

Глава 5. Ушные вкладыши, корпуса внутриушных слуховых аппаратов и системы сопряжения

Резюме

Ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов (именуемые также отопластиками) изготавливаются в соответствии с размерами уха пациента и фиксируют слуховой аппарат, не позволяя ему смещаться. Кроме того, заключенные в них звуководы обеспечивают передачу звука от телефона в наружный слуховой проход. Достаточно часто в отопластиках имеется дополнительный звуковод, или вент, связывающий наружный слуховой проход с внешней средой. Если ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата не имеет вента (например, у мощных слуховых аппаратов), он называется закрытым.

Существует множество разновидностей ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов, обусловленных, среди прочего, индивидуальными особенностями ушной раковины и наружного слухового прохода. Эти вариации влияют на внешний вид, акустические свойства, комфортность и надежность фиксации слухового аппарата.

Одним из нежелательных последствий применения слухового аппарата может быть окклюзионный эффект, при котором собственный голос пользователя излишне усиливается за счет костного звукопроведения. В большинстве случаев выбор размеров вента является сложной задачей, потому что вент должен быть достаточно большим для предотвращения чрезмерного окклюзионного эффекта и, вместе с тем, не настолько большим, чтобы привести к возникновению обратной акустической связи. Размеры вента также влияют на низкочастотное усиление и максимальный выходной уровень всех усиливаемых звуков, однако в современных слуховых аппаратах эти характеристики усиления гораздо легче изменять электронным путем.

Форма звуковода, соединяющего телефон со слуховым проходом, влияет на высокочастотное усиление и выходную мощность слуховых аппаратов. Звуководы, расширяющиеся во внутреннем направлении (т. н. горны), повышают выходную мощность высокочастотных звуков. Напротив, сужающиеся звуководы понижают выход высоких частот. Чтобы быть эффективными в пределах частотного диапазона слухового аппарата, горны должны иметь определенную минимальную длину.

Для сглаживания пиков частотной характеристики в звуководах используются демпферы. Правильный выбор местоположения и сопротивления демпфера способствует регулировке среднечастотного участка частотной характеристики.

Для изготовления хорошего ушного вкладыша, прежде всего, необходимо получить точный слепок. В свою очередь, для этого требуются надлежащий материал (в большинстве случаев подходит силикон средней вязкости), глубокая установка отблока в наружном слуховом проходе и равномерное введение слепочной массы. Для того, чтобы ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата плотнее сидел в наружном слуховом проходе, пользуются рядом приемов. К ним относятся изготовление слепка при открытой челюсти, утрамбовка слепочной массы до ее застывания, применение вязких слепочных материалов и постепенное наращивание слепка в ухе пациента.

Ушные вкладыши изготавливаются из различных материалов. Наиболее важным различием является жесткость материала. Мягкий материал комфортнее и обеспечивает лучшую obturation уха. С другой стороны, он быстрее портится, его труднее моделировать и ремонтировать.

Ушной вкладыш (для заушного слухового аппарата) или корпус слухового аппарата (для внутриушного, внутриканального или глубокого канального аппаратов) выполняет три основные функции.

- Он имеет **звуковод** (трубку, передающую звук от телефона слухового аппарата в наружный слуховой проход пациента), который влияет на амплитудно-частотную характеристику аппарата.

- Он определяет (посредством **вента**), в какой степени внутренняя часть слухового прохода сообщается с окружающим воздухом, влияя, таким образом, на амплитудно-частотную характеристику и электроакустическую комфортность слухового аппарата.
- Он удобно фиксирует слуховой аппарат в ухе.

Существует огромное количество типов ушных вкладышей и корпусов слуховых аппаратов, равно как и материалов, из которых они изготавливаются. Часть из них запатентована компаниями, производящими ушные вкладыши или слуховые аппараты, причем многие выпускаются под различными наименованиями. Данная глава поможет врачу выбрать ушной вкладыш или корпус слухового аппарата, сочетающий необходимые акустические характеристики звуковода и вента, а также надежно фиксирующий слуховой аппарат. Рассмотрим, например, два ушных вкладыша, разрезы которых показаны на рис. 5.1. Эти ушные вкладыши выглядят совершенно по-разному. Вкладыш (а) очень массивный, он целиком заполняет ушную раковину, сквозь него просверлен вент. Вкладыш (б) занимает очень мало места как в ушной раковине, так и в наружном слуховом проходе. Его называют **вкладышем CROS** или **вкладышем Янссена**. Однако, если площадь сечения вента вкладыша (а) равна площади сечения просвета между стенками наружного слухового прохода и звуководом вкладыша (б) и если оба звуковода имеют равные длину и внутренний диаметр, то влияние обоих вкладышей на амплитудно-частотную характеристику и выходную мощность слухового аппарата будет совершенно одинаковым. Конечно, вкладыш (а) будет намного плотнее сидеть в наружном слуховом проходе, чем вкладыш (б). В настоящей книге *любое сообщение внутренней части слухового прохода с окружающим воздухом будет именоваться вентом*, независимо от того, было ли оно создано путем просверливания отверстия (рис. 5.1а) или за счет того, что внутриканальная часть ушного вкладыша или корпуса слухового аппарата не целиком заполняет просвет наружного слухового прохода (рис. 5.1б). Комбинируя оба варианта, можно получить вент, сформированный путем просверливания отверстия в ушном вкладыше или корпусе аппарата в сочетании с неполной obturацией наружного слухового прохода. Кроме того, вент можно создать путем вытачивания желобка вдоль наружной поверхности вкладыша или корпуса аппарата, на всем протяжении от внутреннего конца до лицевой панели. Такой вент называется **желобковым**, или **внешним**.

Ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов бывают **закрытыми** и **открытыми**. Закрытые вкладыши не имеют сообщения между воздухом, заключенным во внутренней части слухового прохода (т. н. **резидуальный слуховой проход**), и внешней средой. Таким образом, у закрытых ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов нет вента: они целиком заполняют просвет наружного слухового прохода, по крайней мере, на некотором его протяжении. Достаточно часто вокруг закрытых вкладышей существует **путь утечки**, возникающий либо из-за погрешностей при изготовлении слепка и вкладыша, либо из-за чрезмерной подвижности

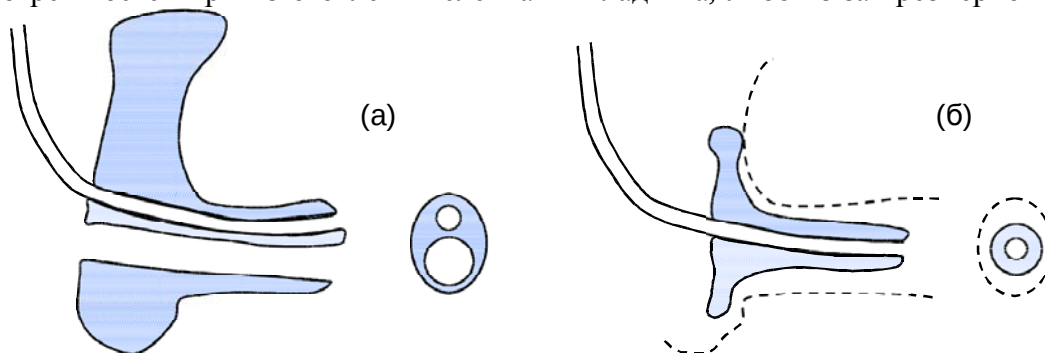


Рис. 5.1. Разрез ушного вкладыша типа «конха» с широким вентом (а) и ушного вкладыша Янссена (б). Акустические свойства обоих вкладышей совершенно одинаковы, однако способность фиксировать слуховой аппарат различна. См. также рис. 5.3.

наружного слухового прохода. Путь утечки обладает теми же свойствами, что и вент, поэтому его иногда называют **щелевым вентом**.

К сожалению, термином *открытый* пользуются столь часто, что он практически утратил свой смысл. Иногда подразумевается наличие любого вента, вне зависимости от его размеров. В других случаях имеется в виду вкладыш или корпус аппарата, оставляющий свободной большую часть просвета наружного слухового прохода. Кроме того, выражение *открытый* может быть использовано для описания субъективных ощущений пользователя (см. раздел 5.3.2). Естественно, существует бесконечное множество вариантов открытости вкладыша – от полностью закрытого до полностью открытого. Поэтому прежде чем пользоваться термином «открытый» необходимо уточнить его смысл. Все открытые вкладыши, фактически, являются частично закрытыми.

5.1. Различные формы ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Различные по форме ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов заполняют разные отделы ушной раковины и наружного слухового прохода. Отдельные части вкладышей можно описывать соответственно тем отделам уха, в которых они находятся. Поэтому обратимся к названиям разных отделов уха и, соответственно, частей вкладышей (Alvord, Morgan, Cartright, 1997), изображенных на рис. 5.2 и 5.3. Некоторые параметры уха особенно важны для подбора слухового аппарата. Внутренняя часть наружного слухового прохода – **костный слуховой проход** – покрыта тонкой кожей толщиной всего 0,2 мм, выстилающей кость (Alvord, Farmer, 1997). Поэтому она очень чувствительна к внешним воздействиям. В наружной половине слухового прохода – **хрящевом слуховом проходе** – кожа гораздо толще, выстилает хрящ и менее чувствительна. Серу выделяют железы, расположенные только в хрящевой части наружного слухового прохода. Производители ушных вкладышей называют участок наружного слухового прохода, расположенный сразу же за его отверстием, **апертурой**, поэтому соответствующую часть ушного вкладыша можно именовать **апертурной перемычкой** (именно здесь ушной вкладыш надежнее всего obturiрует наружный слуховой проход).

Ушной вкладыш имеет два легко различимых изгиба. **Первый изгиб** (расположенный наиболее латерально) хорошо заметен на вкладыше или слепке, однако не столь очевиден в самом ухе. Задняя поверхность козелка непосредственно переходит в стенку слухового прохода. Первый изгиб практически совпадает с входом в наружный слуховой проход или расположен на несколько миллиметров глубже (в зависимости от того, что считать входом в слуховой проход). **Второй изгиб** расположен в месте перехода хрящевого слухового прохода в костный. Степень крутизны обоих изгибов весьма индивидуальна. Однако, если первый изгиб крутой, второй, скорее всего, тоже будет крутым. В результате наружная и внутренняя части слухового прохода оказываются параллельными друг другу (Pirzanski, 1997).

5.1.1. Типы вкладышей заушных слуховых аппаратов

Одним из препятствий к описанию различных типов ушных вкладышей является отсутствие стандартных наименований. Хотя в 1976 г. Американская национальная ассоциация лабораторий, производящих ушные вкладыши (NAEL), приняла некоторые стандартные наименования (Coogler, 1976), с тех пор было создано множество новых вариантов. Некоторые ушные вкладыши получили удачные описательные названия (напр., **каркасный**), другие названы по имени своих создателей (напр., **вкладыш Янсена**), наконец, есть вкладыши, ошибочно названные по первому варианту использования (напр., **CROS**), хотя в дальнейшем их применяли совершенно иначе. На рис. 5.4 показаны некоторые типы ушных вкладышей, выпускаемые различными производителями. В зависимости от производителя, их названия могут различаться. На рисунке *не показаны* типы вкладышей, различающиеся только диаметром звуковода. Каждый из приведенных типов может иметь расширяющийся или сужающийся звуковод, поэтому нет смысла

давать вкладышу название, исходя из внутреннего диаметра звуковода. Различные звуководы и наиболее распространенные их названия будут описаны в разделе 5.4.

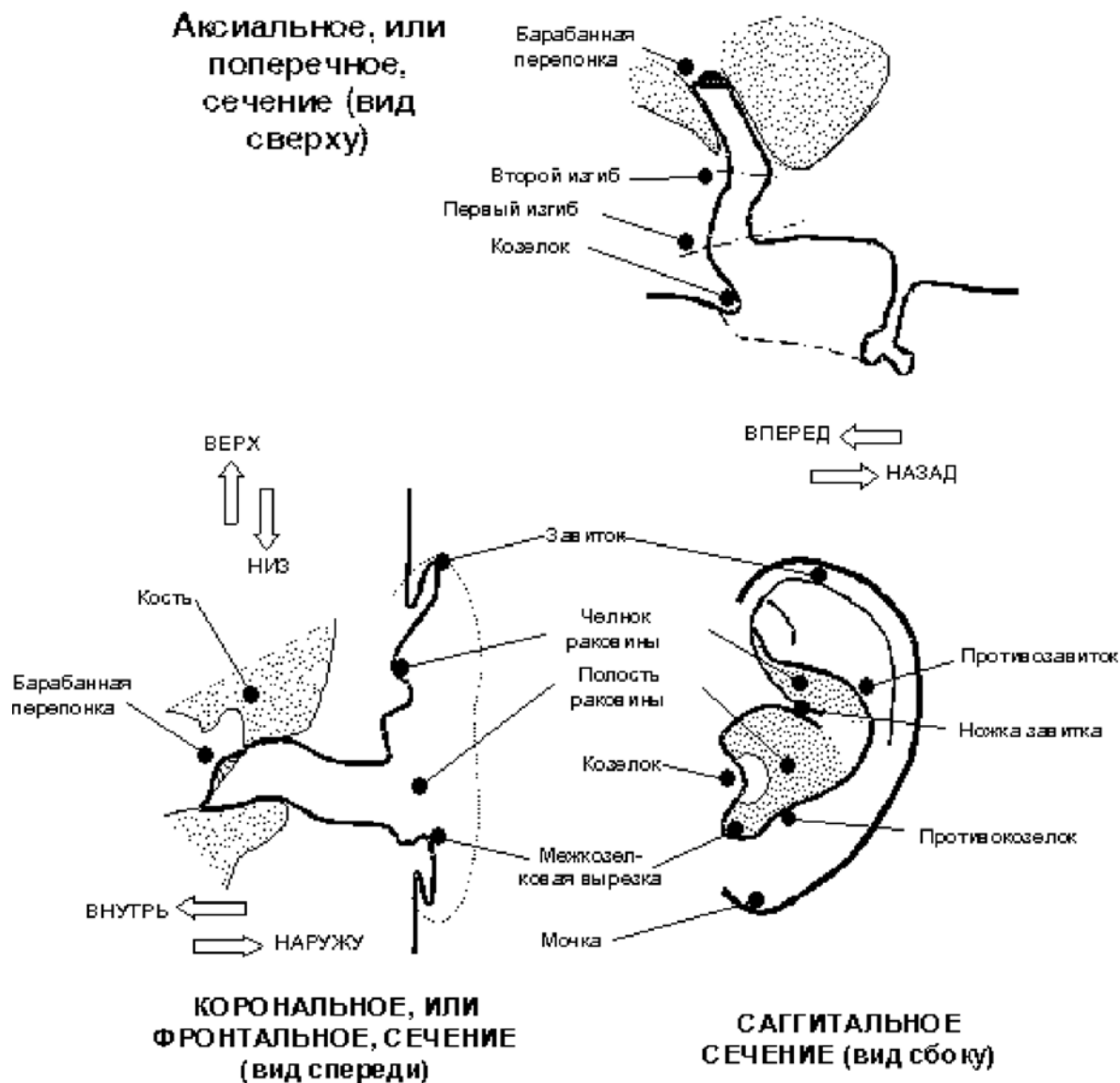
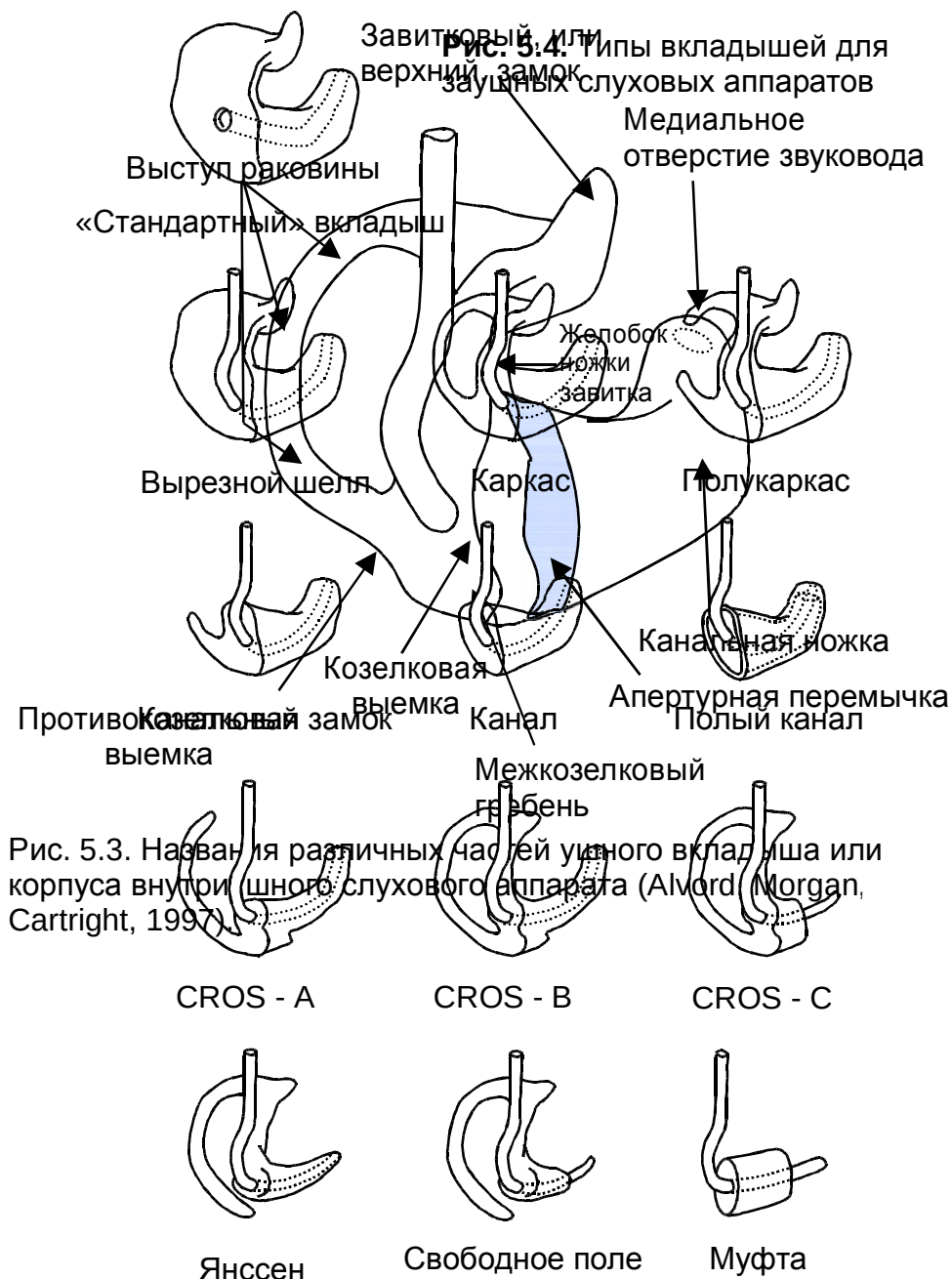


Рис. 5.2. Наружное ухо (в вид сбоку и сечение) среднего размера и типичной формы (Salvinelli et al., 1991; Staab, 1999). Приведены названия отдельных частей уха (Shaw, 1975).

