ИЗДАТЕЛЬСТВО
Диалог

**М.Ю. Бобошко, И.В. Савенко, Е.С. Гарбарук,
С.Г. Журавский, Н.В. Мальцева, И.П. Бердникова**

ПРАКТИЧЕСКАЯ СУРДОЛОГИЯ

**Санкт-Петербург
2021**

УДК 616.28-085
ББК 56.83

ISBN 978-5-8469-0154-4

Рецензент:
доктор медицинских наук, профессор Г.А. Таварткиладзе

Практическая сурдология. М.Ю. Бобошко, И.В. Савенко, Е.С. Гарбарук, С.Г. Журавский, Н.В. Мальцева, И.П. Бердникова. – СПб.: Диалог, 2021. – 420 с.

В руководстве изложены основные сведения по специальности «Сурдология-оториноларингология». Обобщен опыт работы сотрудников лаборатории слуха и речи с сурдологопедическим кабинетом ПСПбГМУ им. И.П. Павлова, представлены современные научные данные по диагностике и коррекции нарушений слуха.

Издание предназначено для врачей сурдологов-оториноларингологов, оториноларингологов, врачей общей практики, аудиологов, слухопротезистов, учителей-дефектологов, логопедов, специалистов системы комплексной реабилитации инвалидов и ранней помощи. Пособие может быть также использовано при проведении практических занятий и лекций для студентов по курсу оториноларингологии и для врачей, обучающихся сурдологии-оториноларингологии в рамках послевузовского образования.

ISBN 978-5-8469-0154-4

© М.Ю. Бобошко, И.В. Савенко, Е.С. Гарбарук,
С.Г. Журавский, Н.В. Мальцева, И.П. Бердникова
© «Диалог», 2021

АВТОРЫ

БОБОШКО Мария Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор, зав. лабораторией слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, профессор кафедры оториноларингологии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова МЗ РФ

САВЕНКО Ирина Владимировна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России

ГАРБАРУК Екатерина Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, старший научный сотрудник НИЦ ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ

ЖУРАВСКИЙ Сергей Григорьевич – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России

МАЛЬЦЕВА Наталия Васильевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России

БЕРДНИКОВА Ирина Петровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории слуха и речи НИЦ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 10
ВВЕДЕНИЕ 12
БЛАГОДАРНОСТИ 13

ГЛАВА 1
ОСНОВЫ АКУСТИКИ 14

ГЛАВА 2
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ 24

2.1. Анатомия слуховой системы 24
2.1.1. Анатомия наружного и среднего уха 25
2.1.2. Анатомия внутреннего уха 30
2.1.3. Анатомия центральных отделов слуховой системы . 36

2.2. Основные функции слуховой системы 43
2.2.1. Звукопроведение 44
2.2.2. Звуковосприятие 48
Электрофизиология улитки и слуховых проводящих путей 48
Теории слуха 52
Центральная слуховая обработка 57
2.2.3. Физиологические основы реализации функций слуховой системы. 62
2.2.4. Значение слуха в жизни человека 69

ГЛАВА 3
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В СУРДОЛОГИИ 72

3.1. Психоакустические (субъективные) методы исследования . . . 72
3.1.1. Акуметрия (обследование по схеме слухового паспорта) 72

3.1.2. Тональная пороговая аудиометрия 76
3.1.3. Надпороговые тесты 85
3.1.4. Шумометрия 88
3.1.5. Речевая аудиометрия 91

3.2. Объективные методы исследования 100
3.2.1. Импедансометрия 101
3.2.2. Регистрация отоакустической эмиссии 115
3.2.3. Регистрация слуховых вызванных потенциалов . . .122
3.2.4. Лучевые методы исследования 147

3.3. Аудиологическая диагностика центральных слуховых расстройств 156

3.4. Оценка состояния слуховых труб 172

3.5. Обследование при аггравации, симуляции, диссимуляции тугоухости 180

3.6. Особенности аудиологического обследования детей, оценка речевого развития 185

ГЛАВА 4
ЗАБОЛЕВАНИЯ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ 191

4.1. Сенсоневральная тугоухость 193
4.1.1. Острая сенсоневральная тугоухость. 194
4.1.2. Хроническая сенсоневральная тугоухость у взрослых 202
4.1.3. Сенсоневральная тугоухость у детей 215
4.1.4. Генетически детерминированные формы хронической сенсоневральной тугоухости 220
4.1.5. Аудиторная нейропатия 229
4.1.6. Скрытая тугоухость 242

