудиограмма плоская; разборчивость речи адекватна тональным порогам слышимости; обусловлен атрофией сосудистой полоски с преимущественным поражением апикальных и центральных отделов улитки.

Механический тип: нисходящая аудиограмма в частотном диапазоне выше 1 или 2 кГц; разборчивость речи обратно пропорциональна крутизне наклона аудиограммы; не удается выявить морфологических изменений.

Возрастное снижение слуха многофакторно, включая процессы дезинтеграции центральной нервной системы. Наряду с сугубо возрастными изменениями, на снижение слуха в пожилом возрасте влияют и другие причины, в частности, генетическая предрасположенность, сердечно-сосудистые заболевания, пол, степень снижения слуха в молодости. Имеется достоверная связь между снижением слуха и перенесенным инфарктом миокарда. Достоверной связи между тугоухостью и артериальной гипертензией не выявлено. У людей с сахарным диабетом моложе 60 лет высокочастотная тугоухость развивается раньше, чем у сверстников. После 60 лет разница между пациентами с диабетом и без него минимальна. Воздействие шума в анамнезе достоверно не влияет на темпы изменения порогов слышимости.

Надпороговая аудиометрия

Это исследование влияния на орган слуха надпороговых раздражителей, интенсивность которых превышает пороговый уровень (10дБ). Слуховые явления, связанные с воздействием надпороговых раздражителей, дают возможность обнаружить ряд патологических состояний, которые бывают недостаточно явными при пороговом исследовании. Отклонения от нормы могут относиться как к высоте, так и к интенсивности звуков. Неправильное слуховое восприятие надпороговых раздражителей называется дисторсией или искажением ощущения звуков.

Наиболее типичное явление – неправильное ощущение интенсивности – *феномен ускоренного нарастания громкости* (ФУНГ) или слуховой рекруитмент. Этот феномен заключается в том, что звуковые раздражители воспринимаются больным ухом более громкими, чем они воспринимаются нормальным ухом. При ФУНГе сокращается дистанция между порогом слышимости и порогом дискомфорта, нарушается способность приспособления к звукам разной громкости, восприятие и воспроизведение речи. ФУНГ является признаком периферического поражения слухового тракта, а точнее органа Корти (звукового рецептора).

Опыт Фоулера (проба выравнивания громкости или баланс громкости – БГ).

Методика выполнения: на произвольно выбранных частотах, где по данным тональной аудиометрии асимметрия порогов >30 дБ, по двум каналам в оба уха одновременно подается сигнал пороговой интенсивности. Поскольку звук разной интенсивности формирует пороговое ощущение громкости, то при одновременном звучании вызывает ощущение звучания в середине головы. Затем интенсивность каждого звука увеличивают на 10 дБ, т.е. выводят в надпороговую область, где ощущение громкости искажено. При одновременном предъявлении таких сигналов возникнет ощущение смещения звука в какую-либо сторону. Тогда с противоположной стороны

необходимо наращивать интенсивность сигнала до тех пор, пока смещение не исчезнет и звук вновь будет ощущаться в центре. Если прибавок не было и латерализации звука не было, опыт расценивают как отрицательный.

Результаты:

БГ «-» при кондуктивной и ретрокохлеарной тугоухости.

БГ «+» при поражении улитки.

Опыт Люшера - дифференциальный порог силы звука (ДПСЗ).

Методика выполнения: определяют пороги на 0,5; 1; 3 кГц. Затем к порогу +40 дБ. Затем добавлять модуляции, т.е. звук перестает быть ровным, а волнообразно усиливается по громкости. Нормальное ухо может различить усиление 0,6 дБ.

Результаты:

$N = 0.6$ (= кондуктивная тугоухость);

$< N$ изменение внутреннего уха;

$> N$ изменения слухового нерва;

$>>N$ изменения в коре.

SISI (Short Increment Sensitivity Index) тест - индекс минимального прироста интенсивности (**ИМПИ**).

Методика выполнения: определяют пороги на 0,5; 1; 3 кГц. Затем к порогу +20 дБ. Затем добавить слышимое усиление (регулятор на 6) для тренировки — эта прибавка хорошо различима и дает возможность понять, какие изменения звука нужно фиксировать. В этом тесте ровно звучащий сигнал толчкообразно изменяется, «подпрыгивает». Затем регулятор ставят в положение 1 и считают, сколько из 20 посылок услышит пациент. Нормальное ухо различает 10-11. Результат пересчитывают в %.

Результаты:

$N = 55\%$ (= кондуктивная тугоухость)

$< N$ изменение слухового нерва;

$> N$ изменения внутреннего уха;

0% - изменения в коре.

Речевая аудиометрия

Методика проведения: выявляется разборчивость речи у людей с нормальным слухом по словесным таблицам, передаваемым на разной интенсивности. На бланке отмечают порог обнаружения звука, порог начальной разборчивости, точка 50% и 100% разборчивости. Результаты учитываются по форме кривой, в частности достигается ли 100% разборчивость речи. В ряде случаев отмечается парадоксальное снижение разборчивости речи - с увеличением интенсивности речи, разборчивость падает. Это свидетельствует о поражении улитки (рисунок 12).

