سلول‌های مویی و سمعک‌ها

زهرا جعفری- کارشناس ارشد شنوایی‌شناسی

مقدمه

گاهی در افرادی که انتظار داریم به‌واسطه میزان کم‌شنوایی‌شان استفاده مفید از سمعک داشته باشند، پس از یک دوره، شکایت عمده آنها رشد نامناسب بلندی صدای سمعک در سطوح مختلف ورودی است. در حال حاضر از جالبترین و مقبولترین شیوه‌های کاربردی فیتینگ سمعک، تنظیم آن مطابق الگوی رشد بلندی آسیب‌دیده است. باید بدانیم در صورت افت عملکرد سلول‌های مویی خارجی و داخلی، رشد بلندی چگونه خواهد بود و با استفاده از چه مدارهایی می‌توان تا حد امکان الگوی رشد بلندی آسیب‌دیده را به الگوی رشد بلندی طبیعی نزدیک ساخت؟

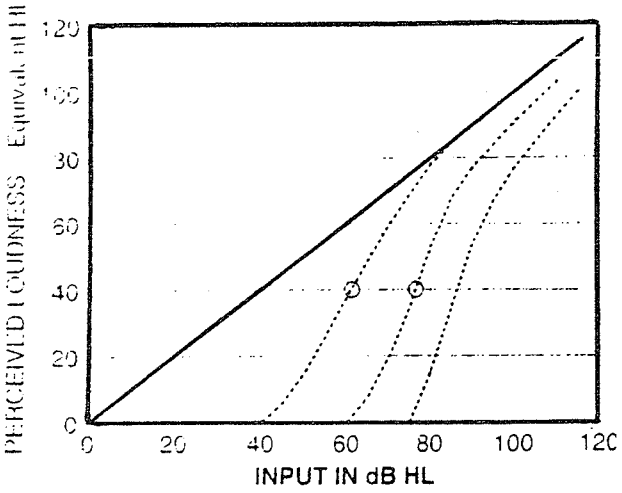
نحوه عملکرد سلول‌های مویی

ابتدا توضیح مختصری درباره نحوه عملکرد سلول‌های مویی خارجی (OHC) و داخلی (IHC) ضروری است. همان‌طور که می‌دانید از هزاران سلول عصبی شنوایی همه سیگنال‌های ارسال شده از سلول‌های مویی داخلی است. پس سلول‌های مویی خارجی چه وظیفه‌ای بر عهده دارند؟

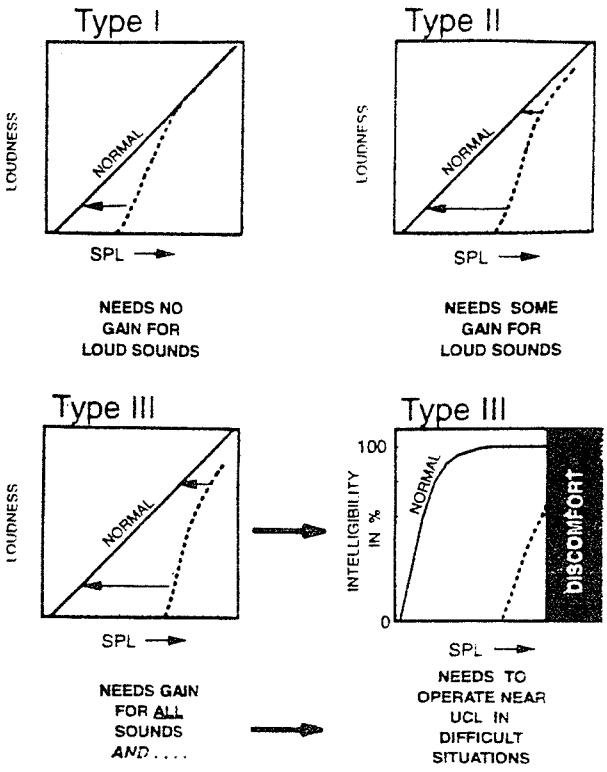
فرضیه‌های گوناگونی در زمینه مکانیزم دقیق شلیک سلول‌های مویی داخلی و نحوه افزایش حساسیت حلزون به‌میزان ۴۰دسی‌بل یا بیشتر توسط سلول‌های مویی خارجی مطرح شده است. فرض این است که سلول‌های مویی داخلی وقتی شلیک می‌کنند که به غشای تکتوریال برخورد نمایند. دکتر Killion معتقد است حرکت سلول‌های مویی خارجی فاصله بین غشای تکتوریال و استروسیلیای سلول‌های مویی داخلی را تعدیل می‌کند و سلول‌های مویی داخلی وقتی شلیک خواهند کرد که یک ورودی ۵۰-۴۰ دسی‌بل SPL، عملکرد سلول‌های مویی خارجی را جبران نماید.