Телефонный вкладыш (ошибочно именуемый *стандартным* или *обычным* вкладышем, несмотря на то, что он редко используется в наши дни) является единственным из вкладышей, подходящим для карманного слухового аппарата: с помощью кнопочного фиксатора телефон надежно присоединяется к вкладышу. Его можно использовать и с заушным слуховым аппаратом, если прикрепить к вкладышу изогнутый пластиковый переходник, соединенный с крючком слухового аппарата с помощью трубочки. Однако недостатки использования такого вкладыша с заушным слуховым аппаратом (утечка звука, внешний вид, потенциальное ослабление высокочастотных звуков) превосходят некоторые преимущества (легкость замены звуководов). Гораздо лучшим способом облегчения замены внешнего звуковода является прикрепленный к вкладышу коленчатый адаптер, к которому присоединяется звуковод (см. рис 5.5a). Звуковод, расположенный внутри вкладыша, представляет собой просверленный канал, а не трубку. Во избежание ухудшения высокочастотной характеристики слухового аппарата внутренний диаметр коленчатого адаптера должен быть таким же, как и у трубчатого звуковода. Одним из типов коленчатого адаптера, успешно справляющихся с этой задачей,



Четыре верхних вкладыша на рис. 5.4 изображены с сохраненным **завитковым замком**. Однако любой из них можно изготовить без завиткового замка. Кроме того, замок можно отрезать или сточить впоследствии. Завитковый замок способствует фиксации вкладыша и, соответственно, самого слухового аппарата, если пользователь умеет правильно вставить вкладыш, поместив замок между завитком и противозавитком. Результаты исследований расходятся в отношении того, может ли завитковый замок уменьшить вероятность возникновения обратной акустической связи (Kuk, 1994; Meredith et al., 1989). К сожалению, многие пациенты не могут правильно вставить завитковый замок, в результате чего вкладыш *смещается* и обратная связь *усиливается*. Кроме того, в разделах 5.3 и 5.7 описаны методики, позволяющие определить, насколько открытым должен быть вкладыш у конкретного пользователя. Не совсем ясно, как выбрать вкладыши, отличающиеся друг от друга лишь внешним видом, прочностью и надежностью фиксации (напр., шелл, каркас, полукаркас, или CROS-A или CROS-B). Шелл и каркас не отличаются друг от друга с точки зрения надежности фиксации или окклюзии, потому что материал, удаляемый для превращения шелла в каркас, находится в центральной части раковины. В целом, вкладыш будет хуже держаться в ухе, если удалять сегменты, расположенные вокруг его внешнего края, или уменьшать диаметр канального

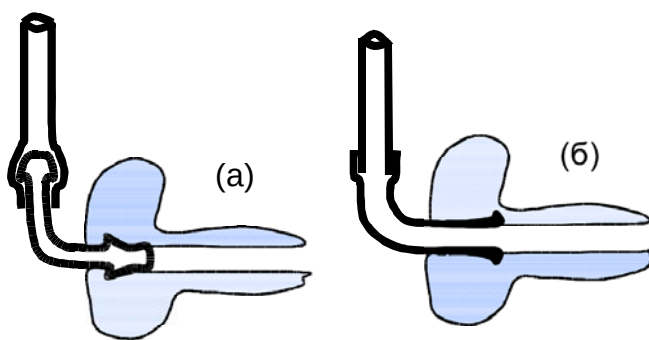


Рис. 5.5. Два типа коленчатых адаптеров, применяемых во вкладышах заушных слуховых аппаратов. В варианте (а) трубочка насаживается на адаптер сверху, что приводит к некоторому пережатию. В варианте (б) трубочка вставляется внутрь адаптера.

участка вкладыша относительно диаметра самого наружного слухового прохода. Если ушные раковины излишне подвижны во время разговора, жевания или поворотов головы, можно добиться хорошей фиксации вкладыша, сведя к минимуму его контакт с ушной раковиной – в этом случае оптимальными будут вкладыши или корпуса канального типа (Juneau, 1983).

5.1.2. Внутриушные, внутриканальные и глубокие канальные типы корпусов слуховых аппаратов

В связи с необходимостью размещения электронных компонентов внутри корпуса внутриушного, внутриканального или глубокого канального слухового аппарата, возможности выбора альтернативных типов корпуса в пределах каждого из этих классов слуховых аппаратов весьма ограничены. Внутриушные слуховые аппараты, выходящие за пределы ножки завитка, называются **full-concha** (полная, или целая, раковина), а целиком уместающиеся ниже ножки завитка именуются **half-concha** (полу-раковина). Если любой из этих типов аппаратов не заходит в латеральном направлении настолько, чтобы заполнить ушную раковину, его называют **плоским внутриушным аппаратом**. Внутриканальные слуховые аппараты, занимающие лишь часть заднемедиальной стенки козелка, иногда именуют **миниканальными** слуховыми аппаратами. Миниканальные слуховые аппараты можно рассматривать как плоские внутриканальные аппараты. Различия между внутриушными, плоскими внутриушными, внутриканальными и глубокими канальными слуховыми аппаратами лучше всего видны в аксиальном разрезе, как это показано на рис. 5.6. Лицевая панель внутриушного аппарата (независимо от его толщины) приблизительно параллельна плоскости, проходящей через латеральные поверхности козелка и завитка. Лицевая панель внутриканального аппарата, однако, расположена примерно под прямым углом к заднемедиальной поверхности козелка.

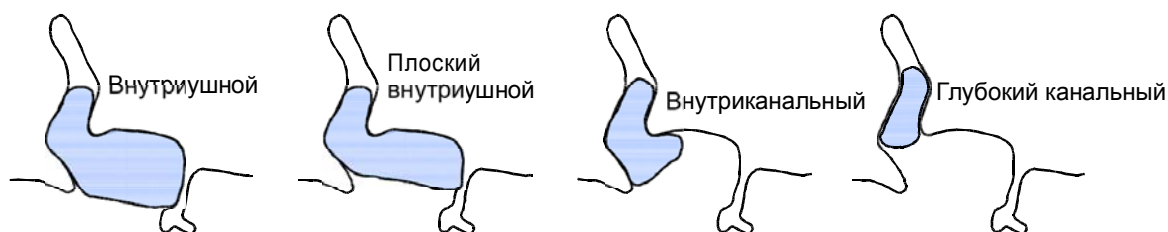


Рис. 5.6. Типичное расположение внутриушного, плоского внутриушного, внутриканального и глубокого канального аппаратов (аксиальная проекция)

Лицевая панель глубокого канального аппарата может находиться у входа в наружный слуховой проход или медиальнее. Любой слуховой аппарат, отстоящий от барабанной перепонки всего на несколько миллиметров, называют **перитимпальным** слуховым аппаратом, однако так далеко заходят обычно лишь глубокие канальные аппараты.

Многие замечания, относящиеся к вкладышам заушных слуховых аппаратов, верны и в отношении корпусов внутриушных аппаратов. В частности, корпуса внутриушных

аппаратов могут быть закрытыми или частично закрытыми, и, в целом, чем меньше раковинная часть аппарата, тем менее надежно он держится в ухе. Несмотря на это, внутриканальные и глубокие канальные слуховые аппараты обычно хорошо фиксируются в ухе, при условии использования надлежащей методики изготовления слепков (см. раздел 5.8).

5.2. Обзор акустических характеристик ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Помимо непосредственного соединения слухового аппарата с наружным слуховым проходом, ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата влияет на

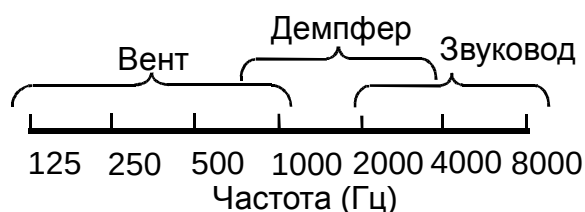


Рис. 5.7. Частотные области, подверженные влиянию каждого из компонентов системы акустического сопряжения слухового аппарата

амплитудно-частотную характеристику, комфортность, внешний вид аппарата, восприятие пациентом собственного голоса и вероятность возникновения обратной акустической связи.

Тремя важными составляющими любой системы акустического сопряжения являются *демпфер*, *звуковод* и *вент*. Как показано на рис. 5.7, они влияют на различные участки частотной характеристики слухового аппарата. Размеры звуковода влияют лишь на высокочастотный участок (свыше 2 кГц для заушных аппаратов и свыше 5 кГц – для всех типов внутриушных

аппаратов). Демпферы, в основном, влияют на среднечастотный участок амплитудно-частотной характеристики слухового аппарата (от 800 до 2500 Гц для заушных аппаратов и от 1500 до 3500 Гц – для всех типов внутриушных аппаратов), хотя незначительные эффекты демпфирования наблюдаются и за пределами приведенных диапазонов. Венты, главным образом, влияют на низкочастотный участок (приблизительно, от 0 Гц до 1 кГц); при этом подверженный влиянию частотный диапазон существенно зависит от размеров вента и усиления слухового аппарата.

5.3. Венты

Хотя настоящий раздел, посвященный вентам, может показаться слишком пространным, автор, исходя из собственного опыта, убежден, что именно влиянием вентов и путей утечки обусловлены многие, казалось бы, необъяснимые проблемы со слуховыми аппаратами. Хорошее знание вентов необходимо для подбора слуховых аппаратов.

Размер вента следует выбирать так, чтобы добиться заданного усиления, избегая при этом чрезмерной окклюзии наружного слухового прохода и возникновения обратной акустической связи. Эти вопросы освещены в разделах 5.3.1 и 5.3.3. Кроме того, венты способствуют воздухообмену между наружным слуховым проходом и внешней средой. Это препятствует чрезмерному скоплению влаги. Венты позволяют людям с перфорацией барабанной перепонки пользоваться слуховыми аппаратами, если перфорация не очень велика (Alvord, Doxey, Smith, 1989).

Мы сможем лучше понять влияние вентов, если вначале разберемся с понятием *акустической массы*. Вент представляет собой столб воздуха, заключенный в трубке. Как любое вещество, воздух обладает массой и, следовательно, инерцией. Для того, чтобы вент передавал звук, необходимо преодолеть эту инерцию (иначе воздух не будет колебаться). Преодолеть инерцию гораздо легче на низких частотах, чем на высоких, и для малой массы, чем для большой. Возьмите небольшой предмет, например ручку, и потрясите его перед собой с частотой один раз в секунду (т. е. 1 Гц). Теперь увеличьте частоту до 3 или 4 Гц. Вы заметите, как возрастает прилагаемое вами усилие. Возьмите более тяжелый предмет, например килограммовый пакет сахара или муки, и повторите задание. Более высокая частота перемещения потребует значительных усилий, а если прикладывать

незначительные усилия при частоте 3 Гц, амплитуда движений будет очень маленькой. Аналогично, столб воздуха в венте будет перемещаться незначительно и передавать мало звука, если стимулирующая частота высока, а вент имеет большую акустическую массу. Как показано ниже, венты обладают большой акустической массой, если они длинные и узкие.

Теоретические основы: Вычисление акустической массы вентов, исходя из их диаметра и длины

Хотя в клинической практике никогда не приходится вычислять акустическую массу, формула ее расчета очень проста и помогает понять, как изменение размеров вента влияет на его свойства. Акустическая масса и физическая масса заключенного в венте воздуха – не одно и то же. Акустическая масса столба воздуха (напр., заключенного в трубке) длиной L (в метрах) и поперечным сечением A (в квадратных метрах) равна (по Beranek, 1954):

$$Ma = 1,18 \cdot (L/A) \quad \dots\dots 5.1$$

Единицей измерения является кг/м⁴, однако по аналогии с электрической инерцией в качестве единицы можно использовать генри. Величина 1,18 представляет собой плотность воздуха в кг/м³. В связи с тем, что сечение вентов обычно круговое, можно упростить вычисление. Если внутренний диаметр вента равен d (в мм), а длина равна l (в мм), акустическая масса рассчитывается по формуле:

$$Ma = 1500 \cdot l/d^2 \quad \dots\dots 5.2$$

Например, вент длиной 20 мм и диаметром 2 мм будет обладать акустической массой 7500 генри. Акустическая масса вента возрастает по мере увеличения его длины и уменьшения диаметра. *Поэтому длинные венты проводят меньше звука, чем короткие, а узкие венты проводят меньше звука, чем широкие.*

Для точного вычисления акустической массы необходимо вводить поправку, учитывающую переход вента в большее по объему пространство (например, открытое пространство у внешнего отверстия вента или резидуальный слуховой проход – у его внутреннего отверстия). Эта поправка составляет 0,4 диаметра трубки. Таким образом, вент в приведенном выше примере действует как трубка длиной 21,6 мм, а его акустическая масса реально составляет 8100 генри. Поправкой можно пренебречь для вентов, длина которых во много раз превышает диаметр. Напротив, для коротких и широких вентов внесение поправки весьма существенно.

Реальные венты не всегда представляют собой трубку с постоянным диаметром. Понятие акустической массы объясняет, почему их свойства отличаются от таковых для трубки постоянного диаметра. Для вента, показанного на рис. 5.8, общая акустическая

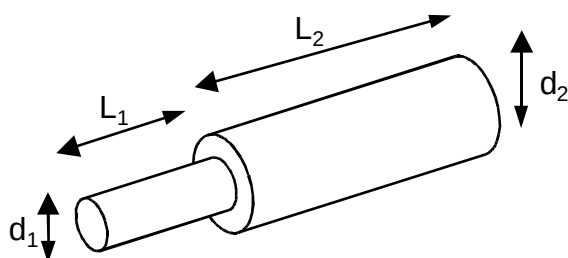


Рис 5.8. Вент, изготовленный из двух трубок разной длины и диаметра.

масса равна сумме акустических масс каждого из сегментов. В данном случае акустическая масса узкого сегмента будет намного больше акустической массы широкого сегмента, поэтому общая акустическая масса будет примерно равна акустической массе узкого сегмента. Понятие акустической массы вентов с более, чем одним диаметром, находит практическое применение в случае вентов с регулируемой величиной отверстия или вентов, расширенных с одного конца.

Предсказать заранее точные размеры вента достаточно сложно, поэтому врачу часто приходится регулировать вент после предварительной примерки слухового аппарата. Один из способов состоит в увеличении диаметра вента путем высверливания или вытачивания или, напротив, уменьшении диаметра вента путем заполнения его воском или полимеризирующимся пластическим материалом с последующим рассверливанием. Размеры вента можно изменить быстрее и легче, если заранее заказать *вент со сменными вставками*. Одна из таких систем показана на рис. 5.9. Она состоит из трубки, присоединенной к расширенному цилиндрическому гнезду, находящемуся с внешней стороны вента. К системе прилагается комплект вставок, каждая из которых плотно входит в гнездо. Все

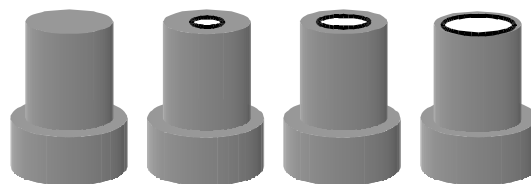


Рис. 5.9. Сменные вставки для вента (изображение увеличено). Промышленно выпускаются две подобные системы – Positive Venting Valve (PVV) и Select-A-Vent (SAV).

вставки имеют одинаковую длину (2,5 мм), но различный внутренний диаметр. В

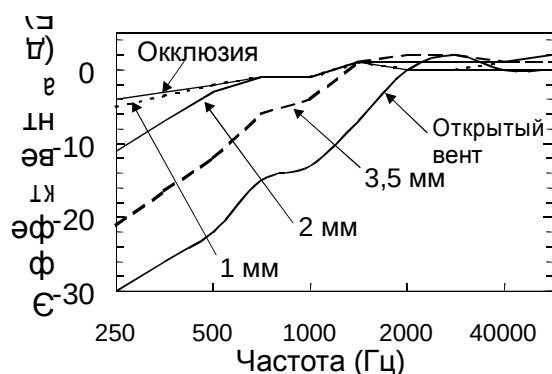


Рис. 5.10. Влияние размеров вента на частотную характеристику усиленного звука в сравнении с полной окклюзией вкладыша (Dillon, 1985)

коротким и широким, что не всегда достижимо (например, при узком наружном слуховом проходе и необходимости включения в канальную часть крупных деталей. Таким образом, желательно примерно представлять себе необходимость использования вента. Этому вопросу будут посвящены следующие три раздела.

5.3.1. Влияние вентов на усиление и максимальный выходной уровень (OSPL90) слухового аппарата

Венты (а также утечка звука) влияют на низкочастотное усиление и максимальный выходной уровень слуховых аппаратов за счет утечки низкочастотных звуков *из* наружного слухового прохода и за счет создания условий для поступления низкочастотных звуков *внутри* резидуального слухового прохода в обход усилителя слухового аппарата. Это два различных эффекта, поэтому мы вначале рассмотрим их по отдельности, а затем — в сочетании.

Влияние вентов на проведение усиленного звука

Когда усиленные звуки поступают по звуководу в резидуальный слуховой проход, они создают в нем звуковое давление, передающееся на барабанную перепонку. Чем меньше резидуальный объем слухового прохода, тем выше уровень создаваемого в нем звукового давления. При наличии дополнительного выхода, например вента, часть звуковой энергии истекает по нему наружу, не участвуя в повышении уровня звукового давления в резидуальном слуховом проходе. Насколько велика такая утечка? Соотношение утечки и сохранившейся звуковой энергии зависит от соотношения сопротивлений пути утечки и резидуального слухового прохода. Путь утечки представляет собой акустическую массу, поэтому его сопротивление повышается с ростом частоты. Напротив, объем резидуального слухового прохода характеризует, главным образом, акустическую податливость, поэтому его сопротивление падает с ростом частоты. В этой связи, для низкочастотных звуков вент становится преимущественным путем утечки. Следовательно, вент срезает нижнюю область частотной характеристики усилителя и телефона.

Степень ослабления низких частот зависит от размеров вента (потому что размер вента определяет его акустическую массу). На рис. 5.10 показана степень срезания низкочастотной части усиленного звукового сигнала вентами разного размера в сравнении с плотно сидящим вкладышем или корпусом внутриушного слухового аппарата. Эти данные были получены для вентов средней длиной 17 мм. Для обобщения данных, касающихся вентов разной длины, можно применить уравнение 5.2. Например, чтобы акустическая масса (и, следовательно, низкочастотный срез) осталась постоянной при уменьшении длины вента в два раза, диаметр вента придется уменьшить в $\sqrt{2}$ раз.

