**Приборы и устройства для исследования слуха. Аудиометры**

Для внедрения в практическую аудиологию описанных выше современных методов исследования слуха создан и постоянно совершенствуется ряд приборов и устройств. Реализация психоакустических методов исследования слуха и методов вызванных слуховых потенциалов осуществляется путем применения аудиометров и камертонов, акустической рефлексометрии и тимпанометрии с помощью импедансометров.

Все приборы для исследования слуха подразделяют на две группы, принципиальное различие между которыми заключается в том, что приборы первой группы позволяют определять параметры слуха путем регистрации субъективных ощущений исследуемого, а приборы второй группы — объективно фиксируют биоэлектрические и биоакустические характеристики без учета осознанных ответов исследуемого на его ощущения при действии звуковых стимулов. К первым относятся аудиометры для субъективных исследований, ко вторым — аудиометры для объективных измерений (аппаратура для измерений электропотенциалов), импедансометры. Ниже рассматриваются основные требования к приборам для исследования слуха, обеспечиваемые ими возможности и характеристики. Аудиометры всех типов представляют собой по существу генераторы специальных измерительных звуковых стимулов (сигналов) и механических колебаний вместе с устройствами для фиксирования и документирования реакции обследуемого на эти сигналы. Вот почему важнейшими составными частями аудиометров являются генераторы электрических сигналов звуковых частот, преобразователи этих сигналов 8 акустические излучения (телефоны воздушного звукопроведения, громкоговорители) и вибрации (телефоны костного звукопроведения), выходные регистраторы слуховых ощущений. Объективные аудиометры включают в себя дополнительно устройства обработки и анализа результатов измерений вызванных слуховых потенциалов. Аудиометры для субъективных исследований. Общий перечень функциональных возможностей, обеспечиваемых «субъективными» аудиометрами различных типов, обусловлен требуемым набором аудиологических тестов, наличием необходимых технических возможностей для фиксирования слуховых ощущений, для связи аудиометриста с исследуемым и включает в себя: — создание измерительного акустического (или вибрационного) сигнала (тонального, речевого, шумового и т. п.) при помощи головных телефонов воздушного (костного) звукопроведения с регулировкой его частоты, уровня звукового давления (УЗД) и уровня ускорения вибраций (УУВ) (или уровня переменной силы); — создание режима свободного звукового поля с тональными речевыми или шумовыми сигналами; — маскирование акустических сигналов узкополосным или широкополосным шумом; — подачу маскирующего шума на противоположный (по отношению к телефону, излучающему акустический сигнал) телефон воздушного звукопроведения; — подачу акустического сигнала и маскирующего шума на один и тот же телефон; — подачу маскирующего шума на телефон костного звукопроведения; — попеременную подачу кратковременных тональных сигналов одной частоты на левое и правое ухо; — одновременную подачу двух тональных сигналов; — попеременную подачу двух тональных сигналов на одно ухо; — автоматически прерываемый тональный сигнал; — наличие устройства индикации сигнала; — контрольное прослушивание сигнала, предъявляемого исследуемому; — систему сигнализации исследуемым о своей реакции на акустический сигнал; — возможность речевой связи с исследуемым или передачи ему «живой речи» через микрофон, устанавливаемый на аудиометр.

**Параметры субъективных аудиометров.**

Клинический аудиометр. Основными электроакустическими параметрами рассматриваемых аудиометров для субъективных исследований являются: — пределы изменения развиваемых УЗД и УУВ, характеризуемые минимальным и максимальным значениями относительно контрольных эквивалентных пороговых УЗД и УУВ, или, другими словами, предельные значения измеряемой величины потерь слуха;

— шаг изменения УЗД и УУВ

— точность установки УЗД и УУВ;

— коэффициент гармоник измерительных сигналов

— частоты измерительных акустических и вибрационных тональных сигналов;

— точность установки частот;

— характер спектра маскирующего шума. Значения развиваемых аудиометрами УЗД составляют от —10 до 130 дБ. Значения развиваемых УУВ находятся от —45 до 80 дБ. Погрешность установки уровней сигналов обычно не превышает 1 дБ, а шаг их изменения — не более 5 дБ.