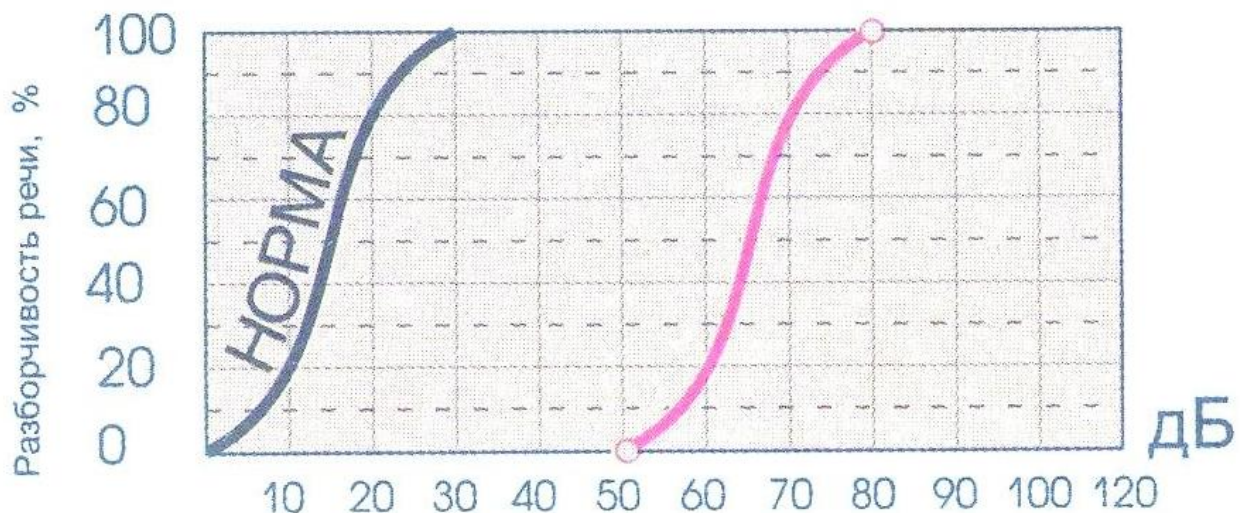


Рисунок 12 – Пример речевой аудиометрии при кондуктивной тугоухости: 100% разборчивость речи достигается при повышении интенсивности звука больше 50 дБ.

Выявление притворной глухоты и тугоухости

Результаты исследований могут быть сознательно изменены пациентом. При этом возможны следующие варианты:

1. Недооценивание — имеющимся потерям слуха пациент не придает должного значения.

2. Дисимуляция — сокрытие реальной тугоухости. Это случается, например, при определении годности к той или иной профессии, а также при заключении договоров о страховке.

3. Аггравация — усугубление имеющейся тугоухости.

4. Симуляция — имитация тугоухости при нормальном слухе.

Вопросы экспертной оценки слуха довольно сложные. Особенно это относится к случаям аггравации или симуляции тугоухости, гораздо проще «разоблачить» симуляцию глухоты. Однако в этом случае может возникнуть вопрос о возможной психогенной глухоте, спровоцированной, например, травмой.

Заподозрить симуляцию односторонней тугоухости (глухоты) можно при акуметрии, выполненной без маскировки. Поскольку с учетом возможности переслушивания здоровым ухом, с истинно глухого уха в отсутствие маскировки должна быть акуметрия (ш.р. до 1 м, р.р. до 3-4 м).

Для выявления притворной глухоты применяется ряд акуметрических и аудиометрических проб. Ниже приводим некоторые из них.

Проба Штенгера. Эта проба может быть выполнена с помощью камертонов или аудиометра. Она основывается на том, что из двух тонов, имеющих одинаковую высоту, передаваемых в оба уха, воспринимается только более громкий тон. С помощью камертонов устанавливается, на каком расстоянии обследуемый слышит звук данного камертона здоровым ухом. Затем приближается точно такой же колеблющийся камертон (после закрытия глаз обследуемому) к «глухому» уху — обследуемый сообщает, что его не слышит. Одновременно приближается другой камертон к здоровому уху — обследуемый сообщает, что его слышит лишь тогда, когда он будет находиться ближе к уху, чем камертон на стороне „глухого" уха. Человек, действительно глухой на одно ухо, будет в течение всего времени слышать звук камертона, находящегося на стороне здорового уха, т.к. этот звук не будет заглушаться камертоном, удерживаемым около глухого уха. То же

самое можно выполнить с помощью аудиометра; вместо приближения камертона, усиливается той в наушнике на „глухом" ухе настолько, чтобы его интенсивность превысила порог слухового восприятия. Симулянт сообщит, что слышит тон здоровым ухом лишь тогда, когда его интенсивность будет больше интенсивности тона, передаваемого в противоположное ухо. Глухой на одно ухо услышит тон в наушнике на здоровом ухе тотчас же, как только будет превышен порог слухового восприятия этого уха.

Аудиометрическая проба Штенгера дает возможность определить порог слухового восприятия для „глухого" уха. Этот порог приблизительно на 10 дБ ниже, чем интенсивность тона, который симулянт слышит „здоровым" ухом.

