

# سلول‌های مویی و سمعک‌ها

زهرا جعفری - کارشناس ارشد شنوایی‌شناسی

## مقدمه

سلول‌های مویی داخلی و غشای تکتوریال کافی است. یعنی با تقویت‌کننده‌های سلول‌های مویی خارجی فقط ارائه ۱۰ دسی‌بل 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 ۵۰ دسی‌بل SPL (۴۰ دسی‌بل HL) نیاز است. به عبارتی با ۴۰ دسی‌بل 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 به همراه خواهد داشت که به معنای کاهش مسیرهای انتقال اطلاعات به مغز است. شکل ۱ منحنی‌های رشد بلندی آسیب‌دیده مربوط به کم‌شنوایی ۴۰، ۶۰ و ۷۵ دسی‌بل را نشان می‌دهد.

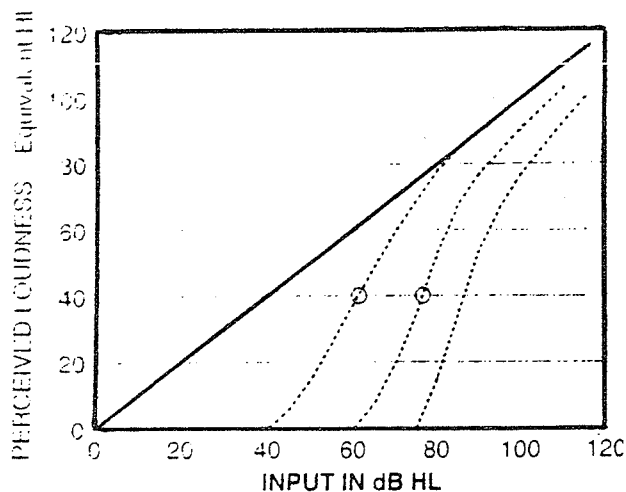
گاهی در افرادی که انتظار داریم به واسطه میزان کم‌شنوایی شان استفاده مفید از سمعک داشته باشند، پس از یک دوره، شکایت عمده آنها رشد نامناسب بلندی صدای سمعک در سطوح مختلف ورودی است. در حال حاضر از جالبترین و مقبولترین شیوه‌های کاربردی فیتینگ سمعک، تنظیم آن مطابق الگوی رشد بلندی آسیب‌دیده است. باید بدانیم 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

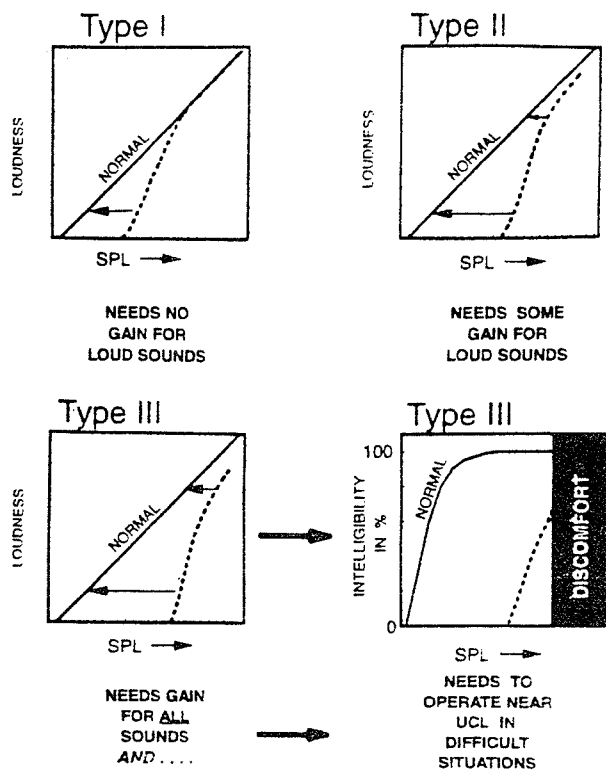
ابتدا توضیح مختصری درباره نحوه عملکرد سلول‌های مویی خارجی (OHC) و داخلی (IHC) ضروری است. همان‌طور که می‌دانید از هزاران سلول عصبی شنوایی همه سیگنال‌های ارسال شده از سلول‌های مویی داخلی است. پس سلول‌های مویی خارجی چه وظیفه‌ای بر عهده دارند؟