результате различные вставки изменяют акустическую массу вента при соблюдении

- ☐ Оставшаяся часть вента недостаточно длинна и
- ☐ Утечка по краям вкладыша или корпуса аппарата недостаточна для

Обычно вставки нескольких самых больших размеров не отличаются друг от друга по своим параметрам, потому что масса трубки вента преобладает над общей массой. То же самое относится и к вставкам нескольких наименьших размеров, только в

- ☐ При использовании самых узких вставок — свести к минимуму утечку путем изготовления плотно
- ☐ При использовании самых широких вставок — вент должен быть

Эти данные очень полезны при выборе вента, поэтому они представлены для всех аудиометрических частот в таблице 5.1. Венты других размеров, но с такой же акустической массой, будут оказывать аналогичное влияние на усиливаемые звуки.

Таблица 5.1. Влияние размеров вента на усиление (в дБ) в сравнении с полностью закрытым вкладышем или корпусом внутриушного слухового аппарата. Заметьте, что представленные значения акустической массы не предусматривают акустическую утечку вдоль корпуса вкладыша (Dillon, 1985; Upfold, Dillon, 1992).

Размер вента	Акустическая масса вента (генри)	Частота (Гц)								
		250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
Полная окклюзия		-4	-2	-1	-1	1	0	0	0	0
1 мм	26700	-5	-2	-1	-1	1	0	0	1	1
2 мм	7000	-11	-3	-1	-1	1	1	1	1	2
CROS (внутриушной/внутриканальный)	4700	-16	-11	-4	-3	2	4	2	-1	0
3,5 мм	2400	-21	-12	-6	-4	1	2	2	1	1
Янссен (внутриушной)	2100	-23	-13	-3	-3	1	6	4	-1	1
Открытый (заушный)	800	-30	-22	-15	-13	-7	0	2	0	0

Величина аттенюации, производимой вентом в слуховом аппарате, канальная часть которого заходит дальше второго изгиба, будет больше указанной в табл. 5.1, хотя экспериментальные данные по этому вопросу отсутствуют. Причина состоит в том, что в этом случае резидуальный объем слухового прохода очень мал, а его акустическое сопротивление – велико. Следовательно, вент данной длины и диаметра представляет собой более вероятный путь утечки звука, чем в случае большего резидуального канала.

Теоретическое отступление: «Обусловленный вентом резонанс» и его влияние на методику тестирования слуховых аппаратов

В книгах и статьях, посвященных акустике ушных вкладышей, часто упоминается **«обусловленный вентом резонанс»**. Это резонанс Гельмгольца между акустической массой вента и акустической податливостью резидуального канала и барабанной перепонки. Этот тип резонанса аналогичен резонансу, возникающему при подвешивании некоторой массы к концу пружины. Он приводит к перемещению внутрь и наружу через вент больших объемов воздуха с резонансной частотой. (Это частота при которой сопротивление вента равно по значению сопротивлению полости, но противоположно ему по фазе.) При тестировании слухового аппарата в 2-см³ камере типа НА-1 добавление вента приводит к возникновению резонанса Гельмгольца, ведущего к *увеличению* усиления на резонансной частоте. Ниже резонансной частоты вент приводит к срезанию низких частот, а выше резонансной частоты – практически не оказывает влияния на усиление. Длинные, узкие венты, обладающие большой акустической массой, имеют низкую резонансную частоту (обычно около 500 Гц). Короткие, широкие венты, обладающие малой акустической массой, имеют высокую резонансную частоту (обычно около 1500 Гц) (Тесса, 1992).

Если характеристики слухового аппарата, снабженного вентом, измеряются в искусственном ухе, величина резонанса снижается. Если же характеристики слухового аппарата измеряются в реальном ухе, эта величина еще более снижается и может практически отсутствовать (т. е. частотная характеристика может не иметь пика). Это связано с тем, что несмотря на наличие резонанса, он демпфируется акустическим сопротивлением. Сопротивление искусственного уха выше, чем у 2-см³ камеры; еще выше оно в реальном ухе, особенно если пациент пользуется неплотно сидящим вкладышем. В этом случае утечка вдоль корпуса вкладыша существенно повышает акустическое сопротивление. В итоге, обусловленный вентом резонанс Гельмгольца крайне незначителен в реальном ухе, если только вкладыш не сидит очень плотно. К счастью, такая ситуация встречается нечасто, потому что просверливать вент в очень плотно сидящем вкладыше бессмысленно! Говоря о резонансе, следует пользоваться терминами **резонанс Гельмгольца** или **резонанс вента/полости**, потому что, как будет показано в разделе 5.3.3, существует еще один тип резонанса, связанный с вентом.

Практическим выводом из сказанного является *необходимость блокирования вентов при тестировании слуховых аппаратов в 2-см³ камерах*. Влияние вента можно рассматривать отдельно (например, пользуясь табл. 5.1).

Роль вентов в качестве дополнительных звуководов

Венты проводят низкочастотные звуковые волны, независимо от того, откуда они поступают. Поэтому достигающие головы звуковые волны будут непосредственно поступать *внутри* слухового прохода через вент. Этот путь поступления звука совершенно не связан с электроникой слухового аппарата.

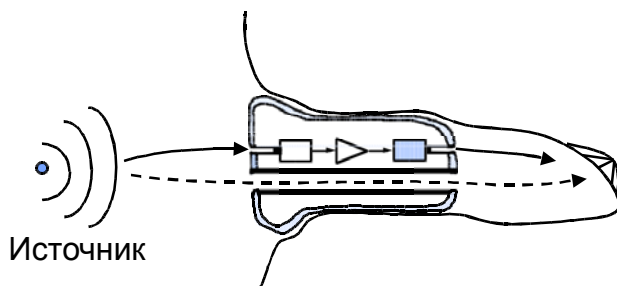


Рис. 5.12. Звук поступает от источника к барабанной перепонке через тракт усилителя (сплошная линия) и через вент, или путь утечки (пунктир). На рисунке показан внутриушной аппарат, но тот же механизм действует в случае заушного или карманного аппаратов.

окклюзионное усиление реального уха (REOG) для *проведенных через вент звуков*, усредненное по данным десяти испытуемых. Иными словами, рисунок показывает, каким будет вносимое усиление слухового аппарата, если его усилитель отключен. Венты другого размера, но с такой же акустической массой, будут оказывать аналогичный эффект. В слуховых аппаратах, заходящих дальше второго изгиба, венты данного размера не будут влиять на вносимое усиление вплоть до несколько более высокой частоты, чем можно было бы ожидать, исходя из рис. 5.11.

Комбинированное влияние вентов на усиленные и проведенные через вент звуки

Пользователи слуховых аппаратов не могут слышать прошедшие усиление звуки отдельно от звуков, проведенных через вент (Killion, 1988). Напротив, как показано на рис. 5.12, звуки достигают барабанной перепонки по обоим путям. Звуки, поступившие по каждому из путей, смешиваются в резидуальном слуховом проходе.

На рис. 5.13 приведен пример комбинации обоих путей (Dillon, 1991). Заметьте, что как только вносимое усиление одного пути начинает превышать вносимое усиление второго пути на 10 дБ и более, сочетанное значение вносимого усиления

поступать *внутри* слухового прохода через вент. Этот путь поступления звука совершенно не связан с электроникой слухового аппарата. Диапазон частот, в пределах которого вент без аттенюации передает звуки в слуховой проход, совпадает с диапазоном усиленных слуховым аппаратом звуков, аттенюируемых вентом. В частности, звуки передаются в слуховой проход без значительной аттенюации вплоть до частоты резонанса Гельмгольца для данного вента. Звуки более высоких частот вент аттенюирует в возрастающей степени, поэтому, если отключить слуховой аппарат, он начнет выполнять роль звукоизолятора.

На рис. 5.11 показано

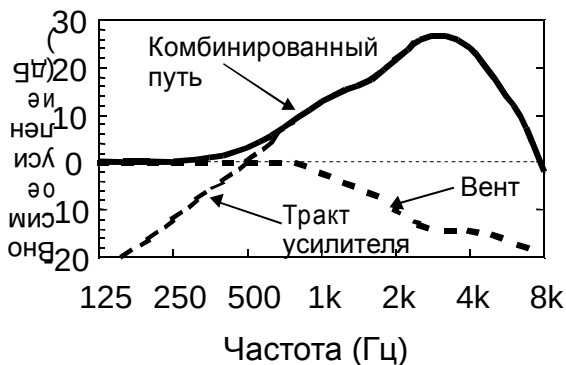


Рис. 5.13. Вносимое усиление акустических трактов вента и усилителя, а также возможный вариант их сочетания.

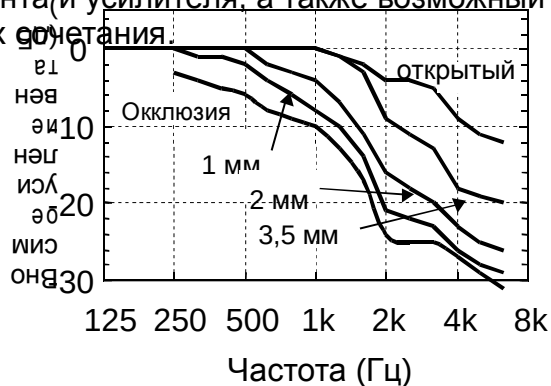


Рис. 5.11. Вносимое усиление проведенных через вент звуков для вентов разного размера, измеренное при длине канальной части ушного вкладыша 7 мм (Dillon, 1985).

становится практически равным величине, относящейся к пути с большим значением вносимого усиления. Это происходит потому, что количество звуковой энергии, поступающей по пути с более низким усилением, крайне незначительно по сравнению со звуковой энергией, поступающей по доминантному пути. При измерении вносимого усиления (или, напротив, усиления в реальном ухе) значение придается именно комбинированной кривой. Однако из рис. 5.12 следует, что эта комбинированная кривая является результатом взаимодействия двух совершенно различных путей, поэтому полезно разделять всю характеристику на три отдельных участка: **область передачи через вент**,

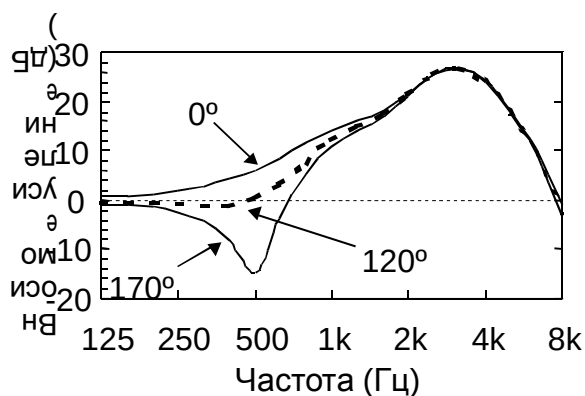


Рис. 5.14. Вносимое усиление комбинированного сигнала при разности фаз между звуком, переданным через вент и прошедшим через звукоусиливающий тракт (см. рис. 5.12), 0° , 120° и 170° . Предполагается, что комбинированный сигнал, показанный на рис. 5.12, получен при разности фаз 90° .

- Электронная регулировка тембра не влияет на звук, проникающий через вент, поэтому она может оказаться вообще неэффективной, если регулятор тембра действует только в зоне частот, соответствующей звуку, проникающему через вент.
- Влияние электронной регулировки тембра может быть непредсказуемым в смешанной области; при этом результат будет зависеть от фазового соотношения обоих путей поступления звука.

В смешанной области конечный результат зависит от того, как сочетаются звуки, поступившие через вент и тракт усиления. В свою очередь, это определяется фазовыми различиями между обоими путями. На рис. 5.14 показаны три возможных варианта сочетания звуков в смешанной области. Если разность фаз между обоими путями звукопроводения близка к 180° , в комбинированной характеристике возникает отрицательный зубец. На практике зубец редко бывает глубже 10 дБ, потому что для этого потребовалась бы разность фаз, равная 180° , на частоте, при которой оба пути имеют одинаковое усиление. В отличие от пиков, такие зубцы частотной характеристики практически не сказываются негативным образом на восприятии звука (Dillon, Macrae, 1984). Фактически такой зубец позволяет отличить область передачи через вент от области тракта усиления.

Следует помнить, что поскольку венты изменяют звук, генерируемый телефоном слухового аппарата, они меняют максимальный выход слухового аппарата так же, как и его усиление. Например, регулятор OSPL90 не окажет влияния на максимальный выход в области, соответствующей звукам, передающимся через вент.

Опубликовано несколько противоречивых исследований, посвященных тому, какому типу низкочастотной регулировки отдают предпочтение пациенты – с помощью вентов или за счет электронной регулировки тембра. Обычные электронные низкочастотные фильтры, в сочетании с хорошо подобранным вкладышем, дают

область тракта усиления и смешанная область. В области передачи через вент, которая в некоторых слуховых аппаратах может достигать до 1000 Гц, микрофон, усилитель и телефон не участвуют в звукопередаче. В области тракта усиления, однако, вент может вызывать некоторую аттенуацию за счет утечки звука из слухового прохода, как было показано выше.

Практический совет: Доведение усиления в реальном ухе до заданного значения

- Создание вента и последующее увеличение его диаметра снижают вносимое усиление до 0 дБ (за счет уменьшения выхода низких частот в усиливаемом диапазоне; однако если до этого слуховой аппарат действовал как obturator, низкочастотный выход увеличивается).

отрицательные значения низкочастотного усиления (т. е. ослабляют звук), тогда как венты всего лишь уменьшают усиление до 0 дБ, о чем было сказано выше. В соответствии с этим, Cox, Alexander (1983) и Kuk (1991) обнаружили, что слуховые аппараты с вентами обеспечивают более высокое качество звука. Lundberg et al. (1992), однако, использовали более сложный фильтр, лучше воспроизводивший реальный эффект вента. Поэтому они не обнаружили различий в качестве воспринимаемого звука. В целом, качество усиленного звука будет зависеть также от искажений, которые, в свою очередь, связаны с уровнем сигнала, при котором происходит насыщение слухового аппарата. Искажение никогда не создает проблем для звуков, передающихся через вент!

Достижение высокого качества низкочастотных звуков

Если пациенту требуется усиление 0 дБ ниже некоторой частоты, никакая электроника не сможет сравниться с лишенной искажений, однородной частотной характеристикой, обеспечиваемой вентом.

У таких пациентов следует использовать закрытые типы ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов лишь в следующих случаях:

- ☐ Необходимое высокочастотное усиление не может быть достигнуто из-за наличия вента.
- ☐ Слуховой аппарат снабжен направленным микрофоном, и пациенту важно иметь возможность слышать на фоне низкочастотного шума.

Влияние вентов на направленность

Обычные направленные микрофоны наиболее эффективны на низких частотах. Однако пользователь ощутит эффект направленности лишь на тех частотах, на которых тракт звукоусиления доминирует над звуком, поступившим через вент. Поэтому для оптимального использования преимуществ направленного микрофона необходимо максимально расширить тракт звукоусиления в сторону низких частот, а вент должен быть по возможности маленьким.

Влияние вентов на внутренние шумы

Уровень внутренних шумов, как и всех других усиливаемых звуков, при использовании вентов снизится в низкочастотной области. Поэтому у людей с почти нормальным низкочастотным слухом восприятие внутренних шумов слухового аппарата сведется к минимуму при использовании максимально больших вентов.

Влияние вентов на компрессию

Хотя большой вент может практически нейтрализовать низкочастотное усиление слухового аппарата, он не препятствует поступлению звука к микрофону и, следовательно, не влияет на срабатывание компрессии. Поэтому низкочастотные звуки по-прежнему будут запускать механизм компрессии, хотя все воспринимаемые пациентом низкочастотные звуки поступают в его ухо через вент. Это – нежелательная ситуация. Решение проблемы состоит в использовании нескольких каналов компрессии, о чем будет сказано в Главе 6.

Почему возникает эффект окклюзии?

Как следует из рис. 5.2, резидуальный слуховой проход ограничен барабанной перепонкой, медиальным концом ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата и стенками наружного слухового прохода, включая хрящевой и костный отделы. При колебании любой из этих границ относительно остальных объем резидуального слухового прохода изменяется и в нем создается высокое звуковое давление. Что может быть причиной таких колебаний? При разговоре колебания голосового аппарата передаются всем костям черепа (включая нижнюю челюсть) и тканям, соединенным с этими костями. Кости и ткани обладают массой и эластичностью, поэтому они не движутся как единое целое. В результате возникают фазовые различия между движениями одной структуры относительно остальных (von Békésy, 1960). Следовательно, нижняя и передняя стенки хрящевого отдела слухового прохода (прилегающие к нижней челюсти) будут колебаться относительно двух других стенок (прилегающих к височной кости), что приведет к генерации звука в резидуальном слуховом проходе. Если человек не пользуется слуховым аппаратом, проблемы не возникают, т. к. в этом случае нет замкнутой полости, в которой могло бы создаваться звуковое давление. Колебания воздуха, создаваемые вибрирующими стенками слухового прохода, просто передаются во внешнюю среду.

Почему окклюзионный эффект наиболее выражен в отношении гласных [и] и [у]? С одной стороны, их первая форманта расположена вблизи частоты максимальной выраженности окклюзионного эффекта (300 Гц), поэтому она более всего усиливается. С другой стороны, эти гласные являются закрытыми, поэтому в

Существуют два пути снижения уровня звукового давления, обусловленного окклюзионным эффектом. Первый состоит во вскрытии замкнутого объема резидуального слухового прохода с помощью вента. На рис. 5.16 показано повышение уровня звукового давления, создаваемого в ушах десяти испытуемых во время разговора, при использовании ушных вкладышей с вентами разного размера. [Данные получены у тех же испытуемых и с теми же вентами, что и в табл. 5.1 и 5.2. Данные для закрытого каркасного вкладыша были аналогичны представленным данным для вкладыша типа шелл. Перед испытуемыми располагали эталонный микрофон для контролирования любых изменений голосового усилия] Очевидно, что вент размером 1 мм недостаточно велик для уменьшения окклюзионного эффекта, потому что столь малый вент сравним по своему действию с естественной утечкой вдоль корпуса вкладыша. При использовании вента размером 3,5 мм отверстие оказывается достаточным для снижения уровня звукового давления на несколько дБ. Неудивительно, что испытуемые (все они были нормально слышащими) оценивали свой голос как нормальный при использовании вента такого размера. Оценка испытуемыми приемлемости звучания своего голоса достоверно коррелировала со степенью повышения низкочастотного уровня звукового давления ($r = 0,63$).

Вент размером 2 мм лишь частично эффективен в решении проблемы окклюзии. Он ослабляет повышение уровня звукового давления, но не может полностью устранить его. Для каждого пациента, однако, качество собственного голоса становится все более приемлемым по мере увеличения открытости ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата. Вент размером 2 мм можно считать хорошей отправной точкой для решения проблемы окклюзии, но во многих случаях приходится расширять вент до 3 мм, чтобы пациент был удовлетворен звучанием своего собственного голоса.

Все вышеприведенные данные для разных вентов были получены на вкладышах со стандартной длиной канальной части – в среднем около 7 мм. По мере уменьшения объема резидуального слухового прохода, его сопротивление возрастает, и вент данного размера становится все более эффективным. Главными параметрами являются акустическая масса и, следовательно, сопротивление вента и их соотношение с этими же показателями резидуального слухового прохода и барабанной перепонки. В глубоко сидящих слуховых аппаратах можно добиться такого же эффекта устранения окклюзии, используя меньшие по размеру венты.

