

تأثیر فیدبک شنوائی بر نحوه‌ی تغییرات فرکانس اصلی در افراد بزرگ‌سال فارسی‌زبان دارای نقص شنوائی، پس از کاشت حلزون چند کاناله

رسول امیرفتاحی (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان
حمید شیخ‌زاده نجار (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
سوسن عبدی (ادیولوژیست)
کلینیک کاشت حلزون، بیمارستان امیراعلم تهران
سید علی سید صالحی (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

کانتورهای F^0 مربوط به ۵ بیمار بزرگ‌سال ناشنوای دارای سابقه‌ی شنوائی^۱ که از پروتز چندکاناله‌ی کاشت حلزون^۲ استفاده می‌کنند و ۱۰ فرد بزرگ‌سال طبیعی (زن و مرد) اندازه‌گیری شده‌اند. میزان قاعده‌مندی^۳ در هر کانتور متوسط — که با محاسبه‌ی اختلاف بین میانگین فرکانس گام (F^0) در هجاهای متوالی یک جمله و به‌دست آوردن میانگین این اختلاف‌های متوالی (MSD) اندازه‌گیری می‌شود — به‌عنوان یک معیار کمی برای تعیین میزان تأثیر فیدبک شنوائی در اصلاح کانتورهای F^0 بیماران و نزدیک شدن این کانتورها به افراد طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.^{۱۱} نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که: اولاً با برقراری فیدبک شنوائی، تغییرات کانتورهای F^0 در بیماران به مرور زمان کاهش یافته و میزان متوسط ویژگی MSD آنها به افراد طبیعی نزدیک‌تر می‌شود؛ ثانیاً میزان وابستگی این ویژگی به برقراری مداوم فیدبک شنوائی به مرور زمان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، بیماران قادر به یادگیری تدریجی این ویژگی با گذشت زمان و استفاده از پروتز کاشت حلزون خود هستند به‌طوری که پس از ۱۲ ماه از عمل جراحی، قطع موقتی فیدبک شنوائی بیماران تغییرات قابل ملاحظه‌ی در این ویژگی ایجاد نخواهد کرد.

مقدمه

می‌یابد.^۸ تنها پس از یک روز استفاده از پروتز، F^0 در بیماران مورد مطالعه‌ی آنها کاهش قابل توجهی داشته است، ولی در فواصل زمانی بعدی کاهش F^0 خیلی کمتر و نامعتبرتر بوده است. به این ترتیب، این محققین به‌دنبال استفاده از پروتز کاشت حلزون و برقراری فیدبک شنوائی تغییریری ناگهانی و بسیار سریع در F^0 را گزارش کرده‌اند. Oster نیز به‌دنبال استفاده از پروتز کاشت حلزون در یک مرد و یک زن بزرگ‌سال دارای سابقه‌ی شنوائی کاهش F^0 را گزارش کرده است.^۹ lane در مورد دو بیمار زن بزرگ‌سال دارای سابقه‌ی شنوائی، نتایجی مشابه نتایج Oster به‌دست آورده است.^{۱۰} نتایج به‌دست آمده توسط Edegerton و Kirk در مورد دو زن دارای سابقه‌ی شنوائی که از پروتز خود به مدت ۲ و ۸ سال استفاده کرده‌اند، بر خلاف نتایج فوق است و افزایش F^0 را به‌دنبال استفاده از پروتز نشان می‌دهد.^{۱۱} هر دو این بیماران زن، قبل از عمل دارای F^0 پائین‌تری نسبت به F^0 به‌دست آمده از یک گروه کنترل — مشتمل بر ۵ زن با شنوائی نرمال — بوده‌اند. بدین ترتیب این محققین گزارش کرده‌اند که با برقراری فیدبک شنوائی، مسیر تغییرات در ویژگی F^0