Проба Ломбарда может служить для определения одноушной или двушной притворной глухоты. Оба уха (при подозрении о двушной симуляции) или „глухое" ухо (в случае одноушной симуляции) оглушаются трещоткой Барани или же белым шумом аудиометра. Одновременно предлагают обследуемому громко читать или декламировать. По мере заглушения слышащий человек начинает все громче и громче читать, т.к. перестает слышать собственный голос, он читает тем громче, чем больше интенсивность заглушающего шума. Степень усиления голоса можно измерить с помощью специального прибора, а также можно оценить и „голым" ухом. Глухой человек совершенно не повышает голоса или же повышает лишь тогда, когда интенсивность заглушающего шума превысит на 15—20 дБ его порог слухового восприятия. Результаты этой пробы являются весьма доказательными т.к. удержать голос на первоначальном уровне не может даже тот человек, который знает о цели исследования (были проведены пробы на врачах).

В настоящее время актуальность субъективных методов выявления симуляции и аггравации значительно снизилась в связи с развитием объективных методов диагностики.

Объективные методы исследования слуха

Существующие на сегодняшний день методы исследования позволяют объективизировать любой отдел звукового анализатора: импедансометрия, (среднее ухо), отоакустическая эмиссия (рецептор), слуховые вызванные потенциалы (проводящие пути).

Импедансометрия

Это метод исследования, позволяющий регистрировать и анализировать статические и динамические характеристики звукопроводящей системы среднего уха. В клинической практике используют два вида акустической импедансометрии – тимпанометрию и акустическую рефлексометрию.

Тимпанометрия – измерение сопротивления среднего уха при изменении давления воздуха в наружном слуховом проходе, точнее барабанной перепонки, подвижность которой зависит от состояния среднего уха. Можно сказать, что это измерение зависимости акустической проводимости от давления воздуха в наружном слуховом проходе. Результаты регистрации изображаются в виде кривой (тимпанограммы). При различной патологии в барабанной полости происходит изменение формы тимпанограммы, что используется для дифференциальной диагностики заболеваний среднего уха.

Чаще всего используется классификация Лайдена-Джергера:

Согласно этой классификации выделяют 5 основных типов тимпанограмм. В основе классификации - комплианс (высота) тимпанограммы и давление на пике. Пик тимпанограммы возникает в момент максимальной подвижности системы, что происходит, когда давление по обе

стороны барабанной перепонки выравнивается. То есть по давлению на пике можно судить о давлении в барабанной полости (рисунок 13).

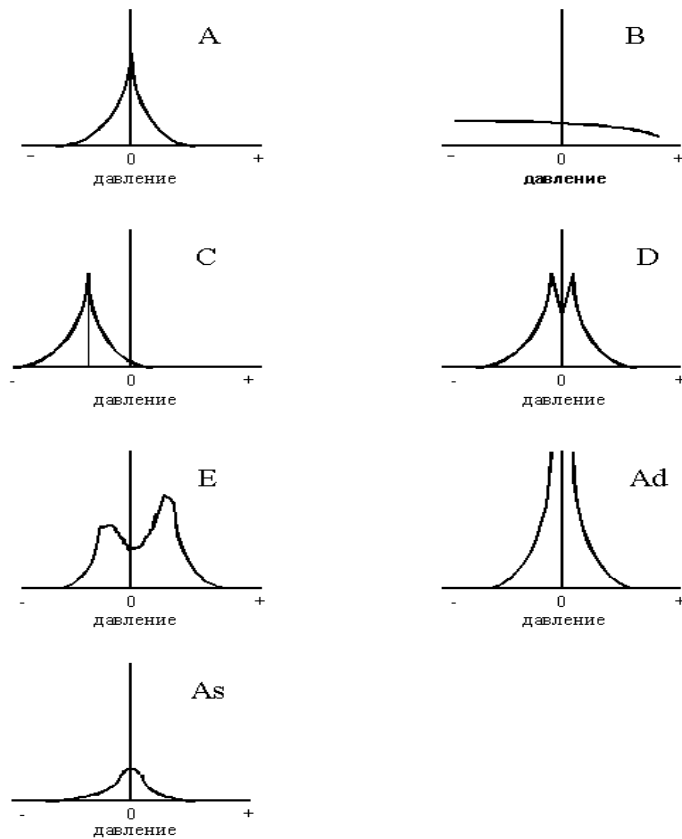


Рисунок 13 – Классификация тимпанограмм (по Лайдену-Джергеру):

Tun A – явный пик величины комплианса в пределах ± 50 daP.

Tun B – без выраженного пика.

Tun C – пик вне пределов нормальных значений.

Tun D – возможно отсутствие пика из-за высокой амплитуды, который находится в пределах нормального давления.

Tun E – широкая, глубокая зазубрина: W-образный вид.

При анализе тимпанограммы сравнивают результаты, полученные от одного пациента (таблица 7, 8).

Таблица 7 - Результаты тимпанометрии с учетом амплитуды (по Фельдману).