بافرض تقویت مکانیکی حاصل از حرکت سلول‌های مویی خارجی، ۱۰دسی‌بل SPL برای ایجاد میزان حرکت مورد نیاز بین سلول‌های مویی داخلی و غشای تکتوریال کافی است. یعنی با تقویت‌کننده‌های سلول‌های مویی خارجی فقط ارائه ۱۰دسی‌بل SPL به پرده گوش کافی است تا شلیک رخ دهد. بر این اساس اگر سلول‌های مویی خارجی، آسیب دیده یا از کار بیفتند، برای شلیک سلول‌های مویی داخلی به ۵۰دسی‌بل SPL (۴۰دسی‌بل HL) نیاز است. به‌عبارتی با ۴۰دسی‌بل کم‌شنوایی مواجه خواهیم بود.

در مورد اصوات بلند وضع به گونه دیگری است، چرا که خود سلول‌های مویی داخلی حرکت بزرگی خواهند داشت. به نحوی که بدون حرکت یا تقویت سلول‌های مویی خارجی شلیک خواهند کرد. آسیب سلول‌های مویی داخلی علاوه بر افت حساسیت (Loss of Sensitivity)، «افت ظرفیت انتقال» (Loss of Channel Capacity) را نیز به‌همراه خواهد داشت که به معنای کاهش مسیرهای انتقال اطلاعات به مغز است. شکل ۱ منحنی‌های رشد بلندی آسیب‌دیده مربوط به کم‌شنوایی ۴۰، ۶۰ و ۷۵دسی‌بل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی‌های رشد بلندی مربوط به سه کم‌شنوایی ۴۰، ۶۰ و ۷۵دسی‌بل HL



شکل ۲- منحنی‌های رشد بلندی سه نوع کم‌شنوایی

انواع کم‌شنوایی

شکل ۲ منحنی‌های رشد بلندی سه‌نوع کم‌شنوایی را نشان می‌دهد. منحنی مربوط به کم‌شنوایی عمیق به‌دلیل محدودیت اطلاعات آورده نشده است. همان‌طور که در کم‌شنوایی نوع I می‌بینید، احساس بلندی برای اصوات قوی مشابه افراد دارای شنوایی طبیعی است و اصوات کمتر از ۴۰دسی‌بل HL غیرقابل شنیدن هستند. این نتایج با افت عملکرد سلول‌های مویی خارجی و عملکرد طبیعی سلول‌های مویی داخلی در ارتباط است. چنان که در سطوح شدت بالای ۴۰دسی‌بل HL، بلندی بتدریج به سطوح طبیعی برمی‌گردد. این امر در مواردی چون اندازه‌گیری آستانه تمایز شدت (DLI) و فرکانس (DLF)، منحنی‌های هماهنگ سایکوآکوستیک، پاسخ شنوایی برانگیخته ساقه مغز (ABR) یا تشخیص گفتار درحضور نویز در سطوح شدت بالا مصداق دارد.

فردی با کم‌شنوایی نوع I در سطوح شدتی بالا به هیچ تقویتی نیاز ندارد و بهره صوتی برای قابل شنیدن ساختن اصوات آرام ضروری است. از سوی دیگر برای اصوات بلند به محدودکننده خروجی نیاز نیست، مگر در شرایطی که افراد دارای شنوایی طبیعی نیز به‌محافظ نیاز داشته باشند. به‌عبارتی انتخاب یک حداکثر خروجی پایین برای کم‌شنوایی نوع I اشتباه است چرا که نتیجه آن صرفاً برش زودرس و بروز اعوجاج در اصوات بلند روزمره می‌باشد.

در کم‌شنوایی نوع II (۶۰دسی‌بل) میزان افت بیش از آن است که فقط ناشی از آسیب سلول‌های مویی خارجی باشد و باید فرض کرد سلول‌های مویی داخلی تا حدودی آسیب دیده‌اند. در واقع علاوه بر افت حساسیت نسبت به اصوات آهسته، افت برخی نمادهای گفتاری بلند نیز وجود دارد و برای اصوات قوی اطلاعات کمتری به مغز انتقال می‌یابد. بنابراین در کم‌شنوایی نوع II ، نه‌تنها به بهره بیشتری در سطوح ورودی پایین نیاز داریم بلکه مقداری بهره برای احیای بلندی اصوات قوی ضروری‌ست.

