

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений и условных обозначений	7
Глава 1. Слухопротезирование	8
1.1. Типы слуховых аппаратов	8
1.2. Основные компоненты слуховых аппаратов и их функция	11
1.2.1. Микрофоны	12
1.2.2. Усилители	13
1.2.3. Телефоны	19
1.2.4. Индукционная катушка	21
1.2.5. Дистанционное управление	21
1.2.6. Источники питания	21
1.3. Внутренний шум слухового аппарата	22
1.4. Обратная связь	22
1.5. Компрессия	23
1.5.1. Компрессия, регулируемая на входе	25
1.5.2. Компрессия, регулируемая на выходе	27
1.5.3. Компрессия в широком динамическом диапазоне	28
1.5.4. Слоговая компрессия	30
1.5.5. Многоканальная компрессия	31
1.5.6. Схема К-амп	32
1.5.7. Преимущества и недостатки различных систем компрессии	33
1.5.8. Сравнение эффектов компрессии и линейного усиления	33
1.6. Схемы обработки сигнала	35
1.7. Акустические факторы, влияющие на характеристики слухового аппарата	36
1.8. Подразделение слуховых аппаратов в соответствии с принципами действия	37
1.9. Система ушного вкладыша	38
1.10. Технические стандарты	44
1.10.1. Измерительная аппаратура и используемые подходы	44
1.10.2. Акустический вход	44
1.10.3. Акустический выход	45
1.10.4. Основные измеряемые характеристики слуховых аппаратов	46
1.11. Выбор параметров электроакустической коррекции и оценка ее эффективности	54
1.11.1. Предписание и верификация амплитудно-частотных характеристик: функциональное и вносимое усиление	58
1.12. Билатеральное слухопротезирование	71
1.12.1. Бинауральные эффекты при локализации	72
1.12.2. Бинауральные эффекты определения и распознавания	74
1.12.3. Преимущества билатеральной электроакустической коррекции	77
1.12.4. Протезирование пациентов с тугоухостью шумовой этиологии	83
1.12.5. Билатеральное усиление при симметричном снижении слуха	86
1.12.6. Билатеральное усиление при асимметричной тугоухости	87
1.12.7. Показания и противопоказания к билатеральному слухопротезированию	92
1.12.8. Использование FM-систем или протезирования усилением сигнала от контралатерального уха	92

1.12.9. Решение вопроса о билатеральном или унилатеральном слухопротезировании.....	93
1.12.10. Влияние билатеральных эффектов на предписание электроакустических характеристик.....	95
1.13. Слухопротезирование у детей.....	96
1.14. Открытое слухопротезирование.....	109
Список литературы.....	112
Глава 2. Кохлеарная имплантация.....	129
2.1. История кохлеарной имплантации.....	129
2.2. Физиологическое обоснование метода кохлеарной имплантации.....	134
2.2.1. Нормальная улитка.....	138
2.2.2. Патологическая улитка.....	138
2.3. Компоненты системы кохлеарной имплантации.....	141
2.3.1. Внутренние компоненты.....	142
2.3.2. Внешние компоненты.....	143
2.4. Характеристика многоканальных систем кохлеарной имплантации.....	145
2.4.1. Количество имплантированных электродов.....	145
2.4.2. Пространственное расположение электродов.....	145
2.4.3. Экстра- и интракохлеарные электроды.....	145
2.4.4. Типы электродных решеток.....	146
2.4.5. Активные и неактивные электроды.....	147
2.4.6. Каналы.....	147
2.4.7. Расположение электродов.....	147
2.4.8. Цикл стимуляции.....	147
2.4.9. Частота отсчетов.....	147
2.4.10. Скорость стимуляции (общая и на каждом канале).....	148
2.4.11. Частотные границы.....	148
2.4.12. Виды (моды) стимуляции.....	148
2.5. Стратегии кодирования речи.....	149
2.5.1. Аналоговые стратегии.....	149
2.5.2. Цифровые стратегии.....	149
2.6. Параметры электрической стимуляции.....	154
2.7. Психофизические характеристики.....	155
2.8. Значение параметров настройки речевого процессора для реабилитации больных.....	156
2.9. Сравнение возможностей слухопротезирования и кохлеарной имплантации.....	157
2.10. Отбор кандидатов на кохлеарную имплантацию. Методики предоперационного обследования.....	158
2.11. Показания к кохлеарной имплантации.....	161
2.11.1. Показания у детей.....	161
2.11.2. Показания у взрослых.....	163
2.11.3. Методы исследования.....	165
2.12. Факторы, определяющие эффективность кохлеарной имплантации.....	172
2.12.1. Возраст, в котором возникла глухота.....	172
2.12.2. Текущий возраст.....	173
2.12.3. Длительность глухоты.....	173
2.12.4. Компьютерная и магнитно-резонансная томография.....	173
2.12.5. Выбор уха.....	175