Увеличена	Уменьшена	Без изменений
1. аномальная перепонка	1. фиксация косточек (костная, адгезивная)	1. блок слуховой трубы
2. разрыв цепи слуховых косточек	2. экссудат	2. отит на ранней стадии (жидкий экссудат)
	3. холестеатома, полип, гранулема, гломусы	
	4. мирингосклероз	

Таблица 8 - Результаты тимпанометрии с учетом давления на пике (по Фельдману)

Отрицательное	Нормальное	Положительное	Отсутствие пика
1. блок слуховой трубы	1. анкилоз стремени	1. острая стадия среднего отита (катар)	1. экссудат
2. средний отит	2. адгезив		2. адгезив (мирингосклероз)
3. адгезив	3. разрыв цепи слуховых косточек		3. артефакт
	4. опухоль среднего уха		4.прикрытая перфорация
	5. аномальная барабанная перепонка		
	6. норма		

Акустическая рефлексометрия – регистрация изменения импеданса (сопротивления) среднего уха при сокращении стременной мышцы в ответ на звуковую стимуляцию. В ответ на звук сокращаются обе мышцы среднего уха, но диагностическое значение в силу большей сохранности имеет стапедиальный рефлекс.

Акустический рефлекс безусловный и двусторонний. Это значит, что при звуковой стимуляции одного уха вне зависимости от воли пациента сокращаются мышцы барабанной полости с обеих сторон. При этом ухо, воспринимающее звук является ипсилатеральным, а противоположное — контрлатеральным.

Рефлекс стапедиальной мышцы осуществляется через n.facialis, а двусторонность обеспечивается частичным перекрестом слуховых трактов.

При проведении акустической рефлексометрии важно выяснить:

1. Есть ли рефлекс — амплитуда рефлекса увеличивается пропорционально нарастанию интенсивности стимула.

2. Присутствует ли ипси- и контрлатеральный с обеих сторон — это позволяет судить о подвижности цепи слуховых косточек, способности уха реагировать на звук, сохранности слухового тракта до уровня верхнеоливарного комплекса.

3. Каков порог акустического рефлекса — при нормальном тональном слухе порог акустического рефлекса 70-110dB (иногда характеризуют «относительный порог рефлекса» — это разница между порогом рефлекса и порогом тонального слуха по воздуху на этой частоте).

Наличие акустического рефлекса говорит о том, что *цепь слуховых косточек подвижна и что ухо реагирует на звук.*

На рисунке 14 приведена схема формирования нормального рефлекса.

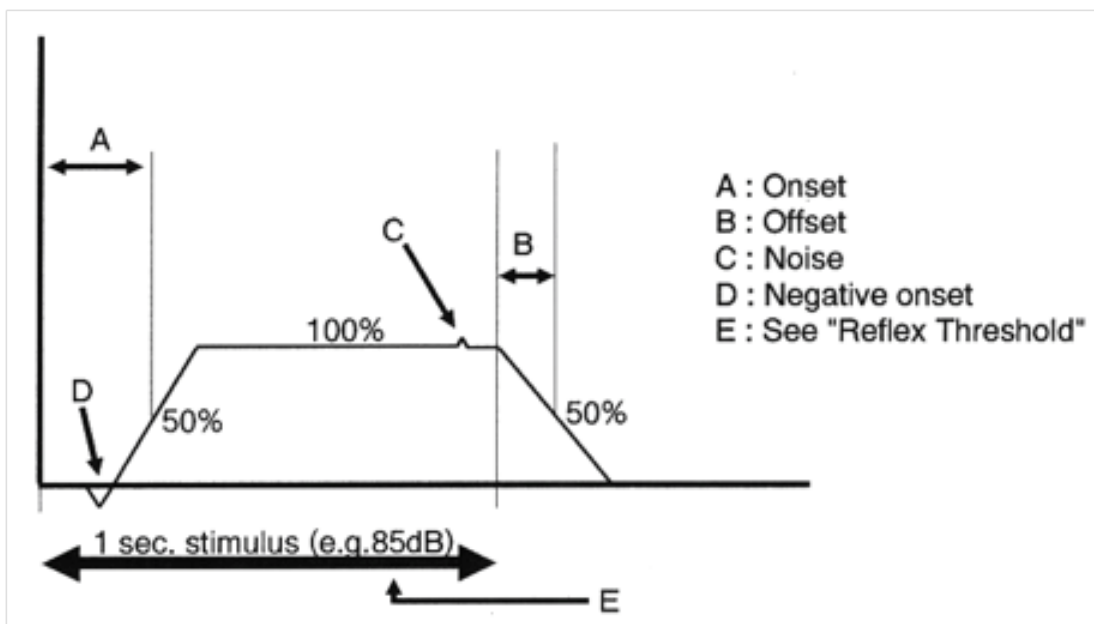


Рисунок 14 – Интерпретация акустического рефлекса (A: Включение B: Выключение C: Шум D: Негативное включение E: см. «Порог рефлекса») - (цитируется из Общей теории импедансных измерений предоставленной Отикон).

Распад рефлекса (contra decay) — это время, за которое исходная амплитуда рефлекса снижается вдвое.

На практике используют модификацию этой реакции. Суть её в том, что в ответ на звуковой раздражитель нормально функционирующая система среднего уха может удерживать исходное сопротивление в течение 10 секунд. Снижение амплитуды рефлекса более, чем на $\frac{1}{2}$ в течение указанного времени свидетельствует о нарушении иннервации стременной мышцы, т.е. о ретрокохлеарной патологии.