اما افت سلول‌های مویی داخلی به‌نحوی است که حتی با ارائه بهره کافی برای احیای بلندی درحد طبیعی باز تا حدودی نقص توانایی درک گفتار در حضور نویز وجود خواهد داشت. زیرا با آسیب سلول‌های مویی داخلی، نمادهای حشو گفتاری کمتری برای پردازش به‌مغز فرستاده می‌شود و افراد دارای شنوایی طبیعی نیز به‌واسطه همین نمادهای حشو گفتاری است که در حضور نویز عملکرد خوبی دارند. برای مثال می‌توانند به‌طور همزمان به صحبتهای ۴ گوینده گوش کرده و به‌طور انتخابی آنها را پیگیری نمایند. در حالی که در کم‌شنوایی‌های نوع II (یا بدتر)، حتی با بهترین سمعک‌ها توانایی‌شان در این زمینه کاهش یافته است. گرچه به‌مدد سمعک‌های مدرن امروزی عملکرد این افراد نسبت به سمعک‌های مرسوم به میزان چشمگیری بهتر شده است.

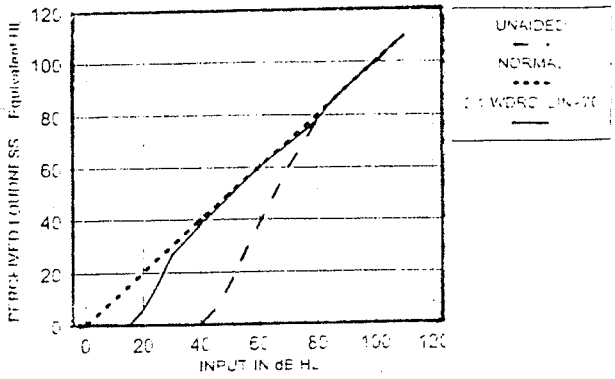
منحنی رشد بلندی و عملکرد درک گفتار کم‌شنوایی نوع III بافرض ۷۵دسی‌بل افت در پایین شکل ۲ نشان داده شده است. با رسیدن میزان کم‌شنوایی به ۷۰ تا ۸۰دسی‌بل آسیب سلول‌های مویی داخلی در حدی است که بیشترین مشکل فرد ناتوانی درک گفتار است. علاوه بر این دامنه‌ای از SPL های ورودی که در آن گفتار قابل درک است به‌خصوص درحضور نویز، بسیار محدود است.

ورودی-خروجی مطلوب

در کم‌شنوایی‌های نوع I و II احیای بلندی طبیعی اولین هدف معقول است. برای این مقادیر کم‌شنوایی باید دو چیز را مدنظر قرار داد: ۱- لزوم بهره کافی برای قابل شنیدن ساختن اصوات آهسته و ۲- عدم نیاز به‌بهره در سطوح ورودی بالا.

این هدف مستلزم یک تقویت تدریجی است، به‌نحوی که بتدریج با افزایش سطح ورودی از بهره سمعک کاسته شود و این همان چیزی است که در تقویت WDRC[1] (یا تراکم وسیع محدوده پویایی) روی می‌دهد.

شکل ۳ عملکرد سمعک WDRC را نشان می‌دهد که تقریباً به‌طور کامل افت بلندی را در کم‌شنوایی نوع I جبران نموده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در سطوح ورودی بالا هیچ بهره‌ای اعمال نشده، زیرا الگوی رشد بلندی در این سطوح شبیه افراد دارای شنوایی طبیعی است.

