

مقاله پژوهشی اصیل

**بررسی نحوه تمایز شدت، فرکانس و زمان صوت
در افراد طبیعی**

دکتر زهرا جعفری^۱

دکتر حسن عشایری

دکتر پریچهر احمدی

دکتر مسعود متصدی زرنندی

هدف: سایکواکوستیک، ویژگی‌های فیزیکی صوت را به احساس و درک برخاسته از آن مربوط می‌سازد. در این مطالعه، کمترین تفاوت محسوس (JND) در شدت، فرکانس و زمان صوت بررسی می‌گردد. **روش:** مطالعه مقطعی - تحلیلی حاضر روی ۲۸ فرد طبیعی راست‌دست (۱۴ مرد و ۱۴ زن) در محدوده سنی ۲۰-۱۸ انجام شد. این افراد به‌طور تصادفی از بین کسانی که سابقه هیچ‌گونه بیماری یا جراحی گوش، اختلال عصب‌شناختی و مشکلات شنوایی، گفتاری و زبانی نداشتند، انتخاب شدند. با انجام سه آزمایش «تمایز شدت»، «تمایز فرکانس» و «کشف وقفه» صوت، JND به نسبت سطح شدت محرک، کمترین اختلاف فرکانس قابل تشخیص به نسبت فرکانس تحریک، و کوتاه‌ترین زمان وقفه قابل کشف به نسبت سطح شدت تحریک، اندازه‌گیری و بر اساس گوش تحت بررسی و جنسیت افراد تحلیل شد. **یافته‌ها:** در آزمایش‌های «تمایز شدت» و «کشف وقفه» با افزایش سطح شدت تحریک ارایه شده، JND در شدت صوت و کوتاه‌ترین زمان وقفه قابل کشف، بهبود (کاهش) یافت. در آزمایش «تمایز فرکانس» با افزایش فرکانس تحریک در باندهای اکتاوی، JND فرکانس افزایش نشان داد و گوش تحت بررسی و جنسیت فرد بر نتایج تأثیری نداشت. **نتیجه‌گیری:** یافته‌های مطالعه حاضر مؤید نتایج مطالعات قبلی در این زمینه است و می‌تواند به عنوان مبنای مطالعات پژوهشی مرتبط و نیز ارزیابی‌های بالینی اختلالات شنوایی قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: سایکواکوستیک، کمترین تفاوت محسوس (JND)، تمایز شدت، تمایز فرکانس، کشف وقفه

مقدمه

درک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این رابطه نقش اختلالات دستگاه محیطی و مرکزی شنوایی در پیامدهای درکی به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. برای مثال آسیب گوش داخلی و یا عصب شنوایی، به کاهش آستانه شنوایی و پردازش غیرطبیعی شدت، فرکانس و زمان صوت منجر می‌شود (مور^۲، ۱۹۹۶؛ باس^۳، هال^۴، گروز^۵ و هاج^۶، ۱۹۹۸؛

درک عبارت است از زنجیره ظریفی از وقایع شامل تبدیل محرک حسی به علایم الکتریکی در سطح گیرنده، انتقال این علایم از طریق عصب محیطی و پردازش و تفسیر آنها در دستگاه اعصاب مرکزی. بروز هر گونه مشکل در این فرآیند

2- Moore
4- Hall
6- Hatch

3- Buss
5- Grose

۱- نشانی تماس: تهران، اوین، خیابان کودکیار، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، گروه علوم پایه، گروه پژوهشی سالمندی

Email: zjafari@uswr.ac.ir

فلورنتین^{۲۷}، باس و ماسون^{۲۸}، ۱۹۸۷؛ ویمستر^{۲۹} و باکن، (۱۹۸۸). در مطالعه زنگ و همکاران (۲۰۰۵) روی گروهی از افراد طبیعی، DLF در فرکانس‌های اکتاوی ۸۰۰۰-۱۲۵ هرتز در سطح شدت ثابت (سطح راحت شنوایی) مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی کمترین تفاوت فرکانسی محسوس در فرکانس ۱۲۵ هرتز، حدود سه هرتز بود که با افزایش فرکانس، افزایش یافت و در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز به بیش از ۱۰۰ هرتز رسید. در این مطالعه، تأثیر افزایش سطح شدت تحریک بر DLI در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز بررسی و مشاهده شد که با افزایش سطح شدت محرک در گام‌های ۱۰ دسی‌بلی از ۱۰ تا ۷۰ دسی‌بلی، کمترین تفاوت شدت محسوس از حدود پنج دسی‌بلی به سه دسی‌بلی کاهش می‌یابد.

دیگر مشخصه اصلی محرک صوتی که در ارزیابی‌های سایکواکوستیک بررسی می‌شود، زمان است. در این رابطه اندازه‌گیری «آستانه کشف وقفه»^{۳۰} (GDT)، یک روش رایج در ارزیابی حدت زمانی است. «آستانه کشف وقفه» کمترین فاصله سکوت یا وقفه بین دو سیگنال (سینوسی، نویز باند پهن یا نویز باند باریک) است که شنونده قادر به کشف آن است. برای تعیین آستانه کشف وقفه، سیگنال شامل وقفه، همراه دو یا چند سیگنال مشابه بدون وقفه ارائه می‌شود و فرد باید سیگنال دارای وقفه را شناسایی نماید. بدین منظور، سیگنال باریک نویز یا صوت ناب به دو بخش تقسیم و بین آنها زمان وقفه یا سکوتی در نظر گرفته می‌شود (هورلی^{۳۱} و فولتن^{۳۲}، ۲۰۰۷).

در برخی مطالعات، نتایج «آزمون کشف وقفه» در افراد دارای شنوایی طبیعی و افراد کم‌شنوای محیطی، نزدیک به یکدیگر گزارش شده است (ویر و همکاران، ۱۹۷۷). این یافته از

اوکسها^۱ و باکن^۲، ۲۰۰۳) و آسیب دستگاه اعصاب مرکزی به نقایص پردازشی پیچیده‌ای در درک گفتار و بازشناسی صوت می‌انجامد (رایت^۳ و همکاران، ۱۹۹۷؛ کاکاسی^۴ و مک‌فارلند^۵، ۱۹۹۸؛ گوردن-سالانت^۶ و فیتزگیونز^۷، ۱۹۹۹؛ زنگ^۸، اوبا^۹ و استار^{۱۰}، ۲۰۰۱؛ زنگ، کونگ^{۱۱}، میچالوسکی^{۱۲} و استار، ۲۰۰۵).