Второй путь решения проблемы окклюзионного эффекта состоит в том, чтобы вообще не создавать его! Как уже отмечалось, если вкладыш или корпус аппарата доходит до костного отдела наружного слухового прохода, окклюзионный эффект будет выражен в

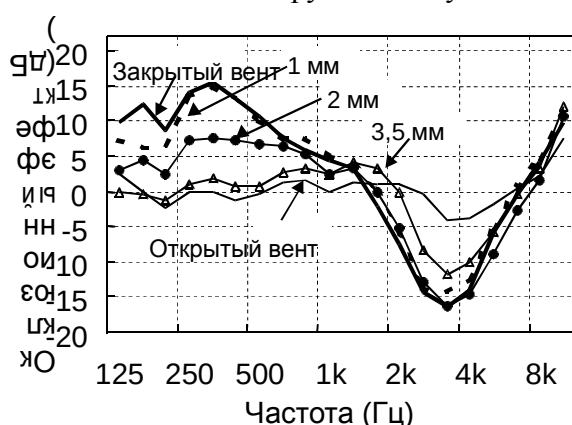


Рис. 5.16. Среднее повышение уровня звукового давления (относительно открытого уха) в наружном слуховом проходе во время разговора. Приведены данные 10 испытуемых, пользовавшихся ушными вкладышами с вентами разного размера (May, Dillon, 1992).

меньшей степени, чем если бы вкладыш или корпус аппарата заканчивались в хрящевом слуховом проходе (Bryant, Mueller, Northern, 1991; Killion, Wilbur, Gudmundsen, 1988). Такое решение представляется легким, однако оно создает практические проблемы у некоторых пациентов. Во-первых, требуется максимальная осторожность при изготовлении слепка, о чем подробно сказано в разделе 5.10. Во-вторых, больной может испытывать затруднения при установке и извлечении такого внутриушного слухового аппарата (реже, ушного вкладыша). Кроме того, длительное его использование может вызывать чувство дискомфорта. В последнем случае можно воспользоваться внутриушным аппаратом, корпус которого имеет

мягкий кончик (Oliveira, Hawkinson, Stockton, 1992). Если он изготовлен из губки, ее

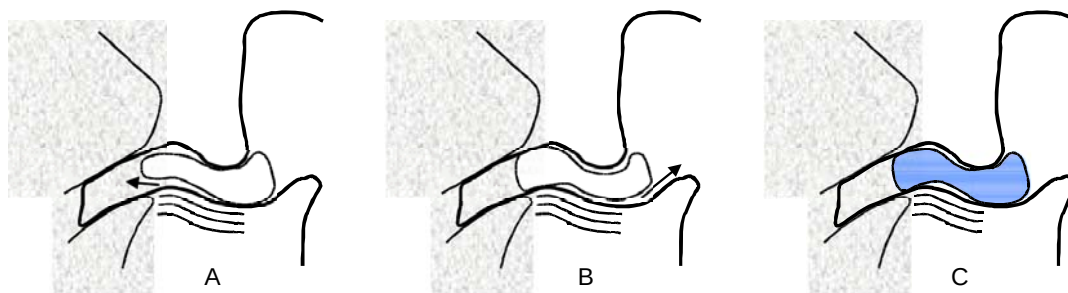


Рис. 5.17. Аксиальный разрез ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов, приводящих к очень сильному (А) и очень слабому (В) окклюзионному эффекту Ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата, обозначенный буквой С, приводит к слабому окклюзионному эффекту и практически не допускает утечки звука из слухового аппарата. Волнистыми линиями обозначена колеблющаяся передняя стенка слухового прохода, а стрелки показывают направление, в котором будет преимущественно распространяться костнопроведенный звук.

приходится слишком часто заменять, если же сам корпус сделан из мягкой пластмассы, то это снижает срок службы слухового аппарата.

Помимо длины канальной части ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата, очень важно знать, в какой точке он ближе всего прилегает к стенкам наружного слухового прохода (Killion, Wilbur, Gudmundsen, 1988; Revit, 1992). На рис. 5.17 изображены три ушных вкладыша одинаковой длины. Два из них (обозначенные буквами В и С) вызывают наименьший окклюзионный эффект. Добавление вента к любому из показанных вкладышей существенно снизит возможный эффект окклюзии.

Пациенты с порогами слышимости выше 40 дБ на частотах 250 и 500 Гц редко жалуются на окклюзионный эффект. Они нуждаются в значительном низкочастотном усилении, поэтому повышение уровня звукового давления при разговоре не имеет для них существенного значения. Единственная сложность состоит в том, что усиленный слуховым аппаратом звук накладывается (со знаком плюс или минус, в зависимости от соотношения фаз) на звук, обусловленный окклюзией, а это может повлиять на форму частотной характеристики собственного голоса в области низких частот. Если усиленный аппаратом звук находится в противофазе с костнопроведенным звуком, увеличение низкочастотного усиления может вызвать *снижение* уровня звукового давления в резидуальном слуховом проходе. Этот эффект лежит в основе описанных в литературе редких случаев решения проблемы окклюзии путем *увеличения* низкочастотного усиления (Sweetow, Valla, 1997).

Врачи могут воспользоваться анализаторами усиления реального уха для контроля за повышением уровня звука при разговоре пациента, независимо от того, связано ли оно только с костным звукопроводением или с сочетанием костного звукопроводения и усиления (Mueller, Hawkins, Northern, 1992; Revit, 1992). Подобные измерения не стоит производить в повседневной практике, потому что, в конечном итоге, приемлемый уровень окклюзии зависит от субъективной оценки пациента, а не от результатов физических замеров. Однако измерение окклюзии может помочь, если пациент продолжает жаловаться на звучание собственного голоса, несмотря на принятые врачом меры – использование вента и глубокое размещение ушного вкладыша. При глубоком расположении ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов измерения могут быть выполнены только через проделанное в них отверстие, сквозь которое можно ввести трубочку зонда. Кожа костного отдела слухового прохода недостаточно упруга для того, чтобы зонд мог располагаться между корпусом аппарата и стенкой слухового прохода, не причиняя неудобств или не приводя к утечке.

Итак, окклюзионный эффект – это повышение уровня звукового давления в наружном слуховом проходе, возникающее во время разговора пациента. Другое последствие использования полностью закрытых ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов заключается в недостаточной вентиляции и

повышенной влажности, что способствует развитию наружного отита. Информации об эффективности вентиляции крайне мало. В одной из работ показано, что даже вент размером 2 мм не снижает вероятности появления зуда и избыточного скопления влаги (MacKenzie, Browning, McClymont, 1989).

5.3.3. Влияние вентов и утечки звука на возникновение обратной акустической связи

Как отмечалось в разделе 4.3, обратная акустическая связь возникает, если уровень сигнала, просачивающегося из наружного слухового прохода назад к микрофону, превышает коэффициент прямой передачи слухового аппарата. Поэтому для определения максимально допустимого вносимого усиления (с точки зрения опасности возникновения обратной акустической связи) необходимо измерить уровень утечки сигнала на каждой из частот. [Как отмечалось в главе 4, вносимое усиление равно уровню звука в реальном ухе с усилением минус уровень звука в реальном ухе без усиления. В свою очередь, уровень звука в реальном ухе с усилением равен эффекту дифракции между свободным звуковым полем и микрофоном плюс усиление слухового аппарата от микрофона к наружному слуховому проходу. Максимальное значение усиления от микрофона к наружному слуховому проходу (без обратной связи) приблизительно равно аттенуации звука, просачивающегося из наружного слухового прохода назад к микрофону. Следовательно, максимальное вносимое усиление равно аттенуации утечки плюс эффект дифракции минус уровень звука в реальном ухе без усиления. Таким образом, можно определить максимально допустимое усиление на каждой из частот. Если максимальное усиление определять путем постепенного увеличения усиления слухового аппарата до появления обратной связи (напр., Gatehouse, 1989; Kuk, 1994), полученные результаты будут применимы лишь к частоте, на которой обратная связь появляется первой, а это зависит от конкретного слухового аппарата.] В табл. 5.3, 5.4 и 5.5 приведены максимально допустимые (с точки зрения обратной акустической связи) значения вносимого усиления, соответственно для заушных, внутриушных и внутриканальных слуховых аппаратов. Неудивительно, что максимально допустимое усиление снижается по мере увеличения открытости ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата. В табл. 5.3 данные для вкладышей типа «каркас» и «шелл» объединены, поскольку максимально допустимые значения вносимого усиления для них одинаковы. Kuk (1994) также пришел к выводу, что степень заполнения полости «шелла» не влияет на утечку звука. Удаление материала вкладыша кверху от ножки завитка (вкладыш типа «канальный замок» - рис. 5.4) приводит к снижению допустимого усиления на 5-10 дБ при отсутствии вента (Kuk, 1994), предположительно из-за того, что вкладыш начинает легче смещаться. К сожалению, для глубоких канальных слуховых аппаратов таких данных пока нет.

Таблица 5.3. Максимально допустимое (с точки зрения возникновения обратной акустической связи) вносимое усиление (в дБ) для заушных слуховых аппаратов с жесткими акриловыми вкладышами, снабженными вентами различного размера. Представлены усредненные данные, полученные у десяти испытуемых (Dillon, 1985). При использовании плотно сидящих вкладышей и/или вкладышей из мягкого материала возможны более высокие значения вносимого усиления.

Размер вента	Частота (Гц)							
	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
Закрытый вент	65	66	64	60	56	41	45	50
1 мм	65	64	61	58	52	39	45	47
2 мм	60	60	57	54	49	36	41	48
3.5 мм	51	53	52	48	43	31	35	41
Трубчатый вкладыш	41	43	42	40	34	23	26	37

Таблица 5.4. Максимально допустимое (с точки зрения возникновения обратной акустической связи) вносимое усиление (в дБ) для внутриушных слуховых аппаратов, снабженных вентами разного размера (Upfold, Dillon, 1992). Закрытые плотно сидящие корпуса аппаратов в процессе изготовления подвергались специальному наращиванию.

Размер вента	Акустическая масса вента (генри)	Частота (Гц)								
		250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000

Плотно сидящий аппарат без вента	□	62	56	56	56	47	41	23	24	12
Обычный аппарат без вента	□	62	54	52	49	44	33	24	22	13
1,5 мм	14200	61	57	54	53	48	37	26	25	15
2 мм	8000	54	50	46	46	42	33	24	23	13
CROS	4700	44	42	40	38	38	32	19	16	12
Янссен	2100	42	41	40	39	36	31	17	16	13

Таблица 5.5. Максимально допустимое (с точки зрения возникновения обратной акустической связи) вносимое усиление (в дБ) для внутриканальных слуховых аппаратов, снабженных вентами разного размера (Upfold, Dillon, 1992). Закрытые плотно сидящие корпуса аппаратов в процессе изготовления подвергались специальному наращиванию.

Размер вента	Акустическая масса вента (генри)	Частота (Гц)								
		250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
Плотно сидящий аппарат без вента	□	58	52	49	52	45	39	31	33	13
Обычный аппарат без вента	□	52	48	44	45	42	37	23	28	11
1,5 мм	14700	47	47	44	45	39	34	28	31	12
2 мм	7800	44	41	38	38	38	32	21	27	17
CROS	4500	39	34	31	31	29	26	15	23	7

Информацией, содержащейся в табл. 5.3-5.5, можно воспользоваться при выборе максимально допустимого размера вента, не приводящего к возникновению обратной связи. Проще всего вначале сравнить значение в столбце 3 кГц с заданным вносимым усилением на частоте 3 кГц, т. к. эта частота наиболее критична. Это связано с тем, что заданные кривые уровня звука в реальном ухе с усилением часто имеют максимум на частоте 3 кГц, обусловленный таким же максимумом на кривой уровня звука в реальном ухе без усиления. Следовательно, для того, чтобы сигнал слухового аппарата превысил уровень звука, поступающего в ухо пациента без аппарата, необходимо, чтобы уровень звука в реальном ухе с усилением был, по крайней мере, равен уровню звука в реальном ухе без усиления. В нелинейных слуховых аппаратах максимальное усиление требуется при низких входных уровнях, поэтому именно это низкоуровневое усиление необходимо сравнивать с максимально допустимым усилением.

Максимальные размеры вента следует выбирать с известной осторожностью. При одинаковом размере вента существуют межиндивидуальные различия максимально допустимого усиления, не приводящего к возникновению обратной акустической связи. Такие различия наиболее выражены для вкладышей, не имеющих вента, потому что утечка звука вдоль корпуса вкладыша является более вариабельной, чем утечка через вент известного размера. Кроме того, если усиление слухового аппарата лишь на несколько дБ отличается от уровня, при котором возникает обратная связь, качество звука страдает, о чем сказано в разделе 4.3.3. Поэтому при выборе максимально допустимого размера вента с помощью приведенных выше таблиц можно пользоваться гарантийным резервом, равным 10 дБ.

Нижняя строка табл. 5.3 содержит данные, относящиеся к т. н. трубчатому вкладышу. В данном случае вкладыши были снабжены трубочкой, вводящейся в наружный слуховой проход на глубину 7 мм. Величина усиления, не приводящая к возникновению обратной акустической связи, зависит от глубины введения трубочки

(Killion, Wilson, 1985). Чтобы добиться максимального усиления на высоких частотах, трубочка должна вводиться лишь на несколько миллиметров, тогда как для достижения максимального усиления на низких частотах (при восходящих типах тугоухости) трубочка должна вводиться как можно глубже (Killion, Wilson, 1985).

Можно предположить, что не только акустическая масса, но и форма вента влияют на вероятность возникновения обратной акустической связи. Иногда рекомендуется расширить вент с медиального, а не с латерального конца, придав ему форму обратного горна – для звуков, выходящих из наружного слухового прохода. Такая форма снизит обратное поступление на микрофон высокочастотных звуков (по сравнению с вентом, расширяющимся с латерального конца). Однако это относится к звукам частотой выше

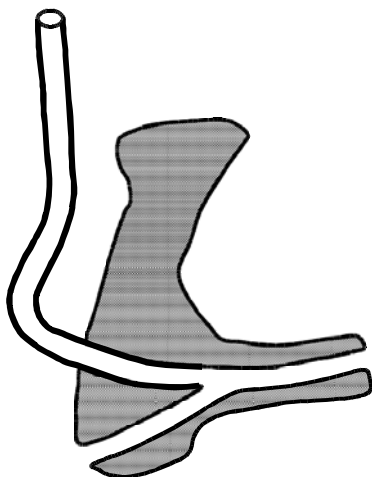


Рис. 5.18. Разрез Y-образного (или диагонального) вента, расположенного во вкладыше заушного слухового аппарата.

6 кГц, поэтому влияние на возникновение обратной связи будет минимальным, т. к. последняя обычно развивается на частотах ниже 6 кГц (Dillon, неопубликованные данные). Более эффективным путем снижения высокочастотной утечки при сохранении низкой акустической массы является использование полостных вентов (Masrae, 1981). Такие венты представляют собой полость внутри ушного вкладыша, имеющую два маленьких отверстия с медиального и латерального концов. В итоге получается акустический фильтр с низкочастотной полосой пропускания. Для эффективной работы такого фильтра требуется достаточно большой ушной вкладыш.

5.3.4. Сравнение параллельных и Y-образных (или диагональных) вентов

Помимо риска возникновения обратной связи, венты создают еще одну большую проблему – проблему их установки! Особенно много затруднений вызывает медиальная часть вкладыша. На рис. 5.18 показан альтернативный путь установки вента при ограниченном размере вкладыша. Такой вент называют **Y-образным**, или **диагональным**, или **угловым**, в отличие от **параллельного вента**, изображенного на рис. 5.1, о котором говорилось выше. *К Y-образному венту следует прибегать лишь в крайнем случае, потому что он создает две серьезные проблемы* (Сох, 1979). Высокочастотные звуки, распространяющиеся по звуководу, будут частично отражаться у Y-образного сочленения, где звуковод встречается с вентом. В результате снижается высокочастотное усиление и возрастает вероятность возникновения высокочастотной обратной связи. Если все-таки не удастся обойтись без Y-образного вента, звуковод и вент должны пересекаться как можно ближе к медиальному концу вкладыша. Кроме того, необходимо по возможности увеличить диаметр звуковода в медиальном от Y-образного сочленения направлении. Это снижает сопротивление данного участка звуковода и сводит к минимуму потерю высокочастотной энергии через вент. Конечно, если пространство позволяет значительно расширить звуковод, следует рассмотреть возможность вообще избавиться от Y-образного вента!

5.4. Звуководы: трубочки, горны и сужения

Звуковод обеспечивает связь между телефоном и резидуальным объемом наружного слухового прохода. В заушном слуховом аппарате он состоит из следующих частей:

- Трубочка длиной 8-15 мм (диаметром около 1 мм), соединенная с телефоном,
- Крючок слухового аппарата длиной 17-25 мм (диаметром около 1,3 мм),
- Трубочка длиной 35-45 мм (диаметром 1,93 мм), связывающая крючок аппарата с ушным вкладышем или проходящая сквозь последний.

Обычно общая длина звуковода составляет 75 мм, варьируя от 60 до 85 мм (Сох, 1979). Его конечная часть (длиной от 10 до 20 мм) находится внутри ушного вкладыша.

Звуководы внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных аппаратов намного короче. Обычно они представляют собой трубочку длиной от 5 до 12 мм, диаметром около 1,5 мм.

Все упоминавшиеся до сих пор в настоящей главе диаметры являлись внутренними, т. к. именно внутренний диаметр определяет распространение звука *вдоль* трубки. Однако толщина стенок трубки и, следовательно, наружный диаметр определяют утечку звука *сквозь* стенки трубки. Такая утечка может создавать проблемы в мощных слуховых аппаратах, поэтому существуют трубочки с очень толстыми стенками. В табл. 5.6 представлены наиболее распространенные варианты внутреннего и внешнего диаметров звуководов, в соответствии с классификацией NAEL. Новый тип звуковода #13 с супертолстыми (двойными) стенками снижает утечку звука на 2 дБ по сравнению со стандартным звуководом #13 (Flack et al., 1995). Это различие может показаться небольшим, но оно согласуется с разницей в толщине стенок. Обычным источником утечки является соединение между трубочкой и крючком аппарата, поэтому более долговечная толстостенная трубочка способствует более длительному сроку службы этого соединения.

Таблица 5.6. Диаметры (в мм) наиболее распространенных звуководов (Westone, 1996).

Тип звуковода	Внутренний диаметр (мм)	Наружный диаметр (мм)
#12 Стандартный	2,16	3,18
#13 Средний	1,93	3,10
#13 Толстостенный	1,93	3,31
#13 Супертолстый	1,93	3,61
#15 Стандартный	1,50	2,95
#16 Стандартный	1,35	2,95

В климатических зонах с повышенной влажностью необходимо пользоваться влагостойкими трубочками. Они изготовлены из специального пластика, препятствующего образованию капелек влаги на внутренней поверхности. Такие трубочки жестче обычных.