Стандартный ряд частот измерительных тональных сигналов следующий: 125, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 и 8000 Гц. Во многих моделях аудиометров воспроизводятся указанные чистые тоны, а в некоторых также 10 000 и 12 000 Гц. Однако, как показали исследования [Лях Г. С, Марусева А. М.], существующие стандартные (октавные) межчастотные интервалы для ряда случаев оказываются слишком велики и должны быть уменьшены примерно до 100 Гц на частотах от 500 до 1000 Гц и до 200 Гц на частотах от 1000 до 2000 Гц. Установка частот обычно осуществляется с точностью не менее 3%. Коэффициент гармоник акустического сигнала не превышает 3%, а вибрационного сигнала в зависимости от частоты 6—12%. Маскирующий шум в аудиометрах может быть широкополосным, узкополосным, а также со спектром, подобным спектру речевого сигнала. Существующие в настоящее время для субъективных исследований слуха аудиометры в зависимости от объема обеспечиваемых ими функций, значений параметров и конкретной сферы применения могут быть условно подразделены на следующие типы: **клинический, поликлинический, амбулаторный** **(аудиотестер), звукореактометр, детский аудиометрический комплект.** Клинический аудиометр обеспечивает проведение пороговых и надпороговых аудиологических тестов и предназначен для получения наиболее достоверных и обширных данных с целью последующей общей и дифференциальной диагностики слуховых нарушений. Он представляет собой самый универсальный вид субъективного аудиометра с точки зрения возможностей исследования характеристик слуха, обеспечивает наиболее широкие пределы изменения значений параметров измерительных акустических сигналов. Вследствие этого данный тип аудиометров является достаточно сложным по своему техническому исполнению и требует соответствующей подготовки обслуживающего персонала. Клиническими аудиометрами обычно укомплектовывают сурдоцентры, больницы, клиники и т. п. В клинических аудиометрах заложена возможность подключения к ним магнитофона или электропроигрывателя для проведения речевой аудиометрии как с помощью головных телефонов, так и в свободном звуковом поле. Для этого к аудиометрам могут подключаться усилители при выходной мощности сигнала до 30—40 Вт с громкоговорителями (или акустическими системами). Заметим, что существуют клинические аудиометры со встроенным магнитофоном. В этом случае для проведения речевой аудиометрии в свободном поле к аудиометру необходимо подключить лишь громкоговоритель.

**Поликлинические и амбулаторные аудиометры. Звукореактометры**

Поликлинический аудиометр позволяет выполнять в основном пороговые аудиологические тесты с целью общей диагностики нарушений слуха и аудиологической экспертизы при профотборе. Он удовлетворяет по своим параметрам и функциям потребности поликлиник. В то же время данный аудиометр часто имеет много сходного с клиническим, вследствие чего иногда трудно провести четкое их разграничение, но в общем он отличается меньшими значениями максимальных УЗД и УУВ, большими их минимальными значениями, более ограниченным количеством реализуемых тестов. При этом в отличие от клинических аудиометров, в которых перевод в режим конкретного теста осуществляется соответствующей перестановкой положений органов управления, в ряде моделей поликлинических аудиометров для проведения некоторых тестов требуется подключение специальных приставок.

Амбулаторные аудиометры характеризуются простотой функций и ограниченными возможностями по величинам параметров звуковых сигналов. Назначением этих аудиометров является проведение массовых проверок слуха в амбулаторных условиях, в медико-санитарных частях производственных предприятий, учебных заведений и т. п. с целью предварительного выявления нарушений слуха, а также использование при профотборе. Такие приборы обычно работают на 5—6 фиксированных частотах в диапазоне 500—6000 Гц. Поликлинические и амбулаторные аудиометры могут выполняться в виде полуавтоматических устройств — так называемых аудиометров Бекеши. Особенностью этих приборов является то, что тональная аудиограмма записывается автоматически, а управление работой прибора осуществляется самим исследуемым. Происходит это следующим образом. При нажатии кнопки включения аудиометра начинается автоматическое плавное изменение уровня измерительного сигнала. Одновременно с этим также автоматически начинается перемещение бланка аудиограммы, а в перпендикулярном ему направлении — пера самописца. В момент достижения уровнем сигнала значения, соответствующего порогу слышимости на данной частоте, исследуемый отпускает кнопку. Переход на следующую частоту происходит с определенной скоростью, синхронно с движением бланка. Изменение частоты сигнала в варианте ее плавной перестройки составляет примерно 1 октаву в минуту, а при ступенчатой перестройке — от 20 до 30 с. Скорость изменения уровня и движения пера самописца — от 1 до 5 дБ/с. Достоинством такого полуавтоматического аудиометра является сравнительная быстрота снятия тональной аудиограммы (не более 10 мин) и благоприятное психологическое состояние исследуемого, обычно с интересом участвующего в самостоятельном обследовании самого себя.