فرضیه‌های گوناگونی در زمینه مکانیزم دقیق شلیک سلول‌های مویی داخلی و نحوه افزایش حساسیت حلزون به میزان ۴۰ دسی‌بل 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 ۴۰-۵۰ دسی‌بل SPL، عملکرد سلول‌های مویی خارجی را جبران نماید.

با فرض تقویت مکانیکی حاصل از حرکت سلول‌های مویی خارجی، ۱۰ دسی‌بل SPL برای ایجاد میزان حرکت مورد نیاز بین



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



شکل ۲- منحنی‌های رشد بلندی سه نوع کم شنوایی

## انواع کم شنوایی

شکل ۲ منحنی‌های رشد بلندی سه نوع کم شنوایی را نشان می‌دهد. منحنی مربوط به کم شنوایی عمیق به دلیل محدودیت اطلاعات آورده نشده است. همان‌طور که در کم شنوایی نوع I می‌بینید، احساس بلندی برای اصوات قوی مشابه افراد دارای شنوایی طبیعی است و اصوات کمتر از ۴۰ دسی‌بل HL غیرقابل شنیدن هستند. این تایج با افت عملکرد سلول‌های مویی خارجی و عملکرد طبیعی سلول‌های مویی داخلی در ارتباط است. چنان که در سطوح شدت بالای ۴۰ دسی‌بل HL، بلندی بتدریج به سطوح طبیعی برمی‌گردد. این امر در مواردی چون اندازه‌گیری آستانه تمایز شدت (DLI) و فرکانس (DLF)، منحنی‌های هماهنگ سایکواکوستیک، پاسخ شنوایی برانگیخته ساقه مغز (ABR) یا تشخیص گفتار در حضور نویز در سطوح شدت بالا مصداق دارد. فردی با کم شنوایی 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 به محافظت نیاز داشته باشند. به عبارتی انتخاب یک حداکثر خروجی پایین برای کم شنوایی نوع I اشتباه است چرا که نتیجه آن صرفاً برش زودرس و بروز اعوجاج در اصوات بلند روزمره می‌باشد.

در کم شنوایی نوع II (۶۰ دسی‌بل) 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 کم شنوایی نوع II، نه تنها به بهره بیشتری در سطوح ورودی پایین نیاز داریم بلکه مقداری بهره برای احیای بلندی اصوات قوی ضروری است.

اما افت سلول‌های مویی داخلی به نحوی است که حتی با ارائه بهره کافی برای احیای بلندی در حد 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 به مغز فرستاده می‌شود و افراد دارای شنوایی طبیعی نیز به واسطه 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 کم شنوایی‌های 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 کم شنوایی نوع III با فرض ۷۵ دسی‌بل افت در پایین شکل ۲ نشان داده شده است. با رسیدن میزان کم شنوایی به ۷۰ تا ۸۰ دسی‌بل آسیب سلول‌های مویی داخلی در حدی است که بیشترین مشکل فرد ناتوانی درک گفتار است. علاوه بر این دامنه‌ای از SPL‌های ورودی که در آن گفتار قابل درک است به‌خصوص در حضور نویز، بسیار محدود است.

## ورودی-خروجی مطلوب

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

این هدف مستلزم یک تقویت تدریجی است، به نحوی که بتدریج با افزایش سطح ورودی از بهره سمعک کاسته شود و این همان چیزی است که در تقویت WDRC<sup>۱</sup> (یا تراکم وسیع محدوده پویایی) روی می‌دهد.