شواهدی وجود دارد که بر اساس آن، یکی از نقش‌های شنوائی تنظیم پارامترهای F^0 و سطح فشار صوتی^۵ در گفتار است.^{۱۱} این شواهد از افراد بزرگ‌سال دارای سابقه‌ی شنوائی و کاربران CI به دست آمده است. Leder گزارش کرده است که مردان ناشنوای دارای سابقه‌ی شنوائی که دارای افت شنوائی شدید حسی — عصبی دو طرفه‌اند، هنگام خواندن یک متن، نسبت به افراد طبیعی، از SPL بالاتری برخوردارند.^{۱۲} وی گزارش کرده که مردان ناشنوا در هنگام خواندن، نسبت به مردان هم سن نرمال خود دارای F^0 بالاتری هستند.^{۱۳-۱۶} وقتی که بخشی از شنوائی این بیماران توسط پروتز کاشت حلزون برگردانده می‌شود، SPL و F^0 متوسط در آنها کاهش می‌یابد. این پارامترهای گفتاری (SPL و F^0) نسبتاً خیلی خوب از طریق تحریک الکتریکی اعمال شده از پروتز کاشت حلزون به بیماران ارائه می‌شود.^{۱۷} Leder و همکارانش گزارش کرده‌اند که دامنه‌ی سیگنال گفتار، F^0 و دوام^۶ گفتار در هنگام خواندن یک متن توسط ۱۰ نفر بیمار ناشنوای مرد با استفاده از پروتز CI تک‌کاناله کاهش

فیدبک شنوائی ایجاد ارتباط بین تولید و درک گفتار زمینه‌ساز تولید صحیح واج‌ها در این بیماران است. همچنین، فیدبک شنوائی با آگاه کردن بیمار از شرایط انتقال گفتار به شنونده، وی را قادر می‌سازد که به‌طور تطبیقی و از طریق اعمال تغییر در حالت گفتار خود، ویژگی‌های گفتاری از قبیل سطح فشار صوتی (SPL) و دوام گفتار، F^0 را کنترل کند تا به سطح نسبتاً بالائی از میزان مفهوم بودن گفتار دست یابد. منظور از حالت گفتار، ویژگی‌هایی از گفتار نظیر ایجاد تعادل بین نیروی دم و بازدم در ارتباط با فشار هوا در ناحیه‌ی گلو، کشش متوسط در تارهای صوتی و در نهایت نرخ صحبت کردن است. بر اساس این تئوری، Lane معتقد است که نقش فیدبک شنوائی به نوعی در تغییرات کانتورهای SPL و F^0 منعکس است زیرا تغییرات بیش از حد در این کانتورها نشان از تلاش بیمار برای بهبود میزان مفهوم بودن گفتار خود دارد.^[۱] با مقایسه‌ی کانتورهای به دست آمده از بیماران در قبل و بعد از عمل کاشت حلزون (CI)، Lane گزارش کرده است که کانتورهای فوق پس از عمل و برقراری فیدبک شنوائی بسیار کم تغییرتر از کانتورهای قبل از عمل شده‌اند که با نظریه‌ی «فرایند دوگان» کاملاً سازگار است.^[۱]

در این تحقیق، هدف اصلی ما روشن کردن نقش فیدبک شنوائی و برقراری مداوم آن در کانتورهای F^0 بیماران فارسی زبان دارای سابقه‌ی شنوائی است. کانتورهای F^0 از ۵ بیمار بزرگسال دارای سابقه‌ی شنوائی که از پروتز چندکاناله‌ی کاشت حلزون استفاده می‌کنند و ۱۰ فرد بزرگسال طبیعی (زن و مرد) اندازه‌گیری شده‌اند. این کانتورها در هر جمله از یک متن ۵ جمله‌ی خوانده شده توسط بیماران و افراد طبیعی، قبل و در فواصل ۳ ماه و ۱۲ ماه بعد از عمل جراحی کاشت حلزون به دست آمده و روی تمام جمله‌ها و تمام بیماران متوسط‌گیری شده‌اند. به‌منظور بررسی اثر فیدبک شنوائی در تغییرات این کانتورها، ضبط گفتار بیماران در فواصل زمانی ۳ و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی در دو وضعیت پروتز روشن و پروتز خاموش صورت گرفته که در بین این دو نوبت ضبط، پروتز بیمار به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه خاموش بوده است. نتایج حاصله کاهش تغییرات متوسط کانتورها را پس از عمل جراحی نشان می‌دهد که با نتایج سایر محققین و نظریه‌ی «فرایند دوگان» سازگار است. از طرفی با مقایسه کانتورهای به دست آمده در دو وضعیت پروتز روشن و پروتز خاموش در فواصل ۳ و ۱۲ ماه پس از عمل مشاهده می‌شود که کاهش تغییرات ایجاد شده در کانتورها پس از عمل جراحی یک ویژگی پایدار و قابل یادگیری توسط بیمار است و با قطع موقت شنوائی به سرعت از دست نمی‌رود.

