

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений и условных обозначений	6
Введение	7
РАЗДЕЛ 1. Психофизические методы исследования слуха.....	9
Глава 1. Камертональное исследование	11
1.1. Симуляция.....	11
1.2. Кондуктивная тугоухость.....	13
1.3. Сравнение воздушно- и костно-проведенных звуков	14
Список литературы	15
Глава 2. Тональная пороговая аудиометрия	17
2.1. Воздушное звукопроводение	19
2.2. Костное звукопроводение	20
2.3. Автоматическая аудиометрия.....	25
2.4. Маскировка	27
Список литературы	43
Глава 3. Надпороговая аудиометрия	45
Список литературы	50
Глава 4. Речевая аудиометрия.....	51
Список литературы	58
Глава 5. Аудиометрия у детей	60
Список литературы	64
РАЗДЕЛ 2. Объективные методы исследования слуха	67
Глава 6. Акустическая импедансометрия	69
6.1. Тимпанометрия	74
6.2. Акустическая рефлексометрия	97
6.2.1. Проводящие пути акустического рефлекса (дуга акустического рефлекса)	98
6.2.2. Порог акустического рефлекса	99
6.2.3. Кондуктивная тугоухость.....	105
6.2.4. Сенсоневральная тугоухость	107
6.2.5. Ретрокохлеарная патология.....	108
6.2.6. Идентификация нарушений слуха и их количественная оценка	112
6.3. Исследование вентиляционной функции слуховой трубы.....	115
Список литературы	117
Глава 7. Слуховые вызванные потенциалы	127
7.1. Электрокохлеография	129
7.1.1. Регистрация и анализ потенциалов улитки и слухового нерва	129
7.1.2. Электрокохлеография в клинической практике	142
7.2. Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы.....	156
7.2.1. Параметры регистрации	158
7.2.2. Параметры измерения	170
7.2.3. Методика регистрации выделенных ответов.....	176
7.2.4. Суммарные коротколатентные слуховые вызванные потенциалы	177

7.2.5. Использование стимулов с линейной частотной модуляцией (chirp)	179
7.2.6. Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы на костно-проведенные стимулы	183
7.2.7. Регистрация коротколатентных слуховых вызванных потенциалов в клинической практике	186
7.3. Среднелатентные слуховые вызванные потенциалы	201
7.3.1. Методика регистрации	202
7.3.2. Структура среднелатентных слуховых вызванных потенциалов	204
7.3.3. Клиническое применение	206
7.4. Стационарный слуховой вызванный ответ (auditory steady-state response)	209
7.4.1. Методика регистрации	211
7.4.2. Регистрация стационарного слухового вызванного ответа в клинической практике	214
7.5. Длиннолатентные слуховые вызванные потенциалы (потенциалы слуховой коры)	222
7.5.1. Комплекс $P_1-N_1-P_2$	222
7.5.2. Отрицательный потенциал рассогласования	232
7.5.3. Комплекс акустических изменений (Acoustic change complex)	237
7.5.4. Когнитивный слуховой вызванный потенциал P_{300}	240
7.5.5. Семантический вызванный потенциал N_{400}	244
Список литературы	246
Глава 8. Отоакустическая эмиссия	276
8.1. Спонтанная отоакустическая эмиссия	276
8.2. Задержанная вызванная отоакустическая эмиссия	279
8.3. Отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажений	280
8.4. Анатомо-физиологические факторы, влияющие на регистрацию задержанной вызванной отоакустической эмиссии и эмиссии на частоте продукта искажений	283
8.5. Сравнение задержанной вызванной отоакустической эмиссии и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажений	286
8.6. Клиническое применение	287
Список литературы	302
Глава 9. Аудиологический скрининг	313
9.1. История	313
9.2. Факторы, влияющие на результаты скрининга	318
9.3. Принципы тестирования и протоколы	319
9.4. Комбинированный скрининг, основанный на регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов и отоакустической эмиссии	328
9.5. Сбор данных и управление качеством программы универсального аудиологического скрининга новорожденных	329
Анкета-вопросник для родителей	334
Список литературы	334
Глава 10. Современные представления о наследственной тугоухости ...	342
10.1. Генетика структур внутреннего уха	342
10.2. Механизмы циркуляции и рециркуляции ионов	345

10.3. Гены, ответственные за функцию пучка стереоцилий.....	347
10.4. Функция наружных волосковых клеток	349
10.5. Специализированная афферентная синаптическая функция.....	349
10.6. Покровная и основная мембраны.....	350
10.7. Белки внеклеточного матрикса. Другие гены	351
10.8. Диагностика наследственных форм тугоухости.....	352
10.9. Рецессивные нарушения слуха	356
10.10. Доминантные нарушения слуха	378
10.11. Генетическая диагностика при наследственных нарушениях слуха	389
10.12. Прогноз эффективности реабилитации методом кохлеарной имплантации при наследственных нарушениях слуха	396
Список литературы	398
Предметный указатель.....	410

РАЗДЕЛ 1

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХА

Перед аудиологическим обследованием всех пациентов с жалобами на снижение слуха необходимо придерживаться следующей последовательности: сбор анамнеза, осмотр ЛОР-органов, исследование восприятия шепотной и разговорной речи, камертональное исследование.