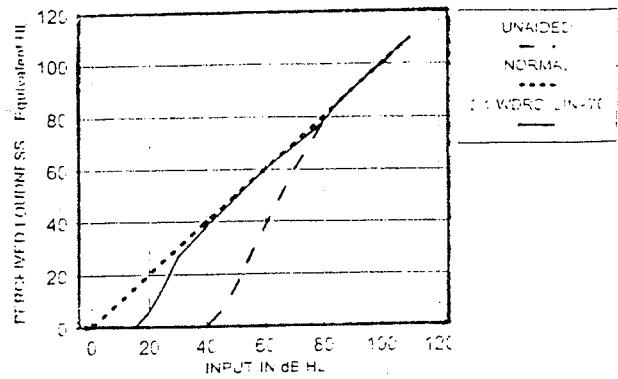
شکل ۳ عملکرد سمعک WDRC را نشان می‌دهد که تقریباً به‌طور کامل افت بلندی را در کم شنوایی نوع I جبران نموده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید در سطوح ورودی بالا هیچ بهره‌ای اعمال نشده، زیرا الگوی رشد بلندی در این سطوح شبیه افراد دارای شنوایی طبیعی است.

می‌شود، در حالی که 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 L13 و L14 پس از تأثیر فورسماید).

بررسی Rich و Ruggerio نشان داد دستگاه شنوایی در حالت طبیعی به صورت خطی عمل نمی‌کند، بلکه دارای حساسیت بیشتری نسبت به اصوات آهسته و کاهش تدریجی حساسیت با افزایش سطح ورودی است. یعنی این سیستم در شرایط طبیعی به صورت تراکم و 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 به کار برد. از میان سه مدار تراکمی مورد مقایسه تنها تقویت‌کننده WDRC با عملکرد TILL<sup>۲</sup> توانسته الگوی رشد بلندی آسیب‌دیده را به الگوی رشد بلندی طبیعی نزدیک سازد.

استفاده از محدودکننده خروجی<sup>۳</sup> برای کم‌شنوایی‌های نوع I و II بسیار اشتباه می‌باشد و شاید استفاده گسترده از آن طی سال‌های گذشته به دلیل محدودیت مدارهای موجود بوده است. اگر فقط تقویت‌کننده خطی در دسترس باشد یقیناً نوعی محدودکننده ضروری است. زیرا تقویت اصوات بلند به اندازه اصوات آهسته موجب درد یا آسیب فیزیولوژیک خواهد شد. برش قله (Peak Clipping) شکلی از تقویت‌کننده خطی است که در صورت انتخاب مناسب قبل از رسیدن به سطح ناراحتی از بلندی صدا جلوگیری خواهد کرد. اما افراد دچار کم‌شنوایی‌های نوع I

