**ЛЕКЦИЯ 21**

**СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ. СЛУХОВОЙ, ВЕСТИБУЛЯРНЫЙ АНАЛИЗАТОР**

1. Слуховой анализатор.

2. Вестибулярный анализатор.

**1. Слуховой анализатор**

Орган слуха обладает свойством воспринимать механическую энергию звуковых колебаний, трансформировать ее в нервное возбуждение – это и обусловливает ощущение звука. Для органа слуха звуковые колебания служат адекватным раздражителем. Он воспринимает звуки, различающиеся по высоте, громкости и тембру, а также оценивает направление звука и расстояние от исходника.

Слуховой анализатор весьма важен для восприятия раздражений внешней среды и, кроме того, он является афферентным звеном второй сигнальной системы человека (речь).

Звуковые волны представляют собой чередование сгущений и разрежений воздуха, которые распространяются во все стороны от источниказвука. Правильные продольные колебания частиц воздуха, обусловленные чередованием его сгущений и разрежений, распространяются со скоростью около 330 м/сек*.* Длина звуковой волны определяется расстоянием, которое проходит звук в секунду, деленным на число полных колебаний, которое совершает звучащее тело в секунду. Звук может распространяться в воздухе, воде и твердых телах; скорость его распространения зависит от упругости и плотности среды.

К физическим свойствам звука относятся его частота, сила (амплитуда), скорость и фаза. Психофизиологическим свойством звука, соответствующим частоте, является ощущение высоты звука, а силе – громкость звука.

**Анатомия органа слуха.** Наружное ухо состоит из ушной раковины и наружного слухового прохода. Наружный слуховой проход у взрослого человека имеет длину 2,5 см*,* емкость – около 1 см3*.* На границе между наружным и средним ухом натянута барабанная перепонка толщиной около 0,1 мм*.* Ушная раковина собирает звуковые волны, поэтому давление звука, падающее на барабанную перепонку, в 3 раза больше, чем в свободном звуковом поле. Барабанная перепонка обладает упругостью, оказывая сопротивление волне давления, которая распространяется через слуховой проход. Благодаря тому, что сопротивление барабанной перепонки наименьшее при 800-900 Гци тому, что колебания барабанной перепонки очень быстро затухают, она является прекрасным передатчиком давления и почти не искажает форму звуковой волны.

Среднее ухо представлено барабанной полостью, имеющей неправильную форму, емкостью в 0,75 см3*.* В барабанной полости три слуховых косточки: молоточек, наковальня и стремечко. Система слуховых косточек обеспечивает увеличение давления звуковой волны при передаче с барабанной перепонки на перепонку овального окна приблизительно в 50-70 раз. По обе стороны барабанной перепонки благодаря евстахиевой трубе поддерживается одинаковое давление.

Внутреннее ухо отделено от среднего перепонкой овального окна. Расположено внутреннее ухо в пирамиде височной кости и состоит из костного и лежащего в нем перепончатого лабиринта. Лабиринт включает 2 органа; слуха и вестибулярный аппарат. Улитка представляет собой широкий костный канал, который делает у человека 2,5-2,75 витка вокруг своей осевой части.

**Слуховой анализатор.** Рецепторы слуха расположены в улитке – это Кортиев орган. Он имеет 2 типа клеток: опорные и волосковые, воспринимающие звуковые колебания. Кортиев орган расположен на основной мембране, которая содержит около 24000 поперечных волокон, очень упругих и слабо друг с другом связанных. Окончания слухового нерва связаны со слуховыми волосковыми клетками, расположенными пятью рядами вдоль основной перепонки. Во внутреннем ряду насчитывается 3500, а в четырех внешних – по 5000 волосковых клеток, т. е. всего на слуховой перепонке имеется 23500 нервных окончаний. Слуховой нерв содержит около 30000 нервных волокон. К корковому анализатору поступает примерно 1 млн. 200 тыс. нервных волокон.

Волосковые клетки охватываются нервными волокнами, исходящими из биполярных клеток спирального ганглия и составляющими улитковую ветвь слухового нерва. В продолговатом мозгу расположен второй нейрон слухового пути; волокна этого нейрона большей частью переходят на противоположную сторону и доходят до олив, где находится третий нейрон. Далее через боковую петлю, задний отдел четверохолмия и внутренней капсулы (четвертый нейрон) слуховые пути доходят до слухового анализатора в височной доле. Следовательно, большая часть слуховых путей перекрещивается и поступает в височную долю противоположной стороны.

**Физиология слуха.** Звук – это колебание частиц, из которых состоит среда. Он распространяется в виде важных чередующихся участков высокого и низкого давления и способен проходить через жидкости, твердые тела и газы. В норме человек способен различать и слышать звуковые колебания в частотных пределах от 20 до 16 000 Гц (1 Гц – это 1 колебание в секунду). Речевая зона – или зона наибольшей чувствительности – в пределах 2000-5000 Гц = 2 кГц-5 кГц.