4.1.7. Акустическая невринома 246
4.2. Центральные слуховые расстройства 249

4.3. Кохлеовестибулярные расстройства. Лабиринтопатии 255
4.3.1. Болезнь Меньера 255
4.3.2. Синдром третьего окна 263
4.3.3. Перилимфатические фистулы 267

4.4. Дисфункции слуховых труб. 272

4.5. Экссудативный средний отит 282

4.6. Адгезивный средний отит. Тимпаносклероз.
Ретракционные карманы барабанной перепонки 296

4.7. Отосклероз 303

4.8. Шум в ушах, тиннитус 314

4.9. Дифференциальная и топическая диагностика
слуховых расстройств 333

ГЛАВА 5
РЕАБИЛИТАЦИЯ ПРИ НАРУШЕНИЯХ СЛУХА 337

5.1. Слухопротезирование съемными слуховыми аппаратами . . .338
5.1.1. Показания к слухопротезированию 338
5.1.2. Классификация слуховых аппаратов 341
5.1.3. Основные конструктивные узлы
слухового аппарата. 345
5.1.4. Технологические особенности и способы
настройки слуховых аппаратов 352
5.1.5. Этапы слухопротезирования 358

5.1.6. Бинауральное слухопротезирование 363
5.1.7. Слухопротезирование при выраженной
асимметрии слуха, односторонней глухоте 365
5.1.8. Дополнительные опции слуховых аппаратов
для пациентов с ушным шумом 367
5.1.9. Рекомендации по адаптации
к слуховому аппарату 369
5.1.10. Звукоусиливающие устройства, другие технические
средства реабилитации 371

5.2. Имплантационное слухопротезирование 374
5.2.1. Применение имплантов костной проводимости . . .375
5.2.2. Применение имплантов среднего уха 376
5.2.3. Кохлеарная имплантация 378
5.2.4. Слуховая стволомозговая имплантация 387

5.3. Оценка эффективности слухопротезирования 389

5.4. Особенности (ре)абилитации детей
с нарушениями слуха 391

5.5. Сурдопедагогическая и социальная реабилитация 394

ПРИЛОЖЕНИЯ 400
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 409

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 415

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АН – аудиторная нейропатия
АР – акустический рефлекс
АЧХ – амплитудно-частотные характеристики
БМ – болезнь Меньера
дБ нПС (dB HL) – децибел относительно нормального порога слышимости
дБ УЗД (dB SPL) – децибел относительно исходного уровня звукового давления
ВВК – внутренние волосковые клетки
ВМП – высокотехнологичная медицинская помощь
ВНЧС – височно-нижнечелюстной сустав
ДСВП–длиннолатентные слуховые вызванные потенциалы
ЗВОАЭ – задержанная вызванная отоакустическая эмиссия
ИПРА – индивидуальная программа реабилитации или абилитации
КВИ – костно-воздушный интервал
КИ – кохлеарный имплант
КЛКТ – конусно-лучевая компьютерная томография
КСВП – коротколатентные слуховые вызванные потенциалы
КТ – компьютерная томография
ЛП – латентный период
МП – микрофонный потенциал
МРТ – магнитно-резонансная томография
МСКТ – мультиспиральная компьютерная томография
НВК – наружные волосковые клетки
НСП – наружный слуховой проход
ОАЭ – отоакустическая эмиссия
ОАЭПИ – отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения
ПД – потенциал действия слухового нерва
ПК – полукружный канал
ПЛФ – перилимфатическая фистула
ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография
СА – слуховой аппарат
СВП – слуховые вызванные потенциалы
СМСИ – стволомозговой слуховой имплант

СН – слуховой нерв
СНТ – сенсоневральная тугоухость
СОАЭ – спонтанная отоакустическая эмиссия
ССВП – среднелатентные слуховые вызванные потенциалы
СП – суммационный потенциал
УЗДГ – ультразвуковая допплерография
УЗДС – ультразвуковое дуплексное сканирование
ФУНГ – феномен ускоренного нарастания громкости *(loudness recruitment)*
ХСНТ – хроническая сенсоневральная тугоухость
ЦНС – центральная нервная система
ЦСР – центральные слуховые расстройства
ЧБР – тестирование чередующейся бинаурально речью
ЭЭГ – электроэнцефалография
ЭКоГ – электрокохлеография
ЭСО – экссудативный средний отит
AD – auris dextra – правое ухо
AS – auris sinistra – левое ухо
ASSR – auditory steady state response – стационарные слуховые вызванные потенциалы
dB eHL – estimated hearing level – расчетный порог слуха
DPT – Duration Pattern Test – тест распознавания последовательности звуков, различающихся по длительности
FPT – Frequency Pattern Test – тест распознавания последовательности звуков, различающихся по частоте
MMN – mismatch negativity – потенциал негативности рассогласования
P_{300} – когнитивный вызванный потенциал
RGDT – Random Gap Detection Test – тест обнаружения паузы
RuMatrix – Russian matrix sentence test – русский матриксный фразовый тест
SISI-тест – Short Increment Sensitivity Index – определение индекса чувствительности к малым приращениям интенсивности звука
SNR – signal-to-noise ratio – отношение сигнал/шум (дБ)
SRT – speech recognition threshold – пороговый уровень разборчивости речи – минимальный уровень речевого сигнала (или отношения «сигнал/шум»), при котором показатель разборчивости речи равен 50%