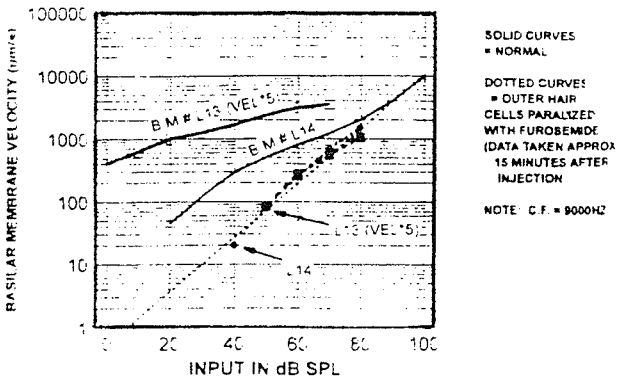


شکل ۳- جبران افت بلندی یک کم‌شنوایی ۴۰دسی‌بلی با تقویت WDRC

بحث احیای بلندی در کم‌شنوایی‌های نوع III خیلی روشن نیست. سوال مهم و حساس اینست که سمعک باید بین سطوح ورودی آهسته (حدود ۴۰دسی‌بل بهره نیاز است) و سطوح ورودی بالا (فقط ۱۰-۸دسی‌بل بهره نیاز است) چگونه عمل کند؟ اساساً در این موارد عدم موفقیت در احیای بلندی به سمعک‌های مرسوم برمی‌گردد که دستکاری و تنظیم مکرر ولوم کنترل ضروری بود. راه تقویت لازم در کم‌شنوایی نوع III استفاده از یک سمعک بهره بالا با محدودکننده تراکمی دارای زمان بازگشت متغیر و تنظیم خروجی، درست زیر سطح ناراحتی از بلندی صدا است. بدین ترتیب با بالا بردن ولوم کنترل، بلندی جهت به حداکثر رساندن توانایی درک گفتار به‌حد ناراحتی نزدیک می‌شود، اما برای احتراز از ناراحتی زیر این سطح می‌ماند.

اطلاعات فیزیولوژیک و تقویت WDRC

شکل ۴ سرعت غشای قاعده‌ای را نسبت‌به SPL ورودی نشان می‌دهد. منحنی‌های BM#L14 و BM#L13 به‌ترتیب مربوط به مطالعات Rich و Ruggerio (۱۹۹۱) روی انسان و حیوان است. همان‌طور که ذکر شد در سطوح ورودی پایین بهره زیادی مشاهده



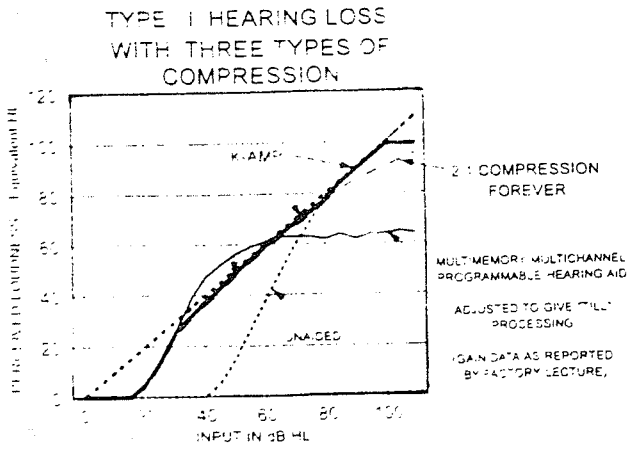
شکل ۴- نتایج مطالعه Rich و Ruggerio (۱۹۹۱) نشان می‌دهد که عملکرد عضو کرتی، شبیه تقویت کننده WDRC است.

می‌شود، در حالی‌که در سطوح ورودی بالا بهره‌ای وجود ندارد. هنگامی که سلول‌های مویی خارجی با فورسماید از کار انداخته شوند دیگر نمی‌توانند حرکت کنند، بنابراین در تمام سطوح، بهره‌ای وجود نخواهد داشت. این بدین معنی است که بهره از دست رفته صرفاً حاصل فعالیت سلول‌های مویی خارجی بوده (منحنی‌های L14 و L13 پس از تأثیر فورسماید).

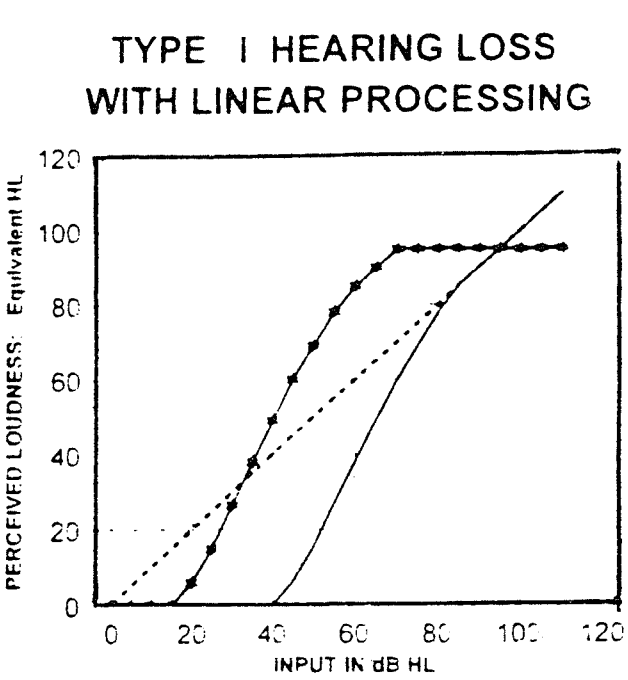
بررسی Rich و Ruggerio نشان داد دستگاه شنوایی در حالت طبیعی به‌صورت خطی عمل نمی‌کند، بلکه دارای حساسیت بیشتری نسبت‌به اصوات آهسته و کاهش تدریجی حساسیت با افزایش سطح ورودی است. یعنی این سیستم در شرایط طبیعی به‌صورت تراکم وسیع دامنه پویایی (WDRC) برای افزایش سطوح ورودی پایین عمل می‌کند. تنها وقتی گوش انسان تابع ورودی-خروجی خطی را نشان می‌دهد که سلول‌های مویی خارجی از بین رفته یا موقتاً از کار افتاده باشند.