مسیر حرکت در جهت نرمال شدن است نه الزاماً کاهش! در یک مطالعه‌ی درازمدت دیگر که توسط Perker II صورت گرفته، تولید واکه‌ها در کاربران پروتز CI مورد بررسی قرار گرفته و کاهش F^0 و دوام زمانی واکه‌ها گزارش شده است.^[۱۲] در یک مطالعه‌ی کوتاه‌مدت نیز^[۱۳] Svirsky با خاموش و روشن کردن پروتز بیماران، به نتایج مشابهی دست یافته است. Lane در یک مطالعه‌ی درازمدت گزارش کرده که در مورد یک بیمار ناشنوای زن، هنگامی که فیدبک شنوائی برقرار شده و بیمار جملاتی از یک متن استاندارد^۷ را خوانده است، همزمان با کاهش در ویژگی‌های گفتاری F^0 و SPL وی، میزان قاعده‌مندی در کانتورهای F^0 و SPL افزایش یافته است.^[۱] با این حال، مطالعات انجام شده روی تغییرات کانتورهای F^0 به دست آمده از کاربران CI ظاهراً متناقض بوده است.

در برخی از مطالعات، گزارش شده که گفتار افراد ناشنوای دارای سابقه‌ی شنوائی یکنواخت و بدون تغییر است.^[۱۴، ۱۵] و برخی دیگر رنج تغییرات محدودی را برای پارامتر F^0 در گفتار این افراد گزارش کرده‌اند.^[۱۶، ۱۵] در مطالعه‌ی دیگر که ممکن است وابسته به این نوع تحقیقات باشد،^[۱۷] Cowie و Douglas-Cowie تغییرات بسیار کوچکی را در فرکانس گام این بیماران در هجاهای برجسته‌ی گفتاری و در گروه‌های آوایی مختلف گزارش کرده‌اند. از طرف دیگر، گزارشات برخی محققین نیز تغییرات زیاد در کانتورهای F^0 را به دنبال ناشنوا نشان می‌دهد. Cowie و Douglas-Cowie تغییرات ناگهانی را در فرکانس گام، از کم به زیاد، در کلمات مجاور یا هجاهای مجاور که توسط بیماران دارای سابقه‌ی شنوائی ادا شده گزارش کرده‌اند.^[۱۸] Lane و Webster گزارش کرده‌اند که این‌گونه بیماران در هر جمله‌ی که ادا می‌کنند یک هجا را به‌طور بارز و مشخص و با F^0 خیلی بالا ادا می‌کنند.^[۱۹] علاوه بر این، Leder میزان F^0 یک ناشنوای دارای سابقه‌ی شنوائی را در یک دو هجائی فعل/اسم که تکیه گفتاری در آنها به‌طور بارزی متفاوت است، به دست آورده و گزارش کرده است که ۴ ماه پس از عمل جراحی، بیمار تمایز بین اسم‌ها و فعل‌های وابسته به آنها را به‌خوبی رعایت می‌کند و اختلاف متوسط F^0 بین هجاهای تکیه‌دار و بدون تکیه‌ی وی در داخل کلمات کمتر شده است.^[۲۰] به عبارت دیگر، این بیمار ۴ ماه پس از عمل جراحی تکیه صحیح را درک کرده و رعایت می‌کند و روی هجاهای تکیه‌دار نیز تأکید بیش از حد معمول ندارد. Lane نظریه‌ی برای بیان نقش فیدبک شنوائی در تولید گفتار افراد دارای سابقه‌ی شنوائی ارائه داده است.^[۱۰ و ۱۱]