ВВЕДЕНИЕ

Сурдология-оториноларингология была введена в номенклатуру врачебных специальностей Приказом МЗ РФ от 10.09.1996 года. Освоение этой дисциплины предполагается, главным образом, в рамках послевузовского образования врачей оториноларингологов, однако ее основы излагаются также студентам и клиническим ординаторам на практических занятиях и лекциях по оториноларингологии.

Термин *«Сурдология»* происходит от латинского слова surdus (глухой) или surditas (глухота). В задачи этого раздела оториноларингологии входят различные аспекты диагностики, лечения и коррекции слуховых и сопутствующих им речевых расстройств. Сурдологию рассматривают также как составную часть *клинической аудиологии* (название аудиология происходит от латинского слова auditus – слух) – дисциплины, которая изучает более широкий спектр вопросов, касающихся нарушений слуха.

Особенностью сурдологии-оториноларингологии является ее социальная направленность. Люди со сниженным слухом, как правило, не считают себя больными в обычном понимании этого слова, однако последствия пренебрежительного отношения к дефекту слуха могут быть весьма печальными, особенно у детей. На фоне тугоухости существенно снижаются возможности речевого общения, а также общий уровень социального благополучия и качества жизни, могут развиваться нарушения когнитивной (познавательной) и эмоциональной сферы. Доказано, что пожилые люди с некомпенсированной тугоухостью достоверно чаще подвержены деменции. Поэтому чем раньше установлен диагноз тугоухости и начата программа реабилитации, тем выше будет ее эффективность. Важным элементом работы сурдолога является выявление слуховых расстройств, а также своевременное назначение лечебных и реабилитационных мероприятий, что нередко требует серьезной психологической подготовки пациентов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Самые искренние слова благодарности – сотрудникам сурдологопедического кабинета: зав. сурдологопедическим кабинетом ***Татьяне Валентиновне Квасовой***; врачам сурдологам-оториноларингологам, кандидатам медицинских наук ***Татьяне Аркадьевне Журавлевой***, ***Софье Модестовне Вихниной***, ***Алексею Александровичу Паневину***; врачу неврологу, кандидату медицинских наук ***Вере Геннадьевне Белинской***; сурдопедагогам, логопедам ***Лидии Гавриловне Ломоватской, Наталье Павловне Слесаренко*** и ***Юлии Сергеевне Кибаловой***; инженерам ***Гаянэ Шаликовне Солдатовой*** и ***Алексею Юрьевичу Сергееву*** за дружескую поддержку и ценные советы в процессе работы над книгой.

Самые теплые слова благодарности хочется также сказать доктору медицинских наук, профессору кафедры оториноларингологии ПСПбГМУ им. И.П. Павлова ***Анне Анатольевне Зубаревой*** за помощь в подготовке раздела о лучевых методах исследования.

Сердечное спасибо доктору медицинских наук, профессору ***Галине Владимировне Лавреновой*** – издателю книги.

ГЛАВА 1
ОСНОВЫ АКУСТИКИ

Адекватным раздражителем для уха является звук (звуковое давление). Звук представляет собой волну, или переменное возмущение, распространяющееся в упругой среде. Формируют звуковые (акустические) волны периодические колебательные движения частиц среды. Пространство, в котором происходит распространение акустических волн, *называется звуковым полем*.

В отношении звуковых волн справедливы все *закономерности волнового процесса*. Волны, в которых колебание происходит перпендикулярно к направлению распространения волны, называются *поперечными*. Если колебание происходит по направлению распространения волны, то такие волны называются *продольными*. Звуковые волны в жидкой и газовой среде имеют, как правило, продольное распространение, а в твердых средах (в частности, костях) оно может быть как продольным, так и поперечным.

Самое простое колебание – это гармоническое, или синусоидальное, колебание (рис. 1.1). Такими колебаниями являются простые звуки (тоны).