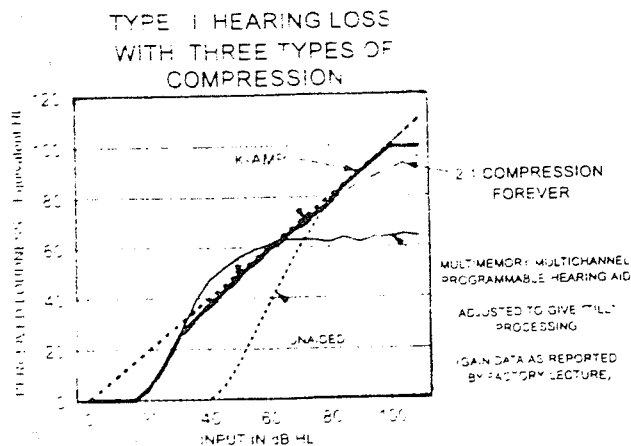


شکل ۳- جبران افت بلندی یک کم‌شنوایی ۴۰ دسی‌بل با تقویت WDRC

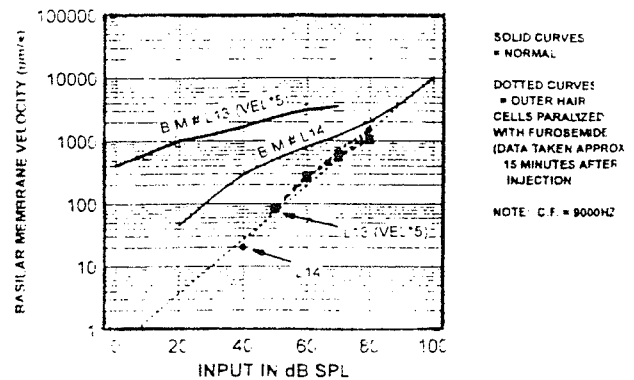
بحث احیای بلندی در کم‌شنوایی‌های نوع III خیلی روشن نیست. سوال مهم و حساس اینست که سمعک باید بین سطوح ورودی آهسته (حدود ۴۰ دسی‌بل بهره نیاز است) و سطوح ورودی بالا (فقط ۱۰-۸ دسی‌بل بهره نیاز است) چگونه عمل کند؟ اساساً در این موارد عدم موفقیت در احیای بلندی به سمعک‌های مرسوم برمی‌گردد که دستکاری و تنظیم 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 به حد ناراحتی نزدیک می‌شود، اما برای احتراز از ناراحتی زیر این سطح می‌ماند.

### اطلاعات فیزیولوژیک و تقویت WDRC

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

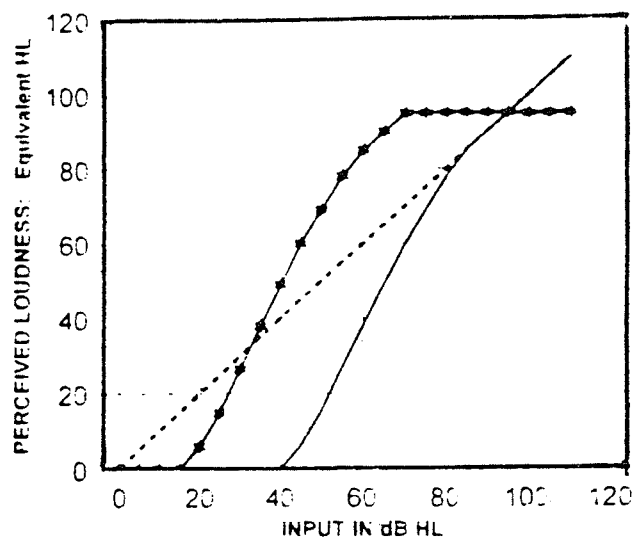


شکل ۵- الگوی رشد بلندی با چند تقویت‌کننده تراکمی



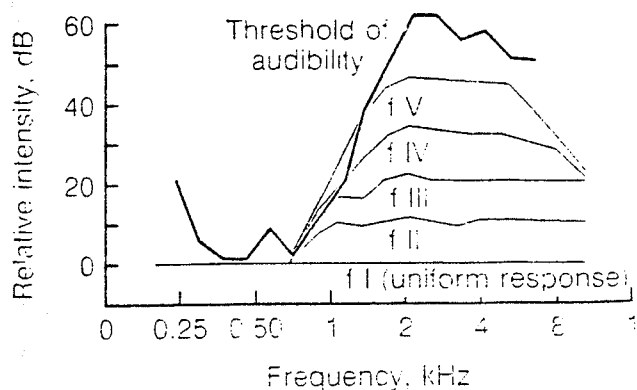
شکل ۴- نتایج مطالعه Rich و Ruggerio (۱۹۹۱) نشان می‌دهد که عملکرد عضو کرتی، شبیه تقویت‌کننده WDRC است.