Сбор анамнеза предусматривает определение снижения слуха, его возможной связи с перенесенными острыми и хроническими воспалительными заболеваниями уха, травмами головы и уха, наличия субъективного шума и его характера, уточнение возможного улучшения слуха в шумной обстановке, наличия постоянного или приступообразного головокружения, тошноты, продолжительности заболевания и т.д.

Осмотр ЛОР-органов. Особое внимание необходимо уделять сопутствующей патологии носа и носоглотки и при возможности проводить отомикроскопию и эндоскопическое исследование носоглотки и слуховой трубы.

Исследование восприятия шепотной и разговорной речи проводится по классической схеме.

Глава 1

Камертональное исследование

Существует более 20 *камертональных тестов*, которые могут использоваться для различения симуляции тугоухости с органическим поражением, дифференциации кондуктивного и сенсоневрального снижения слуха, а также улитковой и ретрокохlearной патологии.

Диагностировать двустороннее неорганическое снижение слуха при помощи камертонов достаточно сложно, особенно если симулируется двусторонняя глухота. Подробное описание камертональных тестов и их применения в клинической практике приводится в работах Lewandowsky (1910), Liniger и соавт. (1990), Ng, Jackler (1998) и Feldmann (1997).

1.1. СИМУЛЯЦИЯ

Костное проведение при отсутствии маскировки. Если пациент указывает на отсутствие слуха по воздушному и костному звукопроведению на одно ухо, камертон должен быть установлен на противоположный сосцевидный отросток. Если пациент слышит камертон, он переставляется на сосцевидный отросток на стороне, на которой отмечается отсутствие слуха. Если пациент указывает на отсутствие восприятия камертона, это свидетельствует о наличии неорганического поражения (симуляции). Заключение делается на основании того, что костно-проведенные звуки практически не ослабляются при проведении через кости черепа.

Опыт Teal. Если пациент отмечает, что слышит костно-проведенные звуки и не слышит воздушно-проведенные с одной и той же стороны, должно быть применено тестирование иллюзии Teal. Пациента просят закрыть глаза, для того чтобы сконцентрировать внимание на слуховом восприятии. Используются два камертона с одинаковыми частотами, однако лишь один из них приводится в состоянии вибрации. Вибрирующий камертон подносится к исследуемому уху (воздушное звукопроведение), а ножка второго (невибрирующего) устанавливается на сосцевидном отростке с этой же стороны. Если пациент отмечает, что слышит звуки, то, не зная, что используются два камертона, он не может отдифференцировать два вида восприятия и считает, что воспринимает звуки по костному звукопроведению (через камертон, установленный на сосцевидном отростке), подтверждая тем самым наличие нормального слуха по воздушному звукопроведению.

Опыт Штенгера. В 1878 г. Я. Тарханов опубликовал данные эксперимента, в котором с обеих сторон устанавливались телефоны. Он отметил, что при использовании чистых тонов одинаковой интенсивности билатеральная стимуляция смешивается в единый звуковой образ, воспринимаемый по центру головы. Если же изменять интенсивность одного из стимулов, то звуковой образ будет смещаться в сторону большей интенсивности.

Опыт Штенгера используется для исключения симуляции односторонней тугоухости. Для проведения теста необходимо использовать два камертона с частотами 256 и 512 Гц. Во время теста оба камертона раздельно или одновременно подносятся к обоим ушам. Различия в интенсивности достигаются изменением расстояния до уха. Пациента просят закрыть глаза, для того чтобы сконцентрировать внимание на слуховом восприятии. Подтверждается наличие восприятия звучания камертона на расстоянии, например 14 см, слышащим ухом. Констатируется также отсутствие восприятия этого камертона при поднесении его к «глухому» уху. Далее тест повторяется при использовании обоих камертонов, при этом пациента просят отметить, слышит ли он что-нибудь. Он ответит, что слышит, в том случае, если у него имеется одностороннее органическое поражение. Если у пациента нормальный слух с обеих сторон, то из-за наличия отмеченного выше феномена Тарханова пациент будет слышать единый звук. Он должен поступать со стороны большей интенсивности, со стороны «глухого» уха (камертон расположен непосредственно у ушной раковины). Учитывая, что пациент отрицает наличие слуха с этой стороны, ответ будет отрицательным. Данный ответ является ложным, так как ранее пациент отмечал наличие слуха со здоровой стороны при расположении камертона на том же самом расстоянии. На практике тест можно модифицировать, приближая камертон к слышащему уху.