На рисунке 15 приведена схема интерпретации распада рефлекса

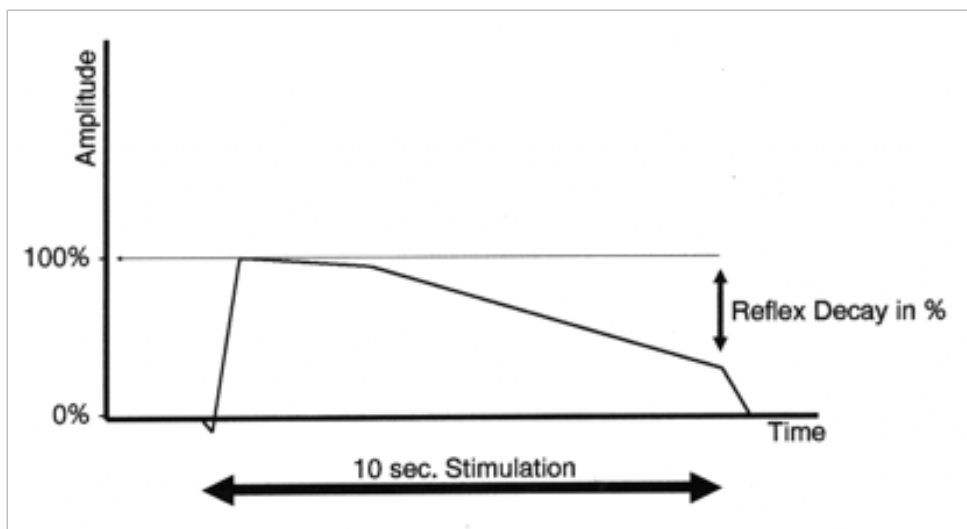


Рисунок 15 – Распад рефлекса (Reflex Decay – указан в % - объяснения в тексте) (цитируется из Общей теории импедансных измерений предоставленной Отикон).

Отоакустическая эмиссия (ОАЭ)

ОАЭ — это слабый звук, генерируемый в результате активных движений микроворсинок наружных волосковых клеток (НВК) Кортиева органа, который можно зарегистрировать при установке миниатюрного микрофона в наружном слуховом проходе. ОАЭ можно зарегистрировать как в ответ на звуковую стимуляцию, так и без нее. В связи с этим различают вызванную и спонтанную ОАЭ. Механизм возникновения отоакустической эмиссии представлен на рисунке 16.

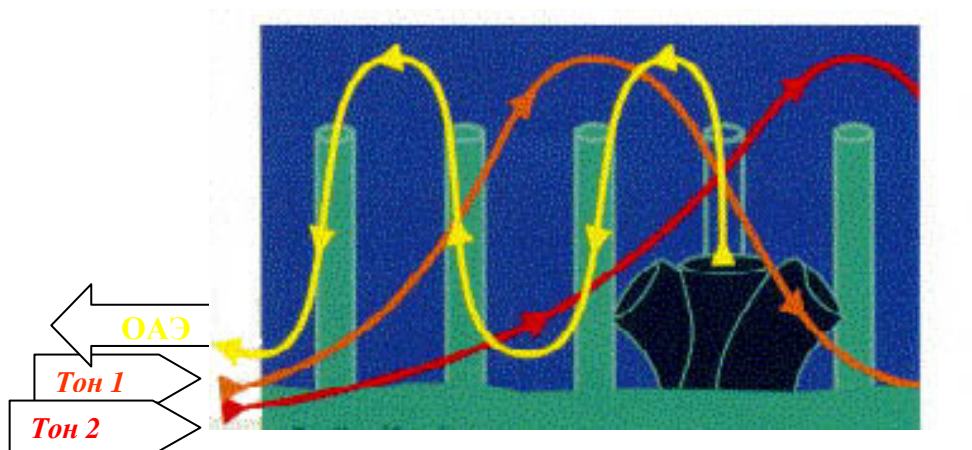


Рисунок 16 - Механизм возникновения вызванной отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения.

Клинический интерес в настоящее время сосредоточен на вызванной ОАЭ (ВОАЭ). ВОАЭ является результатом стимулированной активной деятельности НВК и свидетельствует о функциональном состоянии рецепторных структур. Вызванная эмиссия регистрируется у всех людей с нормальным слухом при обязательном исключении патологии звукопроводящего отдела среднего уха. При потерях слуха более 25-35 дБ относительно нормальных порогов – отсутствует. При этом не имеет значения, является снижение слуха следствием патологии среднего или внутреннего уха (рисунок 17).

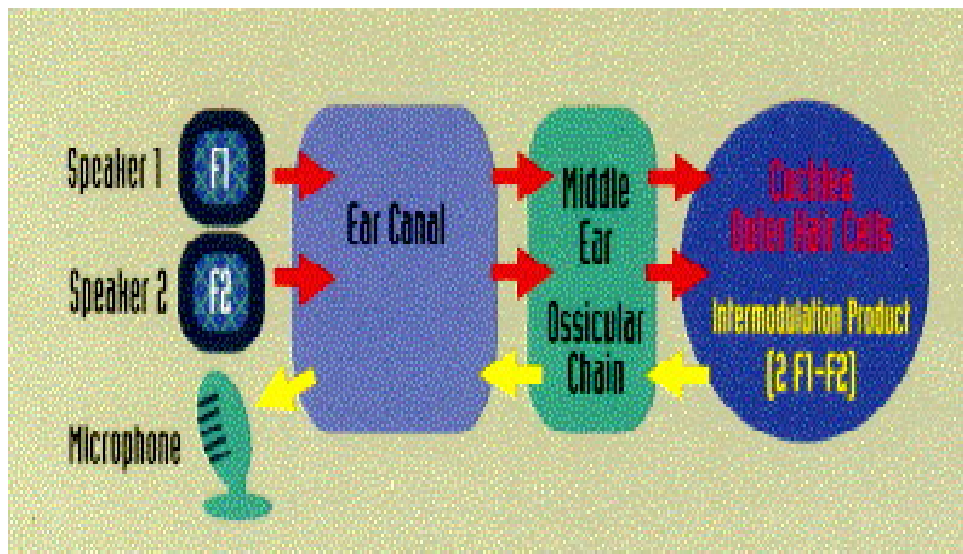


Рисунок 17 - Схема регистрации вызванной отоакустической эмиссии.