Интенсивность или громкость звука зависит от амплитуды звуковых волн – величина уровня звукового давления (УЗД), тона с частотой 1 кГц, измеряется в фонах или децибеллах (одинакового значения). Тон с частотой в 1 кГц имеет УЗД = 70 дб, то уровень громкости = 70 тон. Качество звука – или его тембр определяет строение голосового аппарата. Пороги различия интенсивности звука – очень небольшие, два тона одинаковой частоты различены по громкости, если УЗД отличается всего на 1 дБ. Субъективная реакция на громкость (зависит чисто от психологических особенностей субъекта к источнику звука) неприятные ощущения, дискомфортность.

**Звуковая проводимость.** Звуковая волна – вызывает колебание барабанной перепонки и передает их энергию по цепи слуховых косточек на перилимфу вестибулярной лестнице (поскольку площадь барабанной перепонки больше площади основания стремечка, а давление прямо пропорционально силе, и обратно пропорционально площади, то давление в овальном окне выше в 10-20 раз, чем на барабанной перепонке).

Колебание перилимфы вызывает смещение мембран (рейснеровой вверх и базилярной вниз) относительно друг друга, и вызывает некоторый сдвиг, скольжение текториальной (покровной мембраны), а в нее погружены волоски рецепторных клеток, этот сдвиг является механическим деформатором мембран рецепторного потенциала, что вызывает деполяризацию мембраны сенсорных клеток и возникновению в них рецепторного потенциала, который порождает потенциал действия в аксонах слухового нерва.

Способность различать высоту звука зависит от того, что звуки данной частоты вызывают колебания базилярных мембран и возбуждение сенсорных клеток в строго определенном участке кортиева органа. Звуки высокой частоты стимулируют клетки в основании улитки, низкой в ее верхушке.

Различие громкости звука, зависит от того, что каждый участок базилярной мембраны содержит набор сенсорных клеток с разными порогами чувствительности к вибрации: тихий звук только несколько клеток, громкий еще дополнительные клетки в итоге будет происходить пространственная суммация.

Костная проводимость для возбуждения рецепторов внутреннего уха необходимо движение жидкости, подобно тому, которая может передать стремечко из-за звуковых волн через воздушную среду. Звук, может передаваться и через кости, если камертон поставить непосредственно на череп. Неясно точно, по области сжатия костей черепа вызывает движение жидкости из вестибулярного аппарата в улитку и обратно.

Ухо человека воспринимает от 10 до 22 000 Гц. Чем больше амплитуда звука, тем больше слышимость. Частота колебаний выше 22000 Гц относится к области ультразвуков, ниже 10 – инфразвуков. У детей верхняя граница слуха достигает 22000 Гц. У пожилых людей она ниже, не превышая обычно 15000 Гц. У многих животных верхняя граница слуха выше, чем у человека: например, у собак она доходит до 38 000 Гц, у кошек – 70000 Гц, у летучих мышей – 100 000 Гц. Всего ухо человека различает по высоте 4000-4500 различных звуков.

Возбудимость анализатора (порог слуха) измеряется наименьшей силой звука, вызывающей слуховое ощущение. Ее можно выразить в единицах энергии или давления, которое производит звуковая волна в 1 сек, действуя перпендикулярно на площадь 1 см2. Эту величину можно выразить в эргах на 1 см2 в секунду или микроваттах. За нулевой уровень принимают силу звука в 1000 Гц в полной тишине. Энергия этого звука равна 1016 Вт на 1 см2 или 10~2 Дж на 1 см2 в секунду. Наибольшей возбудимостью обладает ухо в пределах от 2000 до 5000 Гц, имеющей значение для восприятия человеческого голоса. Ниже 2000 и выше 5000 Гц возбудимость уха сильно понижается.



**Рисунок 35 – Строение слухового и вестибулярного анализатора**

Индивидуальная возбудимость органа слуха у людей в норме сильно колеблется. С возрастом эта возбудимость особенно понижается к звукам высокой частоты – выше 1000 Гц, тогда как возбудимость к низким тонам мало меняется. Самый распространенный способ – испытание слуха при помощи монотонной (шопотной) речи, которую испытуемый слышит с определенного расстояния. Более точное исследование слуха производится посредством специальных приборов – звуковых генераторов. Метод условных рефлексов позволяет объективно изучать состояние слухового анализатора у животных и грудных детей.

Некоторые животные воспринимают ультразвуки. Летучая мышь в полете издает ультразвуки (45000 Гц) короткими сигналами несколько десятков раз в секунду. Рот у летучей мыши служит рупором, направляющим звук только вперед, а большие с раструбом уши – приемником. Ультразвуковой сигнал, посланный мышью, возвращается к ней, как эхо, и мышь летит только туда, откуда нет эха, т. е. где нет препятствия. Так она ориентируется в полете, пользуясь принципом локации. Подобный принцип применяется для определения морских глубин (эхолот) и в радиолокации самолетов и космических тел (планет).