شکل ۵ نشان می‌دهد هر سمعک تراکمی را نمی‌توان برای جبران بلندی آسیب‌دیده به‌کار برد. از میان سه مدار تراکمی مورد مقایسه تنها تقویت‌کننده WDRC با عملکرد TILL[2] توانسته الگوی رشد بلندی آسیب‌دیده را به الگوی رشد بلندی طبیعی نزدیک سازد.

استفاده از محدودکننده خروجی[3] برای کم‌شنوایی‌های نوع I و II بسیار اشتباه می‌باشد و شاید استفاده گسترده از آن طی سال‌های گذشته به‌دلیل محدودیت مدارهای موجود بوده است. اگر فقط تقویت‌کننده خطی دردسترس باشد یقیناً نوعی محدودکننده ضروری است. زیرا تقویت اصوات بلند به‌اندازه اصوات آهسته موجب درد یا آسیب فیزیولوژیک خواهد شد. برش قله (Peak Clipping) شکلی از تقویت‌کننده خطی است که درصورت انتخاب مناسب قبل از رسیدن به سطح ناراحتی از بلندی صدا جلوگیری خواهد کرد. اما افراد دچار کم‌شنوایی‌های نوع I



شکل ۵- الگوی رشد بلندی با چند تقویت کننده تراکمی

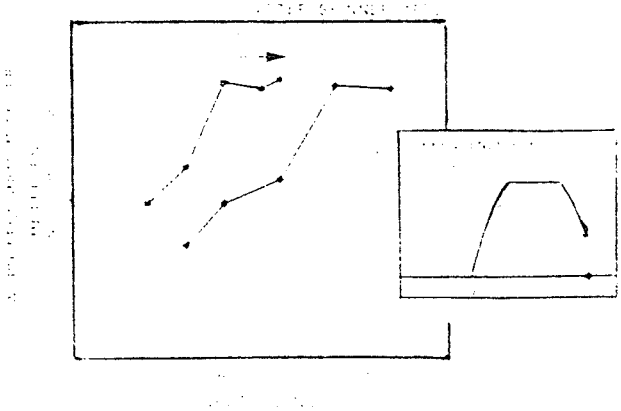


شکل ۶- کاربرد تقویت خطی در کم‌شنوایی‌های نوع I

و II در صورت استفاده از تقویت خطی مجبورند برای راحت شنیدن اصوات آهسته، بهره را در سطح پایینی تنظیم کنند یا بلندی بیش از حدی را در دامنه وسیعی از اصوات دنیای واقعی تجربه کنند (شکل ۶). لذا در اغلب مواقع کاربرد تقویت‌کننده خطی در کم‌شنوایی‌های نوع I و II موفقیت‌آمیز نیست.

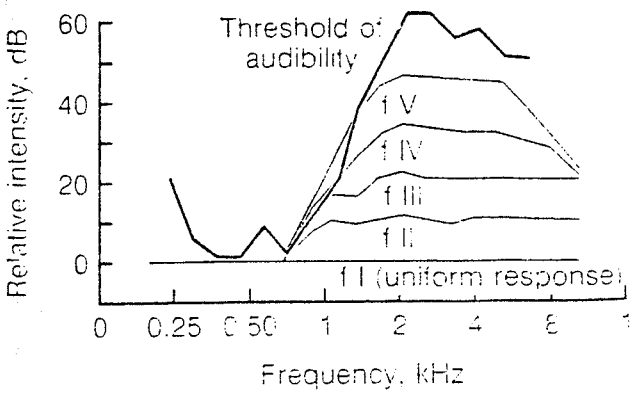
تغییر پاسخ فرکانسی متناسب با تغییر سطح ورودی

در سمعک‌های WDRC پاسخ فرکانسی ثابت است. اما آیا مداری با پاسخ فرکانسی وابسته به سطح، در بهبود درک گفتار نقش مؤثرتری خواهد داشت؟ غالباً کم‌شنوایی وابسته به فرکانس



شکل ۷- پنج پاسخ فرکانسی مطالعه Skinner در کم‌شنوایی‌های Ski-Slope.