5.4.1. Акустические горны и сужения

Изменяя внутренний диаметр звуковода на его протяжении можно менять высокочастотную характеристику слухового аппарата. Если диаметр увеличивается (постепенно или ступенями), такой участок называют акустическим горном, если же диаметр уменьшается, данный отдел звуковода носит название обратного горна, или сужения.

Горны

Акустические горны повышают эффективность передачи высокочастотной звуковой энергии от телефона к ушному вкладышу и, соответственно, увеличивают как усиление, так и максимальный высокочастотный выход. Такое усиление действует лишь выше некоторой частоты, зависящей от входного и выходного диаметров горна, а также от его длины (см. ниже). Чем короче горн, тем выше диапазон частот, на которые он влияет. Горны во вкладышах заушных слуховых аппаратов могут быть намного длиннее горнов во внутриушных слуховых аппаратах, поэтому они могут охватывать усилением больший диапазон частот, чем необходимо. Горны заушных слуховых аппаратов обычно обеспечивают значительное усиление на частотах от 3 кГц и выше, тогда как горны внутриушных слуховых аппаратов не оказывают заметного влияния на частоты ниже 6 кГц.

Как работают акустические горны?

Горны помогают преодолеть *несоответствие* между *акустическим сопротивлением* телефона и гораздо более низким акустическим сопротивлением резидуального слухового прохода. Если телефон и

наружный слуховой проход соединены непосредственно или с помощью трубки постоянного диаметра, значительная часть энергии отражается назад от медиального конца трубки, а не передается в наружный слуховой проход. Постепенно изменяя диаметр соединительной трубки и, следовательно, ее сопротивление, можно добиться более плавного перехода от высокого сопротивления телефона к низкому сопротивлению наружного слухового прохода и, соответственно, уменьшить отражение. Такой механизм эффективен лишь в отношении тех высоких частот, длина волны которых меньше размеров трубки или сравнима с ними. Чем меньше отражение, тем меньше и стоячие волны в трубке. В результате частотная характеристика становится более гладкой, а качество звука улучшается.

Эффект горна можно оценить количественно. Приблизительное значение усиления высоких частот можно вычислить по формуле:

$$\text{Усиление} = 20 \cdot \log_{10}(d_o/d_i) \dots 5.3$$

Иными словами, горны с наибольшим выходным диаметром будут обеспечивать наибольшее высокочастотное усиление. Однако такое усиление распространяется лишь на частоты, лежащие выше частоты среза горна - f_h . Ниже частоты среза усиления не происходит. Для непрерывного горна с экспоненциально возрастающим диаметром частота среза равна (Beranek, 1954):

$$f_h = c \cdot \log_e(d_o/d_i) / (2 \cdot l) \dots 5.4,$$

где c – скорость звука, $\log_e$ – натуральный логарифм (обозначаемый в большинстве калькуляторов знаком $[\ln]$). Таким образом, чем короче горн, тем выше его частота среза. Например, у горна с входным диаметром 2 мм, выходным диаметром 4 мм и длиной 25 мм частота среза равна 1520 Гц. Усиление начинается с этой частоты и достигает своего максимального значения на октаву выше.

Если горн сделан более неравномерным, как на рис. 5.19, ступенчатый участок оказывает

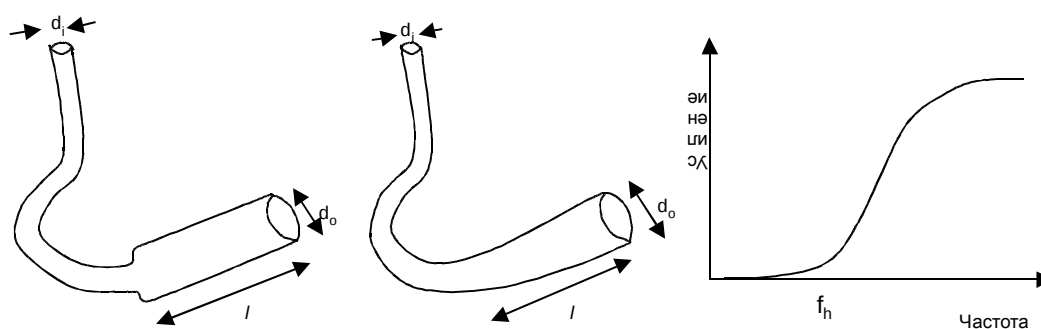


Рис. 5.19. Два акустических горна, ступенчатый и непрерывный, с входным диаметром d_i и выходным диаметром d_o , а также усиление (в т. ч. повышение максимального выхода) частотной характеристики под воздействием непрерывного горна.

дополнительное влияние на звукопроводение: из-за отражения звуковой энергии, происходящего при каждом изменении диаметра, в расширенной части трубки возникают стоячие волны. Четвертьволновой резонанс, обусловленный этими отражениями, можно использовать для изменения частотной характеристики и диапазона слухового аппарата (Killion, 1981; Dillon, 1983; Killion, 1988).

Существует несколько способов изготовления горнов во вкладышах заушных слуховых аппаратов. Простейший метод состоит в введении трубочки в ушной вкладыш на глубину нескольких миллиметров. Выходной диаметр такого горна будет определяться размерами отверстия, просверленного в медиальном конце ушного вкладыша. Хотя таким путем можно изготовить горн с одной или несколькими ступенями, метод имеет два существенных недостатка:

- Длина горна всегда будет меньше длины звуковода ушного вкладыша (обычно 15-22 мм), поэтому усиление не будет распространяться на более или менее низкие частоты.
- Такая трубочка плохо держится в ушном вкладыше. Кроме того, на латеральную поверхность вкладыша наносится клей, что со временем приводит к затвердению и растрескиванию трубочки в наиболее уязвимом месте.

В качестве альтернативы можно использовать жесткое колено, надежно прикрепленное к латеральному концу вкладыша, к которому, в свою очередь, крепится трубочка. Преимущество такого способа состоит в возможности замены трубочки без замены вкладыша, а также в отсутствии необходимости применения клея. При этом не решается проблема ограниченной длины горна. Тем не менее, метод вполне приемлем, если только не поставлена задача получения максимального усиления в наибольшем диапазоне частот.

Способ, позволяющий горну быть длиннее ушного вкладыша, состоит в использовании формованного пластикового горна, например горна Либби (Libby, 1982).

Нередко заушные слуховые аппараты дают недостаточное высокочастотное усиление по сравнению со среднечастотным усилением, несоответствующее расчетной частотной характеристике. Поэтому очень часто возникает желание применить максимально широкий горн. Одним из препятствий является проблема размещения такого горна, особенно если вкладыш должен быть снабжен вентом. На рис. 5.20 показаны два способа размещения в ушном вкладыше горна Либби диаметром 4 мм. На левом рисунке горн полностью вводится сквозь ушной вкладыш, для чего требуется отверстие диаметром около 5 мм. На правом рисунке, однако, последние 15 мм горна отрезаются, а оставшаяся часть вклеивается в латеральный конец ушного вкладыша. Поскольку сам вкладыш играет роль конечного отдела горна, достаточно просверлить в канальной части ушного вкладыша отверстие диаметром всего 4 мм. Кроме того, имеет значение площадь, а не форма звуковода, поэтому выходное отверстие может иметь овальную форму. Пользуясь этим методом, можно установить горн Либби диаметром 3 мм в ушной вкладыш, позволяющий полностью ввести трубку диаметром всего 2 мм. Потенциальный недостаток такого *полутрубочного* способа заключается в сокращении срока службы конструкции из-за

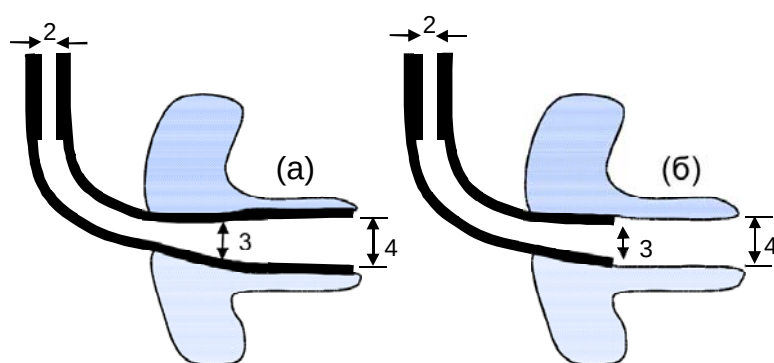


Рис. 5.20. Горн Либби диаметром 4 мм, полностью (а) и частично (б) введенный в ушной вкладыш. В последнем случае роль конечного отдела горна играет сам вкладыш. Диаметры приведены в мм.

необходимости приклеивания горна к латеральному краю вкладыша.

Эффект горна и четвертьволновой резонанс обосновывают необходимость различия входного и выходного диаметров горна. Вместо увеличения выходного диаметра можно попробовать уменьшить входной диаметр относительно звуковода #13. Данный принцип лежит в основе конструкции *высокочастотного звуковода Либаргера*: трубочка с внутренним диаметром 0,8 мм соединяет крючок аппарата с последними 15 мм трубочки диаметром 1,93 мм. Малый выходной диаметр облегчает изготовление горнов в детских ушных вкладышах.

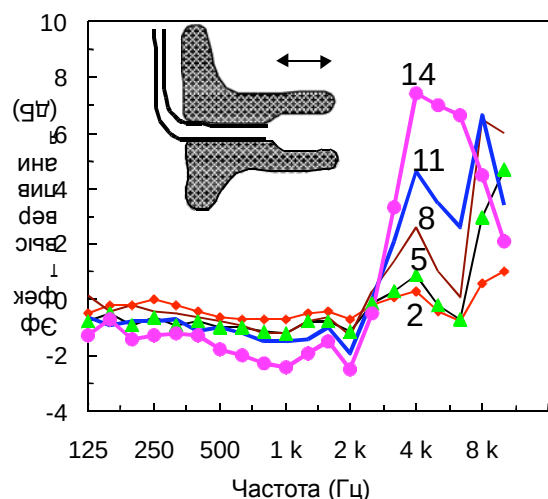


Рис. 5.21. Эффект высверливания отверстия диаметром 4 мм в медиальном конце ушного вкладыша в сравнении с звуководом диаметром 2 мм. Цифры рядом с кривыми обозначают длину (в мм) рассверленного отверстия.

Заметьте, что полностью эффективный горн *нельзя* сделать путем простого придания *конусообразной* формы конечному участку звуковода или высверливания последних 5 мм в области медиального конца вкладыша. Горн получится слишком коротким, поэтому его действие будет проявляться в области частот, превышающей диапазон усиления большинства слуховых аппаратов. Конусовидное высверливание может повысить частоту резонанса звуководов, что может быть выгодным в определенных условиях, но может иметь и отрицательный эффект. На рис. 5.21 показаны результаты высверливания отверстия диаметром 4 мм различной глубины в медиальном конце ушного вкладыша. Обратите внимание, что глубина высверленного отверстия

должна быть не менее 10 мм, чтобы его эффект проявился на частоте 4 кГц. Исключение составляют случаи, когда первоначально введенная трубка *номинально* постоянного диаметра оказывается нечаянно пережатой у медиального конца. При этом короткий горн может дать значительное высокочастотное усиление, но не из-за эффекта горна как такового, а в связи с тем, что при его изготовлении устраняется пережатие трубки звуковода (Killion, 1988).

В табл. 5.7 показано влияние, оказываемое различными акустическими горнами на усиление и максимальный выходной уровень слухового аппарата, в сравнении с звуководом постоянного диаметра #13. Общее высокочастотное усиление, обеспечиваемое горном определенного размера, является постоянной величиной, не зависящей от индивидуальных особенностей или модели слухового аппарата (Dillon, 1985). Однако значение усиления (в дБ) на отдельных фиксированных частотах будет неодинаковым у разных пациентов, пользующихся различными слуховыми аппаратами. Это связано с тем, что помимо общего высокочастотного усиления, горн слегка смещает резонансные частоты. Незначительное отрицательное влияние горнов на низкие частоты обусловлено тем, что они немного увеличивают общий объем полостей, связанных со слуховым аппаратом. Данные, касающиеся высокочастотного звуковода Либаргера, измерялись на модели ER-12 HP.

В табл. 5.7 включены данные для вклеенного звуковода #13, который может срезать высокие частоты по сравнению с звуководом #13 постоянного диаметра. Данные носят сравнительный характер: в действительности величина и диапазон высокочастотной аттенюации строго зависят от степени случайного пережатия трубочки звуковода при вклеивании в более или менее узкое отверстие ушного вкладыша. Та же участь может постигнуть и горны. Если они втиснуты в слишком узкие отверстия, полученное высокочастотное усиление будет меньше ожидаемого (Killion, 1988).

Табл. 5.7. Влияние различных профилей звуководов на усиление и максимальную выходную мощность (в дБ) по сравнению с звуководом #13 (2 мм) постоянного диаметра (Dillon, 1985; Dillon, неопубликованные данные).

	Частота (Гц)								
	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
Libby 4 мм	-1	-2	-3	-3	-1	-2	6	10	6
Libby 3 мм	-1	-1	-2	-2	1	1	5	5	2
Горн CFA #2	0	0	-1	-1	0	-1	4	6	4
Ступенчатый звуковод CFA #3	0	0	-1	-1	0	-1	4	6	2
Высокочастотный звуковод Либаргера	2	4	0	-11	-13	-12	-10	-1	-1
Вклеенный звуковод #13	0	0	0	0	0	0	0	-1	-5
6C5	0	1	0	0	0	0	-4	-6	-11
6C10	0	2	0	-2	-1	-5	-10	-12	-17
Звуковод 1.5 LP	1	3	0	-9	-10	-9	-10	-10	-12

Сужения

Эффект сужений противоположен эффекту горнов: они снижают эффективность передачи высокочастотной энергии в наружный слуховой проход. Сужения применяются гораздо реже, чем горны – частично из-за того, что тугоухость обычно более выражена в области высоких частот, а частично потому, что телефоны слуховых аппаратов менее эффективны на высоких частотах. Степень вызываемого сужением высокочастотного среза может быть увеличена при сочетании сужения с небольшой полостью или расширением звуковода, расположенным латеральнее сужения. Такое сочетание действует как более эффективный фильтр высоких частот. На рис. 5.22 приведены размеры трех сужающихся звуководов. Конфигурации 6C5 и 6C10 являются представителями целого семейства звуководов. Они названы так, потому что на частоте 6 кГц они срезают (по-английски *Cut*) характеристику, соответственно на 5 и 10 дБ (Killion, 1981). Конфигурацию 6C5 можно получить, введя звуковод #16 длиной 14 мм в ушной вкладыш, имеющий горн размером 3 мм (Killion, 1988). Для получения конфигурации 6C10 нужно ввести звуковод #19 длиной

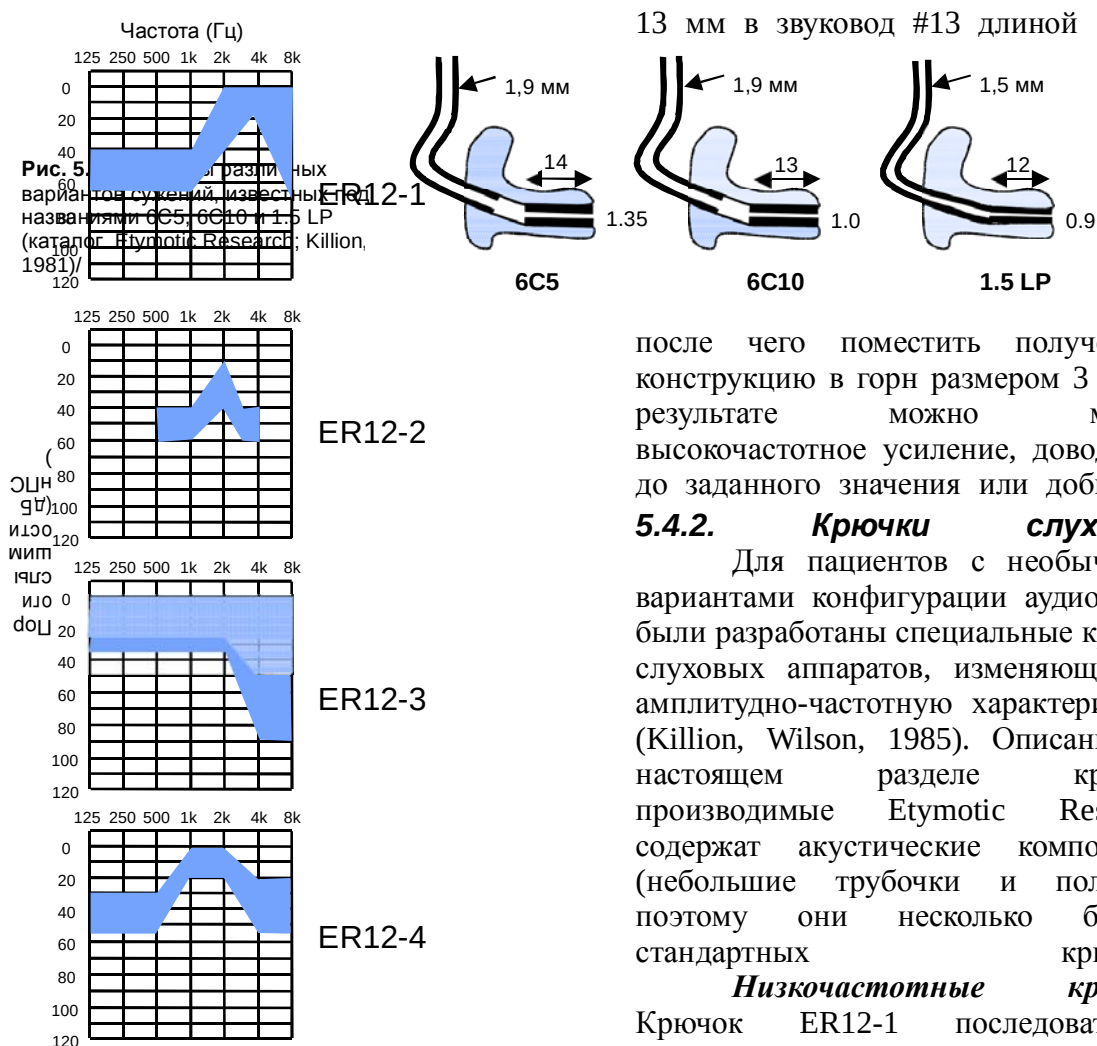


Рис. 5.23. Аудиометрические конфигурации, для которых был разработан каждый из специальных крючков. Заштрихованная область на аудиограмме ER 12-3 соответствует открытому типу ушного вкладыша, а закрашенная область – закрытому типу.

после чего поместить полученную конструкцию в горн размером 3 мм. В результате можно менять высокочастотное усиление, доводя его до заданного значения или добиваясь

5.4.2. Крючки слуховых

Для пациентов с необычными вариантами конфигурации аудиограмм были разработаны специальные крючки слуховых аппаратов, изменяющие их амплитудно-частотную характеристику (Killion, Wilson, 1985). Описанные в настоящем разделе крючки, производимые Etymotic Research, содержат акустические компоненты (небольшие трубочки и полости), поэтому они несколько больше стандартных крючков.