2.13. Факторы, определяющие степень улучшения слухового восприятия после кохлеарной имплантации	175
2.14. Хирургический этап кохлеарной имплантации.....	176
2.15. Подключение речевого процессора и сурдопедагогическая реабилитация	177
2.16. Электрофизиологические аспекты кохлеарной имплантации.	
Телеметрия	178
2.16.1. Телеметрия внутренних компонентов импланта	179
2.16.2. Регистрация потенциалов слуховой системы.....	179
2.17. Объективные методы исследования на этапе отбора кандидатов на кохлеарную имплантацию, хирургическом и реабилитационном этапах	188
2.17.1. Телеметрия нервного ответа (регистрация электрически вызванных потенциалов действия слухового нерва).....	188
2.17.2. Регистрация электрически вызванных коротколатентных потенциалов.....	193
2.17.3. Регистрация электрически вызванных рефлексов стремени мышцы	196
2.17.4. Регистрация электрически вызванных потенциалов слуховой коры.....	198
2.17.5. Рекомендации по использованию объективных методик на разных этапах кохлеарной имплантации: при отборе кандидатов, на хирургическом этапе и при послеоперационных настройках речевого процессора	199
2.18. Билатеральная кохлеарная имплантация	200
2.19. Кохлеарная имплантация при односторонней глухоте	203
2.20. Бимодальная стимуляция	209
2.21. Электроакустическая стимуляция	213
2.22. Стволомозговая имплантация	216
Список литературы.....	222
Глава 3. Имплантируемые устройства среднего уха (импланты среднего уха)	247
3.1. Принцип работы имплантов среднего уха	248
3.2. Типы имплантов среднего уха	249
3.2.1. Пьезоэлектрические импланты среднего уха.....	249
3.2.2. Электромагнитные импланты среднего уха	251
3.2.3. Электромеханические импланты среднего уха.....	255
3.3. Установка и настройка импланта среднего уха.....	261
3.4. Преимущества и недостатки применения имплантов среднего уха.....	262
3.4.1. Потенциальные преимущества применения имплантов среднего уха.....	262
3.4.2. Потенциальные недостатки применения имплантов среднего уха.....	263
3.4.3. Показания к применению имплантов среднего уха	264
Список литературы.....	264
Глава 4. Слуховые аппараты костного звукопроводения.....	268
4.1. Применение слуховых аппаратов костного звукопроводения	269
4.1.1. Выходные характеристики слуховых аппаратов костного звукопроводения.....	270

4.1.2. Предписание, настройка и верификация характеристик слуховых аппаратов костного звукопроведения.....	270
4.1.3. Недостатки слуховых аппаратов костного звукопроведения	272
4.2. Частично имплантируемые аппараты костного звукопроведения.....	272
4.2.1. Проведение звуков через кости черепа	273
4.2.2. Восстановление слуха при использовании принципа оссеоинтеграции	274
4.2.3. Аудиологическая характеристика.....	275
4.2.4. Показания к применению систем костного звукопроведения.....	275
4.2.5. Возрастные критерии	278
4.2.6. Настройка звукового процессора.....	278
4.3. Устройства костного звукопроведения, передающие вибрации через кожу	278
4.3.1. Конвенциональные слуховые аппараты костного звукопроведения.....	278
4.3.2. Пассивные чрескожные устройства, включающие имплантированный под кожу магнит	279
4.3.3. Частично имплантируемые аппараты, осуществляющие прямую стимуляцию.....	282
4.3.4. Активные чрескожные системы с имплантированным преобразователем, осуществляющим прямую стимуляцию	284
Список литературы.....	286
Предметный указатель.....	290