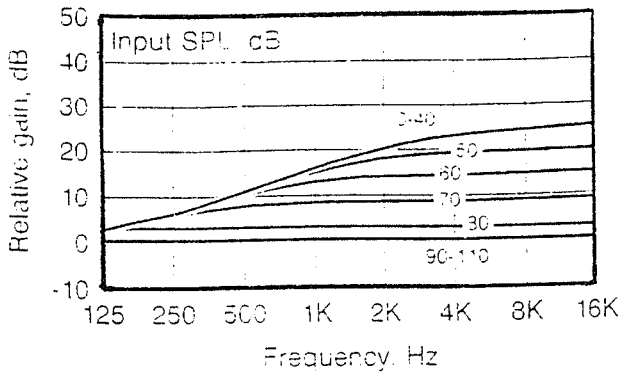
بوده، در بعضی فرکانس‌ها بیش از فرکانس‌های دیگر است. Skinner (۱۹۷۹) در مطالعات خود تأثیر پنج پاسخ فرکانسی مختلف را در افرادی با کم‌شنوایی Ski-Slope بررسی کرد. شکل ۷ این پنج پاسخ فرکانسی و آستانه‌های شنوایی یکی از افراد تحت بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- دو پاسخ فرکانسی (f۵ و f۱) مطالعه Skinner و منحنی‌های توانایی درک حاصل از آنها روی یکی از افراد مورد بررسی.

شکل ۸ تأثیردو پاسخ فرکانسی موردمطالعه Skinner (f۵ و f۱) بر توانایی درک گفتار را نشان می‌دهد. منحنی پاسخ فرکانسی که تأکید بیشتری بر فرکانس‌های بالا (در حدود ۴۰دسی‌بل بهره) دارد (f ۵)، توانایی درک گفتار بهتری را در سطوح ورودی پایین نتیجه داده است که باتوجه به شکل افت افراد مورد بررسی می‌توان انتظار آن را داشت. با این وجود با رسیدن سطح ورودی به ۵۵دسی‌بل SPL (۱۰دسی‌بل کمتر از سطح گفتار محاوره‌ای) عدم تحمل نسبت به بلندی صدا مشاهده شده، میزان خروجی برای فرد ناراحت‌کننده است. در مقابل منحنی پاسخ فرکانسی هموار (f ۱) که در سطوح ورودی پایین امتیازات درک گفتار کمتری دارد، در سطوح ورودی بالا امتیازاتی تقریباً معادل با پاسخ فرکانسی f ۵ دارد و موجب ناراحتی فرد نیز نمی‌شود.

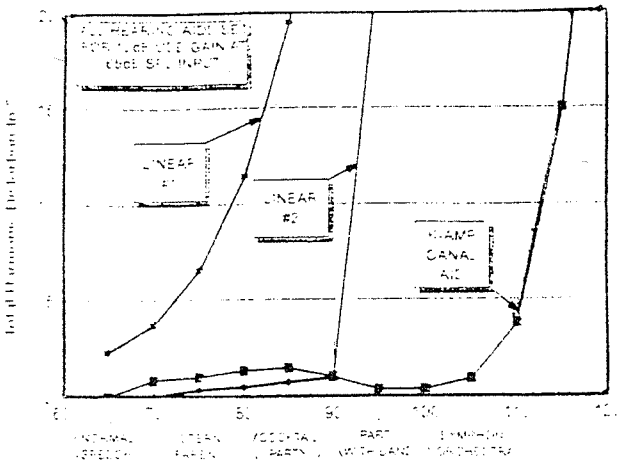
بر این اساس، Skinner معتقد است اگر پاسخ فرکانسی سمعک وابسته به سطح باشد، بسیار مطلوب خواهد بود با داشتن یک پاسخ فرکانسی با تأکید بر فرکانس‌های بالا در سطوح ورودی پایین و یک پاسخ فرکانسی هموارتر در سطوح ورودی بالا، در اغلب موارد پردازش بسیار بهتری نسبت به تقویت‌کننده‌های خطی نتیجه می‌شود. شکل ۹ پاسخ فرکانسی وابسته به سطح یک تقویت‌کننده تک‌بانده WDRC-TILL را نشان می‌دهد. شکل ۱۰ نشان می‌دهد در چه مواردی تجویز تقویت TILL موفقیت بیشتری دارد و درچه مواقعی احتمال موفقیت پایین است. می‌توان گفت در افت‌های: ۱- ملایم تا متوسط فرکانس بالا و ۲- ملایم تا متوسط هموار یا با شیب معکوس احتمال موفقیت تجویز مدار TILL بیشتر است و در