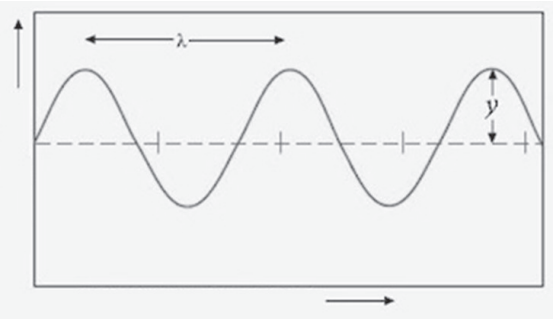

Рис. 1.1. Простое синусоидальное колебание: λ – длина волны, y – амплитуда. По оси *абсцисс* – время распространения звуковой волны, по оси *ординат* – амплитуда звуковой волны.

Простые звуки характеризуются такими основными параметрами, как *период (T), частота (f), длина волны (λ), фаза и амплитуда*. Время, за которое происходит одно колебание, называется ***периодом*** (T), число колебаний в одну секунду – ***частотой*** (f). Под ***амплитудой*** понимают абсолютную величину смещения сигнала от его среднего значения (изоэлектрического уровня) до максимального. Понятие ***фазы*** введено для описания относительных временных свойств двух звуковых волн (или разных частей одной волны): фазой называют положение звуковой волны по отношению к началу колебания. За один полный цикл звуковой волны принят цикл, в котором начало соответствует 0^0, первый пик – 90^0, первая точка пересечения с изоэлектрической линией – 180^0, пик разрежения – 270^0, вторая точка пересечения с изолинией – 360^0. Таким образом, любую часть полного цикла звуковой волны можно выразить в градусах от 0^0 до 360^0. Звуковые волны, расходящиеся по фазе на 180^0 (находящиеся в противофазе), нейтрализуют друг друга. Это их свойство используется на практике для нейтрализации нежелательных шумов. ***Длина волны*** – расстояние, на которое перемещается волна за один период. Длина волны *(λ)* и частота *(f)* связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью: $\lambda = c/f$, где c – скорость распространения звука в данной среде.

Звуковые колебания распространяются подобно шару во все стороны и с увеличением квадрата расстояния от их источника затухают за счет проявления акустического сопротивления (импеданса). Скорость распространения звуковых продольных волн в различных средах не одинакова. Прослеживается ее зависимость от плотности, температуры среды, уровня звукового давления, действующего перпендикулярно относительно плоскости движения частиц. Величина такой скорости в воздухе при температуре 0^0 C составляет около 330 м/с; в воде при температуре 25^0 C – 1500 м/с; в тканях человеческого тела – 1530-1600 м/с. При повышении температуры скорость распространения звука растет.

Все звуки делятся на *простые, сложные* (то есть многокомпонентные, в том числе музыкальные) звуки и *шумы*.

Сложные (многокомпонентные) звуки являются комбинацией простых звуков (тонов), но при условии сохранения между ними правильной числовой связи. Поскольку входящие в них тоны, как правило, имеют разную частоту и амплитуду, они могут характеризоваться частотным спектром.

Шум – это беспорядочное сочетание многих колебаний, не связанных между собой никакой зависимостью. ***«Белым» шумом*** называют шум, занимающий весь диапазон воспринимаемых ухом частот с одинаковой ампли-

тудой и спектральной плотностью. Примером белого шума в природе может быть шум дождя, транспортный шум. ***«Розовый» шум*** относится к шумам, в которых преобладают низкие частоты с тенденцией затухания спектральной плотности 3 дБ на октаву. ***«Красный» шум*** схож с розовым шумом, однако его спектральная плотность затухает на 6 дБ на октаву. ***«Синий» шум*** – это шум, спектральная плотность которого увеличивается на 3 дБ на октаву (рис. 1.2). В ***речевом шуме*** огибающая спектра имитирует огибающую спектра речи, который создается при разговоре компании людей. Узкополосный шум, используемый при проведении аудиометрии, представляет собой звук в узком диапазоне частот, близком к частоте исследуемого тонального сигнала.

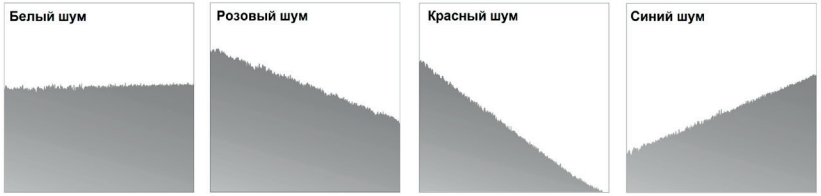

Рис. 1.2. Спектральный состав разных шумов:
По оси абсцисс – частота (Гц), по оси ординат – интенсивность (дБ УЗД)

Как правило, окружающие нас звуки – это сложные многокомпонентные акустические сигналы и шумы. Вместе с тем, *любая комбинация гармонических колебаний может быть по Фурье разложена на отдельные составляющие, суммою которых она является* (рис. 1.3).