Опыт Каллахана. В данном опыте используется принцип, аналогичный принципу, используемому в опыте Штенгера. Оба конца резиновой трубки с толщиной стенок 2 мм и внутренним диаметром 5 мм и длиной 2,1 м присоединяются к воронкам. Каждая воронка располагается на расстоянии 2,5 см от правого и левого уха (для исключения восприятия костно-проведенных звуков). Далее звучащий камертон частотой 256 Гц соприкасается с трубкой. Нормальное ухо воспринимает звук на расстоянии 2,3 м. Каждое ухо исследуется вначале раздельно при отсоединении воронки со стороны неисследуемого уха. Далее используются обе воронки, и слух исследуется при бинауральном предъявлении при смещении ножки камертона вдоль трубки. При нормальном слухе камертон воспринимается справа при расположении его в правой половине трубки и слева — при смещении камертона в левую часть трубки. Однако в центральной части трубки имеется нейтральная область, от которой звук не воспринимается нормальным ухом (10–15 см).

При подозрении на симуляцию односторонней глухоты (например, правосторонней) вначале раздельно исследуются оба уха. Пациент подтверждает наличие слуха со стороны слышащего (левого) уха при расположении камертона на расстоянии 2 м и указывает на отсутствие восприятия со стороны «неслышащего» (правого) уха даже при приближении камертона к уху на расстояние 10 см. Затем обе воронки подсоединяются к каждому из концов трубки. Ножка звучащего камертона вначале устанавливается на трубке у левого (слышащего) уха. Пациент подтверждает, что слышит звук, до тех пор, пока камертон не удаляется от слышащего уха на 1 м. Начиная с этой точки, пациент отрицает наличие слухового восприятия. В случае органического поражения у пациента правого уха он бы слышал звук левым ухом при перемещении камертона по всей трубке. Таким образом, может быть подтверждена симуляция.

Опыт Chimenti–Moos. Опыт основан на феномене, описанном Wheatstone в 1827 г. (Bowers, 2001). При нормальном слухе костно-проведенные звуки латерализуются в ухо, которое obturировано.

Рассмотрим пример, когда пациент отмечает нормальный слух в правом ухе и полную глухоту в левом. Устанавливаем камертон частотой 256 Гц на свод черепа и просим пациента указать, где он слышит звук, справа, слева или по центру. Если пациент аггравирован, он скажет, что слышит звук справа. Затем исследователь предупреждает пациента, что закроет правое ухо, и надавливает на козелок ушной раковины справа. Пациент, слыша звук справа, считает ситуацию необычной и говорит, что не слышит звука. Данный тест не нашел широкого применения для подтверждения симуляции.

1.2. КОНДУКТИВНАЯ ТУГОУХОСТЬ

Опыт Wollaston. Wollaston отметил, что низкочастотное снижение слуха характерно для кондуктивной тугоухости, а высокочастотное — для сенсоневральной тугоухости. Однако, несмотря на некоторую справедливость данного заключения, следует помнить и об исключениях. В частности, низкочастотное сенсоневральное снижение слуха имеет место при эндолимфатическом гидропсе, а высокочастотное кондуктивное — при разрыве цепи слуховых косточек.

Опыт Швабаха (тест Carivacci–Schmalz–Schwabach). Характерной для кондуктивной тугоухости является способность пациента слышать костно-проведенные звуки. Данный факт получил название «феномен Ingrasia» (итальянский профессор анатомии Giovanni Philipo Ingrasia, XV в.). Однако феномен был впервые описан Cardano (1550) (итальянский математик, философ и врач). Реально в клинической практике феномен впервые был использован Carivacci (Ellsperman, Nairn, Stucken, 2021). Опыт Швабаха (1885) заключается в измерении порога слышимости (ПС) на костно-проведенные звуки в необтурированном ухе (относительное костное проведение). Опыт был также описан Schmalz в 1846 г. В нем проводится сравнение способности пациента слышать звучащий камертон, установленный на кости, с показателями нормального слуха (Huizing, 1975b).