Звукореактометры представляют собой простые генераторы звука для проверки слуховой реакции новорожденных на акустический сигнал. В качестве последнего в разных моделях используется сигнал в виде широкополосного или узкополосного шума либо в виде «трели» с плавно изменяющейся частотой (обычно от 300 до 5000 Гц), либо в виде чистого тона. В ряде случаев применяется частотная модуляция чистого тона с отклонением частоты от среднего значения на 10—15%. В качестве источника акустического сигнала в звукореактометрах применяются головные телефоны воздушного или костного звукоироведения, малогабаритные громкоговорители, подносимые к ребенку. При использовании последних на расстоянии 10—50 см от головы ребенка создается УЗД до 70—90 дБ. Известны также модели звукореактометров, конструктивно выполненные в виде мегафонов, так что источник акустического сигнала представляет собой единое целое с остальными частями прибора. Масса таких аудиометров обычно не превышает 1 кг, их питание чаще всего осуществляется от батарей или аккумуляторов. Детский аудиометрический комплект выполняется на основе поликлинического или клинического аудиометра и поэтому обеспечивает получение тех же характеристик и функций. Он предназначается для исследования слуха у детей в возрасте до 4—7 лет. В зависимости от применяемой методики измерения показателей слуха ребенка совместно с основным аудиометром используются те или иные дополнительные устройства. Одна из распространенных методик детской аудиометрии заключается в использовании ориентировочной реакции с двигательным подкреплением (игровая аудиометрия). В этом случае в аудиометрический комплект должны входить, например, фильмоскоп или световые табло, позволяющие показывать занимательные картинки, дистанционно управляемые движущиеся механические игрушки и т. д. Неоднократно сочетая возникновение звука с появлением интересных для ребенка картинок или игрушек, закрепляют его двигательную реакцию на акустический стимул (поднятие руки, нажатие кнопки)', а затем, постепенно понижая УЗД, с помощью указанных устройств фиксируют пороги слышимости.