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВУЗД	— выходной уровень звукового давления
ИСУ	— имплант среднего уха
КСВП	— коротколатентный слуховой вызванный потенциал
КТ	— компьютерная томография
ЛП	— латентный период
МРТ	— магнитно-резонансная томография
МСКТ	— мультиспиральная компьютерная томография
ПС	— порог слышимости
СА	— слуховой аппарат
СМИ	— стволомозговой имплант
УЗД	— уровень звукового давления
УЗДН	— уровень звукового давления насыщения
ЦНС	— центральная нервная система
ЧИАКЗП	— частично имплантируемый имплант костного звукопроведения
ЭВРСМ	— электрически вызванный рефлекс стремениной мышцы
ЭКСП	— электрически вызванный коротколатентный слуховой потенциал
ЭПД	— электрически вызванный потенциал действия слухового нерва
CIS	— непрерывная чередующаяся стимуляция (Continuous Interleaved Sampling)
CROS	— усиление сигнала от контралатерального уха (Contralateral Signal Redirection)
DSL	— желаемый уровень ощущения (Desired Sensation Level)
FDA	— Федеральное управление по контролю производства, хранения и реализации пищевых продуктов, лекарственных препаратов и косметических средств США (Food and Drug Administration)
REAG	— усиление в реальном ухе со слуховым аппаратом (Real-ear Aided Gain)
RECD	— разница в уровне звукового давления между реальным ухом и камерой связи (Real-ear-Coupler-Difference)
SPEAK	— стратегия выделения спектральных пиков (Spectral-Peak)

Глава 1

Слухопротезирование

В первой половине XX в., когда в арсенале имелись только поведенческие методы исследования слуха, задача практической аудиологии заключалась в дифференциации кондуктивной и сенсоневральной патологии. В 1970-х гг. после внедрения в клиническую практику импедансометрии и электрофизиологических методик появилась возможность более тонкой дифференциальной и топической диагностики. Следующим шагом стало активное участие аудиологов в реабилитации пациентов с нарушениями слуха, и в частности в подборе слуховых аппаратов (СА). В перечень медицинских специальностей в Российской Федерации в 1998 г. была введена специальность сурдолога-оториноларинголога, и стала очевидной необходимость подготовки специалистов, владеющих всеми современными методами диагностики нарушений слуха и реабилитации пациентов с различными формами тугоухости и глухоты.

Современные СА становятся все более сложными, что определяет необходимость в приобретении специальных знаний, далеко выходящих за рамки оториноларингологии. Это касается и подбора СА, и их настройки, и верификации параметров электроакустической коррекции (Bentler, Mueller, 2009).

Основное предназначение СА — это обеспечение усиления звуков таким образом и в такой степени, чтобы пациент смог наиболее эффективно использовать свой остаточный слух.

1.1. ТИПЫ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Механические СА. Первой системой усиления, вероятно, следует считать использование ладони, прикладываемой к уху. Данный способ обеспечивает усиление 5–10 дБ на средних и высоких частотах (De Boer, 1984; Vonlanthen, 1995). К механическим средствам относятся акустические рожки, трубки и др. Данный класс СА использовался начиная с XVII в. и сохранялся в обращении до начала XX столетия (Hvidt, 1972; Berger, 1984).

Электрические СА. На смену механическим пришли электрические СА, получившие бурное развитие в течение последних 70 лет.

Современные СА подразделяются на шесть основных типов: **карманные, в оголовой оправе, заушные, внутриушные, внутриканальные и перитимпанальные** (полностью располагаемые в слуховом проходе в непосредственной близости от барабанной перепонки).

Считается, что тип СА определяется его функциональными особенностями и косметическим дизайном (Mueller, Johnson, Carter,

2007). До внедрения заушных СА в 1950-х гг. **карманные СА** были единственно доступными для пациентов. И хотя в США и Европе доля карманных СА в настоящее время не превышает 1%, в развивающихся странах они все еще активно используются из-за низкой цены и достаточно широких функциональных возможностей.

СА в отковой оправе при их внедрении в 1960-х гг. рассматривались как инновационное решение, объединяющее два типа протезов, СА и очки, однако, как показала практика, они создавали больше проблем, чем преимуществ (Sammeth, Levitt, 2000).

Заушные СА, как правило, соединяются трубкой с ушным вкладышем, через который звук подается непосредственно к барабанной перепонке. Вкладыши могут быть стандартными и иметь различные размеры, но в большинстве случаев изготавливаются по индивидуальным слепкам пациента. Однако в некоторых случаях звук подается к барабанной перепонке непосредственно через трубку (открытое протезирование). В более современных модификациях телефон располагается в наружном слуховом проходе и соединяется с СА электрическим кабелем (модификации RIC, RITC, CRT).

Внутриушные СА стали коммерчески доступными в 1960-х гг. Они подразделяются на три типа: занимающие всю ушную раковину (full concha), низкопрофильные и занимающие часть ушной раковины (half concha). К этому же классу относятся СА модульного типа, которые имеют фиксированную форму и устанавливаются в индивидуальном ушном вкладыше. Как правило, **внутриушные СА** относятся к индивидуальным, то есть электронные компоненты аппарата располагаются в корпусе, изготовленном по индивидуальному слепку наружного слухового прохода и ушной раковины.