سایکواکوستیک مطالعه درک ذهنی انسان از اصوات است. در واقع سایکواکوستیک ویژگی‌های فیزیکی صوت را به احساس و درک برخاسته از آن مربوط می‌سازد (آلن^{۱۳}، ۲۰۰۰). شدت، فرکانس و زمان، سه ویژگی اصلی صوت هستند که اغلب در مطالعات سایکواکوستیک مورد بررسی قرار می‌گیرند. در برخی از این مطالعات، اندازه‌گیری «کمترین تفاوت محسوس»^{۱۴} (JND) یا «آستانه احساس اختلاف»^{۱۵} (DL) در یکی از ابعاد محرک صوتی (برای مثال: شدت، فرکانس یا زمان) مورد نظر است. بدین منظور حین بررسی یکی از شاخص‌ها یا ابعاد، دیگر شاخص‌ها ثابت نگه داشته می‌شوند. برای مثال، در بررسی JND فرکانس یا شدت محرک، دو محرک صوت ناب^{۱۶} که فقط در فرکانس یا شدت صوت تفاوت دارند، ارائه شده و شناسایی فرکانس بالاتر یا شدت قوی‌تر، مورد نظر قرار می‌گیرد. در این حالت JND برای فرکانس یا شدت، کمترین اختلاف فرکانس یا شدتی است که در مدت زمان مشخص ارائه، قابل شناسایی است. به این مقدار، «آستانه احساس اختلاف برای فرکانس»^{۱۷} (DLF) یا «آستانه احساس اختلاف برای شدت»^{۱۸} (DLI) صوت نیز گفته می‌شود (کید^{۱۹}، ۲۰۰۲).

مقدار JND در محرکات صوت ناب به نسبت فرکانس محرک تغییر کرده، با افزایش آن افزایش می‌یابد. در یک فرکانس ثابت نیز کمترین اختلاف فرکانس قابل شناسایی (DLF)، از سطح شدت محرک متأثر شده و با افزایش آن کاهش می‌یابد (ویر^{۲۰}، جستد^{۲۱} و گرین^{۲۲}، ۱۹۷۷؛ نلسون^{۲۳}، استنتون^{۲۴} و فریمن^{۲۵}، ۱۹۸۳؛ فریمن و نلسون، ۱۹۹۱؛ سک^{۲۶} و مور، ۱۹۹۵). آستانه احساس تغییر شدت صوت یا DLI نیز به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌طور کلی، DLI نسبت به DLF کمتر از فرکانس و سطح شدت تحریک متأثر می‌شود (جستد، ویر و گرین، ۱۹۷۷؛

1- Oxenham	2- Bacon
3- Wright	4- Cacace
5- McFarland	6- Gordon-Salant
7- Fitzgibbons	8- Zeng
9- Oba	10- Starr
11- Kong	12- Michalewski
13- Allen	14- just-noticeable difference
15- difference limen	16- pure tone
17- difference limen for frequency	
18- difference limen for intensity	
19- Kidd	20- Weir
21- Jesteadt	22- Green
23- Nelson	24- Stanton
25- Freyman	26- Sek
27- Florentine	28- Mason
29- Viemeister	30- gap detection threshold
31- Hurley	32- Fulton

روش

آزمودنی‌ها

مطالعه مقطعی حاضر روی ۲۸ فرد طبیعی راست دست (۱۴ مرد و ۱۴ زن) در محدوده سنی ۳۰-۱۸ سال (میانگین $32/0 \pm 3/8$)، در یک مرکز شنوایی شناسی واقع در تهران انجام شد. این افراد به‌طور تصادفی از بین کسانی که سابقه هیچ‌گونه بیماری یا جراحی گوش، اختلال عصب‌شناختی و مشکلات شنوایی، گفتاری و زبانی نداشتند، انتخاب شدند. برای تعیین برتری دستی افراد، از پرسشنامه ۱۰ عاملی برتری دستی ادینبورگ^۴ (اولدفیلد^۵، ۱۹۷۱) استفاده شد. در پژوهش حاضر، دستورالعمل کمیته اخلاق معاونت پژوهشی دانشگاه رعایت گردید.

روش کار

ابتدا با تکمیل برگه تاریخچه‌گیری (شامل اطلاعات فردی، سوابق پزشکی و اطلاعات مربوط به وضعیت شنوایی و گفتار) سلامت عمومی شرکت‌کنندگان بررسی گردید، اما پیش از آن درباره طرح پژوهشی، شمای کلی آزمایش‌ها و مدت زمان لازم برای انجام آزمایش‌ها برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد.

ابتدا با انجام معاینه اتوسکوپی، ادیومتری صوت ناب و ادیومتری گفتاری (با دستگاه ادیومتر تشخیصی Madsen OB-822 و گوشی‌های TDH-39) و ادیومتری امپدانس (دستگاه امپدانس تشخیصی Interacoustic AZ7) اطلاعات پایه درباره وضعیت شنوایی افراد به‌دست آمد و به این ترتیب افراد با شنوایی طبیعی در مطالعه وارد شدند. برای بررسی نحوه پردازش شدت، فرکانس و زمان صوت در افراد طبیعی، سه آزمایش سایکواکوستیک زیر در اتاقک ضد صوت انجام شد: اندازه‌گیری کمترین تفاوت محسوس برای شدت (DLI)؛ اندازه‌گیری کمترین تفاوت محسوس برای فرکانس (DLF) و کشف وقفه (GD). برای انجام دو آزمایش DLI و DLF از دستگاه ادیومتر تشخیصی Madsen OB-822 استفاده شد که پیش از شروع مطالعه با انجام

این فرض حمایت می‌کند که کشف وقفه در نواحی مرکزی شنوایی پردازش می‌شود، زیرا از آسیب دستگاه محیطی (در اثر کم شنوایی) متأثر نمی‌شود (نلسون و همکاران، ۱۹۸۳؛ فریمن و نلسون، ۱۹۹۱). در این میان، سن یک عامل تأثیرگذار بر پردازش‌های زمانی است (هورلی و فولتن، ۲۰۰۷). افزایش سن، حدت زمانی را کاهش می‌دهد و آن نیز به نوبه خود بر توانایی درک گفتار تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی در افراد طبیعی بزرگسال در سطح راحت شنوایی، متوسط فاصله سکوت محسوس با محرک باند باریک نویز بین ۲ تا ۳ میلی‌ثانیه (پنر^۱، ۱۹۹۷؛ فیتزگیونز، ویگمن^۲، ۱۹۸۲؛ شیلر^۳ و مور، ۱۹۸۳) و در محرکات سینوسی، کمی بالاتر (در حدود ۴ تا ۵ میلی‌ثانیه) گزارش شده است (شیلر و مور، ۱۹۸۷).