Ножка звучащего камертона устанавливается на сосцевидном отростке, пациент инструктируется отметить, когда он перестанет слышать звук. После прекращения восприятия звука пациентом ножка камертона устанавливается на сосцевидный отросток нормально слышащего человека. Обычно исследователь проводит сравнение между восприятием пациента и своим собственным восприятием (слух исследователя принимается за норму). Если исследователь продолжает слышать звук после того, как пациент его не слышит, опыт Швабаха считается укороченным. Как правило, это имеет место при сенсоневральном снижении слуха. При кондуктивной тугоухости пациент слышит звук дольше, чем исследователь. Разновидностью опыта Швабаха является сравнение длительности восприятия звука камертона по воздуху и по кости. При кондуктивной тугоухости после прекращения восприятия звука по воздуху пациент продолжает слышать его при установке камертона на сосцевидном отростке (Girgis, Shambaugh, 1980). Учитывая отсутствие эффекта ослабления при проведении звука по костям к обоим ушам, рекомендуется производить маскировку неисследуемого уха трещоткой Барани. Хотя механизм костного звукопроведения достаточно сложен, удлиненный опыт Швабаха при кондуктивной тугоухости может быть обусловлен исключением маскирующего эффекта окружающего шума, присутствующего в обычных клинических условиях.

С целью минимизации эффекта адаптации рекомендуется время от времени приподнимать и вновь устанавливать на сосцевидном отростке ножку звучащего камертона.

Опыт Poteroy. Опыт заключается в измерении порогов костно-проведенных звуков в обтурированном ухе (абсолютное костное проведение). Опыт проводится аналогично опыту Швабаха. Отличие заключается только в том, что исследуемое

ухо obtурируется нажатием на козелок. Таким образом создается модель кондуктивной тугоухости и исключается эффект окружающего шума.

1.3. СРАВНЕНИЕ ВОЗДУШНО- И КОСТНО-ПРОВЕДЕННЫХ ЗВУКОВ

К данной группе тестов относятся опыты Бинга, Ринне, Льюиса и Федеричи.

Опыт Бинга (Bing), или окклюзионный тест, заключается в сравнении костно-проведенных звуков в открытом и obtурированном ухе у одного и того же испытуемого. Bing (1891) первым предложил использовать опыт для диагностики нарушения слуха, хотя феномен, на использовании которого основан тест, был известен и Rinne (Huizing, 1975a, b).

Феномен, заключающийся в том, что костно-проведенные звуки воспринимаются как более громкие при obtурации ипсилатерального наружного слухового прохода, был описан Wheatstone в 1827 г. Феномен обусловлен прежде всего исключением нормального эффекта фильтрации низкочастотных составляющих сигнала, за которую ответствен открытый слуховой проход (Stankiewicz, Mowty, 1979).

Опыт может проводиться на основании сравнения громкости или порогов. В обоих случаях ножка звучащего камертона устанавливается на сосцевидном отростке. После того как исследователь убедится, что пациент слышит звук, наружный слуховой проход на этой стороне obtурируется путем надавливания на козелок ушной раковины. Пациент должен определить, стал звук громче, тише или не изменил интенсивности. Если пациент отмечает, что звук стал громче, опыт Бинга считается положительным. Остальные результаты считаются отрицательными. Положительный опыт Бинга имеет место при нормальном механизме звукопроведения. При нарушении звукопроведения, например при кондуктивной тугоухости, опыт будет отрицательным.

При использовании метода сравнения порогов ножка камертона попеременно устанавливается на сосцевидном отростке до полного исчезновения восприятия звука. После этого слуховой проход obtурируется, и пациент вновь указывает на наличие или отсутствие звука.

При сравнении громкости было продемонстрировано, что опыт Бинга позволяет определять кондуктивное снижение слуха, равное 9 дБ или более, на частоте 512 Гц.

Опыт Ринне (тест Polansky–Rinne). Этот, пожалуй, наиболее известный камертональный тест используется для дифференциации кондуктивного и сенсоневрального поражения. Rinne подробно описал опыт в 1855 г., однако Huizing (1975) считает, что принципы опыта впервые были описаны австрийским отологом Polansky (1842). Подробное описание теста и истории его внедрения приводится в работах Chole, Cook (1988), Naughton, Pearce (1982), Huizing (1975a).

В опыте проводится сравнение способности пациента слышать воздушно- и костнопроведенные звуки. При нормальном слухе и сенсоневральной тугоухости первый показатель выше (опыт Ринне положительный, или R+), при кондуктивной патологии наблюдается обратная картина (опыт Ринне отрицательный, или R-). Это может быть обусловлено как тем, что звуки воспринимаются противоположным ухом [при выраженном снижении слуха или полной глухоте в тестируемом ухе (ТУ)], так и выраженным повреждением звукопроводящей системы в ТУ (более 15–20 дБ). Дифференцировать обе ситуации можно при использовании трещотки Барани на стороне, противоположной исследуемому уху.