بر اساس این نظریه که به «فرایند دوگان»^۸ موسوم است، وظیفه‌ی

روش تحقیق

بیماران مورد مطالعه و گروه کنترل

۵ ناشنوای بزرگسال دارای سابقه‌ی شنوائی - ۳ مرد و ۲ زن، در محدوده‌ی سنی ۲۳ تا ۴۹ سالگی - که در کلینیک کاشت حلزون بیمارستان امیراعلم تهران تحت عمل جراحی قرار گرفته‌اند در این تحقیق شرکت دارند. همگی این افراد با سواد و قادر به خواندن و نوشتن زبان فارسی هستند.

بیمار MC۱ در سن ۱۳ سالگی به‌طور ناگهانی ناشنوا شده و، گوش چپ وی در سن ۲۱ سالگی تحت عمل جراحی کاشت حلزون قرار گرفته است. قبل از عمل، نتایج آزمون شنوائی سنجی حاکی از افت شنوائی عمیق (بیش از ۱۱۰ dB در همه فرکانس‌ها) در هر دو گوش این بیمار بوده است. این شخص قبل از عمل، مدت ۱ ماه از سمعک در گوش راست خود استفاده می‌کرده است ولی تأثیر چندانی در بهبود شنوائی‌اش نداشته است.

بیمار MC۲ در سن ۲۰ سالگی، به‌دنبال ابتلا به مننژیت، ناشنوا شده است (این بیمار سابقه مسمومیت با گازهای شیمیائی نیز داشته است). سپس در سن ۲۱ سالگی گوش راست وی تحت عمل جراحی کاشت حلزون قرار گرفته است. قبل از عمل، نتایج شنوائی سنجی حاکی از افت شنوائی عمیق (بیش از ۱۱۰ dB در همه فرکانس‌ها) در هر دو گوش این بیمار بوده است. این شخص هیچ‌گونه سابقه‌ی استفاده از سمعک قبل از عمل جراحی ندارد.

بیمار MC۳ در سن ۴۰ سالگی و به‌صورت تدریجی ناشنوا شده، و در همان سال گوش چپ وی تحت عمل جراحی کاشت حلزون قرار گرفته است (این بیمار سابقه‌ی اصابت ضربه شدید به سر دارد). قبل از عمل، نتایج آزمون شنوائی سنجی حاکی از افت شنوائی عمیق (بیش از ۱۱۰ dB در همه فرکانس‌ها) در هر دو گوش این بیمار بوده است. این شخص قبل از عمل، مدت دو سال از سمعک در هر دو گوش

خود استفاده می‌کرده ولی تأثیری در بهبود شنوائی‌اش نداشته است. بیمار FC۱ در سن ۴۳ سالگی، به‌دنبال ایجاد نارسائی در سیستم ایمنی خود، به‌تدریج ناشنوا و در سن ۴۵ سالگی گوش راست وی تحت عمل جراحی کاشت حلزون قرار گرفته است. قبل از عمل، نتایج آزمون شنوائی سنجی حاکی از افت شنوائی عمیق (بیش از ۱۱۰ dB در همه فرکانس‌ها) در هر دو گوش این بیمار بوده است. این شخص قبل از عمل، مدت ۵ ماه از سمعک در گوش چپ خود استفاده می‌کرده است ولی تأثیر چندانی در بهبود شنوائی‌اش نداشته است.