**Объективные, компьютерные аудиометры.**

Точность компьютерной диагностики слуха Следует помнить, что хотя из процесса аудиометрии в данном случае исключен субъективизм исследуемого при фиксировании его слуховой реакции, но остается субъективизм оператора при оценке полученных им данных. «Объективные» (компьютерные) аудиометры ввиду сложности методик исследования слуха с их помощью, неоднозначности интерпретации результатов измерения, ограниченности решаемых задач, как отмечалось выше, не нашли пока широкого применения в практической аудиологии. По этой причине на современном этапе развития компьютерная аудиометрия используется в специальных центрах, институтах или в крупных клиниках. Соответственно выпускаемая в настоящее время аппаратура для измерения слуховых вызванных потенциалов не отличается таким разнообразием, как «субъективные» аудиометры. На сегодня известны несколько типов аппаратурных комплексов и систем, предназначенных для измерения коротко-, средне- и длиннолатентных вызванных потенциалов. В типичном случае установки для объективной аудиометрии включают в себя следующие основные составные части: генератор звуковых стимулов, высокочувствительный электронный усилитель, устройство обработки вызванных потенциалов — микропроцессор с электронной памятью, дисплей (монитор) для визуального представления данных, самописец с бумажной лентой, контактные электроды. Предъявление звуковых стимулов осуществляется через головные телефоны, костные вибраторы или в свободном звуковом поле. Звуковые стимулы могут быть в виде щелчков с регулируемой продолжительностью примерно от 0,1 до 10 мс, коротких тональных посылок с длительностью от долей миллисекунды до нескольких секунд или непрерывных тональных сигналов. Частоты сигналов соответствуют стандартным для аудиометрии в диапазоне 125—10 000 Гц, а их уровни могут устанавливаться ступенями по 1—5 дБ от 0 до 100—120 дБ. Усиленные биопотенциалы подвергаются специальной электронной обработке в микропроцессоре, заключающейся прежде всего в надежном выделении на фоне различных случайных мешающих воздействий именно тех электрических сигналов, которые представляют собой реакцию на звуковые стимулы. Необходимость этого обусловлена тем, что биопотенциал от единичного звукового стимула имеет настолько малую величину (доли микровольта), что на фоне неизбежно присутствующих электрических потенциалов другого, физиологического или помехового, случайного, происхождения он не может быть зарегистрирован. Таким мешающим фоном является, например, спонтанная электрическая активность центральной нервной системы. Вот почему методики измерения вызванных потенциалов, как правило, предусматривают, а генератор звуковых стимулов обеспечивает многократное, до нескольких тысяч раз их повторение. Микропроцессор автоматически в соответствии с заданной программой производит операцию синхронного накопления (усреднения) сигнальных реакций (электрических откликов), имеющих место на протяжении каждого межстимульного интервала. В аппаратуре обычно имеется возможность выбора разных величин этого интервала в диапазоне примерно от единиц до десятков миллисекунд при анализе коротколатентных потенциалов и от сотен миллисекунд до десятков секунд и более в случае длиннолатентных. Отношение величины усредненных вызванных потенциалов к величине помеховых потенциалов при такой обработке в микропроцессоре пропорционально N, где N — количество усреднений (равное количеству стимулов). Чем выше это соотношение, тем больше по величине и заметнее вызванные потенциалы и тем легче осуществить их последующую идентификацию и анализ, в частности определение амплитуды и латентного периода. В зависимости от конкретных условий эксперимента и измерений требуется различное количество усреднений, поэтому аппаратура позволяет его установить от 1 до нескольких тысяч. В некоторых установках микропроцессор позволяет автоматически выполнять ряд полезных для анализа результатов стандартных операций, контролируемых с помощью дисплея, в их числе: сложение двух или более усредненных электрических откликов, что в некоторых случаях способствует лучшему распознаванию характерных участков; сглаживание откликов, что помогает их «очистить» от наложения случайных флюктуации; инвертирование, т. е. получение «зеркального» отображения, откликов, что делает удобным качественное по виду сравнение между собой, например, двух откликов, первоначально снятых в противоположных полярностях; вычитание из одного отклика другого для установления количественного различия между ними; нормализация разных откликов, заключающаяся в приведении их к одному и тому же количеству усреднений, что необходимо для корректного сопоставления. Кроме того, микропроцессор определяет значения амплитуд откликов и латентные периоды. Обработанная информация вместе с параметрами звуковых стимулов отражается на экране дисплея и фиксируется в блоках электронной памяти. Таким образом, современная аппаратура для объективной аудиометрии, помимо объективизации измерений реакций на звуковые раздражители, обеспечивает частичную автоматизацию этих измерений, а также дополнительные возможности по анализу результатов. В заключение заметим, что нередко установки рассмотренного типа не являются узкоспециализированными для исследований вызванных слуховых потенциалов, а представляют собой гибкие аппаратурные комплексы довольно универсального назначения, позволяющие проводить также запись и анализ зрительных, соматосенсорных вызванных потенциалов и иные электрофизиологические исследования.

Аудиометр клинический АС 40 Interacoustics



Доступный поликлинический аудиометр с богатым выбором аудиометрических тестов, возможностью подключения к компьютеру и расширенным частотным диапазоном – возможно ли это? Датская компания Interacoustics утверждает, что да. Клинический аудиометр AC40 позволит провести как базовые тесты слуха, так и ряд расширенных. Результаты, сохраненные в памяти устройства, легко синхронизируются с компьютерной базой данных, а классическая эргономика не даст заплутать в основных функциях аудиометра.

Особенностью модели AC40 является расширенный диапазон частот воспроизводимого сигнала. Верхний предел частоты по воздушной проводимости у AC40 составляет 20 кГц, что позволяет аудиометру легко справляться с любой аудиометрической задачей. В число поддерживаемых тестов входят самые разные процедуры для анализа состояния среднего уха, измерения воздушной и костной проводимости, тональная и речевая аудиометрия. В частности, в гамму аудиометрических тестов включены тест ABLB-Фоулера, тест Бекеши, тест Штенгера, пороговый тест Hughson-Westlake с автоматическим повышением частоты, а также дополнительные тесты, позволяющие получить более специфичную информацию об особенностях слуха конкретного пациента. Речь о таких тестах как DLF (дифференциальный порог частоты), MLD (бинауральная разность уровней маскировки) и MLB (монауральный баланс громкости).