## TYPE I HEARING LOSS WITH LINEAR PROCESSING



شکل ۶- کاربرد تقویت خطی در کم شنوایی های نوع I

بوده، در بعضی فرکانس ها بیش از فرکانس های دیگر است. Skinner (۱۹۷۹) در مطالعات خود تأثیر پنج پاسخ فرکانسی مختلف را در افرادی با کم شنوایی Ski-Slope بررسی کرد. شکل ۷ این پنج پاسخ فرکانسی و آستانه های شنوایی یکی از افراد تحت بررسی را نشان می دهد.

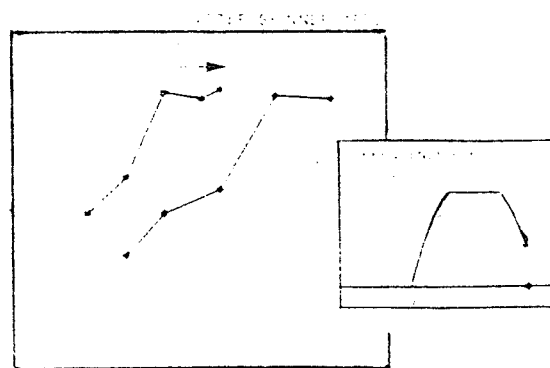


شکل ۸- دو پاسخ فرکانسی (f ۱ و f ۵) مطالعه Skinner و منحنی های توانایی درک حاصل از آنها روی یکی از افراد مورد بررسی.

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 تقویت کننده خطی در کم شنوایی های نوع I و II موفقیت آمیز نیست.

### تغییر پاسخ فرکانسی متناسب با تغییر سطح ورودی

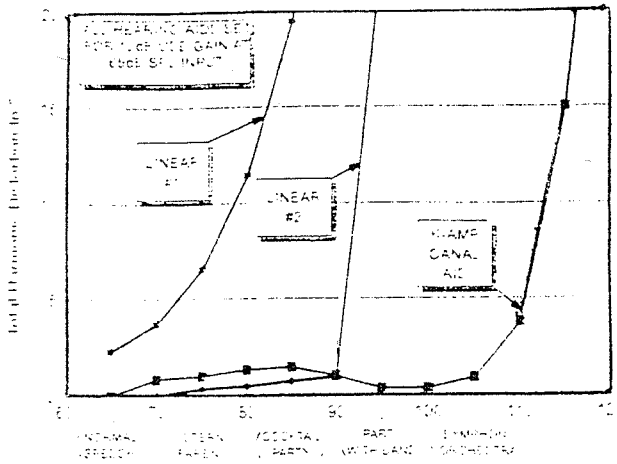
در سمک های WDRC پاسخ فرکانسی ثابت است. اما آیا مداری با پاسخ فرکانسی وابسته به سطح، در بهبود درک گفتار نقش مؤثرتری خواهد داشت؟ غالباً کم شنوایی وابسته به فرکانس



شکل ۷- پنج پاسخ فرکانسی مطالعه Skinner در کم شنوایی های Ski-Slope.

شکل ۸ تأثیر دو پاسخ فرکانسی مورد مطالعه Skinner (f ۱ و f ۵) بر توانایی درک گفتار را نشان می دهد. منحنی پاسخ فرکانسی که تأکید بیشتری بر فرکانس های بالا (در حدود ۴۰ دسی بل بهره) دارد (f ۵)، توانایی درک گفتار بهتری را در سطوح ورودی پایین نتیجه داده است که با توجه به شکل افت افراد مورد بررسی می توان انتظار آن را داشت. با این وجود با رسیدن سطح ورودی به ۵۵ دسی بل SPL (۱۰ دسی بل کمتر از سطح گفتار محاوره ای) عدم تحمل نسبت به بلندی صدا مشاهده شده، میزان خروجی برای فرد ناراحت کننده 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 نمی شود.