بیمار FC۲ در سن ۲۱ سالگی، به‌دنبال سقوط از بلندی، از ناحیه گوش راست و در سن ۲۵ سالگی، به‌دنبال ابتلا به بیماری اریون، از ناحیه‌ی گوش چپ خود دچار ناشنوائی کامل شده است و در سن ۳۳ سالگی گوش چپ وی تحت عمل جراحی کاشت حلزون قرار گرفته است. قبل از عمل، نتایج آزمون شنوائی سنجی حاکی از افت شنوائی ۸۵-۹۰ dB در همه فرکانس‌ها و در هر دو گوش بیمار بوده است. این شخص قبل از عمل مدت ۶ سال از سمعک در گوش راست خود استفاده می‌کرده است ولی تأثیر چندانی در بهبود شنوائی‌اش نداشته است.

در جدول ۱ اطلاعات مربوط به این بیماران و پروتز شنوائی آنها به‌طور مختصر ارائه شده است.

گروه کنترل شامل ۱۰ شخص بزرگسال با شنوائی طبیعی است که از هر دو جنس زن و مرد انتخاب شده و در محدوده‌ی سنی بیماران مورد مطالعه هستند. این افراد نیز در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه، جملات ادا شده توسط بیماران را در شرایط آکوستیک یکسان ادا کرده و آنالیزهای انجام شده روی گفتار آنها شبیه بیماران است. مقادیر به‌دست آمده از آنالیزهای انجام شده روی گفتار این افراد، به‌عنوان مقادیر طبیعی و بهنجار در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به بیماران و پروتز کاشت حلزون آنها.

بیمار	آسیب شناسی	سن بیمار در زمان عمل (سال)	مدت زمان استفاده از پروتز (سال)	نوع پروتز	راهکار پردازش گفتار در پروتز
MC۱	ناگهانی	۲۱	۲	NUCLEUS CI۲۴M	SPEAK
MC۲	مننژیت	۲۱	۲	NUCLEUS CI۲۴M	SPEAK
MC۳	نامعلوم	۴۰	۲	NUCLEUS CI۲۴M	SPEAK
FC۱	نارسائی سیستم ایمنی	۴۵	۳	NUCLEUS CI۲۴M	SPEAK
FC۲	اریون	۳۳	۱	NUCLEUS CI۲۴M	SPEAK

دهان بیمار تنظیم شده، صورت می‌گیرد. گفتار بیماران با فرکانس ۱۱۰۲۵ هرتز و با دقت ۱۶ بیت نمونه‌برداری شده و به‌منظور پردازش‌های بعدی در دیسک سخت مغناطیسی ذخیره می‌شوند.

پردازش گفتار و تحلیل داده‌ها

ابتدا هجاهای مختلف را از جملات ضبط شده از بیماران تفکیک کرده و سپس با انتخاب بخش میانی و پایدار واکه‌یی که در این هجا، قرار دارد، فرکانس گام (F_0) را با استفاده از ابزار COLEA.M در نرم‌افزار MATLAB به روش کپستروم و با پنجره‌ی زمانی همینگ به طول msec ۲۰ استخراج می‌کنیم.^[۲۱] با استفاده از مقادیر فرکانس گام که در یک جمله و برای یک بیمار به دست آمده‌اند، می‌توان منحنی تغییرات فرکانس گام (کانتور F_0) این بیمار را برای آن جمله رسم کرد. به‌منظور دسترسی به نتایج کلی، منحنی‌های تغییرات فرکانس گام را ابتدا برای تمام جملات ادا شده توسط یک بیمار، و سپس برای کلیه‌ی بیماران میانگین می‌گیریم تا به ترتیب کانتور F_0 متوسط برای یک بیمار و برای کلیه بیماران به دست آید. به‌منظور تعیین میزان قاعده‌مندی در کانتورهای F_0 بیماران و مقایسه‌ی آن با افرادی که شنوائی طبیعی دارند، از میانگین اختلاف‌های متوالی (MSD) استفاده کرده‌ایم.^[۱۱] به‌منظور تعیین این ویژگی برای تک تک بیماران، میانگین اختلاف‌های متوالی بین میزان F_0 در هجاهای متوالی یک جمله‌ی ادا شده توسط آن بیمار را به‌دست آورده و نسبت به کلیه‌ی جملات ادا شده توسط بیمار میانگین می‌گیریم. با میانگین‌گیری از «MSD متوسط برای هر بیمار» نسبت به کلیه‌ی بیماران، به میزان «MSD متوسط برای گروه بیماران» دست می‌یابیم که مقایسه‌ی این ویژگی با مقدار متوسط آن برای افراد دارای شنوائی طبیعی را میسر می‌سازد.