**Влияние шума на человека.** В настоящее время появляются научно обоснованные критерии, позволяющие судить о неблагоприятном воздействии шума на здоровье человека. Отмечают, что в США подвергаются воздействию шума на уровнях вредных для слуха, около 6 млн. рабочих, а общие потери от неблагоприятного влияния шума на рабочих составляет несколько миллионов долларов в год. В Лондоне из 1400 опрошенных людей на вопрос об источнике шума, вызывающего психическое раздражение, 82 % указало на уличный шум, 16 % – на шум, производимый в соседних квартирах, и лишь 1 % – на шум в их собственных квартирах. Только 1 % опрошенных не предъявляли жалоб на шум.

Диапазон звуковых раздражений по частоте и интенсивности настолько велик, что если на одном конце этого диапазона звук служит фактором патогенным, то на другом монотонные слабые ритмичные звуки низкой частоты обладают успокаивающим влиянием, понижая возбудимость центральной нервной системы и способствуя сну и гипнозу. И эти влияния не ограничиваются только изменением состояния нервной системы.

Киевскими медиками под руководством проф. А.Р. Киричинского обнаружено лечебное действие ритмических звуковых раздражений, получаемых посредством так называемого корректофона И.Я. Деражне, на речь у заик. Корректофон изменяет не только состояние речедвигательного аппарата, но действует и на вегетативные функции (дыхание, артериальное давление, электрокардиограмму и т. д.). Это связано, по-видимому, с тем, что афферентные пути слухового анализатора имеют особенно многочисленные коллатеральные ответвления в стволе мозга и ретикулярной формации, чем другие афферентные системы.

**2. Вестибулярный анализатор**

Орган слуха и равновесия связаны не только анатомически, располагаясь рядом в каменистой части височной кости (внутреннее ухо), но и происходят в процессе эволюции из одних структур. Вестибулярный анализатор является частью перепончатого лабиринта, образующего внутреннее ухо и состоит из овального, круглого мешочков и полукружных каналов. Полукружные каналы: передний и задний вертикальный, средний – горизонтальный.

Участки овального и круглого мешочка имеют студенистую массу – **макулу,** содержащую кристаллы карбоната кальция (так называемые **отоконии**), которая покрывает сверху находящиеся здесь рецепторные клетки. Отоконии отклоняются под действием силы тяжести, деформируют волоски и благодаря этому сенсорные клетки сообщают мозгу о движениях головы относительно вертикали.

Рецепторы овального мешочка с отокониями реагируют на движение головы в вертикальном направлении, рецепторы круглого мешочка – реагируют на движение головы в стороны.

Три полукружных канала расположены в 3-х плоскостях под прямым углом друг к другу. В основании каждого имеется расширение – ампула, содержащая студенистую массу – **купулу** которая покрывает волоски рецепторных клеток и при вращении головы вызывает их деформацию.

В вестибулярном анализаторе имеются два морфологически различных типа рецепторных клеток, которые не различаются между собой по физиологическим свойствам. Оба типа клеток имеют субмикроскопические волоски на свободной поверхности, поэтому называются волосковыми. В электронный микроскоп различают 2 вида волосков: стереоцилии (по 60-80 на каждой рецепторной клетке) и 1 киноцилий. Сенсорные клетки вестибулярного аппарата вторичные иннервируются биполярными нейронами вестибулярного ганглия, (нейрон № 1 проводящей система анализатора), аксоны которого формируют волокна вестибулярного нерва. Первичные волокна вестибулярного нерва оканчиваются главным образом в области ядер в продолговатом мозге: 4 ядра: верхнее, специальное, латеральное и нижнее – это нейроны № 2 проводящей системы анализатора. Для ощущения равновесия ЦНС должна получать информацию не только о положении головы относительно туловища, но и учитывать ее при определенном положении тела в целом.

Поэтому вестибулярные ядра получают информацию от шейных рецепторов (мышц шеи) и др. суставов. Нервные волокна выходящие от 4 ядер продолговатого мозга, соединены с ветвями глазодвигательного нерва, ядер шейного отдела спинного мозга и многих ядер ретикулярной формации. Они направляются в мозжечок (нейроны № 3 проводящей системы анализатора), где идет первичный анализ и осуществляются первичные рефлексы равновесия. Затем волокна проводящей системы идут в таламус промежуточного мозга (нейроны № 4 проводящей системы анализатора), далее в центральную часть анализатора – височная доля КБП и постцентральная извилина, где осуществляется сознательная обработка вестибулярной информации.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Опишите общее строение органа слуха. 2. Расскажите о строении слухового анализатора. 3. Опишите основные характеристики звука. 4. Понятие звуковой проводимости. Влияние шума на организм человека. 5. Строение вестибулярного анализатора.