برای توجه کردن به سنجش‌های سایکواکوستیک (شدت، فرکانس و زمان) دلایل زیادی وجود دارد. نخست این که JND نشان‌دهنده دقت بازنمایی ویژگی‌های آکوستیکی صوت در دستگاه شنوایی است. اگر شنونده قادر باشد تفاوت فرکانس یا شدتی در حد یک درصد را به‌طور قابل اعتمادی تمیز دهد، می‌توان گفت که مکانیسم‌های شنوایی مبدل صوت و رمزگردانی اطلاعات صوتی آن از بالاترین میزان دقت برخوردار است. دوم این که از JND می‌توان در شبیه‌سازی دستگاه شنوایی کمک گرفت. معمولاً در این مطالعات سعی می‌شود تا الگوهای طراحی شده تا حد ممکن به ساختارهای مورد نظر شبیه یا نزدیک باشند. سوم این که مقایسه JND در دو دستگاه شنوایی طبیعی و آسیب‌دیده، نشانه‌هایی دال بر کاهش دقت در رمزگردانی اصوات در اثر آسیب شنوایی در اختیار می‌گذارد که تحلیل آن در کنار دیگر ارزیابی‌های شنوایی (رفتاری و الکتروفیزیولوژیک) در افزایش اطلاعات درباره جایگاه و ماهیت آسیب نقش دارد (آلن، ۲۰۰۰). در ایران مطالعه‌ای در دست نیست که کمترین تفاوت محسوس در شدت، فرکانس و زمان صوت را در انسان بررسی کرده باشد. در این مطالعه کمترین تفاوت محسوس در این سه شاخص اصلی محرک صوتی، در گروهی از افراد طبیعی بزرگسال از هر دو جنس بررسی گردید.

1- Penner
3- Shailer
5- Oldfield

2- Wightman
4- Edinburg handedness inventory

گام ۱۰ دسی‌بلی) و GD (پنج گام ۱۰ دسی‌بلی) و همچنین بررسی تفاوت معنادار بین نتایج آزمایش DLF در پنج فرکانس اکتاوی مختلف (۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز) از آزمون آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه^۳ (ANOVA) و آزمون متعاقب Tukey HSD استفاده شد.

در جدول ۱، متوسط مقادیر به‌دست آمده در هر یک از آزمایش‌ها در کل و به تفکیک گوش تحت بررسی و جنس نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در آزمایش DLI (تمایز شدت)، کمترین تفاوت شدت قابل محسوس به نسبت افزایش شدت محرک، بهبود (کاهش) یافته است. در این نمودار محور افقی گام‌های شدتی مورد بررسی، محور عمودی JND شدت و خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف استاندارد را نشان می‌دهد.

در تحلیل آماری، بین میانگین JND در دو گوش و همچنین بین زنان و مردان در کلیه سطوح شدتی مورد بررسی، تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۱). با انجام آزمون آماری ANOVA، بین میانگین JND در هفت گام شدتی مورد بررسی، تفاوت معنادار بود ($F=63, 283, df=6, p<0/0001$). تحلیل Tukey HSD بین میانگین JND در گام یک و سایر گام‌ها، گام ۲ و سایر گام‌ها (به جز با گام ۳)، گام ۳ و سایر گام‌ها (به جز با گام ۲ و ۴)، گام ۴ و سایر گام‌ها (به جز با گام ۳ و ۵)، گام ۵ و سایر گام‌ها (به جز با گام ۴ و ۶)، گام ۶ و سایر گام‌ها (به جز با گام ۵)، و گام ۷ و سایر گام‌ها تفاوت معناداری نشان داد ($p<0/05$).

در بخش میانی جدول ۱، میانگین JND فرکانس در کل و به تفکیک گوش تحت بررسی و جنس آورده شده است. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که با انجام آزمایش DLF در فرکانس‌های اکتاوی ۴۰۰۰-۲۵۰ هرتز در سطح راحت شنوایی، کمترین تفاوت فرکانس محسوس افزایش یافته است. در این شکل، محور افقی فرکانس‌های اکتاوی مورد بررسی، محور عمودی JND فرکانس، و خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف معیار را نشان می‌دهد.

قلق‌گیری^۱ از دقت و درستی عمل آن اطمینان حاصل شده بود. کشف وقفه نیز با نرم‌افزار خاصی که پروفیسور زنگ و همکارانش در آزمایشگاه تحقیقات شنوایی و گفتار دانشگاه کالیفرنیا تهیه کرده بودند، آزمایش شد.