Аудиограммы записываются в память аудиометра AC40 и воспроизводятся по желанию врача на экране. Причем данные хранятся не все подряд, а с привязкой к конкретному пациенту, которых в AC-40 можно задать до 1000. Общее число сохраняемых измерений составляет 50000. А если этого объема окажется недостаточно, то, подключив аудиометр к компьютеру через стандартный выход RS232C, врач может провести синхронизацию с базой данных.

Клинический аудиометр AC-40 оснащается двумя независимыми каналами для проведения аудиометрии с маскированием шумом или речью. Результаты тестов выводятся на большой экран, где их можно показать пациенту или его родственникам. Так, диаграмма «речевой банан» позволяет наглядно объяснить диапазон слышимости человека, не прибегая к сложным терминам.

Впечатляющий диапазон частот измерения воздушной и костной проводимости, а также диапазон амплитуд громкости сигнала позволяет получать результат аудиометрии с высокой точностью. А ряд уникальных тестов позволят понять способность пациента выделять речь из общего шума (тест MLD), оценить надпороговые нарушения в восприятии громкости (тест MLB) и выявить рекруитмент или феномен нарастания грмкости (тест DLF).

А чтобы разрушить ваши сомнения относительно целесообразности использования AC40 в рутинной ЛОР-практике, добавим, что при всей своей значительной функциональности, поликлинический аудиометр Interacoustics AC40 вполне доступен даже небольшим и средним клиникам.

Возможно подключение клинического аудиометра к компьютеру с помощью программного обеспечения[АРМ лор врача](http://www.astek-npo.ru/armlormaster).

**Основные особенности и преимущества АС-40**

**Расширенные возможности.** Аудиометр соответствует всем клиническим требованиям и предоставляет врачу широкие возможности в области диагностики. За счет применения современных передовых технологий АС-40 позволяет выполнять широкий набор тестов:

* тест Штенгера (определяющий симуляцию);
* речевая аудиометрия;
* тест Фоулера (биноуральное выравнвание громкости);
* аудиометрический тест Бекеши;
* тест Люшера;
* SISI-тесты;
* тест ABLB (проверка распада тона);
* аудиометрическое исследование по костной проводимости;
* аудиометрическое исследование по воздушной проводимости.

**Высокий уровень эргономики.** Аудиометр АС-40 – это не только эффективное и многофункциональное устройство с широким спектром возможностей, но и очень удобная в эксплуатации модель. Производители оснастили ее множеством дополнительных функций и опций, которые создают условия для максимально комфортной работы.

Чтобы установить связь с ПК, производители оснастили аудиометр специальным эргономичным интерфейсом RS232C. При необходимости врач может сохранить полученную аудиограмму в памяти самого устройства или же сбросить информацию на компьютер.

В процессе работы аттенюаторы не будут беспокоить шумом, так как они полностью беззвучные. Кроме того, врач может выбирать настройки, пользуясь электронной калибровкой и регистрацией изменений в ПО.

Технические характеристики аудиометра АС-40

* **Основные виды обследований:** костное, речевое, воздушное.
* **Частота диапазона:** 125 Гц — 16 кГц.
* **Индикация уровня частоты:** на цифровом дисплее.
* **Максимальная интенсивность:** по воздуху: 120 дБ; кость: 80 дБ.
* **Измерение в свободном звуковом поле:** опция.
* **Шаг аттенюатора:** 1+5 дБ.
* **Монитор:** встроенный внешний.
* **Микрофон** внутриушной Ear Tone 3A.
* **Связь с пациентом:** через кнопку.
* **Трель и импульс.**

Основная комплектация клинического аудиометра

* Устройство АС-40;
* 3 ручки;
* ответная кнопка пациента;
* 200 бланков аудиограмм;
* костный телефон В71;
* телефоны мониторинговые MTH400;
* головные телефоны TDN39;
* внутриушные телефоны для вносимого маскирования CIR22;
* AP70 2x70 Вт усилитель;
* шумозащитные амбушюры 21925;
* панель для присоединения звукоизолированной камеры AFC8;
* шумозащитные амбушюры Пелтора 50250;
* противопылевой чехол PCR-AC30;
* микрофон ЕМ400 (или MD200) для соединения с пациентом.