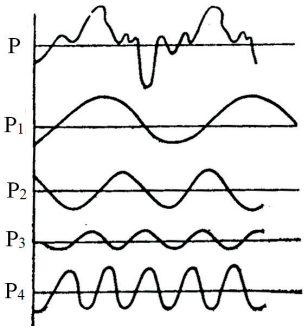

Рис. 1.3. Разложения многокомпонентного звука по Фурье: P – огибающая сложного многокомпонентного сигнала; P_1 – основная гармоника; $P_{2\text{-}4}$ – второй, третий и четвертый обертоны.

Если встречаются две звуковые волны, частоты которых мало отличаются друг от друга, может возникнуть явление, называемое *биением*. В этом случае амплитуда сигнала будет периодически меняться, и на слух он будет восприниматься как *колеблющийся тон.*

Звуковая волна при достаточной интенсивности звука способна приводить в колебание предмет, на который она падает. В результате последний сам становится источником колебаний, то есть создает отраженную звуковую волну. Если падающая и отраженная волны синфазны (имеют один знак в одинаковые моменты времени), то последние складываются; если же волны противофазны (имеют противоположные знаки в одинаковые моменты времени), они вычитаются. В одних точках пространства волны могут складываться, а в других вычитаться. В результате взаимодействия волн образуется сложная пространственная волна, которая называется *стоячей* (рис. 1.4).

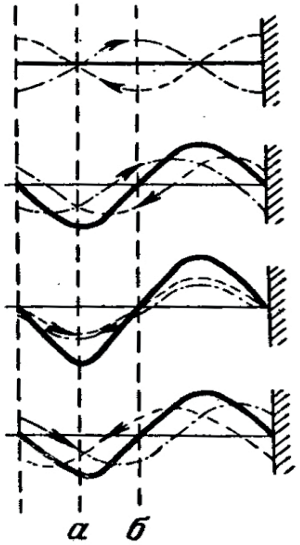

Рис. 1.4. Механизм возникновения стоячей волны:
а – пучность; *б* – узел волны.

При наличии стоячей волны в пространстве формируются области, где волны вычитаются (узлы стоячей волны), и звук не слышен; и области, где волны складываются (пучности), и звук слышен наиболее громко (рис. 1.4).

Каждый предмет имеет собственную частоту свободных колебаний. Если частота звуковой волны совпадает с частотой свободных колебаний предмета, то возникает явление ***резонанса,*** при котором звук усиливается. Вызывающий это явление предмет называется *резонатором*. Падающая на резонатор звуковая волна неизбежно теряет часть своей энергии, которая переходит в тепло. Если резонатор имеет малые потери, то наблюдается *острый резонанс* с большим усилением звука. При больших потерях имеет место *тупой резонанс*, и усиление звука незначительно

Весьма важным понятием в акустике вообще и прикладной физиологической акустике в частности является понятие акустического *сопротивления,* или ***акустического импеданса***. Дело в том, что звук при переходе через границы разных сред (в том числе и биологических тканей) встречается с сопротивлением. В результате интенсивность акустического сигнала падает. Импеданс зависит от физических свойств среды (массы, сопротивления, трения, сжимаемости), а также от частоты колебаний звуковой волны.

В замкнутом помещении формируется многократное отражение звуковой волны, называемое ***реверберацией***. Реверберацию можно усилить или ослабить. Различные интерпретации этого электроакустического феномена используются в аудиологии при исследованиях в свободном звуковом поле.

Явления *акустического импеданса, резонанса, отражения, поглощения, реверберации, дифракции* звука на уровне слуховой системы формируют многие физиологические и психоакустические реакции. При многократном отражении мы слышим с некоторым запаздыванием не прямые звуковые волны, а отраженные. При дифракции имеет место отклонение звуковых волн от прямолинейного распространения (в тех случаях, когда размер препятствия для них невелик в сравнении с длиной волны). Среди показателей указанных явлений в физиологической акустике особое место занимают резонансно-импедансные параметры сигнала. Они определяют не только механизмы звукопроведения на уровне наружного, среднего и внутреннего уха, но и процесс звуковосприятия (см. гл. 2).