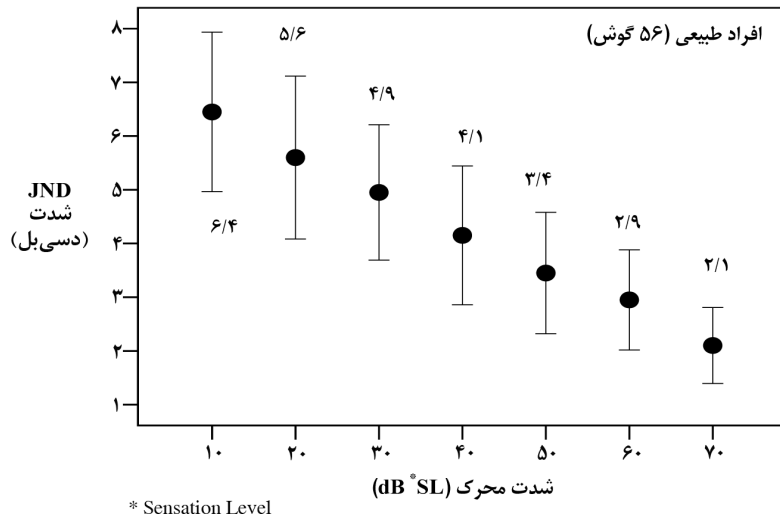
برای آزمایش DLI در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز در ۷ گام ۱۰ دسی‌بلی (با ترتیب‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰) بالای آستانه شنوایی، در این فرکانس، دو پالس صوت ناب با دیرش فاصله زمانی ثابت از یکدیگر که فقط از لحاظ شدت (بلندی) با یکدیگر تفاوت داشتند، ارایه و کمترین تفاوت شدت محسوس در هر گوش به‌طور جداگانه (۵۶ گوش) اندازه‌گیری گردید. DLF در پنج فرکانس اکتاوی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز در سطح راحت شنوایی^۲ (MCL) آزمایش شد. در این آزمایش، دو پالس صوت ناب با دیرش و فاصله زمانی ثابت از یکدیگر که فقط از لحاظ فرکانس (زیر و بمی) با هم تفاوت داشتند، ارایه و کمترین تفاوت فرکانس محسوس در هر گوش به‌طور جداگانه (۵۶ گوش) اندازه‌گیری گردید. GD نیز با ارایه باندهای باریک نويز در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز در پنج گام ۱۰ دسی‌بلی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰) بالای آستانه شنوایی در این فرکانس آزمایش شد. در این آزمایش سه محرک متوالی با فاصله زمانی کوتاهی وارد می‌شود که دو محرک کاملاً یکسان و سومی با وقفه یا سکوتی در بخش میانی همراه است. ترتیب ارایه محرک‌ها تصادفی است و فرد باید پس از هر تحریک به محرک دارای وقفه اشاره نماید. در پایان کوتاه‌ترین زمان وقفه قابل تشخیص برای هر فرد، با نرم‌افزار محاسبه می‌گردد. این آزمایش در هر گوش به‌طور جداگانه (۵۶ گوش) و در پنج سطح شدت (بالا تر از آستانه شنوایی) انجام شد.

یافته‌ها

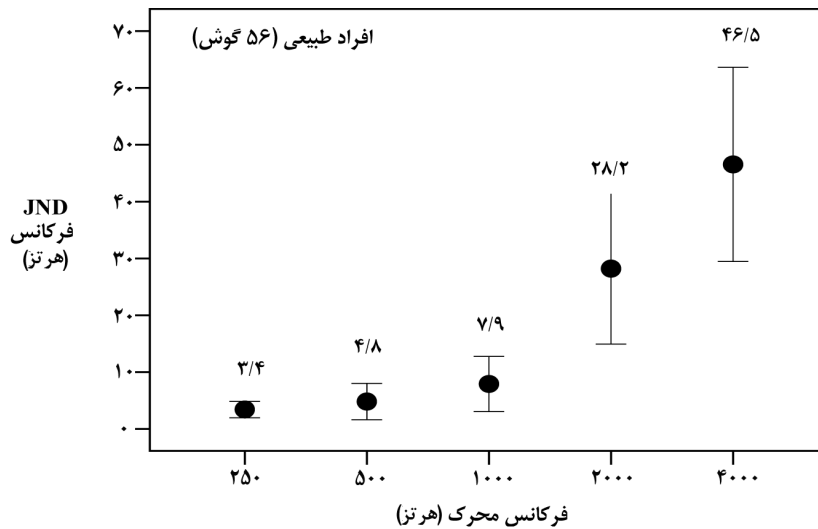
یافته‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-12 تحلیل شد. برای بررسی تفاوت معنادار بین گوش راست و چپ و همچنین بین دو جنس در هر یک از آزمایش‌ها (DLI، DLF، GD) از آزمون آماری t مستقل و برای بررسی تفاوت معنادار بین نتایج تکرار آزمایش در سطوح مختلف شدتی در آزمایش‌های DLI (هفت

1- calibration
3- analysis of variance

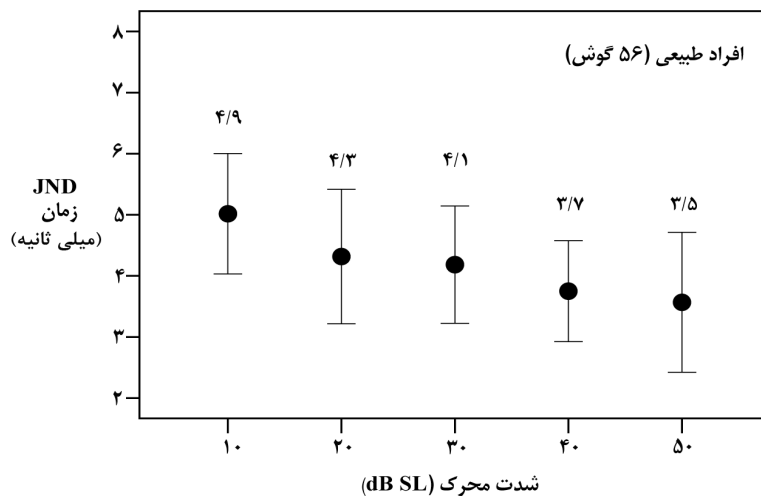
2- most comfortable level



شکل ۱- میانگین JND شدت در سطوح بالای آستانه شنوایی (dB SL) در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز. خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف معیار را نشان می دهد.



شکل ۲- میانگین JND فرکانس (برحسب هرتز) در فرکانس های اکتاوی از ۲۵۰-۴۰۰۰ هرتز در سطح MCL. خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف معیار را نشان می دهد.



شکل ۳- میانگین JND زمان (بر حسب میلی ثانیه) در سطوح شدتی (dB SL) بالای آستانه شنوایی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز. خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف معیار را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج آزمایش های DLI، DLF و GD به تفکیک گوش و جنس. (مقادیر داخل پرانتز در ستون ها به انحراف معیار اشاره دارد).