К **внутриканальным СА** относятся **перимеатальные** (располагаемые частично в ушной раковине, частично в хрящевом отделе наружного слухового прохода) и **перитимпанальные** (полностью располагаемые в слуховом проходе в непосредственной близости от барабанной перепонки) (рис. 1.1). Последние СА имеют ряд преимуществ, прежде всего заключающихся в косметическом эффекте, необходимости в меньшем усилении и выходном уровне звукового давления (ВУЗД), большем усилении высоких частот, уменьшении или исключении окклюзионного эффекта, улучшенном функционировании в шуме, уменьшении обратной связи,

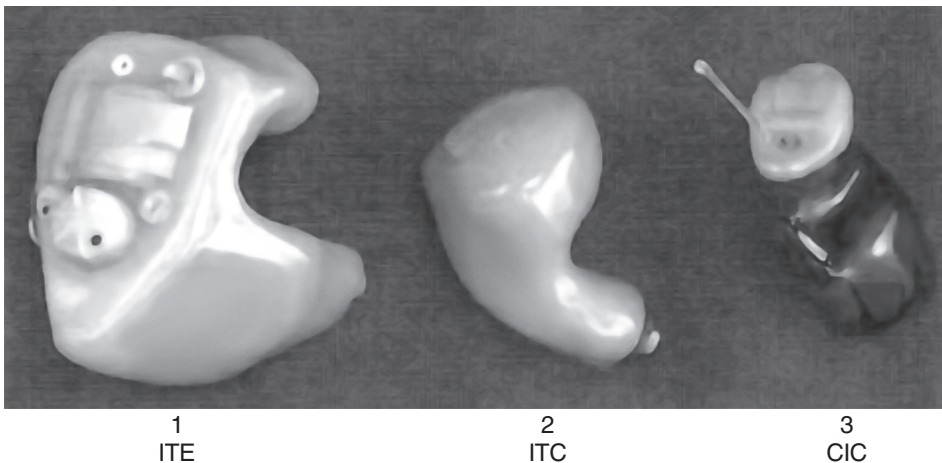


Рис. 1.1. Внутриушные слуховые аппараты: 1 — внутриушной (ITE — in the ear); 2 — внутриканальный (ITC — in the canal); 3 — перитимпанальный (CIC — completely in canal)

нормальном использовании телефона (отсутствии необходимости в катушке индуктивности).

В соответствии с принципами действия СА подразделяются на **одно- и многополосные, адаптивные и неадаптивные, аналоговые, программируемые и цифровые СА.**

Использование в современных СА нескольких частотных полос обеспечивает возможность их раздельной регулировки.

Неадаптивные СА. В неадаптивных СА используются схемы, не позволяющие изменить их выходные характеристики при предустановке его переключателей. Данная категория СА характеризуется наличием триммеров, контролирующих тембр и выходной уровень.

Адаптивные СА. Включают схемы, в которых предусмотрена обработка сигнала, меняющая характеристику СА при изменении входного сигнала, что прежде всего направлено на улучшение соотношения сигнал/шум у пациента. Данная модификация сигнала триггеруется в основном изменениями частоты и интенсивности. Наиболее характерными отличиями данного класса СА являются автоматическая регулировка усиления, автоматическая обработка сигнала и наличие схемы адаптивной фильтрации шума.

Аналоговые СА. Данный класс СА обеспечивает преобразование звука в электрические сигналы, которые усиливаются СА.

Программируемые СА. В данном классе СА используются обычные усилители и фильтры, контролируемые внешним цифровым источником (программируются производителем в соответствии с рекомендуемыми параметрами). В них заложены ситуационные программы, используемые пациентом по собственному выбору. Аналоговые программируемые схемы могут использоваться в различных типах СА.

Цифровые СА. Преобразуют звуки в цифровые коды, аналогичные бинарным кодам компьютера, до их усиления. Учитывая, что коды включают информацию о высоте звука и его громкости, СА может быть запрограммирован таким образом, чтобы усиливать одни частоты больше, чем другие. Цифровые схемы обеспечивают аудиологу большую гибкость при индивидуальной настройке СА для определенных ситуаций. Кроме того, возможна настройка с акцентом на направление, откуда поступают звуки. Так же как и аналоговые программируемые, цифровые схемы могут использоваться в различных типах СА.

Истинные цифровые СА отличаются от программируемых по крайней мере по трем основным признакам:

- 1) в них проводится оцифровка входного сигнала;
- 2) в них используется схема цифровой обработки сигнала;
- 3) в них может быть предусмотрено принятие решений.