Низкочастотные крючки:

Крючок ER12-1 последовательно проводит звук через систему полостей и узких трубочек, не ослабляя низкие частоты, но заметно аттенуируя высокие частоты. По сравнению с обычным недемпфированным крючком он обеспечивает прирост в 6 дБ на частоте 500 Гц, аттенуацию в 13 дБ на частоте 1000 Гц и дополнительную аттенуацию в 40 дБ на частотах выше 2,5 кГц (Dillon, неопубликованные

Крючки, обладающие

свойствами узкополосного режекторного фильтра: Крючок ER12-2 ослабляет сигнал на частоте 2 кГц приблизительно на 15 дБ, но почти не влияет на частоты ниже 1 кГц и выше 3 кГц (Dillon, неопубликованные данные). В его основу положен принцип бокового резонатора, поглощающего энергию на своей резонансной частоте (Macrae, 1982). Этот крючок подходит всем пациентам с лучшим слухом на частоте 2 кГц, чем на более высоких и низких частотах; используется с обычным ушным вкладышем.

Высокочастотный крючок: Крючок ER12-3 в сочетании с высокочастотным звуководом Либаргера ослабляет сигнал в диапазоне от 1 до 2 кГц на 20-25 дБ, но почти не влияет на частоты ниже 500 Гц и выше 4 кГц (Dillon, неопубликованные данные; Killion, Wilson, 1985). В сочетании с открытым ушным вкладышем он позволяет добиться вносимого усиления 25 дБ на частоте 4 кГц без усиления частот ниже 1500 Гц (Killion, Wilson, 1985). Его можно также использовать с ушным вкладышем закрытого типа у пациентов с тугоухостью во всем частотном диапазоне, но с резким повышением порогов

на частотах выше 2 кГц. (См. также раздел 9.1.4, в котором обсуждается *необходимая* степень усиления высокочастотных звуков у таких больных).

«Выщербленный» крючок: Крючок ER12-4 в сочетании с высокочастотным звуководом Либаргера ослабляет сигнал на частоте 2 кГц приблизительно на 35 дБ, но почти не влияет на частоты ниже 500 Гц и выше 5 кГц (Dillon, неопубликованные данные). Таким образом, он подобен режекторному крючку ER12-2, но диапазон аттенюируемых частот у него шире, и аттенюация на частоте 2 кГц выражена в большей степени.

5.5. Демпферы

Демпферы используются для снижения усиления и максимального выходного уровня на частотах, соответствующих резонансу звуковода (см. разделы 2.6.2 и 2.7). Демпферы наиболее эффективны, если их размещают в тех участках звуковода, в которых резонанс приводит к наибольшему перемещению частиц воздуха. Природа волнового резонанса обуславливает наименьшую скорость частиц у конца трубки, ближайшего к телефону. Поэтому в заушных слуховых аппаратах резонансы на частотах 1, 3 и 5 кГц демпфируются более эффективно по мере перемещения демпфера по звуководу от телефона к латеральному концу ушного вкладыша. Напротив, резонанс телефона на частоте около 2 кГц демпфируется эффективнее по мере перемещения демпфера в направлении телефона. На рис. 5.24 показан эффект демпфера сопротивлением 1500 Ом, помещенного в крючок слухового аппарата у верхушки (со стороны вкладыша) и у основания (со стороны слухового аппарата).

Практический совет: Изменение среднечастотной характеристики заушного слухового аппарата с помощью демпферов.

- Чтобы максимально демпфировать 1 кГц, не меняя 2 кГц, поместите демпфер как можно ближе к ушному вкладышу. Самым удобным местом является верхушка крючка слухового аппарата.

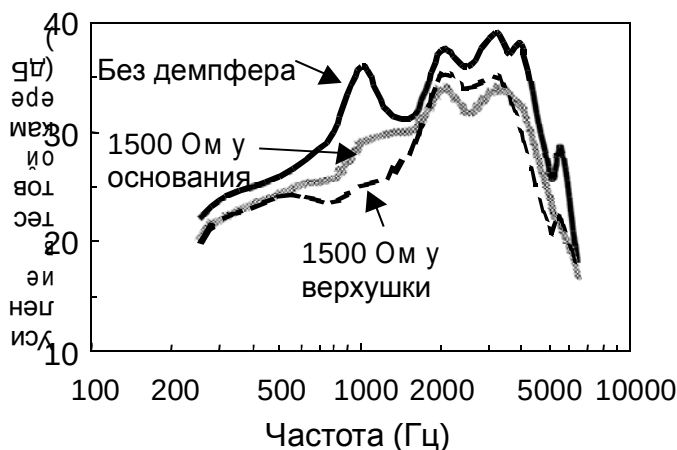


Рис. 5.24. Частотная характеристика слухового аппарата без демпфера и с демпфером сопротивлением 1500 Ом, помещенным у каждого из концов крючка слухового аппарата.

Демпферы, помещенные у внутреннего конца ушного вкладыша, более эффективны, но очень быстро пропитываются серой и влагой, поэтому их следует избегать.

- Чтобы максимально демпфировать 2 кГц, не меняя 1 кГц, поместите демпфер как можно ближе к телефону. Самым удобным местом является основание крючка, прикрепляемое к слуховому аппарату, но лишь конструкция немногих крючков позволяет размещать в их основании демпферы, изготовленные из пористого материала или агломерированной стали.

В табл. 5.8 приводится

влияние демпферов с различным сопротивлением на усиление и максимальную выходную мощность (в дБ) при размещении в разных концах крючка слухового аппарата.

Табл. 5.8. Типичный эффект демпферов, помещенных в основание и верхушку крючка заушного слухового аппарата. Приведенные значения представляют собой усредненные данные, полученные на нескольких слуховых аппаратах; величина аттенуации несколько отличается для каждого из аппаратов. Обозначения цветов соответствуют системе кодирования Knowles Inc. Существуют также следующие демпферы: 1000 Ом (коричневый), 3300 Ом (оранжевый) и 4700 Ом (желтый).

Сопротивление демпфера (Ом)	Положение демпфера	Частота (Гц)								
		250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000
330 (серый)	Основание	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0
680 (белый)	Основание	0	-1	-1	-3	0	-1	-1	0	0
1500 (зеленый)	Основание	-1	-2	-3	-7	-1	-2	-4	-1	-1
2200 (красный)	Основание	-1	-1	-2	-6	0	-3	-3	-4	-1
330 (серый)	Верхушка	0	0	-1	-3	-1	-1	0	-1	0
680 (белый)	Верхушка	0	0	-2	-6	-1	-1	-1	-1	-1
1500 (зеленый)	Верхушка	-1	-2	-6	-11	-3	-1	-2	-4	-1
2200 (красный)	Верхушка	-3	-4	-9	-16	-4	-1	-1	-5	-1

Иногда для получения достаточно равномерного усиления и максимальной выходной мощности слухового аппарата, близкой к заданному усилению, требуется размещать демпферы в обоих концах крючка слухового аппарата.

Демпферы можно помещать также в звуководы внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных слуховых аппаратов, но в этом случае они требуют более частой замены из-за впитывания серы и влаги. Их можно вводить также в трубочки микрофонов для снижения высокочастотной характеристики слуховых аппаратов (обычно для предотвращения обратной акустической связи). Существуют демпферы диаметром 2,08, 1,78, 1,37 и 1,12 мм, отвечающие самым разнообразным требованиям (Van Vliet, 1996). У демпферов трех последних размеров демпфирующие экраны не заключены в металлический ободок.

5.6. Специальные конфигурации звуководов, демпферов и вентов

Производители ушных вкладышей предлагают потребителю самые разнообразные сочетания звуководов, вентов и демпферов, имеющие различные наименования и цифровые обозначения. Вместо того, чтобы рассматривать каждый вариант как отдельный продукт, обладающий уникальными свойствами, вы должны оценивать форму и размеры звуковода, размер вента, а также характеристики и местоположение демпферов. Знание этих трех параметров поможет вам разобраться в акустических свойствах предлагаемого вкладыша в целом.

5.7. Методика выбора акустических параметров ушного вкладыша и корпуса внутриушного слухового аппарата

Прежде чем начать настройку слухового аппарата, можно воспользоваться следующими правилами выбора надлежащих акустических параметров ушного вкладыша. Подразумевается, что предварительный выбор слухового аппарата уже осуществлен (см. Главу 10). Иногда в ходе этой процедуры становится ясно, что предварительный выбор слухового аппарата был не самым удачным.

1. Определите максимальный допустимый размер вента. После вычисления заданного вносимого усиления воспользуйтесь табл. 5.4, 5.5 или 5.6 для определения *максимального размера вента*, безопасного с точки зрения обратной акустической связи. Для нелинейных слуховых аппаратов воспользуйтесь значениями заданного усиления низкоуровневых сигналов, т. к. именно они подвергаются наибольшему усилению. (Не забывайте про резерв в 10 дБ, иначе вы слишком рискуете). Некоторые формулы вычисления заданного усиления дают нереально высокие значения усиления высоких частот (больше, чем необходимо пациенту), поэтому максимально допустимый размер вента оказывается нереально маленьким. Во избежание подобных ситуаций тщательно выбирайте формулу вычисления заданного усиления! (Подробнее об этом сказано в главе 9). Аналогично, если высокочастотное заданное усиление превышает возможности слухового аппарата, ограничения со стороны размеров вента также оказываются излишними.

2. Определите минимальный необходимый размер вента. Исходя из порогов слышимости пациента на частотах 250 и 500 Гц, определите *минимальный размер вента*, необходимый для преодоления окклюзионного эффекта. В литературе нет достоверных данных по этому вопросу, однако можно руководствоваться следующим соображением: при низкочастотной тугоухости свыше 45 дБ вент не нужен, а при низкочастотной тугоухости менее 30 дБ нужен вент размером не менее 2 мм, а может быть и больше. Хотя вент размером 1 мм обычно слишком мал для предотвращения окклюзии, его наличие может облегчить высверливание или вытачивание большего вента, если в нем возникнет потребность.

3. Выберите размер вента. Учитывая полученные в первых двух пунктах результаты, в большинстве случаев вы сможете достаточно легко выбрать размер вента, потому что максимальный и минимальный размеры должны либо совпадать, либо максимальный размер должен немного превышать минимальный. Сложнее обстоит дело с пациентами, имеющими близкие к нормальным низкочастотные пороги слышимости и тугоухость в пределах 60-90 дБ на высоких частотах. Максимальный размер вента окажется меньше минимального размера. Такие случаи действительно очень сложны – они требуют тщательного подбора размеров вента и повторных примерок с целью устранения обратной акустической связи и окклюзии. Но даже после этого окончательное решение проблемы может быть получено только путем использования электронных систем подавления обратной связи. Разумно применять венты переменного диаметра у больных со сложными аудиограммами, а также во всех случаях, когда минимальный и максимальный размеры вента незначительно отличаются друг от друга.

4. Выберите форму звуковода. Этот пункт касается, в первую очередь, вкладышей для заушных слуховых аппаратов, частично из-за ограниченной эффективности горнов во внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных аппаратах, а частично – из-за того, что выбор звуковода для этих типов аппаратов осуществляется их производителями.

Звуковод оказывает наибольшее влияние на форму частотной характеристики в диапазоне 2-4 кГц, поэтому для принятия решения можно ограничиться только этими частотами. Вначале вычислите наклон (в дБ/окт.) заданного усиления (т. е. заданное усиление для 4 кГц минус заданное усиление для 2 кГц). Затем вычислите наклон тестового усиления выбранного слухового аппарата. Если наклон заданного усиления превышает наклон усиления слухового аппарата (что бывает чаще всего), вам потребуется горн того или иного типа. Если же (в редких случаях) наклон заданного усиления в диапазоне 2-4 кГц *меньше* наклона усиления слухового аппарата, необходимо воспользоваться одним из вариантов суженного звуковода. При одинаковом наклоне заданного усиления и усиления слухового аппарата можно использовать звуковод #13. [Приводившиеся в настоящем руководстве графики для заушных слуховых аппаратов основаны на данных, полученных в камере объемом 2 см³ с имитатором ушного вкладыша НА2. Вносимое усиление определялось с использованием звуковода постоянного диаметра (#13), помещенного в ушной вкладыш закрытого типа. Поэтому при отсутствии различий между заданным усилением и реальной характеристикой слухового аппарата следует пользоваться трубочкой звуковода #13]. Приведенные в табл. 5.9 данные помогут вам выбрать надлежащий горн или сужение. Просто найдите конфигурацию звуковода, наклон характеристики которого в диапазоне 2-4 кГц совпадает с вычисленным вами различием между наклоном заданного усиления и наклоном усиления подбираемого вами слухового аппарата. Заметьте, что, в отличие от звуковода #13, высокочастотный звуковод Либаргера подавляет средние частоты, а не усиливает высокие (см. табл. 5.7). Отметьте также, что звуковод 1.5 LP эффективен в диапазоне от 500 Гц до 2 кГц и поэтому почти не влияет на частоты выше 2 кГц.

Табл. 5.9. Тип звуковода, необходимый для устранения различий между заданной крутизной характеристики (вычисленной как 4 кГц минус 2 кГц) и реальной тестовой крутизной характеристики слухового аппарата.

Тип звуковода	Наклон характеристики в диапазоне 2-4 кГц (дБ/окт.)
Горн Либби размером 4 мм	12
Горн Либби размером 3 мм	4
Горн CFA #2	7
Ступенчатый звуковод CFA #3	7
Высокочастотный звуковод Либаргера	11
Вклеенный звуковод #13	-1
6C5	-6
6C10	-7
Звуковод 1.5 LP	-1

Если подбор слухового аппарата и ушного вкладыша производится на основании вносимого усиления, для выбора звуковода все равно следует воспользоваться табл. 5.9. В этом случае выбор должен быть основан на различии между крутизной заданного вносимого усиления и ожидаемой крутизой вносимого усиления для выбранного слухового аппарата.

5. Выберите демпфер. Демпфер лучше всего выбирать после того, как слуховой аппарат подобран. Одна из причин такого подхода состоит в том, что табл. 5.8 не показывает эффект демпфера на промежуточных частотах. Во-вторых, окончательный эффект демпфера на данной частоте зависит от того, совпадает ли она с пиком или провалом частотной характеристики. В-третьих, пики и провалы вносимого усиления слухового аппарата зависят от индивидуальной частотной характеристики уха пациента. В-четвертых, в отличие от вента или звуковода, размеры демпфера можно изменить за несколько секунд непосредственно в процессе примерки аппарата. Поэтому проще всего вначале произвести измерение реального усиления со стандартным демпфером, входящим

в комплект поставки слухового аппарата, а затем при необходимости заменить его, руководствуясь табл. 5.8.

Практический совет: быстрая замена демпферов. Демпферы можно заменять быстро и не повреждая их, если заранее приготовить некоторое количество запасных крючков с установленными в них демпферами разного размера.

5.8. Ушные слепки

Хотя настоящая глава посвящена в первую очередь акустическим свойствам ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов, их невозможно изготовить без предварительного снятия слепков. В данном разделе описаны методики и материалы, применяемые для приготовления слепков.

5.8.1. Стандартная методика изготовления ушных слепков

Осмотр наружного слухового прохода. Приготовление ушного слепка начинается с отоскопии.

- Нельзя делать слепок, если избыток серы может повлиять на точность его изготовления. Нет единого мнения о допустимом количестве серы, но очевидно, что оно связано с тем, насколько точным должен быть слепок. Если речь идет о слабом заушном аппарате с вкладышем открытого типа или внутриушном аппарате типа «конха», серы может быть больше, чем в случае мощного слухового аппарата с закрытым вкладышем или глубокого канального аппарата.
- Нельзя приступать к изготовлению слепка при наличии признаков воспаления наружного или среднего уха, при выходящей барабанной перепонке или при ее перфорации. В любом из перечисленных случаев необходимо предварительное врачебное вмешательство.
- Не делайте глубоких слепков, если наружный слуховой проход значительно расширяется (относительно своих начальных отделов), т. к. это может привести к затруднениям при извлечении слепка. Обычно наружный слуховой проход несколько расширяется в переднезаднем направлении медиальнее второго изгиба (Alvord & Farmer, 1997). Материал ушного слепка может *слегка* сжиматься при извлечении (см. раздел 5.8.3), но лишь в определенных пределах. Экстремальные варианты расширения наружного слухового прохода встречаются после мастоидэктомии, когда хирург удаляет патологические ткани сосцевидного отростка. В таких случаях необходима предварительная консультация ЛОР-специалиста. Для защиты барабанной перепонки в послеоперационную полость вводят дополнительный отоблок. Sullivan (1995) рекомендует пользоваться ватными, а не губчатыми отблоками, а на его веб-сайте размещены дополнительные инструкции и иллюстрации.
- Удалите из ушной раковины все волосы, которые можно состричь ножницами, потому что они могут исказить слепок или затруднить его извлечение.

Введение отоблока. *Отоблок* представляет собой небольшой кусочек ваты или губки, заполняющий просвет наружного слухового прохода и предотвращающий дальнейшее распространение слепочной массы. Отблока называют также *канал-блоками* или *блокираторами уха*. Сопротивление потоку, оказываемое отблоком, позволяет слепочной массе равномерно заполнить просвет наружного слухового прохода на протяжении всей длины, не растекаясь в ширину. К отблоку привязывают короткую нитку, облегчающую его извлечение, хотя она может понадобиться лишь в том случае, если отблок вынимают из уха, не сделав слепок. Отблока можно делать самостоятельно, хотя удобнее приобретать готовые отблока разного размера с заранее прикрепленными к ним нитками. Следует правильно подбирать размер отоблока: слепочная масса может протолкнуть слишком маленький отблок дальше по слуховому проходу или затечь за него. Слишком большие отблока не удастся ввести на достаточную глубину. Кроме того, они могут деформировать наружный слуховой проход. Для получения глубоких слепков слухового прохода пользуются тонкими (в медиально-латеральном направлении)

отоблоками. Удобнее всего вводить отоблок, проталкивая его с помощью подсвечивающегося пластикового стержня, именуемого «*отолайт*» (от англ. *light* – свет). Пользуясь отолайтом, необходимо упираться мизинцем в голову пациента. Глубина введения отоблока имеет большое значение. Можно изготовить вкладыш или слуховой аппарат, канальная часть которого короче слепка, но невозможно сделать канальную часть более длинной, чем слепок. Лучше ошибиться в большую сторону, поэтому отоблок нужно устанавливать на уровне второго изгиба или чуть дальше, если только вы не уверены в том, что канальная часть вкладыша должна быть очень короткой. В сложных случаях (мощные или глубокие канальные слуховые аппараты) отоблок следует располагать на 5 мм глубже второго изгиба. Если вы хотите, чтобы ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата был короче слепка, вы можете отметить необходимую длину прямо на слепке.

Нежелательные последствия. Размер отоблока *должен* быть адекватным. Давление, создаваемое при введении обычной слепочной массы, достаточно для повреждения барабанной перепонки. Это может привести к внедрению слепочной массы в полость среднего уха (Schimanski, 1992).