Контралатеральную маскировку рекомендуется использовать и при наличии отрицательного результата с обеих сторон, так как подобная ситуация возможна при чистой кондуктивной тугоухости с одной стороны и тотальной сенсоневральной глухоте — с другой.

При односторонней тугоухости и отрицательном опыте Ринне направление латерализации звука при опыте Вебера (см. ниже) указывает на природу тугоухости.

Точность опыта снижается при использовании камертонов с более высокой частотой (выше 512 Гц).

Опыт Льюиса (*тест Lewis*). Ножка камертона устанавливается на задний корень скулового отростка височной кости, а затем — на ипсилатеральный козелок. Автор считал, что звук остается при этом слышимым при всех формах сенсоневральной и кондуктивной тугоухости, за исключением анкилоза стремени. По сравнению с опытом Ринне опыт Льюиса считается менее чувствительным.

Опыт Федеричи (*Federici*). Ножку звучащего камертона попеременно плотно приставляют к козелку ушной раковины, осторожно вдавливая его в наружный слуховой проход, и к сосцевидному отростку. Пациент должен ответить, где он громче слышит звучащий камертон. В норме и при сенсоневральной тугоухости громче воспринимается звук с козелка (опыт Федеричи положительный, или $F+$), при нарушении звукопроводения более громким воспринимается звук с сосцевидного отростка (опыт Федеричи отрицательный, или $F-$).

Опыт Вебера (*тест Schmalz-Weber*). Автором данного опыта считается Weber. Однако, по данным Huizing (1973), он в своей книге (1834) описал лишь феномен окклюзии и латерализацию в сторону окклюзии, не указывая, каким образом феномен латерализации может быть использован для дифференциации сенсоневрального и кондуктивного поражения. На самом же деле приоритет в открытии как эффекта окклюзии, так и феномена латерализации принадлежит Wheatstone (1827). Впервые же в клинической практике оба феномена были использованы Schmalz (1846).

Данный опыт наиболее информативен при одностороннем снижении слуха. Камертон ставится на темя по средней линии головы. При кондуктивной тугоухости звук громче воспринимается в хуже слышащем ухе, при сенсоневральной — в лучше слышащем. Опыт следует использовать в сочетании с другими тестами исследования слуха (Miltenburg, 1994).

Опыт Желле (*тест Gelle*). Опыт основан на феномене, впервые описанном Wheatstone (1827). Значение отсутствия этого феномена впервые было описано французским отологом Gelle (1881). Он заключается в снижении громкости костно-проведенного звука при повышении давления в ипсилатеральном наружном слуховом проходе. Этот эффект имеет место у людей с нормальным механизмом костного звукопроводения. Феномен отсутствует у больных с анкилозом стремени.

Несмотря на множество перечисленных камертональных тестов, следует иметь в виду, что в повседневной практике для дифференциальной диагностики кондуктивной и сенсоневральной тугоухости достаточно применять четыре весьма простых теста — Федеричи, Ринне, Бинга и Вебера. Для их выполнения необходим низкочастотный камертон C_{256} (допустимо также использование камертона C_{128}).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bowers B. «Sir Charles Wheatstone. FRS.1802–1875». History of Technology Series 29. Published by The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom. 256 p.
2. Chole R.A., Cook G.B. The Rinne test for conductive deafness. A critical reappraisal // Arch. Otolaryngol. Head. Neck. Surg. 1988. Vol. 114. P. 399–403.
3. Ellsperman S.E., Nairn E.M., Stucken E.Z. Review of Bone Conduction Hearing Devices // Audiol. Res. 2021. Vol. 11. P. 207–219.
4. Feldmann H. History of the tuning fork. In: invention of the tuning fork, its course in music and natural sciences. Pictures from the history of otorhinolaryngology, presented by instruments from the collection of the Ingolstadt // German Med. History Museum. Laryngorhinootologie. 1997. Vol. 76. P. 116–122.