سطح شدت بر حسب dB (SD)							آزمایش DLI
۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	
۲/۱۰ (۰/۷۱)	۲/۹۵ (۰/۹۳)	۳/۴۵ (۱/۱۳)	۴/۱۵ (۱/۳۰)	۴/۹۵ (۱/۲۶)	۵/۶۰ (۱/۵۱)	۶/۴۵ (۱/۴۸)	مقدار کل (n=۵۶)
۲/۱۴ (۰/۷۱)	۲/۹۰ (۰/۹۶)	۳/۴۰ (۱/۲۳)	۴/۱۰ (۱/۳۳)	۴/۸۰ (۱/۲۸)	۵/۵۰ (۱/۶۰)	۶/۳۰ (۱/۳۰)	گوش راست (n=۲۸)
۲/۱۲ (۰/۷۱)	۳/۰ (۰/۹۱)	۳/۵۰ (۱/۰۵)	۴/۲۰ (۱/۲۸)	۵/۱۰ (۱/۲۵)	۵/۷۰ (۱/۴۵)	۶/۶۰ (۱/۶۷)	گوش چپ (n=۲۸)
-۰/۰۴ (۰/۹۸)	-۰/۳۳ (۰/۷۴)	-۰/۲۷ (۰/۷۸)	-۰/۲۴ (۰/۸۱)	-۰/۷۵ (۰/۴۵)	-۰/۴۱ (۰/۶۸)	-۰/۶۳ (۰/۵۳)	مقدار t (p)
۲/۰ (۰/۶۸)	۳/۰ (۰/۶۸)	۳/۵۰ (۱/۲۹)	۴/۱۶ (۱/۲۸)	۴/۷۷ (۱/۳۰)	۵/۳۳ (۱/۶۰)	۶/۱۱ (۱/۶۴)	مرد (n=۱۴)
۲/۱۸ (۰/۷۳)	۲/۹۰ (۱/۱۰)	۳/۵۰ (۱/۳۲)	۴/۱۳ (۱/۲۸)	۵/۱۰ (۱/۲۳)	۵/۸۱ (۱/۴۳)	۶/۷۲ (۱/۳۱)	زن (n=۱۴)
-۰/۸۰ (۰/۳۸)	۰/۳۰ (۰/۷۶)	۰/۸۱ (۰/۴۲)	۰/۷۳ (۰/۹۴)	-۰/۷۷ (۰/۴۴)	-۱/۰ (۰/۳۲)	-۱/۳۱ (۰/۱۹)	مقدار t (p)
فرکانس بر حسب هرتز (SD)							آزمایش DLF
		۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	
		۴۶/۵۵ (۱۷/۰۸)	۲۸/۲۰ (۱۳/۲۶)	۷/۹۰ (۴/۸۵)	۴/۸۰ (۳/۱۹)	۳/۴۰ (۱/۴۴)	مقدار کل (n=۵۶)
		۴۶/۶۰ (۱۶/۰۲)	۲۷/۶۰ (۱۲/۸۹)	۷/۹۱ (۴/۵۰)	۴/۷۰ (۳/۱۴)	۳/۳۰ (۱/۵۲)	گوش راست (n=۲۸)
		۴۶/۵۰ (۱۸/۵۰)	۲۸/۸۰ (۱۳/۹۳)	۷/۹۰ (۵/۳۰)	۵/۹۰ (۳/۳۲)	۳/۵۰ (۱/۳۹)	گوش چپ (n=۲۸)
		۰/۰۱۸ (۰/۹۸)	-۰/۲۸ (۰/۷۸)	۰/۰۱ (۰/۹۹)	-۰/۱۹ (۰/۸۴)	-۰/۴۳ (۰/۶۶)	مقدار t (p)
		۴۱/۵۵ (۱۹/۰۶)	۲۴/۷۲ (۱۴/۷۴)	۶/۹۴ (۳/۳۶)	۴/۲۲ (۳/۲۸)	۳/۵۰ (۱/۴۶)	مرد (n=۱۴)
		۵۰/۶۳ (۱۴/۴۶)	۳۱/۰۴ (۱۱/۵۰)	۸/۶۸ (۵/۷۶)	۵/۲۷ (۳/۱۲)	۳/۳۱ (۱/۴۶)	زن (n=۱۴)
		-۱/۷۱ (۰/۰۹۵)	-۱/۵۲ (۰/۱۳)	-۱/۱۳ (۰/۲۶)	-۱/۰۳ (۰/۳۰)	۰/۳۹ (۰/۶۹)	مقدار t (p)
کشف وقفه بر حسب میلی ثانیه (SD)							آزمایش GD
		۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	
		۳/۵۶ (۱/۱۴)	۳/۷۷ (۰/۸۰)	۴/۱۴ (۱/۰)	۴/۳۵ (۱/۰۸)	۴/۹۳ (۰/۹۹)	مقدار کل (n=۵۶)
		۳/۵۳ (۱/۰۸)	۳/۶۸ (۰/۸۲)	۴/۱۹ (۰/۹۷)	۴/۳۹ (۱/۱۴)	۵/۰ (۰/۸۷)	گوش راست (n=۲۸)
		۳/۶۰ (۱/۲۴)	۳/۸۶ (۰/۷۹)	۴/۰۹ (۱/۰۵)	۴/۳۱ (۱/۰۴)	۴/۸۷ (۱/۱۳)	گوش چپ (n=۲۸)
		-۰/۱۳ (۰/۸۹)	-۰/۷۰ (۰/۴۸)	۰/۳۱ (۰/۷۵)	۰/۲۳ (۰/۷۲)	۰/۴۰ (۰/۶۸)	مقدار t (p)
		۲/۸۶ (۱/۲۶)	۳/۶۱ (۰/۸۵)	۳/۸۶ (۱/۰۷)	۴/۰۶ (۱/۰۶)	۴/۶۰ (۱/۰۵)	مرد (n=۱۴)
		۳/۸۰ (۱/۰۳)	۳/۸۹ (۰/۷۵)	۴/۳۶ (۰/۹۰)	۴/۵۸ (۱/۰۶)	۵/۲۱ (۰/۸۹)	زن (n=۱۴)
		-۱/۸۱ (۰/۰۸)	-۱/۰۹ (۰/۲۸)	-۱/۵۹ (۰/۱۲)	-۱/۵۵ (۰/۱۳)	-۲/۰۲ (۰/۰۶)	مقدار t (p)

در بخش پایینی جدول ۱، میانگین کمترین زمان وقفه کشف شده در کل و به تفکیک گوش تحت بررسی و جنس آورده شده است. در شکل ۳ مشاهده می شود که با انجام آزمایش کشف وقفه (GD) در گام ها یا سطوح شدتی فوق آستانه (در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز)، کمترین زمان وقفه محسوس (برحسب میلی ثانیه) به نسبت افزایش شدت محرک، بهبود (کاهش) یافته است. در این نمودار، محور افقی گام های شدتی مورد بررسی، محور عمودی JND، زمان و خطوط عمودی بالا و پایین هر مقدار، انحراف معیار را نشان می دهد.