Замешивание слепочной массы. Не отклоняйтесь от рекомендуемой пропорции ингредиентов. Хотя меняя пропорцию вы можете снизить вязкость массы (тем самым облегчив ее введение) или ускорить процесс застывания, это может отрицательно сказаться на полученном слепке. Например, избыток жидкости в жидкостно-порошковом акриле сделает слепок неустойчивым к температурному воздействию (Morgan, 1994) и повысит его усадку (Agnew, 1986). Замешивание должно быть тщательным, но быстрым. Следует пользоваться шпателем и одноразовой (или хорошо отмываемой) посудой по следующим причинам:

- Во избежание последствий для здоровья врача из-за впитывания кожей химических компонентов слепочной массы.
- Во избежание попадания в слепочную массу сернистых соединений, содержащихся в косметике или латексных перчатках (Westone, 1996).
- Во избежание повышения температуры слепочного материала, потому что время застывания уменьшается по мере повышения температуры.

Готовую слепочную массу следует поместить в шприц с помощью шпателя, или зачерпывая ее краем перевернутого шприца.

Заполнение уха. Нажмите на поршень, так чтобы слепочная масса начала выдавливаясь из шприца. Оттяните ушную раковину вверх и назад, чтобы ввести шприц как можно глубже. Для глубоких и узких слуховых проходов могут понадобиться специальные насадки на шприц. Нажимайте на поршень до тех пор, пока кончик шприца не погрузится в слепочную массу примерно на 6 мм (0,25 дюйма). Продолжайте давить на поршень, одновременно извлекая шприц, так чтобы его кончик оставался погруженным в слепочную массу на ту же глубину. После заполнения наружного слухового прохода и почти полного заполнения ушной раковины направьте конец шприца вверх, вдоль заднего края ушной раковины (вплотную к противокозелку и противозавитку), по направлению к завитку. После заполнения челнока ушной раковины направьте конец шприца вниз, вдоль переднего края полости ушной раковины (вплотную к козелку). Завершите выдавливание массы, когда ушная раковина окончательно заполнится и даже несколько переполнится. Без этого невозможно сохранение на слепке всех опознавательных точек уха. Вся операция должна выполняться одним движением, с постоянным и равномерным надавливанием на поршень шприца. Если постараться сделать внешнюю поверхность слепка ровной, это облегчит его приклеивание к контейнеру для дальнейшей транспортировки. Следует попросить пациента несколько раз открыть и закрыть рот, *сразу же* после заполнения уха слепочной массой (т. е. задолго до ее застывания). Еще лучше заполнять ухо слепочной массой при открытой челюсти и попросить больного закрыть рот сразу же по окончании выдавливания массы. Иногда необходимо, чтобы рот был открыт в течение всего процесса изготовления слепка (см. раздел 5.8.2).

Ожидание. Через 7-10 минут (в зависимости от слепочного материала и температуры) проверьте твердость слепка, проведя по нему ногтем или другим острым

предметом. Если след от нажатия полностью исчез, слепок готов. Если наружный слуховой проход слишком изогнут и/или если он слишком длинный, подождите на несколько минут дольше обычного, чтобы предотвратить отрыв части слепка в процессе его извлечения.

Удаление слепка. Попросите больного несколько раз открыть и закрыть рот. Оттяните ушную раковину вниз, затем назад и, наконец, вверх. Эти движения помогают отделить слепок от уха. Извлеките завитковую часть слепка (*завитковый замок*). Захватите вкладыш и вытяните его из ушной раковины, слегка вращая в разные стороны.

Осмотр уха. Убедитесь, что в ухе не осталось ничего лишнего!

Осмотр слепка. Убедитесь в отсутствии на поверхности слепка морщин (складок), дыр и пузырьков. Их наличие допустимо лишь в тех частях слепка, которые будут отрезаны в процессе изготовления вкладыша. Особенно важно хорошее качество канальной части слепка. Если вы сомневаетесь, сделайте второй слепок. Не отделяйте отблок от слепка. Угол его прикрепления к слепку позволит изготовителю определить дальнейшее направление наружного слухового прохода. *Никогда* не удлиняйте слепок, добавляя к нему слепочную массу после извлечения из уха. Это невозможно сделать с достаточной точностью, поэтому возникают дискомфорт и обратная акустическая связь (Pirzanski, 1997).

Упаковка слепка. Упакуйте готовый слепок в подходящий контейнер (см. раздел 5.10.3). Любое повреждение слепка в процессе транспортировки скажется на качестве готового вкладыша.

Санитарная обработка. Необходимо принять надлежащие профилактические меры, подобные предпринимаемым при измерении усиления в реальном ухе, однако в задачи настоящего руководства не входит их подробное рассмотрение. Особенно внимательным следует быть при наличии в ухе признаков инфекции или при возникновении непредвиденного кровотечения.

Достиг ли слепок костного слухового прохода? Если слуховой аппарат должен доходить до костного отдела наружного слухового прохода, запомните следующее:

- ☐ Если на слепке недостаточно четко определяется второй изгиб, сделайте новый слепок – предыдущий слишком короток.
- ☐ Осмотрите слепок под увеличительным стеклом – кожа костного слухового прохода более гладкая и менее пористая, чем в хрящевом отделе. Хорошие слепки позволяют заметить эти структурные различия.

5.8.2. Методика изготовления ушных слепков для глубоких канальных и мощных слуховых аппаратов

Глубокие канальные и мощные слуховые аппараты могут потребовать изготовления более плотно сидящего корпуса или вкладыша, чем остальные аппараты. Плотно сидящий вкладыш необходим для предотвращения обратной акустической связи или (в случае глубокого канального аппарата) для надежной фиксации слухового аппарата в ухе.

Глубокие канальные аппараты держатся в ухе за счет изгибов наружного слухового прохода. Особенно важен второй изгиб, потому что за ним обычно следует расширение (Pirzanski, 1997). Поэтому важно, чтобы слепки для глубоких канальных аппаратов были достаточно глубокими, захватывая второй изгиб и заходя за него, по крайней мере, на 5 мм. При таком глубоком расположении отблока слепочный материал может расширить хрящевой слуховой проход на всем его протяжении, обеспечивая в результате еще большую плотность введения будущего корпуса аппарата (Pirzanski, 1997, статья о критических факторах).

Краткое описание методики изготовления слепков для глубоких канальных аппаратов.

- ☐ Слепок должен заходить на 5 мм дальше второго изгиба;
- ☐ Пользуйтесь силиконовым слепочным материалом средней или высокой вязкости (напр., Otoform A/K, Westone, Silicast, Steramold, Otosil, Dahlberg) (Pirzanski, 1997);
- ☐ В процессе изготовления слепка рот пациента должен быть открыт.

Глубокие канальные аппараты и, в меньшей степени, канальные слуховые аппараты должны плотно сидеть в ухе, чтобы не выпасть из него. Слуховой аппарат может смещаться, потому что форма наружного слухового прохода меняется при движении

челюсти. В частности, при открывании рта переднезадний размер слухового прохода между первым и вторым изгибами постепенно увеличивается. По мере открытия рта, мышелок нижней челюсти перемещается вперед, сдвигая в этом же направлении переднюю стенку наружного слухового прохода (Oliveira, 1997). В среднем, при открытии рта на 25 мм (расстояние измеряли между верхними и нижними резцами) ширина наружного слухового прохода увеличивается на 10% (Oliveira, 1995). Если у больного отсутствуют задние зубы, плохо подобраны зубные протезы или имеются нарушения височно-нижнечелюстного сустава иной природы, амплитуда движений нижней челюсти возрастает, в результате чего размеры наружного слухового прохода меняются в еще больших пределах (Griffing, Giles, Romriell, 1998).

Данную проблему можно решить, если делать слепок наружного слухового прохода, попросив пациента прикусить 25-миллиметровую зубную прокладку вплоть до застывания слепочной массы (Pirzanski, 1996). Можно предположить, что ушные вкладыши или корпуса внутриушных слуховых аппаратов с более толстой канальной частью будут вызывать дискомфорт при закрытой челюсти, однако есть данные, что они не менее, а иногда даже более комфортны, чем обычные, т. е. изготовленные при стандартной методике получения слепков (Fishbein, 1996). Pirzanski (1997) отмечает, что дискомфорт может быть вызван слишком *свободно* сидящим слуховым аппаратом, потому что пациент постоянно старается затолкнуть его поглубже, чтобы он не выпадал или чтобы предотвратить обратную акустическую связь.

Следует ли всегда делать слепки для глубоких канальных аппаратов при открытой челюсти? Возможно, хотя такая необходимость чаще возникает при избыточно подвижном наружном слуховом проходе. Врач может определить степень подвижности слухового прохода с помощью отоскопии или на ощупь пальцем (Martin, Pirzanski, 1998).

Чрезмерная подвижность стенки наружного слухового прохода может воспрепятствовать использованию глубокого канального слухового аппарата (Griffing, Giles, Romriell, 1998). Потенциальным, хотя и неапробированным, решением проблемы может быть изготовление слухового аппарата таким образом, чтобы его внешняя часть *свободно* сидела в наружном слуховом проходе, а внутренняя часть плотно входила в костный слуховой проход (который неподвижен). Для большей комфортности среднюю часть аппарата можно изготовить из очень мягкого материала.

Альтернативный способ изготовления плотно сидящего ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата состоит в постепенном наращивании размеров слепка в ухе пациента. Для получения плотно сидящего, но очень точного слепка уха применяется трехэтапная методика изготовления слепков, требующая использования слепочного материала разной вязкости (Fifield, Earnshaw, Smither, 1980). На каждом этапе стенка слухового прохода постепенно растягивается; при этом наибольшее растяжение происходит в местах максимальной подвижности слухового прохода.

Краткое описание трехэтапной методики:

1. Сделайте слепок с помощью вязкой слепочной массы, проведя сквозь нее кусочек трубочки. Трубочка облегчит извлечение слепка из уха, особенно на этапах 2 и 3.
2. Нанесите более жидкую слепочную массу на канальную часть готового слепка. Введите слепок в ухо и на несколько секунд прижмите его, чтобы незастывшая масса равномерно распределилась по его поверхности. После застывания извлеките слепок и убедитесь в проходимости трубочки. Повторно введите слепок. С помощью насоса импедансометра убедитесь в герметичности слепка. В течение 5 секунд в полости наружного слухового прохода должно сохраняться давление 200 даПа, при этом больной открывает и закрывает рот. При утечке воздуха повторите этап 2.
3. Уложите голову пациента на подушку и поверните ее набок. Введите новый ватный отбоек, по крайней мере на глубину, на которую вводился первый отбоек, заполните наружный слуховой проход жидкой слепочной массой и быстро вставьте в ухо слепок. В результате большая часть жидкой слепочной массы вытечет наружу. В итоге вы получите более точный ушной слепок. Третий этап можно пропускать.

Изготовителя ушных вкладышей следует попросить не наращивать готовый вкладыш и не полировать его. Подробнее методика описана у Fifield, Earnshaw, Smither (1980).

Как методика открытой челюсти, так и трехэтапная методика, увеличивают размеры вкладыша в переднезаднем направлении сразу же за входом в наружный слуховой

проход (Macrae, 1990; Pirzanski, 1997, статья о критических факторах). Относительная эффективность обеих методик неизвестна, но методика открытой челюсти занимает существенно меньше времени. Третий вариант заключается в приготовлении обычного слепка, однако затем изготовителя ушных вкладышей просят нарастить вкладыш или корпус аппарата в области апертурной перемычки. Такой способ менее эффективен, чем трехэтапная методика, потому что изготовитель вкладышей не знает, насколько подвижен наружный слуховой проход, но даже он обеспечивает достаточную для большинства мощных слуховых аппаратов степень аттенюации (Macree, 1990).

5.8.3. Материал для изготовления ушных слепков

Для изготовления ушных слепков используют по крайней мере три типа материалов. В каждом случае слепок застывает в результате химической реакции, протекающей после смешивания компонентов слепочной массы:

- ☐ **Акриловая** слепочная масса (напр., Blend™, Audalin™) готовится путем смешивания жидкости и порошка.
- ☐ **Конденратно-отверждаемая силиконовая** слепочная масса (напр., Amsil™, Copolsil™, Otoform-K™, Silisoft™) готовится путем смешивания двух паст. Наиболее распространенной конденратно-отверждаемой слепочной массой является диметилсилоксан.
- ☐ Слепочная масса на основе **присоединительной вулканизации** (напр., Otoform A/K™, Reprosil™) готовится путем смешивания двух паст. Наиболее распространенной слепочной массой на основе присоединительной вулканизации является поливинилсилоксан.

Слепочные массы должны обладать определенными свойствами, позволяющими изготовить плотно сидящий, но комфортный ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата.

Вязкость. Слепочные массы с низкой вязкостью легче всего вводить в наружный слуховой проход. Кроме того, они меньше всего меняют его форму. Раньше ими рекомендовали пользоваться при изготовлении слепков для глубоких канальных аппаратов, т. к. они лучше всего передают форму слухового прохода. К сожалению, при этом не учитывались изменения размеров наружного слухового прохода, вызванные движениями челюсти (раздел 5.8.2). Pirzanski (1997, статья о критических факторах) *не советовал* пользоваться слепочной массой с низкой вязкостью в случаях, требующих плотного введения вкладыша, потому что такая масса недостаточно растягивает хрящевой отдел наружного слухового прохода. При изготовлении глубоких канальных аппаратов было рекомендовано вводить в костный отдел слухового прохода слепочную массу с низкой вязкостью, а спустя минуту – заполнять оставшийся объем более вязкой слепочной массой (Staab, Martin, 1995). Такое сочетание позволяет изолированно растягивать хрящевой отдел слухового прохода. Преимущества описанной методики с точки зрения комфортности и предотвращения обратной связи не изучались.

Резюме: Пять способов изготовления плотно сидящего, но удобного ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата

- ☐ Снимайте слепок при открытой челюсти
- ☐ Пользуйтесь двух- или трехэтапной методикой изготовления слепка
- ☐ Закажите наращивание вкладыша в процессе его изготовления
- ☐ Используйте вязкую слепочную массу
- ☐ Утрамбуйте слепочную массу прежде, чем она застынет

При раздельном применении способы, приведенные в начале списка, более эффективны, чем приведенные в конце (Macrae, 1990). Одновременное использование *всех* методов никогда не изучалось и *не может* быть рекомендовано.

Стабильность размеров. Если ушной слепок дает усадку через несколько часов или дней после изготовления, сделанный по нему ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата будет меньше, чем нужно, если его не нарастить в процессе производства. При этом точность изготовления полученного вкладыша страдает. В течение первых 48 часов после изготовления линейные размеры слепка из силикона на

основе присоединительной вулканизации уменьшаются не более чем на 0,1 % (Nolan, Combe, 1985; Nolan, Combe, 1989). Напротив, конденсатно-отверждаемый силикон дает усадку на 0,5% (Nolan, Combe, 1985), а акриловые слепки уменьшаются на 2-5% (Agnew, 1986; Nolan, Combe, 1989).

Релаксация напряжений. При извлечении слепка он растягивается, сжимается и скручивается, проходя по всем изгибам и сужениям наружного слухового прохода. Поэтому желательно, чтобы он полностью восстановил свою первоначальную форму. Степень такого восстановления называется релаксацией напряжений. В отличие от акриловых слепочных масс, силиконовые материалы обладают превосходной релаксацией напряжений. [По-видимому, силикон на основе присоединительной вулканизации обладает лучшей релаксацией напряжений, чем конденсатно-отверждаемый силикон, но сведения по этому вопросу весьма ограничены (Nolan & Combe, 1985)]. Слепок может деформироваться при транспортировке, поэтому он должен быть упакован надлежащим образом. Силиконовые слепки можно заворачивать в мягкую ткань или другой легкий упаковочный материал. Акриловые слепки нуждаются в более эффективной защите, поэтому необходимо приклеивать их внешней поверхностью к внутренней поверхности транспортировочного контейнера, оставляя канальную часть свободной.

Прочность на разрыв. При извлечении ушного слепка из наружного слухового прохода к нему прикладывают некоторую силу. Отрыв слепка в этот момент будет настоящей бедой, поэтому слепочные массы должны обладать достаточной прочностью на разрыв. Хотя это происходит редко, при извлечении плотно сидящего слепка необходимо предотвратить его разрыв путем одновременного потягивания за нитку отблока и высвобождения внешней части слепка.

Усилие отпускания. Слепочные массы точно воспроизводят малейшие особенности поверхности уха и наружного слухового прохода. В результате слепок может приклеиться к коже. Чтобы избежать этого, в состав слепочной массы входит антиадгезив. Поэтому готовый слепок получается маслянистым на ощупь.

Твердость отопластиков. Свойством, больше всего влияющим на комфортность и акустические параметры отопластика, является его твердость. Твердость измеряется путем определения размеров отпечатка, оставляемого на поверхности материала стандартным конусовидным или шарообразным предметом, к которому приложена стандартная сила. Для твердых материалов используют острые инденторы и большее усилие, для мягких – притупленные инденторы и меньшее усилие. Измерительный инструмент называется *дюрометром*, а результаты измерений выражаются в числах от 0 до 100 согласно *шкале твердости по Шору*. Большие числа соответствуют большей твердости материала. Каждое сочетание индентора и прилагаемого усилия требует использования отдельной шкалы. Для мягких отопластиков больше подходит шкала А, а для твердых – шкала D. Например, значение 90 по шкале А приблизительно соответствует значению 39 по шкале D.

Мягким материалам свойственна большая гибкость, чем твердым, поэтому их легче вводить в изогнутый слуховой проход и они легче переносятся при изменении формы слухового прохода. Кроме того, мягкие материалы лучше obtурируют ухо.

5.9. Ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов

5.9.1. Изготовление ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов (вместе именуемые *отопластиками*) изготавливаются на основе ушных слепков специалистом по отопластике. Ушной слепок можно рассматривать как негатив уха. Чтобы получить позитивную копию уха, слепок погружают в жидкий силикон или другой материал, застывающий вокруг него. Эта позитивная копия называется *оболочкой*, и именно из нее получают окончательный вкладыш или корпус аппарата. При изготовлении внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных слуховых аппаратов производитель обрезает корпус до необходимого размера, помещает внутрь электронные и механические детали, прикрепляет лицевую панель и отправляет готовый слуховой аппарат врачу. Иногда всю эту работу проделывают сами специалисты по подбору аппаратов. Корпуса внутриушных слуховых аппаратов изготовлены из пластика, застывающего под воздействием источника мощного ультрафиолетового (УФ) излучения. Электронные детали обычно приобретаются оптом и

поставляются в виде лицевых панелей с предварительно припаянными компонентами. Телефон держится на гибком проводе, поэтому его можно разместить в нужном месте перед установкой лицевой панели.