5. Girgis T., Shambaugh G. Tuning for tests; forgotten art // *Otol. Neurotol.* 1988. Vol. 9. P. 64–69. PMID: 3284374.
6. Haughton P.M., Pearce J.M.S. Observations on the Rinne test // *Lancet.* 1982. Vol. 8276. P. 829–830.
7. Huizing E.H. The early descriptions of the so-called tuning fork tests of Weber and Rinne. I. The «Weber test» and its first description by Schmalz // *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 1973. Vol. 35. N. 5. P. 278–282.
8. Huizing E.H. The early descriptions of the so-called tuning-fork tests of Weber, Rinne, Schwabach, and Bing. The Rhine test and its first description by Polansky // *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 1975a. Vol. 37. P. 88–91.
9. Huizing E.H. The early descriptions of the so-called tuning-fork tests of Weber, Rinne, Schwabach, and Bing. III. The development of the Schwabach and Bing tests // *ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.* 1975b. Vol. 37. P. 92–96.
10. Lewandowsky M. *Handbuch der Neurologie.* Bd 1. Allg. Neurologie 11. Springer, Berlin, 1910. P. 499–502.
11. Liniger C., Albeanu A., Bloise D., Assal J.P. The tuning fork revisited // *Diabet Med.* 1990. Vol. 7. P. 859–864.
12. Miltenburg D.M. The validity of tuning fork tests in diagnosing hearing loss // *J. Otolaryngol.* 1994. Vol. 23. P. 254–259.
13. Ng M., Jackler R.K. Early history of tuning-fork tests // *Am. J. Otol.* 1993. Vol. 14. P. 100–105.
14. Stankiewicz J., Mowroy H. Clinical accuracy of tuning fork tests // *Laryngoscope.* 1979. Vol. 89. P. 1956–1963.

Глава 2

Тональная пороговая аудиометрия

Основным предназначением клинической аудиометрии является обеспечение количественной оценки качественными данными, полученными при проведении основных клинических тестов.

Частота и интенсивность. Человеческое ухо воспринимает частоты от 20 до 20 000 Гц. При этом только частоты в диапазоне от 300 до 3000 Гц имеют принципиальное значение для восприятия речи.

Пороги на чистые тоны исследуются, как правило, в октавных интервалах на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. При наличии тугоухости слух также исследуется в полуоктавных интервалах на частотах 750, 1500, 3000 и 6000 Гц. Частоты 3000 и 6000 Гц рекомендуется включать в протокол стандартного аудиометрического исследования.

Интенсивность измеряется в децибелах (дБ). Технически децибел означает логарифмическое соотношение двух величин давления или мощности (см. том 1, главу 1). Ухо воспринимает чрезвычайно широкий диапазон изменений давления, поэтому использование логарифмической шкалы (в частности, децибелов) позволяет привести цифровые значения к меньшим величинам (Berlin, 1967).

Говоря об интенсивности, следует понимать, что децибел является величиной, измеряемой относительно определенного уровня. В аудиометрических исследованиях используются три референтных уровня: уровень звукового давления (УЗД), ПС, порог чувствительности (ПЧ). Дополнительный четвертый уровень — уровень относительно нормального порога слышимости (нПС) — используется для отображения интенсивности коротких акустических стимулов при регистрации слуховых вызванных потенциалов (СВП).

дБ УЗД означает измерение относительно абсолютного уровня давления в децибелах, соответствующего $0,000204 \text{ дин/см}^2$. Поэтому 0 дБ УЗД соответствует давлению $0,000204 \text{ дин/см}^2$, а 10 и 20 дБ УЗД соответствуют 10 и 20 дБ над уровнем $0,000204 \text{ дин/см}^2$. Учитывая то, что дБ УЗД является физическим измерением, эта величина не подвержена влиянию частоты звука.

дБ ПС рассматривается относительно усредненной слуховой чувствительности. Ухо неодинаково чувствительно к различным частотам на одной и той же интенсивности, а изменяется как функция частоты звука. Поэтому 0 дБ ПС отражает дБ УЗД, необходимый для достижения пороговой чувствительности усредненного нормального

уха на каждой частоте. Аудиометры калиброваны в дБ ПС, поэтому любая величина в децибелах над 0 дБ ПС отражает отклонение от нормальных порогов слышимости. Например, 25 дБ ПС соответствует 25 дБ над нормальными порогоми слышимости на данной частоте.

дБ ПЧ используется для выражения интенсивности стимула относительно порогов слышимости пациента. Так, если у пациента порог соответствует 45 дБ ПС, стимул 20 дБ УЗД будет соответствовать 20 дБ над уровнем в 45 дБ ПЧ, то есть 65 дБ ПС.

дБ нПС используется для выражения интенсивности стимула относительно нормальных порогов слышимости коротких сигналов (акустических щелчков, тональных посылок).

дБ рПС (estimated Hearing Level – eHL) – расчетный поведенческий порог слышимости – определяется по электрофизиологическим порогам с внесением коррекционного фактора. Одним из факторов, лежащих в основе различий между расчетными поведенческими порогоми слышимости и электрофизиологическими порогоми, является временная интеграция коротких (используемых при электрофизиологических исследованиях) и длинных (используемых при поведенческих исследованиях) акустических стимулов. Длительные тональные стимулы сопровождаются большей временной интеграцией, повышающей воспринимаемую интенсивность стимула и понижающей порог слышимости (в соответствии с моделью Zwislocki порог слышимости понижается на 3 дБ при увеличении длительности стимула в 2 раза до достижения величины 500 мс).