در تحلیل آماری، بین میانگین JND در دو گوش و همچنین بین زنان و مردان، در کلیه فرکانس های مورد بررسی تفاوت معناداری مشاهده نگردید (جدول ۱). آزمون آماری ANOVA، بین میانگین JND در پنج فرکانس مورد بررسی، تفاوت معناداری نشان داد ($F=1399$ و 752 ، $df=4$ ، $p<0/001$) که بر اساس تحلیل Tukey HSD این تفاوت بین میانگین JND در فرکانس های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز با فرکانس های ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز، و در فرکانس های ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز با سایر فرکانس ها بود ($p<0/05$).

غیرخطی است. یعنی در سطوح شدتی بالا، افزایش شدت تحریک، غشای قاعده‌ای را به اندازه تغییرات شدت در سطوح پایین جابه‌جا نمی‌کند، بلکه حرکت غشا به حد اشباع رسیده و «تحریک» به نواحی مجاور گسترش می‌یابد. بر این اساس احتمالاً گسترش تحریک به نواحی مجاور و فعالیت تعداد بیشتری از فیبرهای عصبی در پردازش شدت محرک در سطوح بالا نقش دارد (لاکس و همکاران، ۱۹۸۴). مکانیسم دیگری که در رمزگردانی شدت تحریک مطرح است، «وجود فیبرهای عصبی با آستانه فعالیت بالا» در عصب شنوایی است که در سطوح شدتی بالا فعال می‌شوند. در این زمینه مکانیسم‌های دیگری نیز مطرح شده که کمتر مورد توجه‌اند (دلگات^۱، ۱۹۹۶). احتمال دارد چنین مکانیسم‌هایی که در رمزگردانی شدت در سطوح بالا نقش دارند، در شناسایی مقادیر کوچکتر اختلاف شدت نیز دخیل باشند.

در مطالعه حاضر، کوچک‌ترین تفاوت فرکانس محسوس در فرکانس ۲۵۰ هرتز مشاهده شد و این مقدار با افزایش فرکانس باندهای اکتاوی تا ۴۰۰۰ هرتز به میزان قابل توجهی افزایش نشان داد (شکل ۲). بر این اساس، در فرکانس‌های بالا، توانایی تمایز فرکانسی کاهش می‌یابد که در مطالعات مشابه نیز به آن اشاره شده است (ویبر و همکاران، ۱۹۷۷؛ نلسون و همکاران، ۱۹۸۳؛ فریمن و نلسون، ۱۹۹۱؛ سک و مور، ۱۹۹۵؛ زنک و همکاران، ۲۰۰۱؛ زنک و همکاران، ۲۰۰۵). تحلیل نحوه رمزگردانی فرکانس تحریک، با مکانیک غشای قاعده‌ای و الگوهای تخلیه زمانی عصب شنوایی ارتباط مستقیم دارد. غشای قاعده‌ای به دلیل ویژگی‌های ساختاری منحصر به فرد خود، به صورت تجزیه‌کننده طیف اولیه اصوات ورودی عمل می‌کند. اصوات با فرکانس بالا موجب جابه‌جایی غشا در قاعده و اصوات با فرکانس پایین باعث جابه‌جایی آن در نواحی رأسی می‌گردند. در این میان، فعالیت سلول‌های مژک‌دار خارجی در میزان تیزی منحنی‌های فعالیت غشای قاعده‌ای نقش دارد. با توجه به ارتباط مستقیم فعالیت فیبرهای عصب شنوایی با

در تحلیل آماری بین میانگین JND، زمان در دو گوش و همچنین بین زنان و مردان، در کلیه سطوح شدتی مورد بررسی تفاوت معناداری مشاهده نشد (جدول ۱). آزمون آماری ANOVA بین میانگین JND، زمان در پنج گام شدتی مورد بررسی، تفاوت معناداری نشان داد ($p < 0.0001$, $df=4$, $F=9.904$) که بر اساس تحلیل Tukey HSD این تفاوت بین گام یک و سایر گام‌ها؛ گام ۲ و گام ۴ و ۵؛ گام ۳ و گام ۱؛ گام ۴ و گام ۱؛ گام ۵ و گام‌های ۱ و ۲ بود ($p < 0.05$).

بحث

افزایش شدت صوت در سطوح فوق آستانه در این مطالعه، توانایی افراد را در شناسایی کمترین تفاوت شدت بین دو محرک یکسان (صوت ناب در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز) به شکل معناداری بهبود بخشید. به طوری که با افزایش سطح شدت محرک از سطح آستانه به سطوح MCL و بالاتر، اختلاف شدت‌های کوچک‌تری شناسایی گردید (شکل ۱). این یافته با نتایج دیگر مطالعات مشابه در این زمینه (جستد و همکاران، ۱۹۷۷؛ فلورنتین و همکاران، ۱۹۸۷؛ ویمیستر و باکن، ۱۹۸۸؛ زنک و همکاران، ۲۰۰۱؛ زنک و همکاران، ۲۰۰۵) همخوانی دارد.