بر این اساس، Skinner معتقد است اگر پاسخ فرکانسی سمک وابسته به سطح باشد، بسیار مطلوب خواهد بود با داشتن یک پاسخ فرکانسی با تأکید بر فرکانس های بالا در سطوح ورودی پایین و یک پاسخ فرکانسی هموارتر در سطوح ورودی بالا، در اغلب موارد پردازش بسیار بهتری نسبت به تقویت کننده های خطی نتیجه می شود. شکل ۹ پاسخ فرکانسی وابسته به سطح یک تقویت کننده تک بانده WDRC-TILL را نشان می دهد. شکل ۱۰ نشان می دهد در چه مواردی تجویز تقویت TII.L موفقیت بیشتری دارد و در چه مواقعی احتمال موفقیت پایین است. می توان گفت در افت های: 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

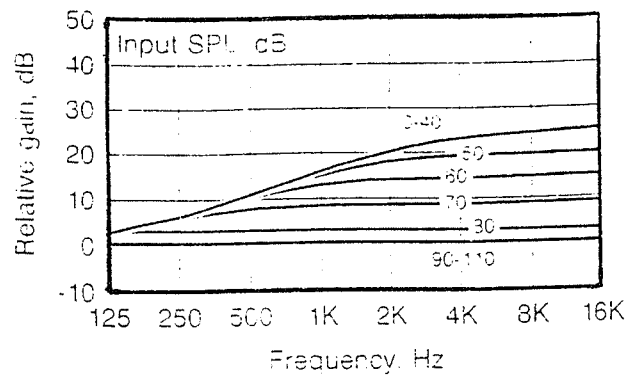


شکل ۱۱- میزان اعوجاج دو سمعک خطی کلاس A و یک سمعک WDRC-TILL در کلاس D در SPL های مختلف ورودی.

می شود.

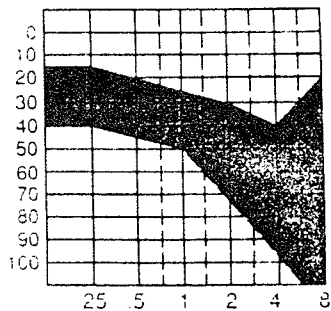
### فرمول فیتینگ FIG6

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

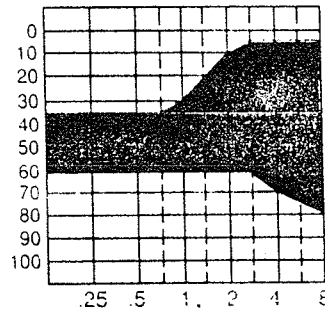


شکل ۹- پاسخ فرکانسی وابسته به سطح یک تقویت کننده تک بانده WDRC-TILL.

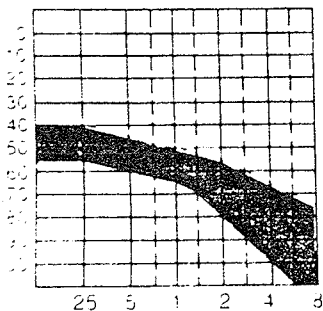
مواردی چون: ۱- افت‌های متوسط تا شدید فرکانس بالا، ۲- متوسط تا شدید هموار و ۳- افت بیش از حد فرکانس بالا (آستانه‌های طبیعی تا ۲-۱ کیلو هرتز)، احتمال موفقیت پایین است. اعوجاج زیاد در ورودی‌های بالا یکی از دلایل عدم پذیرش سمعک از سوی فرد استفاده کننده است. شکل ۱۱ اعوجاج مربوط به سه سمعک تجاری اخیر را که فروش بالایی داشته‌اند، در SPL های مختلف ورودی نشان می‌دهد. دو سمعک دارای کلاس A و Sومی از نوع WDRC-TILL است. این شکل به وضوح نشانگر کیفیت بالای مدار WDRC-TILL(K-AMP) است و نشان می‌دهد که این سمعک در سطوح بسیار بالاتری دچار اعوجاج