شکل ۹- پاسخ فرکانسی وابسته به سطح یک تقویت کننده تک‌بانده WDRC-TILL.

موارد دی چون: ۱- افت‌های متوسط تا شدید فرکانس بالا، ۲- متوسط تا شدید هموار و ۳- افت بیش از حد فرکانس بالا (آستانه‌های طبیعی تا ۲-۱ کیلو هرتز)، احتمال موفقیت پایین است.

اعوجاج زیاد در ورودی‌های بالا یکی از دلایل عدم‌پذیرش سمعک از سوی فرد استفاده‌کننده است. شکل ۱۱ اعوجاج مربوط‌به سه‌سمعک تجاری اخیر را که فروش بالایی داشته‌اند، در SPL های مختلف ورودی نشان می‌دهد. دو سمعک دارای کلاس A و سومی از نوع WDRC-TILL است. این شکل به‌وضوح نشانگر کیفیت بالای مدار WDRC-TILL(K-AMP) است و نشان می‌دهد که این سمعک در سطوح بسیار بالاتری دچار اعوجاج

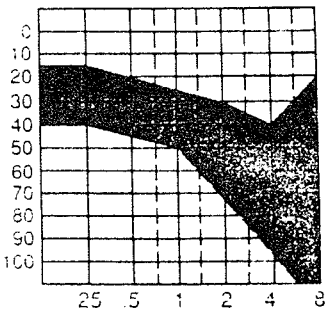


شکل ۱۱- میزان اعوجاج دو سمعک خطی کلاس A و یک سمعک WDRC-TILL کلاس D در SPL های مختلف ورودی.

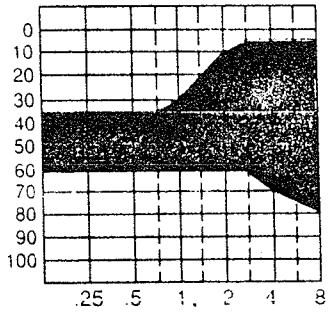
می‌شود.

فرمول فیتینگ FIG6

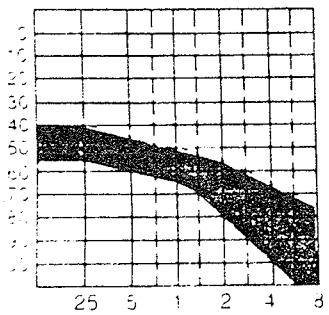
سالهاست که لزوم دستیابی به رویکردی قانونمند در فیتینگ اصوات در محدوده شنوایی افراد، مورد تحقیق و بررسی است. NAL-R یکی از فرمول‌هایی است که بیشترین اصلاحات روی آن انجام شده و از مناسبترین فرمول‌های مناسب سمعک‌های خطی است. اما برای فیتینگ مدارهای پاسخ فرکانسی وابسته به سطح، نیاز



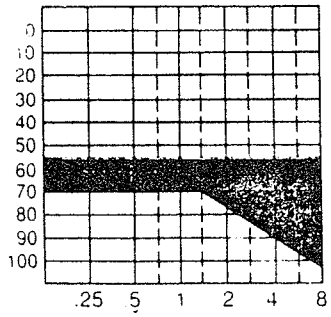
High Frequency Loss



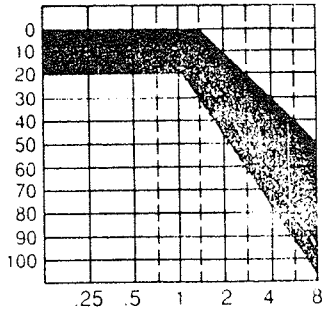
Flat or Reverse Loss



Moderate-Severe H F Loss



Moderate-Severe Flat Loss



Normal to 1-2 kHz

شکل ۱۰- در دو ادیوگرام بالا، احتمال موفقیت تجویز مدار TILL(K-AMP) بیش از سه ادیوگرام پایین است.