یکی از مکانیسم‌های رمزگردانی شدت تحریک، تغییر در تعداد تخلیه نورون‌ها است، به طوری که با افزایش شدت، تعداد تخلیه نورون‌های درگیر افزایش می‌یابد. در حالی که متوسط محدوده پویای شنوایی^۱ (DR) انسان بیش از ۱۰۰ دسی‌بل است، متوسط دامنه شدتی برای امکان افزایش تخلیه یک نورون شنوایی برابر یا کمتر از ۳۰ دسی‌بل است. بر این اساس در رمزگردانی شدت محرک دو مکانیسم دیگر یعنی «گسترش تحریک»^۲ لاکس^۳، ال-شیخ^۴، بی^۵، سای^۶ و تیچ^۷ (۱۹۸۴) و «وجود فیبرهای عصبی با آستانه فعالیت بالا»^۸ (لیبرمن^۹، ۱۹۸۷) پیشنهاد شده است.

در سطوح شدتی پایین، حرکت غشای قاعده‌ای حلزون^{۱۰} مطابق با فرکانس تحریک به سلول‌های مژک‌دار محدود است. با افزایش شدت تحریک، جابه‌جایی غشای قاعده‌ای افزایش می‌یابد، به طوری که این جابه‌جایی نسبت به افزایش شدت تحریک،

1- auditory dynamic range	2- spread of excitation
3- Lachs	4- Al-Shaikh
5- Bi	6- Saia
7- Teich	8- high threshold nerve fibers
9- Liberman	10- cochlear basilar membrane
11- Delgutte	

متأثر می‌گردد. این یافته ضمن اشاره به کاربرد این آزمون در تشخیص افتراقی اختلالات ادراکی شنوایی، نقش عامل همزمانی فعالیت رشته‌های عصبی و سرعت تخلیه عصب را در پردازش خصوصیات زمانی محرک صوتی برجسته تر می‌سازد.

در مطالعه حاضر، گوش تحت بررسی و جنس بر نتایج تأثیری نداشتند که مؤید نتایج سایر مطالعات در این زمینه است. سن، کم‌شنوایی عصبی و اختلالات عصب‌شناختی را می‌توان از عوامل تأثیرگذار بر نتایج آزمایش‌های سایکواکوستیک دانست (زننگ و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵؛ هورلی و فولتن، ۲۰۰۷) که در مطالعه حاضر کنترل شد.

نتیجه این که شدت، فرکانس و زمان، سه ویژگی اصلی محرک صوتی هستند که در بیشتر مطالعات سایکواکوستیک به آنها پرداخته می‌شود. در مطالعه حاضر برای بررسی این سه ویژگی روی بزرگسالان جوان کمترین تفاوت محسوس (JND) در مورد شدت، فرکانس و زمان به ترتیب با انجام سه آزمایش تمایز شدت (DLI)، تمایز فرکانس (DLF) و کشف وقفه (GD) مورد بررسی قرار گرفت که یافته‌ها به نتایج مطالعات قبلی مربوط نزدیک بود. نتایج مطالعه حاضر از چند وجه حایز اهمیت است. نخست این که این مطالعه برای اولین بار، مقادیر هنجار سه آزمایش اصلی سایکواکوستیک را در مورد گروهی از افراد جوان طبیعی گزارش می‌کند. دوم این که از این نتایج می‌توان هم در طراحی مطالعات پژوهشی مربوط و هم در ارزیابی‌های بالینی استفاده کرد. برای مثال، نتایج این سه آزمایش در کنار آزمایش‌های الکتروفیزیولوژیک شنوایی در تشخیص افتراقی نوروپاتی / ناهمزمانی شنوایی (آسیب آکسون عصب شنوایی) ناشی از اختلالات حسی و مرکزی شنوایی کاربرد دارد. سوم این که مطالعه حاضر، جایگاه آزمایش‌های سایکواکوستیک را در افزایش دانش مربوط به نحوه پردازش اطلاعات شنوایی در کنار دیگر آزمایش‌ها و روش‌های مطالعاتی موجود یادآور می‌شود.

سلول‌های مژک‌دار داخلی غشای قاعده‌ای، آرایش فرکانسی این غشا در فیبرهای عصبی مربوط با آنها نیز رعایت شده که به آن سازماندهی تونوتوپیک^۱ گفته می‌شود. بنابراین محل تحریک، یک عامل مهم در رمزگردانی فرکانس محرک است. علاوه بر این، با جابه‌جایی غشای قاعده‌ای، الگوی پاسخ عصب شنوایی، نوعی انطباق فاز زمانی^۲ نسبت به محرک نشان می‌دهد که ممکن است با فرکانس ویژه آن فیبر عصبی تناسب نداشته باشد. بر این اساس، پاسخ فیبرهای عصب شنوایی به هر دو عامل مکان تحریک غشای قاعده‌ای و خصوصیات دقیق زمانی حرکت غشا بستگی داشته و عملکرد پیچیده این دو مکانیسم در ارتباط با یکدیگر در رمزگردانی فرکانس تحریک نقش دارد. تفسیر موضوع در صورت ورود دیگر متغیرها (مثل درک اختلاف فرکانس در سطوح شدتی مختلف یا در دیرش‌های مختلف محرک) پیچیده‌تر می‌شود.

در این مطالعه، متوسط زمان وقفه شناسایی شده در سطح شدت ۱۰ دسی‌بل بالاتر از آستانه ۴/۹ میلی ثانیه بود که با افزایش شدت تحریک، به تدریج کاهش یافت و در سطح ۵۰ دسی‌بل بالاتر از آستانه به ۳/۵ میلی ثانیه رسید. یافته‌های آزمایش حاضر، در سطوح شدتی بالا به نتایج مطالعات مشابه نزدیک است (پنر، ۱۹۷۷؛ فیتزگیونز و ویگمن، ۱۹۸۲؛ شیلر و مور، ۱۹۸۳؛ زننگ و همکاران، ۲۰۰۵)، ولی در سطوح پایین شدت نسبت به مطالعه زننگ و همکاران (۲۰۰۵) مقادیر بهتری را نشان می‌دهد. در این مطالعه که روی ۳۴ نفر در محدوده سنی ۵۴-۶ سال صورت گرفت، متوسط زمان وقفه محسوس در سطح شدت ۱۰ دسی‌بل بالای آستانه در حدود ۲۵ میلی‌ثانیه گزارش شد. با توجه به این که برای انجام آزمایش کشف وقفه در هر دو مطالعه از نرم‌افزار یکسانی استفاده شد، می‌توان دو عامل سن و یا جمعیت مورد بررسی را در این تفاوت مؤثر دانست. آزمون کشف وقفه، یکی از آزمایش‌های حساس به آسیب صرف عصب شنوایی، برای مثال در افراد دارای نوروپاتی / ناهمزمانی شنوایی^۳ (AN/AD) است. مطالعات زننگ و همکاران (۲۰۰۱، ۲۰۰۵) در مورد وجود این اختلال در نمونه‌های انسانی و همچنین در مطالعات شبیه‌سازی عصبی نشان داد که آزمایش کشف وقفه به شکل قابل توجهی از هر دو آسیب ناشی از ضایعه پوشش میلین و یا کاهش آکسون‌های عصب هشتم مغزی

دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۵/۳؛ پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۱۱/۲۵

1- tonotopic organization 2- temporal phase locking
3- auditory neuropathy/dys-synchrony

منابع

- Allen, P. (2000). Acoustics and psychoacoustics. In R. J. Roeser, M. Valente, & H. Hosford-Dunn (Eds.), *Audiology Diagnosis* (pp. 153-180). New York: Thieme Medical Publisher Inc.
- Buss, E., Hall, J. W., Grose, J. H., & Hatch, D. R. (1998). Perceptual consequences of peripheral hearing loss: Do edge effects exist for abrupt cochlear lesions? *Hearing Research*, 125, 98-108.
- Cacace, A. T., & McFarland, D. J. (1998). Central auditory processing disorder in school-aged children: A critical review. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 41, 355-373.
- Delgutte, B. (1996). Physiological models for basic auditory percepts. In H. L. Hawkins, T. A. McMullen, A. N. Popper, & R. R. Fay (Eds.), *Auditory Computation* (pp. 45-79). New York: Springer-Verlag.
- Fitzgibbons, P. J., & Wightman, F. L. (1982). Gap detection in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 761-765.
- Florentine, M., Buus, S., & Mason, C. R. (1987). Level discrimination as a function of level for tones from 0.25 to 16 kHz. *Journal of Acoustical Society of America*, 81, 1528-1541.
- Freyman, R. L., & Nelson, D. A. (1991). Frequency discrimination as a function of signal frequency and level in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 34, 1371-1386.
- Gordon-Salant, S., & Fitzgibbons, P. J. (1999). Profile of auditory temporal processing in older listeners. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 42, 300-311.
- Hurley, R. M., & Fulton, S. E. (2007). Psychoacoustic considerations and implications for the diagnosis of (C)APD. In F. E. Musiek, & G. D. Chermak (Eds.), *Handbook of central auditory processing disorder volume I: Auditory neuroscience and diagnosis* (pp. 32-34). San Diego: Plural Publishing Inc.
- Jesteadt, W., Wier, G. C., & Green, D. M. (1977). Intensity discrimination as a function of frequency and sensation level. *Journal of Acoustical Society of America*, 61, 169-177.
- Kidd, G. Jr. (2002). Psychoacoustics. In K. Katz, R. F. Burkard, & L. Medwestsky (Eds.), *Handbook of clinical audiology* (pp. 33-49). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Lachs, G., Al-Shaikh, R., Bi, Q., Saia, R. A., & Teich, M. C. (1984). A neural-counting model based on physiological characteristics of the peripheral auditory system. V. Application to loudness estimation and intensity discrimination. *IEEE Trans. SYS. Man Cybern. SMC-14*, 819-836.
- Liberman, M. C. (1978). Auditory-nerve response from cats raised in a low-noise chamber. *Journal of Acoustical Society of America*, 63, 442-455.
- Moore, B. C. (1996). Perceptual consequences of cochlear hearing loss and their implications for the design of hearing aids. *Ear and Hearing*, 17, 133-161.
- Nelson, D. A., Stanton, M. E., & Freyman, R. L. (1983). A general equation describing frequency discrimination as a function of frequency and sensation level. *Journal of Acoustical Society of America*, 73, 2117-2123.
- Oldfield, R. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Oxenham, A. J., & Bacon, S. P. (2003). Cochlear compression: Perceptual measures and implications for normal and impaired hearing. *Ear and Hearing*, 24, 352-366.
- Penner, M. J. (1977). Detection of temporal gaps in noise as a measure of the decay of auditory sensations. *Journal of Acoustical Society of America*, 61, 552-557.
- Sek, A., & Moore, B. C. J. (1995). Frequency discrimination as a function of frequency, measured in several ways. *Journal of Acoustical Society of America*, 97, 2479-2486.
- Shailer, M. J., & Moore, B. C. J. (1983). Gap detection as a function of frequency, bandwidth, and level. *Journal of Acoustical Society of America*, 74, 467-473.
- Shailer, M. J., & Moore, B. C. J. (1987). Gap detection and the auditory filter: Phase effects using sinusoidal stimuli. *Journal of Acoustical Society of America*, 81, 1110-1117.
- Viemeister, N. F., & Bacon, S. P. (1988). Intensity discrimination, increment detection, and magnitude estimation for 1 kHz tones. *Journal of Acoustical Society of America*, 84, 172-178.
- Wier, C. C., Jesteadt, W., & Green, D. M. (1977). Frequency discrimination as a function of frequency and

sensation level. *Journal of Acoustical Society of America*, 61, 178-184.

Wright, B. A., Lombardino, L. J., King, W. M., Puranik, C. S., Leonard, C. M., & Merzenich, M. M. (1997). Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature*, 387, 176-178.

Zeng, F. G., Kong, Y. Y., Michalewski, H. J., & Starr, A. (2005). Perceptual consequences of disrupted

auditory nerve activity. *Journal of Neurophysiology*, 93, 3050-3063.

Zeng, F. G., Oba, S., & Starr, A. (2001). Suprathreshold processing deficits due to desynchronous neural activities in auditory neuropathy. In D. J. Breebaart, A. J. M. Houtma, A. Kohlrausch, V. F. Prijs, & R. Schoonhoven (Eds.), *Physiological and Psychophysical Bases of Auditory Function* (pp. 365-372). New York: Shaker publishing BV, Maastricht, Netherlands.