Слуховые вызванные потенциалы

Вызванными потенциалами называются биоэлектрические сигналы, которые появляются с постоянными временными интервалами после определенных внешних воздействий.

Звуковые или слуховые вызванные потенциалы (СВП) возникают, когда нормально функционирующее ухо стимулируется звуком. При этом электрическая активность генерируется и в улитке и в структурах слуховых проводящих путей, соединяющих улитку с мозгом. Кора головного мозга в

процессе обработки акустических стимулов также генерирует электрическую активность.

Вызванная электрическая активность передается через окружающие ткани и определяется (с очень низкими значениями амплитуды) на коже головы, в частности её можно определить на поверхности черепа, мочке ушной раковины, в наружном слуховом проходе. Электрические потенциалы, генерируемые в ответ на акустическую стимуляцию, имеют амплитуду порядка 0,5 мкВ. Одновременно с электрической активностью, вызванной акустической стимуляцией присутствуют и другие электрические потенциалы, происходящие от активности мозга, мышечной активности и т.д. Эти потенциалы имеют порядок 40 мкВ. Поэтому при регистрации слуховых вызванных потенциалов, часто возникает проблема плохого соотношения сигнал/шум, что усложняет процесс исследования и идентификации слуховой активности.

Теоретически, решение этой проблемы достаточно просто. Оно основывается на том, что шум по своей природе является случайным событием, в то время как СВП всегда возникают в ответ на стимулы, предъявляемые в ухо. При многократном предъявлении одного и того же звука все полученные данные суммируются, и рассчитывается их усредненное значение для каждой частоты. Важно, что СВП, регистрируемые в ответ на стимул, стабильны во времени (т.е. возникают в определенные интервалы времени от начала стимуляции).

Электрокохлеография (ЭКоГ)

ЭКоГ — это методика, обеспечивающая тестирование электрических событий, происходящих в первые 5 мс после начала стимуляции. В это время регистрируется потенциал, генерируемый улиткой. Он называется микрофонным потенциалом (МП). Основное отличие МП от остальных в том, что он становится положительным или отрицательным в зависимости от того, в какую сторону движется стремя - внутрь или наружу при стимуляции

щелчком. Все остальные потенциалы не зависят от полярности стимула и всегда имеют положительную полярность. Направление движения стремени может контролироваться полярностью стимуляции, которая может быть щелчком с начальной фазой сгущения (диафрагма преобразователя движется в сторону уха, что приводит к кратковременному повышению давления в слуховом проходе) или щелчком с начальной фазой разрежения (возникает отрицательное давление за счет движения диафрагмы от уха).

Для регистрации МП электрод устанавливается в наружном слуховом проходе или на барабанной перепонке, либо используется транстимпанальный электрод с установкой на промоториуме или в круглом окне.

Слуховые вызванные потенциалы головного мозга

Этот метод чаще всего используется при подозрении на стволовую патологию, а также при исследовании слуха у маленьких детей.

Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы (КСВП)

КСВП — регистрируются в течение первых 10 мс. Это время достаточно для регистрации активности структур слухового тракта в пределах ствола мозга (в норме).

При использовании наушников, щелчки, передаваемые на одно ухо, образуют семь пиков (I-VII), регистрируемых с кожи волосистой части головы. Эти колебания отражают нормальную активацию слухового нерва (I) и слуховых путей ствола головного мозга: ядра улитки (II), комплекса верхних олив (III), латеральной петли (IV), нижнего бугра четверохолмия (V), вышерасположенных слуховых центров (VI и VII). Поражения на одном из этих уровней или между ними вызывают снижение амплитуды потенциалов до их исчезновения или их замедление, т.е. изменение временных интервалов их возникновения.

Основными областями применения КСВП являются неврологический скрининг опухолей и определение порогов слышимости у пациентов, которым провести традиционные аудиометрические тесты невозможно.

На рисунке 18 приведены примеры регистрации нормальных КСВП в разные возрастные периоды.