Функция частоты и интенсивности человеческого уха. Ухо воспринимает различные абсолютные интенсивности, или УЗД, как функцию частоты. Иными словами, для достижения порога восприятия на разных частотах необходимы различные УЗД. На рис. 2.1 представлена функция пороговой чувствительности нормального уха.

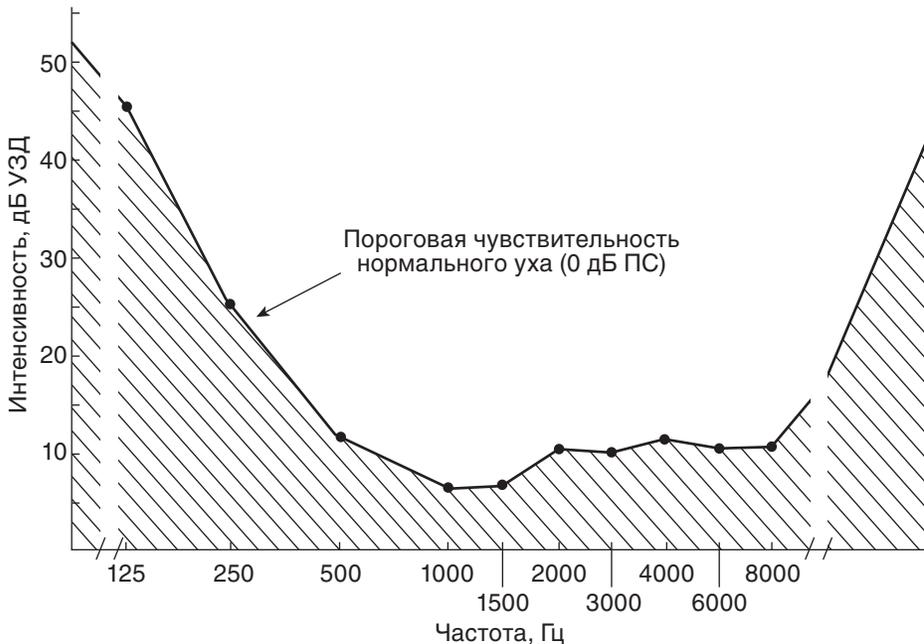


Рис. 2.1. Пороговая чувствительность нормального уха как функция частоты. ПС — порог слышимости; УЗД — уровень звукового давления

Как следует из рис. 2.1, ухо наиболее чувствительно в области 1000–1500 Гц; это означает, что на данных частотах требуется меньше энергии для того, чтобы звук стал слышен. Учитывая, что аудиометры калиброваны в дБ ПС, нет никакой необходимости иметь информацию об абсолютном различии дБ УЗД/дБ ПС на каждой частоте. Поэтому имеющиеся различия в дБ УЗД/ПС автоматически корректируются аудиометром.

Тональная пороговая аудиометрия осуществляется при помощи аудиометров, которые производятся многими фирмами и отличаются друг от друга как по функциональным возможностям, так и по возможностям управления. В них предусмотрен набор частот 125, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 и 8000 Гц (в некоторых аудиометрах дополнительно введены частоты 10 000, 12 000, 16 000, 18 000 и 20 000 Гц и имеется возможность переключения частот шагом 67,5 Гц). Стимулом является чистый тон (или узкополосный шум). Переключение интенсивности подаваемых стимулов производится шагом 5 дБ от 0 дБ ПС до 110 дБ ПС (в некоторых аудиометрах до 120 дБ). Имеются аудиометры, обеспечивающие и возможность переключения интенсивностей шагом 1 и 2 дБ. Однако во все аудиометры введено ограничение интенсивности на выходе на трех частотах: 125; 250 и 8000 Гц. Аудиометры оснащены оголовьем с двумя воздушными телефонами (некоторые аудиометры укомплектованы внутриушным телефоном), костным вибратором для исследования костного звукопроведения, кнопкой для пациента, микрофоном и имеют низкочастотный вход для подключения магнитофона (или проигрывателя компакт-дисков) для проведения речевой аудиометрии.

Условия, необходимые для проведения тестов: в идеале проведение аудиометрии требует специального звукозаглушенного помещения. В случае, когда исследование проводится в условиях, не соответствующих требованиям, аудиометрист должен помнить, что окружающий шум может оказывать влияние на результаты аудиометрии, выражающиеся в повышении определяемых порогов слышимости.