Основным отличием аналоговых СА от цифровых является метод, по которому внутренняя схема обрабатывает сигнал. В аналоговых СА сигнал усиливается как постоянно меняющаяся во времени амплитуда. В цифровом же СА поступающий аналоговый сигнал преобразуется в цифровую форму, обрабатывается, а далее вновь преобразуется в аналоговую форму.

Аппараты воздушного и костного звукопроведения. В соответствии со способом передачи подразделяются на **СА воздушного и костного звукопроведения.** В СА воздушного звукопроведения электрическая энергия (усиленная) преобразуется в акустическую энергию, подводимую в слуховой проход. В СА костного звукопроведения электрическая энергия (усиленная) преобразуется в механические вибрации, передаваемые к костям черепа. Использование последних СА ограничено ситуациями, когда имеется большой костно-воздушный интервал (30–50 дБ) или имеются постоянные выделения из уха.

1.2. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ И ИХ ФУНКЦИЯ

На рис. 1.2 представлена схема СА, включающая основные компоненты, общие для всех типов и моделей.

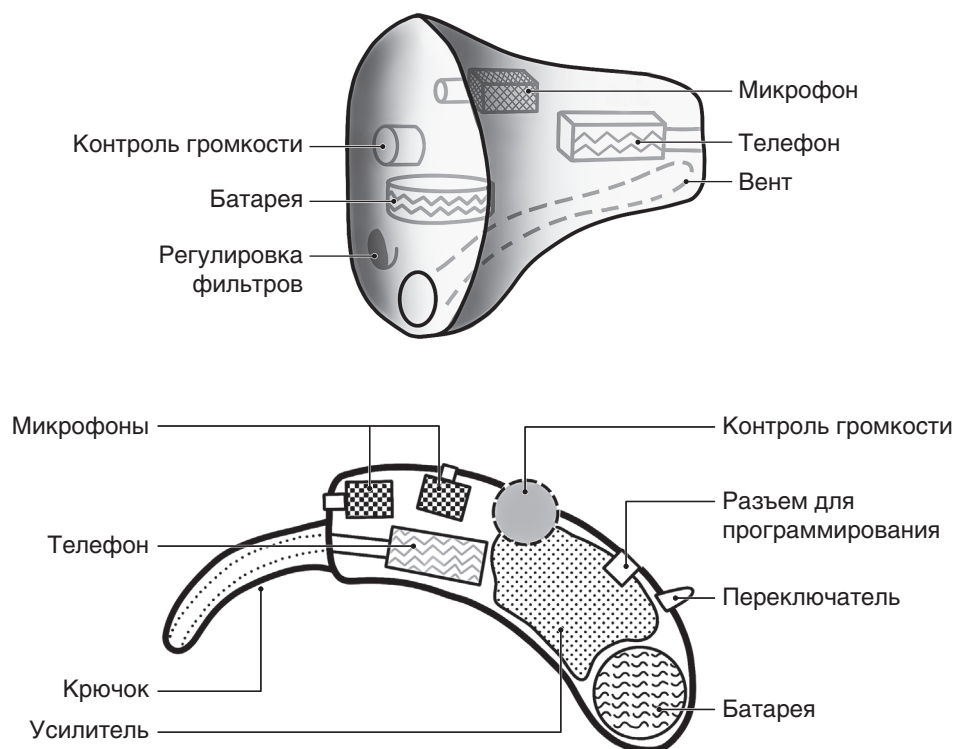


Рис. 1.2. Компоненты внутриушного (сверху) и заушного (снизу) слухового аппарата

Основными компонентами СА являются:

- 1) микрофон (или микрофоны), преобразующий звуки в электрические сигналы;
- 2) усилитель электрических сигналов, изменяющий баланс в сторону высоких частот и низкоинтенсивных сигналов;
- 3) телефон, преобразующий усиленный электрический сигнал в звуковые сигналы;
- 4) устройства, обеспечивающие поступление усиленных звуков в наружный слуховой проход (ушной вкладыш или трубки в индивидуальном вкладыше, крючки);
- 5) источники питания (батарейки, аккумуляторы).

Кроме того, имеются компоненты, которые используются в определенных типах СА или для определенных целей:

- 1) переключатель включения/выключения СА; во многих СА эта функция осуществляется регулятором громкости;
- 2) регулятор громкости (возможны различные его модификации);
- 3) индукционная катушка.

Помимо основных компонентов, современные СА располагают множеством дополнительных функций и цифровых алгоритмов, которые будут рассмотрены в следующих разделах.