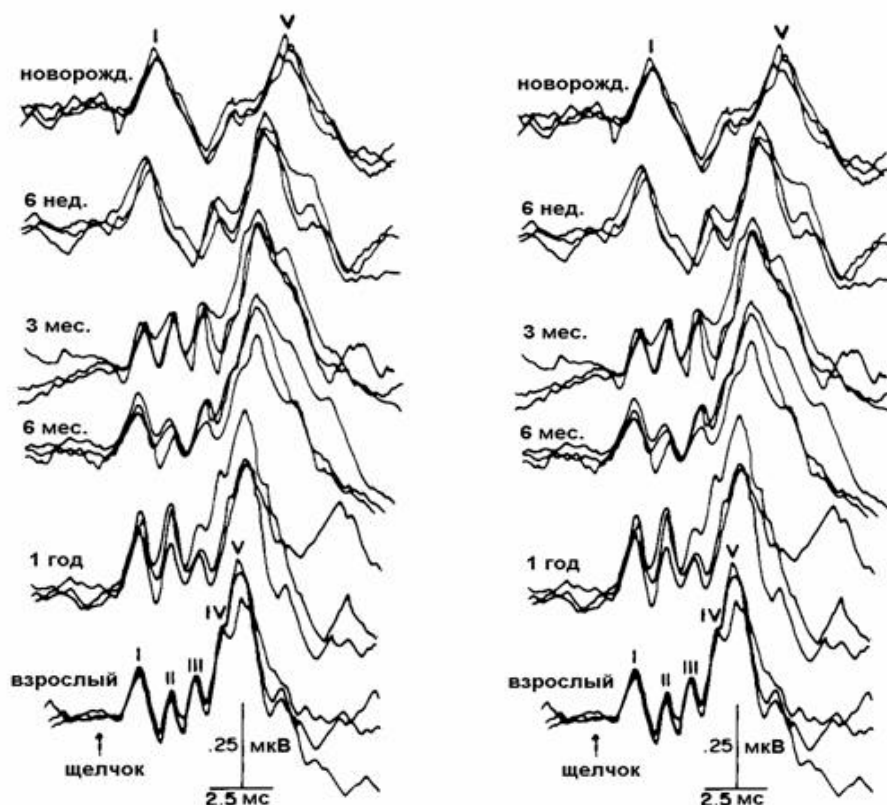


Рисунок 18 – примеры нормальных КСВП для правого и левого уха (объяснения в тексте).

Наибольшее клиническое значение имеют именно коротколатентные слуховые вызванные потенциалы ввиду их большей стабильности. Для слуховых потенциалов с латентностями больше 10 мс характерна более низкая информативность по причине наложения электрической активности головного мозга другой природы.

Среднелатентные слуховые вызванные потенциалы (ССВП)

ССВП — регистрируются от 10 до 150 мс и фиксируют активность на подкорковом уровне.

Длиннолатентные слуховые вызванные потенциалы (ДСВП)

ДСВП — этот тест используется для определения потенциалов, генерируемых на корковом уровне, которые регистрируются в диапазоне от 150 до 500 мс.

Стационарные слуховые вызванные потенциалы (Auditory Steady-State Responses – ASSR) — регистрация слуховых стационарных ответов.

Это метод автоматической детекции ответов слухового анализатора на постоянный тон. Внутримозговыми генераторами для слуховых стационарных вызванных ответов следует считать все отделы слуховой центральной нервной системы, однако, для различных частот модуляции стимула, преимущественными являются одни или другие. Так, по данным некоторых авторов, при частоте модуляции от 70-100 Гц максимальная электрофизиологическая активность возникает в области ствола мозга, при частоте 30-40 Гц - как в области ствола, так и в области корковых отделов, при частоте 10-20 Гц - преимущественно в области коры.

Для регистрации стационарных потенциалов применяется автоматический алгоритм, использующий анализ Фурье на частоте модуляции стимула для получения информации об амплитуде и фазе ответа.

Предъявляя стимул на различных частотах, врачу удастся получить информацию не только о степени, но и о частотной характеристике снижения слуха. Используя данные этого метода, можно судить о порогах слуха пациента, что необходимо как для определения степени тугоухости, так и для правильной настройки слухового аппарата.

Заключение

«Слово для человека есть такой же реальный условный раздражитель, как и все остальные, общие у него с животными, — говорил И. П. Павлов,— но вместе с тем и такой многообъемлющий, как никакие другие, не идущий в этом отношении ни в какое количественное и качественное сравнение с условными раздражителями животных. Слово, благодаря всей предшествующей жизни взрослого человека, связано со всеми внешними и внутренними раздражениями, приходящими в большие полушария, все их сигнализирует, все их заменяет и потому может вызвать все те действия, реакции организма, которые обуславливают те раздражения».

Слух — это основа второй сигнальной системы, присущей только человеку.

Реабилитация нарушений слуха помогает избежать снижения когнитивных способностей (памяти, ориентации в пространстве, чтения и т.д.), а старческое слабоумие напрямую зависит от тугоухости. К таким выводам пришёл американский учёный Фрэнк Лин, научные интересы которого находятся в сфере оториноларингологии, диагностике ментальных расстройств и эпидемиологии. Люди с плохим слухом на 30-40% сильнее подвержены риску умственных нарушений в старости, чем те, кто не страдает потерей слуха — таковы подсчёты Лина и его коллег. Когда человек вынужден постоянно напрягать слух для того, чтобы распознать нужную ему информацию в искажённом звуковом потоке, мозг испытывает перенапряжение, приводящее к патологии в его работе. Эксперимент со сканированием мозга у слабослышащих людей, проведённый в 2014 году, показал сниженное количество серого вещества. В большей степени его масса снизилась в участках мозга, отвечающих за семантическую память (память обобщённых знаний о мире) и устную речь. Эти же участки

поражаются при болезни Альцгеймера, которой также свойственны нарушение когнитивных функций и умственная отсталость.