Основными акустическими и электроакустическими параметрами в аудиологической практике являются два показателя: *интенсивность и частота звукового сигнала.* ***Интенсивностью*** *(силой) звука* называют количество энергии, проходящей в секунду через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения волны. В системе СИ за такую единицу принят Вт/м^2. Дойдя до барабанной перепонки, звуковая волна оказывает на нее определенное давление. Величиной этого давления, выраженной в барах или паскалях можно также измерить силу звуковой волны. Расчеты интенсивности акустических сигналов проводятся в широком динамическом диапазоне, составляющем в зоне средних частот астрономическую цифру – 10^{13} эрг. ***Порог слышимости*** (минимальная интенсивность, вызывающая ощущение слышимого звука) в области 1000÷4000 Гц равен 0,000204 бара (10^{-9} эрг), а болевой порог (максимальный уровень интенсивности) равен 640 бар (10^4 эрг). Это создает определенные трудности при интерпретации данных. В связи с этим в технике, электроакустике, аудиологии используются чаще *не абсолютные* значения интенсивности, а относительные, характеризующие, насколько определенная интенсивность превышает интенсивность, принятую в качестве стандарта. В качестве относительной единицы используют бел (Б) и **децибел** (**дБ**). Эта относительная единица измерения интенсивности звука была названа в честь изобретателя телефона Александра Белла *(Alexander Graham Bell, 1847-1922).* Количество дБ (N) рассчитывается по формуле:

$$N\ (дБ)=10\ \lg\ (P_1^2/P_0^2),\ или$$
$$N\ (дБ)=20\ \lg\ (P_1/P_0),$$

где P_1 и P_0 – сравниваемые уровни звукового давления.

Минимальное давление, вызывающее едва слышимое (пороговое) слуховое ощущение, различно на разных частотах. В области низких (меньше 500 Гц) и высоких (больше 4000 Гц) оно наибольшее. В области 1000÷4000 Гц это давление наименьшее. За «нулевой» уровень звукового давления (P_0) принята величина, равная 2×10^{-5} Па, что соответствует абсолютному порогу слышимости человека на частоте 1000 Гц. Интенсивность, выраженную в дБ относительно этого нулевого уровня давления, называют уровнем звукового давления (УЗД), или sound power level (SPL).

В аудиологии за точку отсчета чаще принимают среднестатистические данные «*нормальной*» слуховой чувствительности для каждой частоты, так называемые эквивалентные пороговые уровни звукового давления. Полу-

ченные данные легли в основу *«нулевых аудиометрических уровней»*, которые зависят от модели телефона. Эквивалентные пороговые уровни звукового давления для телефонов TDH 39, наиболее часто используемых в клинической практике, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эквивалентные пороговые уровни звукового давления для телефонов TDH 39 (ГОСТ Р ИСО 389-1-2011)

Частота, Гц	Пороговый уровень звукового давления (относительно $2x10^{-5}$Па), дБ
125	45
250	25,5
500	11,5
1000	7
1500	6,5
2000	9
3000	10
4000	9,5
6000	15,5
8000	13

Децибелы, рассчитываемые от «нормального» порога слышимости, маркируются индексом нПС, или HL (hearing level).

Уровни интенсивностей окружающих нас звуков чрезвычайно разнообразны. Так, уровень шепотной речи соответствует 30 дБ УЗД, разговорной – 55-60 дБ УЗД, громкой речи – 65-75 дБ УЗД, шум реактивного двигателя составляет 120-140 дБ УЗД.

Психоакустическим аналогом интенсивности звука является ***громкость***, измеряемая в фонах и сонах. Громкость в фонах устанавливается путем сравнения громкости исследуемого звука с громкостью стандартного тона 1000 Гц, выраженной в дБ. Один сон соответствует 40 фонам. Громкость зависит не только от интенсивности звука, но и от его частоты. Зависимость громкости от частоты представлена на кривых равной громкости (рис. 1.5).

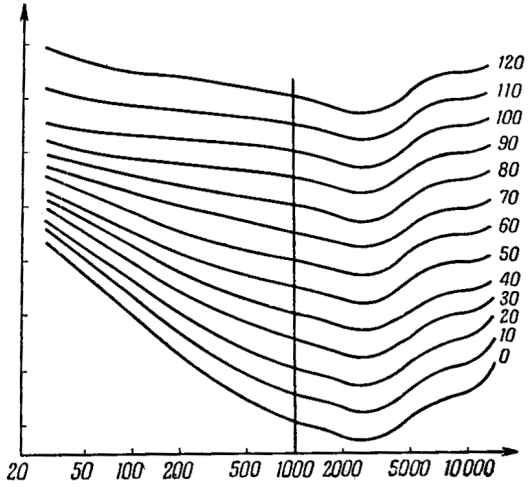

Рис. 1.5. Кривые равной громкости Зависимость уровня громкости от звукового давления и частоты. *По оси абсцисс* – частота (Гц), *по оси ординат* – интенсивность (дБ УЗД).