به فرمول‌های هدف پیچیده‌تری داریم و بهره و پاسخ فرکانسی ثابت دیگر نمی‌تواند جوابگو باشد.

در سال‌های اخیر روش‌های تجویزی مبتنی بر بلندی متفاوت با هدف پیچیده‌تر ساختن فرمول‌های هدف معرفی شده‌اند. FIG6 یکی از این فرمول‌هاست که بهره را در سه سطح ورودی شامل: ۱- سطوح ورودی پایین یا اصوات آهسته (۴۰دسی‌بل SPL)

۲- سطوح محاوره‌ای (۶۵دسی‌بل SPL)

۳- سطوح ورودی بالا یا اصوات بلند (۹۰ دسی‌بل SPL) محاسبه می‌کند. این فرمول قصد دارد بهره مورد نیاز برای قابل شنیدن ساختن اصوات آهسته و احیای بلندی در سطوح گفتار محاوره‌ای (۷۰-۶۰دسی‌بل) و اصوات قوی (۱۰۵-۸۵دسی‌بل SPL) را در کم‌شنوایی‌های نوع I و II فراهم نماید.

FIG6 یک نرم‌افزار است که با وارد کردن اطلاعات ادیوگرام به‌طور خودکار منحنی‌های هدف را در سه سطح فوق محاسبه و نمایش می‌دهد و امکان مقایسه پاسخ‌های میکروفون پروب-تیوب را در این سه‌سطح امکانپذیر می‌سازد. در شکل ۱۲ یک نمونه محاسبه بهره هدف گوش واقعی با فرمول مبتنی بر بلندی FIG6 نشان داده شده است. در این شکل بهره هدف NAL-R نیز برای مقایسه آورده شده که جز در فرکانس ۱۰۰۰هرتز (که با بهره اضافی همراه است) به بهره هدف فرمول FIG6 در سطح ۶۵دسی‌بل SPL نزدیک شده است.

در خاتمه باید گفت در زمینه مزایا و معایب تجویز بهره براساس الگوی رشد بلندی مطالب بسیاری موجود است و حال این واقعیت خود را نشان می‌دهد که بلندی تنها بعد مهم شنوایی نیست. اما بلندی روشنترین تصویر از عملکرد حلزون آسیب دیده است که به صورت غیرتهاجمی تعیین می‌شود. لذا علیرغم این که مسأله بلندی ملاحظه و تأمل نهایی نیست، به‌نظر بسیاری از محققین و متخصصین بهترین نقطه شروع فیتینگ است.

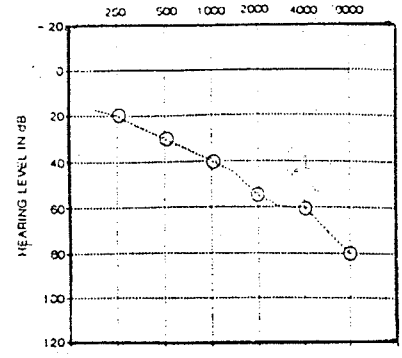
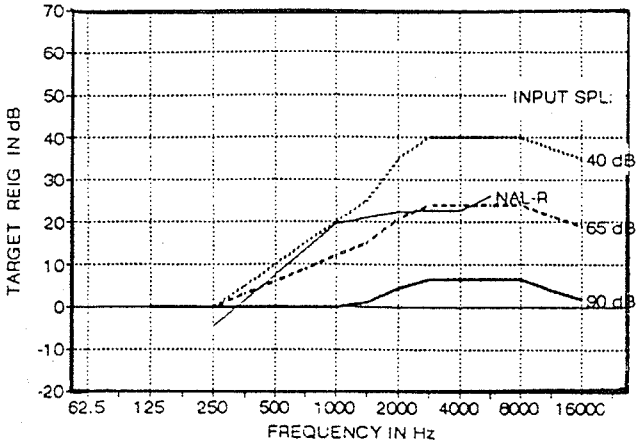


FIG6 LOUDNESS-BASED REIR TARGETS
TARGET CURVES FOR 40, 65, AND 90 dB SPL



شکل ۱۲- منحنی‌های هدف FIG6 برای سمعک‌های WDRC-TILL.

پی‌نویس

1-WideDynamicRangeCompression 2- Treble Increases at Low Level (TILL) 3- Output Limiting

منبع

Berlin, C. I. 1996. *Hair Cells and Hearing Aids.* Singular Publishing Group, Inc. 125-68.