О важности бережного отношения к слуху в широком понимании знали и древние: **"То, что оскорбляет уши, не может проникнуть в душу человека"** – сказал Квинтилиан, учитель риторики в Древнем Риме.

Список литературы:

1. Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог: ТРТУ, 1997.
2. Гулла Д. Компьютерный анализ гипотетических «паранормальных голосов», их обнаружение и идентификация. http://www.rait.airclima.ru/voice_analysis.htm
3. Зенков Л.Р., Ронкин М.А. Функциональная диагностика нервных заболеваний. Медицина, 1991.
4. Левин С.В. Использование слуховых вызванных потенциалов в современных аудиологических исследованиях / Автореф. на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / С.-Пб. – 2009.
5. Материалы Российской ассоциации инструментальной транскомуникации (РАИТ) <http://www.rait.airclima.ru>
6. Современные методы функциональной диагностики слуха / В. В. Гнездицкий, О. С. Корепина, Н. Ю. Шубина, Е. Л. Фридман, Т. Г. Комарова, М. И. Соганов и др. / Нейрософт – 2013. – 188с.
7. Федянин А.В. / Методика аппаратурной оценки параметров электронных голосов, полученных методом транскомуникации / ВНИПИПТ (Москва) Российская ассоциация инструментальной транскомуникации. http://www.rait.airclima.ru/voice_parameters.htm
8. Хильдегард Шефер. Мост между мирами. http://www.rait.airclima.ru/books/Bridge_between_worlds.doc
9. Auditory Steady-State Evoked Potentials in Newboms / F.W. Rickards, L.E.Tan, L.T Cohen, OJ. Wilson, J.H. Drew and G.N. Clar // British Journal of Audiology.-1994.- Vol.28, N6, -P. 327-337.
10. Auditory Steady-State Responses in Normal-Hearing and Hearing-Impaired Adults / A. Dimitrijevic, M.S. John, and T.R. Picton // Ear and Hearing.-2004.-Vol.25, N1, -P.68-84.

11. Auditory Steady-State Responses to Exponential Modulation Envelopes / M.S. John, A. Dimitrijevic and T.W. Picton // Ear and Hearing.-2002.- Vol.19, N2, -P. 106-117.
12. Comparison of Auditory Steady-State Response and Auditory Brainstem Response Thresholds in Children / K.R. Vanderwerff, C.J. Broun , B.A. Gienapp, and K.M.Schmidt Clay // Journal of the American Academy of Audiology.-2002. - Vol.13, N5,-P. 227-235.
13. Frequency-Specific Audometry Using Steady-State Responses / O.G. Lins, T.W.Picton, B.L. Boucher, A. Durieux-Smith, S.C. Champagne, L.M. Moran // Ear and Hearing.-1996.- Vol.17, N4, -P. 81-96.
14. Hearing Threshold Estimation in Infants Using Auditory Steady-State Responses / G. Ranee, R. Roper, L. Symons, L.J. Mudy, C. Poulis, M. Dourlay, T. Kelly // Journal of the American Academy of Audiology.-2005.- Vol.16, N5, -P. 291-300.
15. Intracerebral Sources of Human Auditory Steady-State Responses / A.T. Herdman, O. Lins, P. Van Roon, D.R. Stapells, M. Scherg, and T.W. Picton // Brain Topography.- 2002.- Vol.15, N2, -P. 69-80.
16. Language of early- and later-identified children with hearing loss / C. Yoshinaga- Itano, A.L. Sedley, D.K. Coulter, A.L. Mehl // Pediatrics.-1998.- N102, -P. 1161-1171.
17. Moeller M.P. Early intervention and language development in children who are deaf and hard of hearing / M.P.Moeller // Pediatrics.-2000.- N106, -P. 43-51.
18. Ranee G. Prediction of Hearing Threshold in Infants Using Auditory Steady State Evoked Potentials / G. Ranee, F. Rickards // Journal of the American Academy of Audiology.-2002.- Vol.13, N5, -P. 236-245.
19. The Auditory Steady-State Response: comparisons with the Auditory Brainstem Response / B. Cone-Wesson, R.C. Dowell, D. Tomlin, G. Ranee, W. Jia Ming //Journal of the American Academy of Audiology.-2002.- Vol.13, N4, -P. 173-187.

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	7
Анатомо-физиологические аспекты звукопроведения и звуковосприятия.....	8
Звукопроводящий отдел.....	8
Звуковоспринимающий отдел.....	14
Иннервация.....	17
Аудиологические аспекты акустики.....	20
Методы исследования слуха.....	24
Субъективные методы исследования слуха.....	24
Объективные методы исследования слуха.....	41
Заключение.....	52
Список литературы.....	54

Учебное издание

Стринкевич Эльвира Анатольевна
Чекан Валерий Леонидович

СЛУХОВАЯ СИСТЕМА ЧЕЛОВЕКА

Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск Э.А. Стринкевич

Подписано в печать 20. 12. 2016. Формат 60x84/16. Бумага «Discovery».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 3,25. Уч.- изд. л. 3,15. Тираж 100 экз. Заказ 277.

Издатель и полиграфическое исполнение –

Белорусская медицинская академия последипломного образования.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3.