Низко- и высокочастотные звуки на одном и том же уровне интенсивности ощущаются как менее громкие по сравнению со звуками средних частот. Ярче всего зависимость громкости звука от частоты проявляется на пороговом уровне. С нарастанием громкости ее зависимость от частоты сигнала уменьшается – кривые громкости уплощаются.

Частота звукового сигнала – это количество звуковых колебаний в единицу времени. Единицей измерения частоты в Международной системе единиц (СИ) является ***герц*** (Гц), который соответствует числу колебаний в одну секунду. Эта единица измерения частоты была учреждена в 1930 году; свое название она получила в честь немецкого физика Генриха Герца *(Heinrich Rudolf Hertz, 1857-1894)*. Диапазон частот, воспринимаемых человеческим ухом, лежит в пределах от 16-20 Гц до 20000-22000 Гц. Этот диапазон в аудиологии искусственно делится на три зоны: «низкочастотную»

(до 500 Гц), «среднечастотную» (от 500 до 4000 Гц) и «высокочастотную» (выше 4000 Гц). Ниже области слухового восприятия находятся *инфразвуки*, выше – *ультразвуки.* Зона основных речевых частот лежит в пределах от 500 до 4000 Гц.

Область, заключенная между порогом слышимости и болевым порогом называется слуховым полем человека или областью слухового восприятия (рис. 1.6).

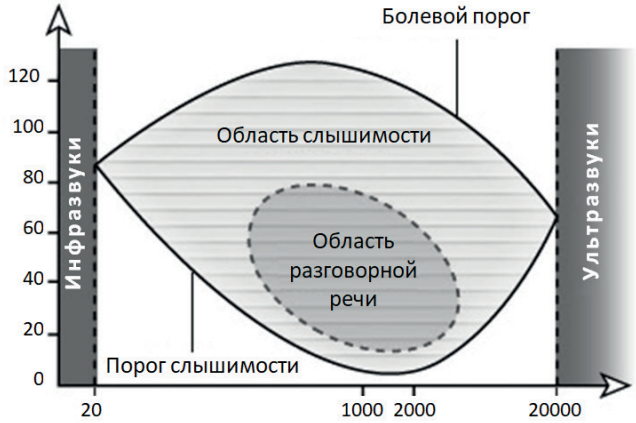

Рис. 1.6. Область слухового восприятия человека. *По оси абсцисс* – частота (Гц), *по оси ординат* – интенсивность (дБ УЗД).

Психоакустическим аналогом частоты звука, измеряемой в герцах, является ***высота,*** которая измеряется в ***мелах***. Тону 1000 Гц интенсивностью 40 дБ над порогом слышимости присвоили высоту 1000 мел. Чем выше частота звука, тем большей высоте он соответствует.

В прошлом для обозначения высоты звука широко использовалась октавная система, которая сохраняет свое значение и в наши дни, главным образом, в музыкальной акустике. ***Октавой*** называют звуковой интервал, в котором соотношение частот между звуками составляет 1:2, то есть повышение тона на октаву означает удвоение его частоты. Область звукового восприятия человека составляет 10,5 октавы. Немецкий ученый Герман Гельмгольц *(Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-1894)* в своей работе «Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для

теории музыки» (1863) предложил оригинальный способ обозначения принадлежности звука той или иной октаве:

C_1 – контроктава (32 Гц)
C – большая октава (64 Гц)
c – малая октава (128 Гц)
c^1 – первая октава (256 Гц)
c^2 – вторая октава (512 Гц)
c^3 – третья октава (1024 Гц)
c^4 – четвертая октава (2048 Гц)
c^5 – пятая октава (4096 Гц)

Обозначения c и c^4 до настоящего времени используются в названиях камертонов, посредством которых осуществляется оценка слуха по схеме слухового паспорта (см. раздел 3.1.1).

Окружающие нас звуки чрезвычайно разнообразны. Они отличаются по частоте, интенсивности, длительности, и сочетаний этих величин может быть бесчисленное множество. В физиологической акустике и аудиологии в качестве акустических стимулов широко используются сигналы, различные по форме колебаний и спектру. К их числу можно отнести: а) простые синусоидальные сигналы; б) многокомпонентные (музыкальные) тональные сигналы; в) короткие (импульсные) акустические щелчки; г) короткие тональные посылки; д) амплитудно-модулированные сигналы; е) частотно-модулированные сигналы; ж) шумовые сигналы.