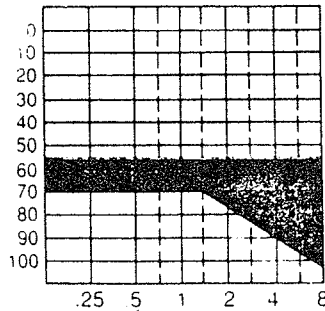
High Frequency Loss



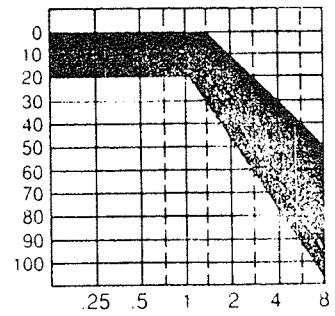
Flat or Reverse Loss



Moderate-Severe H F Loss



Moderate-Severe Flat Loss



Normal to 1-2 kHz

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

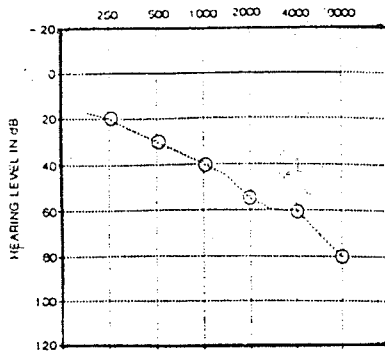
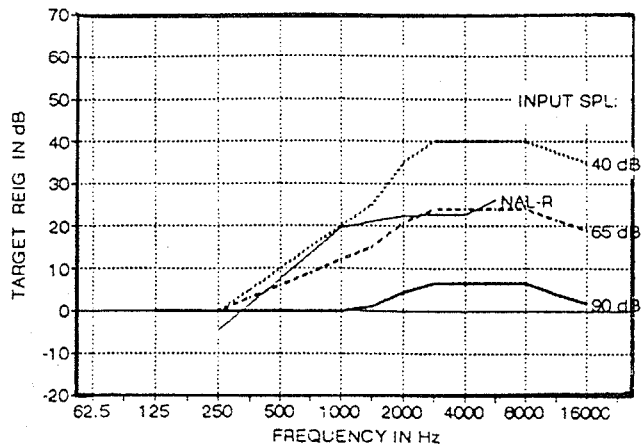


FIG6 LOUDNESS-BASED REIR TARGETS  
TARGET CURVES FOR 40, 65, AND 90 dB SPL



شکل ۱۲- منحنی های هدف FIG6 برای سمعک های WDR-C-TILL

به فرمول های هدف پیچیده تری داریم و بهره و پاسخ فرکانسی ثابت دیگر نمی تواند جوابگو باشد.

در سال های اخیر روش های تجویزی مبتنی بر بلندی متفاوت با هدف پیچیده تر ساختن فرمول های هدف معرفی شده اند. FIG6 یکی از این فرمول هاست که بهره را در سه سطح ورودی شامل: ۱-

۲- سطوح محاوره ای (۶۵ دسی بل SPL)

۳- سطوح ورودی بالا یا اصوات بلند (۹۰ دسی بل SPL)

محاسبه می کند. این فرمول قصد دارد بهره مورد نیاز برای قابل شنیدن ساختن اصوات آهسته و احیای بلندی در سطوح گفتار محاوره ای (۶۰-۷۰ دسی بل) و اصوات قوی (۱۰۵-۸۵ دسی بل SPL) را در کم شنوایی های نوع I و II فراهم نماید.

FIG6 یک نرم افزار است که با وارد کردن اطلاعات ادیوگرام به طور خودکار منحنی های هدف را در سه سطح فوق محاسبه و نمایش می دهد و امکان مقایسه پاسخ های میکروفون پروب-تیوب را در این سه سطح امکانپذیر می سازد. 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 ۱۰۰۰ هرتز (که با بهره اضافی همراه است) به بهره هدف فرمول FIG6 در سطح ۶۵ دسی بل SPL نزدیک شده است.

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

## پی نویس

- 1- Wide Dynamic Range Compression
- 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.