5.9.2. Материалы для ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Материалы для ушных вкладышей и внутриушных слуховых аппаратов можно классифицировать по ряду признаков. Прежде всего, существуют твердый и мягкий материалы. В пределах каждой из этих категорий имеются несколько основных пластиков. Внутри каждого из основных пластиков существует множество вариантов приготовления смеси, влияющих на конечные физические свойства материала. В табл. 5.10 представлены основные химикаты, степень их твердости, а также преимущества и недостатки. Простота обращения с материалом подразумевает легкость, с которой врач сможет изменять его с помощью имеющихся под рукой средств. Заметьте, что как и любой другой материал, акрил может быть тверже или мягче. Более мягкие разновидности отличаются повышенной комфортностью и низкой утечкой звука (Nolan, Elzemety, Tucker, McDonough, 1978), утрачивая при этом долговечность, свойственную твердому акрилу.

В последнее время отопластики изготавливают из нескольких материалов. Чаще всего канальная или наиболее глубокая часть делается из мягкого материала, а наружные отделы отоластика изготавливаются из твердого вещества. Мягкий материал комфортен, хорошо держится в ухе, препятствует возникновению обратной акустической связи, а твердый материал, защищающий внешние части слухового аппарата, отличается прочностью и долговечностью. Потенциальная проблема такого сочетания заключается в возможных переломах в месте соединения двух разных материалов.

Табл. 5.10. Преимущества, недостатки и твердость различных материалов, применяемых в ушных вкладышах и корпусах внутриушных слуховых аппаратов (источник: веб-сайты и каталоги Microsonic, Ternens и Westone)

Тип материала	Твердость (шкала дюрометра А по Шору)	Преимущества	Недостатки
АКРИЛ (Полиметил-метакрилат) ☐ Твердый акрил, люцит ☐ Супер-алерит, акрил, отверждающийся при нагревании ☐ Мягкий акрил – см. текст	Твердый (вне шкалы)	☐ Долговечность, отсутствие усадки ☐ Легкость обработки и склеивания ☐ Гладкость поверхности способствует введению и извлечению ☐ Легкость очистки	☐ Несжимаем, поэтому не проходит через сужения слухового прохода ☐ Возникновение утечки при изменении формы слухового прохода ☐ Потенциальная опасность травмирования при ударе, особенно при образовании осколков
АКРИЛ (Гидроксиэтил-метакрилат)	Твердый (вне шкалы)	Преимущества и недостатки те же, что у люцита	
ВИНИЛ (Поливинилхлорид) Rx, Polysheer, Polysheer II, Ultraflex, Superflex, Polyplus, Synth-a-flex II, Formaseal, Satin Soft	40 - 50	☐ Удобен для получения хорошей obturation в мощных слуховых аппаратах ☐ Некоторые виниловые материалы (полиэтилметакрилат) размягчаются при температуре тела и затвердевают при комнатной температуре, что облегчает их введение	☐ Со временем дает усадку, затвердевает и обесцвечивается, что ведет к необходимости ежегодной замены ☐ Трудности при замене звуковода: сложности при удалении трубки, для прикрепления нового звуковода требуется токсичный растворитель или клей. ☐ При полировке мягкого винила используется токсичный растворитель – нельзя носить в течение 24 часов.
ВИНИЛ (Полиэтилметакрилат) Vinylflex II, Vinylflex, Marveltex, Marvel Soft, Vinyl Flesh, Formula II, Flexible Plastic			
СИЛИКОН (полидиметил-силоксан) ☐ M-2000, W-1, MSL-90, JB-1000, Softech, Soft Silicone ☐ Medi-Sil II, Mediflex, Emplex, Frosted Flex ☐ M.D.X, TFC ☐ Bio-por	20-40 50-70 70	☐ Мягкие разновидности силикона удобны для изготовления плотно сидящих и/или длинных канальных вкладышей ☐ Незначительная усадка ☐ Аллергические реакции встречаются редко	☐ Нельзя обтачивать и наращивать, трудно сверлить ☐ Звуковод нельзя приклеить – необходима механическая фиксация
КАУЧУК (сополимер этилен-пропилена) Microlite, Excelite		☐ Мягкий, легкий, плавучий, поэтому применяется для плавательных затычек.	
ПОЛИЭТИЛЕН	Твердый (вне шкалы)	☐ Практически не вызывает аллергических реакций ☐ Легко обтачивать, сверлить, приклеивать и наращивать	☐ Не сжимается при введении в узкие отделы слухового прохода ☐ Легко дает утечку при изменении формы слухового прохода ☐ Выглядит, как обычная пластмасса

Хотя мягкий материал более комфортен, следует учесть его более быструю изнашиваемость. Заметьте, что основным показателем комфортности является гибкость в месте соприкосновения отоластика и уха. Если само ухо достаточно подвижно (не забывайте об обратной связи), отоластик вполне может быть твердым. В таких случаях преимущество остается за твердым материалом. К сожалению, никто не проводил фундаментальных исследований преимуществ тех или иных материалов в различных ситуациях.

Новшеством в области внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных аппаратов стало применение сплошной заливки вместо пустотелых корпусов (Creel, Desporte, Juneau, 1999). Материал представляет собой очень мягкий и гибкий силикон твердостью 10-35 (шкала А по Шору), в который заключены компоненты слухового

аппарата. Мягкий материал прикрепляется к стандартной твердой акриловой лицевой панели. Такой подход позволяет сочетать преимущества мягкого материала (комфортность, устойчивость к возникновению обратной связи) с надежностью твердой конструкции.

Кожа некоторых пациентов реагирует на отопластик. Это может быть связано как с **аллергической реакцией** на один из компонентов, так и с **длительной обтурацией** слухового прохода, независимо от используемого материала. Одна из наиболее частых причин аллергических реакций состоит в том, что небольшое количество исходного мономера не полимеризуется в ходе изготовления ушного вкладыша (Meding, Ringdahl, 1992). Возможное решение проблемы состоит в следующем:

- ☐ Использовать отопластик, отверждающийся при нагревании, вместо материалов, подвергаемых холодной вулканизации, т. к. тепловое отверждение уменьшает пропорцию неполимеризованного мономера;
- ☐ Использовать отопластик, основанный на другом, менее аллергенном соединении (например, силикон или полиэтилен);
- ☐ Воспользоваться более открытым типом вкладыша (например типа CROS);
- ☐ Пользоваться слуховым аппаратом поочередно в правом и левом ухе;
- ☐ Направить пациента на контактный аллергический тест, чтобы выявить истинную аллергическую реакцию и специфический аллерген (Meding, Ringdahl, 1992);
- ☐ Если ничего не помогает, воспользоваться костным или имплантируемым слуховым аппаратом.

Обратите внимание, что первые два решения не помогут в случае окклюзии, а следующие два – неэффективны при аллергии. Ни одно из первых пяти решений неэффективно, если причина заключается в физическом давлении, связанном с плохим подбором размеров отопластика. В этом случае проблему можно решить путем простого изменения формы отопластика.

5.9.3. Ушные вкладыши и корпуса внутриушных слуховых аппаратов быстрого изготовления

Все рассматривавшиеся выше ушные вкладыши являлись результатом двухэтапного процесса – изготовление ушного слепка и производство на его основе самого вкладыша. Иногда необходимо изготовить ушной вкладыш очень быстро – для демонстрации, в качестве временной замены при ремонте или если пациент очень спешит. Ниже приводятся способы быстрого изготовления отопластиков:

- ☐ Временный вкладыш можно изготовить из губчатого вкладыша, снабженного трубочкой, соединенной с звуководом слухового аппарата. Такой вкладыш обеспечивает лучшую звукоизоляцию, чем обычный индивидуальный вкладыш (Gerling, Roeser, 1981), и более комфортен (Oliveira, Hawkinson, Stockton, 1992), однако его труднее вводить в ухо и он быстро загрязняется.
- ☐ **Стандартные вкладыши** представляют собой мягкие пластиковые вкладыши нескольких размеров, снабженные звуководами. Они подходят лишь для слабых слуховых аппаратов. Один из видов стандартных вкладышей имеет мягкую пластиковую кромку, способствующую лучшей обтурации уха.
- ☐ Индивидуальный ушной вкладыш можно изготовить в течение нескольких минут, используя в качестве слепочной массы двухкомпонентный силиконовый материал (напр., *Insta-mold*). Полученный слепок *уже является* ушным вкладышем. Отличие от обычной методики изготовления слепков заключается в том, что ушную раковину изначально заполняют лишь настолько, насколько это необходимо для получения вкладыша, а наружную поверхность сглаживают до застывания слепочной массы. Сгладить поверхность можно пальцем, смоченным в детергенте. Отверстия для звуковода и вента прodelываются с помощью специального пробойника.
- ☐ Можно остановить выбор на модульных внутриушных и внутриканальных аппаратах. Вот некоторые последние достижения в этой области: подвижное

сочленение корпуса аппарата с канальной частью, позволяющее последней легко менять ориентацию; применение сменных губчатых муфт вокруг канальной части (такие муфты могут содержать вент фиксированного размера).

При использовании двух первых вариантов следует помнить, что акустические свойства таких вкладышей, в частности эффект вента, могут существенно отличаться от обычных индивидуальных ушных вкладышей.

5.9.4. Модификация и ремонт ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Ниже перечислены наиболее частые причины модификации или ремонта ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов:

- ☐ Удаление завитковых замков для облегчения введения вкладыша;
- ☐ Укорочение канальных частей вкладышей или придание им конусообразной формы для облегчения введения в ухо;
- ☐ Удаление материала в области межкозелкового гребня, полости ушной раковины и канального участка для устранения избыточного давления;
- ☐ Расширение или укорочение вентов для уменьшения окклюзии;
- ☐ Сужение вентов для уменьшения обратной акустической связи;
- ☐ Нарращивание канальных участков для уменьшения обратной акустической связи;
- ☐ Замена разношенных или затвердевших звуководов.

Ушной вкладыш или корпус внутриушного слухового аппарата можно модифицировать в клинике с помощью подходящих инструментов и материалов. Для вкладышей заушных слуховых аппаратов подходят ручные бормашины, но для восстановления полировки внутриушных, внутриканальных и глубоких канальных слуховых аппаратов необходимы специальные полировальные круги. Их можно монтировать с одной стороны стандартного зубопротезного мотора. Полировальную пасту следует наносить только на матерчатые полировальные круги. С другой стороны мотора можно укрепить сверла и небольшие шлифовальные камни. При этом обе руки остаются свободными и ими удобно держать слуховой аппарат. При отсутствии такого мотора можно получить эффект полировки путем нанесения гипоаллергенного прозрачного лака. Более подробные сведения о модификации корпусов слуховых аппаратов можно почерпнуть в великолепной серии статей Curran (1990a, 1990b, 1991, 1992).

Модифицирование вентов

Окклюзионный эффект ушных вкладышей или корпусов внутриушных слуховых аппаратов можно уменьшить путем увеличения диаметра вента, укорочения его длины или

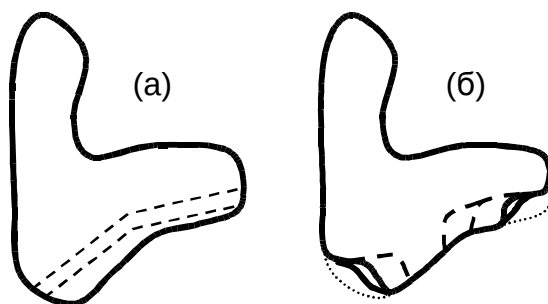


Рис. 5.25. Немодифицированный (а) и укороченный (б) вент. Пунктирными линиями на рисунке (а) отмечено положение вента. Пунктирные линии на рисунке (б) указывают возможные дальнейшие этапы укорочения, а точечная линия показывает исходную форму вкладыша.

сочетания того и другого. Диаметр вента легко увеличить рассверливанием или вытачиванием. Уменьшить длину вента можно путем стачивания вкладыша или корпуса с обеих концов вента. На рис. 5.25 показано, как можно постепенно отрезать медиальный конец вента, не задевая при этом звуковод. Прежде чем модифицировать корпус индивидуального слухового аппарата, поднесите его к мощному источнику света, отметьте расположение внутренних компонентов и определите толщину стенок. Проверьте также тип установленного в аппарате вента – **залитый вент** (называемый также **запрессованным вентом**),

заклученный в сплошной пластик, или вент, изготовленный из простой трубочки. Изображенная на рис. 5.25 модификация может быть выполнена только в случае залитого вента. Укорочение следует производить постепенно, всякий раз удаляя около 30% оставшейся длины вента. Если вент укоротили настолько, что появилась обратная связь, можно частично заполнить оставшийся вент материалом, из которого изготовлен корпус слухового аппарата. Табл. 5.3-5.5 дают представление о риске возникновения обратной акустической связи при дальнейшем укорочении вента. В слуховых аппаратах с вентами, изготовленными из простых трубочек, можно увеличить их эффективный размер путем вытачивания желобовых вентов на поверхности канальной части аппарата.

Замена звуководов в ушных вкладышах

Замена звуководов во вкладышах заушных слуховых опаратов – наиболее распространенный и легкий вид ремонта. При необходимости разверните существующее отверстие с помощью развертки, удалите старый клей и пыль с помощью бурового долота и/или ершика для чистки трубок, смоченного растворителем. Чтобы облегчить введение нового звуковода, срежьте его конец под острым углом. Если звуковод не очень плотно входит в ушной вкладыш, его можно установить, как показано на рис. 5.26а. Если конец звуковода не выходит из медиального конца вкладыша, вытяните его тонкими щипчиками или пинцетом. Убедитесь, что латеральный конец предварительно изогнутого звуковода направлен вверх *перед* ушной раковиной. Если звуковод слишком отклоняется назад, это приведет к избыточному давлению на переднюю часть ушной раковины после одевания слухового аппарата.

Если ушной вкладыш изготовлен из акрила, звуковод следует клеивать. Чтобы нанести клей (цианоакрилат), перегните в разные стороны медиальный конец звуковода. Заполните клеем трещинки, возникшие по периметру трубочки. Затем нанесите его по всему периметру, чтобы предотвратить попадание серы. Наконец, обрежьте излишки

трубочки. Если звуковод настолько плотно сидит в ушном вкладыше, что его невозможно протолкнуть, согните его и проташите сквозь вкладыш с помощью тонкой нити, как показано на рис. 5.26б. Если звуковод сидит слишком свободно, заполните щели вязким цементом.

Если ушной вкладыш сделан из силикона, звуковод закрепляется в нем механически. Перед введением звуковода на него насаживается втулка. Некоторые втулки сделаны так, что могут перемещаться только в одном направлении, захватывая звуковод при попытке его извлечения из вкладыша. Однако они могут пережать звуковод, ослабив таким образом высокие частоты. Другие втулки свободно перемещаются вдоль звуковода, поэтому их надо приклеивать. После закрепления втулки на звуковде, он вводится в ушной вкладыш так, чтобы втулка была утоплена на несколько миллиметров внутри вкладыша.

Полностью вводимые горны (показан на рис. 5.20а) можно

устанавливать таким же образом, но их легче протолкнуть с медиального конца ушного вкладыша. Частично вводимые горны (показан на рис. 5.20б) желательно устанавливать, проталкивая их с латерального конца. Перед установкой горна по всей окружности его

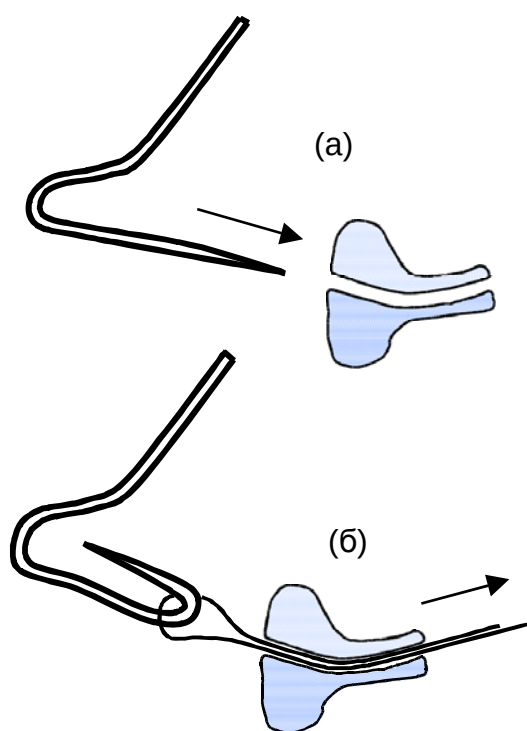


Рис. 5.26. Введение звуковода в ушной вкладыш путем проталкивания (а) и протаскивания с помощью нити (б).

медиального конца наносится клей. Если устанавливать горн очень быстро, клей играет роль смазки, облегчающей его введение.

Наращивание корпусов внутриушных слуховых аппаратов

Если в процессе шлифовки или заточки вы случайно вскрыли стенку корпуса аппарата, ее необходимо нарастить. Для этого материал наносят на корпус аппарата кисточкой. Еще один повод для наращивания корпуса аппарата – предотвращение обратной акустической связи. Если аппарат свистит, несмотря на наличие вента, и если исключена внутренняя обратная связь, следует нарастить отопластик, чтобы он плотнее сидел в ухе, или же изготовить новый корпус (табл. 4.11 и 4.12 помогут установить причину обратной связи). Для борьбы с обратной акустической связью лучше всего наращивать корпус аппарата в области апертурной перемычки. Следует накладывать материал на канальную часть аппарата (на 6 мм медиальнее входа в слуховой проход), преимущественно в переднезаднем направлении. Иными словами, необходимо несколько увеличить диаметр самого узкого участка канальной части аппарата. Твердые и мягкие ушные вкладыши требуют использования различного материала для наращивания. Для наращивания толстых участков нужно использовать вязкий материал.

5.10. Заключение

Учитывая три основные функции ушных вкладышей и корпусов внутриушных слуховых аппаратов, перечисленные в начале этой главы, врач может легко разобраться в характеристиках вновь создаваемых моделей. Вот три главных вопроса, на которые следует ответить:

- ☐ Как меняется диаметр звуковода на пути от телефона к барабанной перепонке?
- ☐ Каковы размеры (т. е. длина и ширина) вента или, если его нет, насколько плотно сидит вкладыш или аппарат в наружном слуховом проходе?
- ☐ Насколько надежно сидит в ухе вкладыш или внутриушной слуховой аппарат и насколько легко пациент может вводить его в ухо и извлекать обратно?

Если ответы на эти вопросы в отношении любого нового образца вкладыша или аппарата сравнимы с ответами, данными в настоящей главе, вы сможете достаточно точно предсказать его характеристики.

Со временем выбор характеристик ушного вкладыша или корпуса внутриушного слухового аппарата для достижения заданного усиления в реальном ухе начал утрачивать свою важность. Слуховые аппараты стали оснащаться все более совершенными регуляторами тембра, позволяющими очень точно подстраиваться под заданное усиление. Вполне вероятно, что получат дальнейшее развитие электроакустические методы снижения окклюзионного эффекта и предотвращения обратной акустической связи (см. раздел 7.3). Несмотря на это, выбор размеров вента, сводящих к минимуму проблему окклюзии и обратной связи, еще долгие годы не утратит своей актуальности. Наконец, выбор формы аппарата, обеспечивающей надежность его фиксации в ухе и облегчающей обращение с ним, никогда не утратит своего значения.