ГЛАВА 2
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ

В данном разделе кратко изложены базовые данные об анатомо-физиологических особенностях слуховой системы. Эти сведения приведены в справочном формате, так как более подробную информацию можно найти в специальных руководствах.

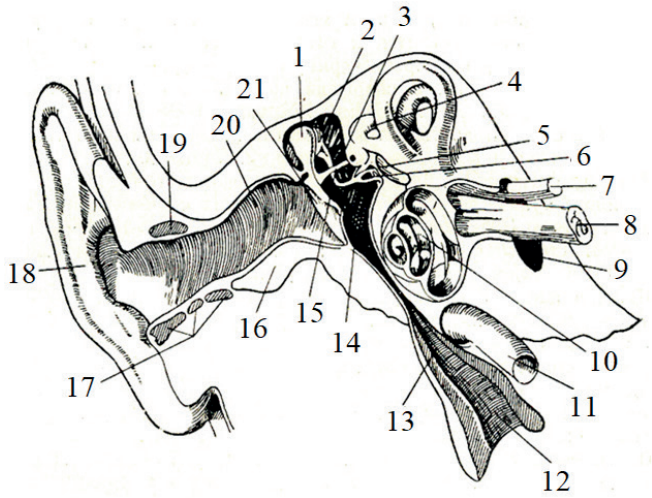

Рис. 2.1. Общая схема органа слуха
1 – молоточек; 2 – наковальня; 3 – m. tensor tympani; 4 – полукружные каналы; 5 – канал лицевого нерва; 6 – стремечко; 7 – лицевой нерв; 8 – VIII пара черепномозговых нервов; 9 – внутренний слуховой проход; 10 – улитка; 11 – внутренняя сонная артерия; 12 – глоточное устье слуховой трубы; 13 – слуховая труба; 14 – барабанная полость; 15 – стременная мышца; 16 – барабанная кость (os tympanicum); 17 и 19 – хрящи слухового прохода; 18 – ушная раковина; 20 – наружный слуховой проход; 21 – барабанная перепонка.

2.1. Анатомия слуховой системы

Анатомически слуховая система подразделяется на наружное, среднее и внутреннее ухо (рис. 2.1), а также ретролабиринтные невральные

структуры. Невральные структуры слуховой системы представлены тремя основными звеньями: 1) рецепторным аппаратом, локализующимся в спиральном (кортиевом) органе; 2) проводящими путями и центрами, включая подкорковые образования; 3) корковым отделом.

2.1.1. Анатомия наружного и среднего уха

К ***наружному уху*** относятся *ушная раковина* и *наружный слуховой проход*, который состоит из перепончато-хрящевого и костного отделов. Эти отделы расположены под углом, открытым у взрослого человека кпереди и книзу, между ними имеется сужение (перешеек, isthmus). В слуховом проходе специальными железами вырабатывается сера, которая может формировать серные пробки, обтурирующие его. Длина слухового прохода от козелка до барабанной перепонки составляет около 3,5 см (от cavitus conchae – 2,5 см), а величина диаметра может достигать 6-7 мм. Последнее обстоятельство, в частности, обусловливает тот факт, что данное анатомическое образование выполняет наряду с защитной функцией еще и акустическую. Трубка слухового прохода формирует резонансную частоту в зоне 2000-5000 Гц, а ушная раковина – в зоне 4000-5000 Гц. Соответственно и уровень звукового давления в этой зоне может увеличиваться до 12-14 дБ SPL. Резонансная частота и выраженность резонансного пика определяются индивидуальными особенностями структур наружного уха. При расположении акустического источника над головой резонансная зона расширяется. Специфика повышения слуховых порогов при шумовой тугоухости может, в известной мере, определяться упомянутыми акустическими характеристиками наружного уха. Ушные раковины участвуют также в осуществлении функции ототопики – локализации источника звука.

Иннервация наружного уха обеспечивается несколькими нервными образованиями: двигательная – лицевым нервом; чувствительная – большим ушным нервом из шейного сплетения, а также n. auriculo-temporalis и n. vagus.

К системе ***среднего уха*** относятся: *барабанная перепонка, барабанная полость, клеточная структура сосцевидного отростка, содержимое барабанной полости (слуховые косточки, мышцы, сосуды и нервы), слуховая труба* (рис. 2.1).