Существует два пути решения проблемы уменьшения окружающего шума: использование звукозаглушенных камер, а также специальных амбушюров или внутриушных телефонов. Внутриушные телефоны были разработаны для повышения точности аудиометрических исследований. Применение внутриушных телефонов обеспечивает существенные преимущества: окружающий шум снижается на 30–40 дБ (Killion et al., 1985); повышается комфорт пациента; снижается необходимость в использовании маскирующего шума за счет увеличения междушного ослабления до 70–100 дБ; повышается степень повторяемости результатов тестирования; исключается возможность коллапса наружного слухового прохода, что принципиально важно при исследовании слуха у новорожденных.

Тональная пороговая аудиометрия проводится для измерения порогов на воздушно- и костно-проведенные звуки, что позволяет определить степень и тип снижения слуха.

2.1. ВОЗДУШНОЕ ЗВУКОПРОВЕДЕНИЕ

Получение надежных и точных данных тональной пороговой аудиометрии имеет принципиальное значение для диагностической аудиологии. При проведении тестирования должны учитываться факторы, которые могут оказывать влияние на результаты, такие как история болезни, условия проведения тестирования, положение испытуемого, расположение телефонов, выбор уха, отоскопия, последовательность используемых частот, процедура определения порогов, ложноположительные и ложноотрицательные результаты и др.

Порогом считается наименьшая интенсивность, воспринимаемая испытуемым в 50% предъявлений. Исследование начинается с лучше слышащего уха. Если

испытуемый не может определить, какое ухо слышит лучше, обычно исследование начинают с правого уха.

Рекомендуется начинать определение порогов на частоте 1000 Гц, к которой ухо человека наиболее чувствительно. Кроме того, данная частота менее подвержена воздействию окружающего и физиологического шума, в отличие от низких частот, а соотношение длины волны и наружного слухового прохода способствует оптимальной повторяемости тестов по сравнению с высокими частотами. После определения порога на частоте 1000 Гц определяются пороги на высоких частотах шагом в октаву (2000, 4000, 8000 Гц). Дополнительно исследуются пороги на частотах 3000 и 6000 Гц (особенно при наличии снижения слуха на одной из исследуемых частот на 20 дБ). После определения порога на частоте 8000 Гц вновь тестируется порог на частоте 1000 Гц, а далее — на частотах 500, 250 и 125 Гц.

В основе методики определения порогов по **воздушному звукопроведению** лежит предъявление чистого тона одной частоты при каждом исследовании, начиная с интенсивности, легко идентифицируемой испытуемым. Постепенно снижается уровень интенсивности стимуляции (нисходящая методика) шагом 10 дБ до исчезновения его восприятия. Уровень интенсивности затем повышается шагом 5 дБ до возникновения слухового ощущения (восходящая техника).

Следует отметить, что как нисходящая, так и восходящая методики имеют существенные недостатки. При нисходящей методике результаты во многом зависят от желания испытуемого услышать звук и, соответственно, ответить положительно даже при отсутствии звука (ложноположительные ответы). При восходящей методике, наоборот, испытуемый не реагирует на присутствующие звуки (ложноотрицательные ответы). Исходя из этого, использование только данных методик приводит к высокой вариабельности между тестами и некорректным результатам.

2.2. КОСТНОЕ ЗВУКОПРОВЕДЕНИЕ

Сравнение порогов на воздушно- и костно-проведенные звуки обеспечивает информацию о форме тугоухости. При использовании костного звукопроведения звуки распространяются, минуя среднее ухо (исключается кондуктивный компонент), что позволяет изолированно оценить сенсоневральный компонент снижения слуха. Разница между пороговыми значениями на костно- и воздушно-проведенные звуки отражает величину кондуктивного компонента тугоухости.

Вместо воздушных телефонов при исследовании используется костный вибратор, устанавливаемый на сосцевидном отростке.

Виды костного звукопроведения. Сигналы от костного вибратора приводят кости черепа в движение, в результате чего стимулируются оба уха, а ответ отражает чувствительность лучше слышащего уха. При определении порогов на костно-проведенные звуки важно помнить о необходимости маскировки неисследуемого уха.

Распространение вибраций через кости черепа запускает сложный механизм, включающий инерционную, оссеотимпаническую стимуляцию, а также компрессионный компонент и искажения.

Оссеотимпанический вид костного звукопроведения. Благодаря инерционным свойствам костей черепа последние начинают вибрировать при использовании костно-проведенных звуков. При движениях нижней челюсти деформируется хрящевая часть наружного слухового прохода и сжимается воздух в проходе. Таким образом, вибрации костей черепа направляются в слуховой проход и далее к улитке тем же путем, что и при использовании воздушно-проведенных звуков.

Инерционный вид костного звукопроведения. При использовании костно-проведенных звуков за счет отсутствия жесткого соединения между слуховыми косточками последние движутся с отставанием по отношению к костям черепа. Это