نتایج

شکل ۱ نمونه‌ی از خروجی ابزار COLEA.M در بسته‌ی نرم‌افزاری MATLAB را نشان می‌دهد. در این شکل، منحنی تغییرات فرکانس گام (کانتور F_0) برای بیمار MC۲ در جمله‌ی سوم ادا شده توسط این بیمار برای قبل از انجام عمل جراحی و در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از آن نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه‌ی کانتورهای F_0 بیماران با افراد طبیعی، کانتور متوسط F_0 برای جمله‌ی سوم ادا شده توسط افراد طبیعی گروه کنترل نیز در این شکل رسم شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، میزان MSD متوسط در جمله‌ی سوم برای افراد طبیعی گروه کنترل، ۱۳/۴۰٪ به‌دست آمده است.

پروتز کاشت حلزون

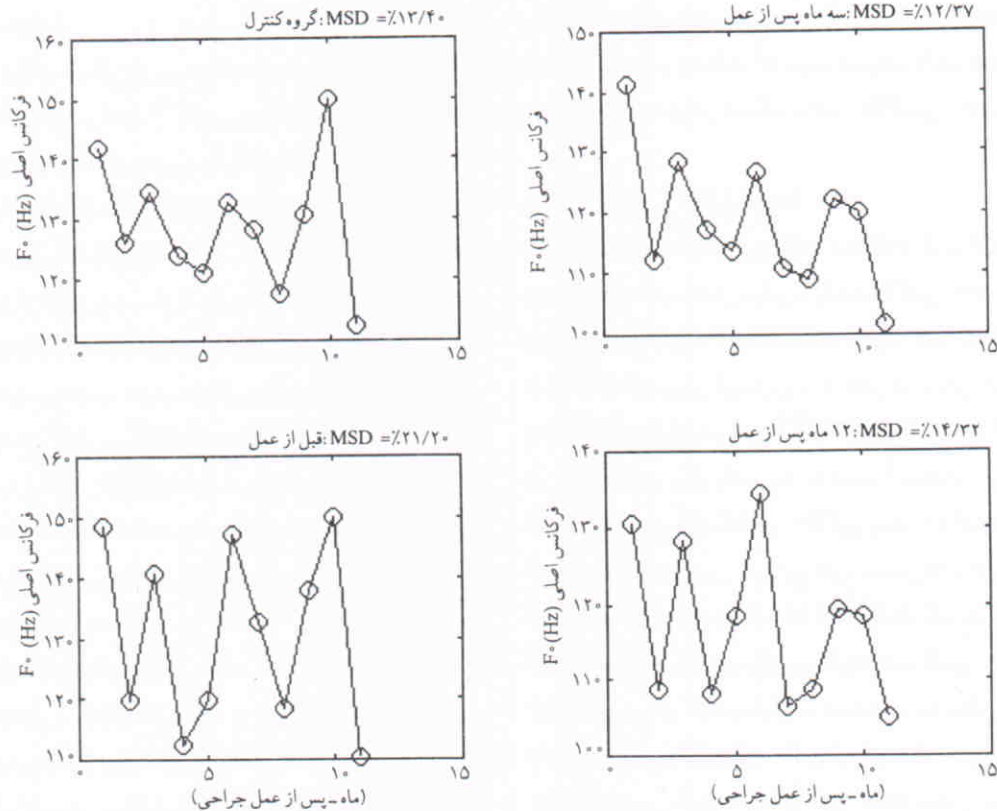
بیماران مورد مطالعه، همگی از پروتز کاشت حلزون NUCLEUS و مدل CI۲۴M استفاده می‌کنند.^[۲۱] این پروتز از یک بخش درونی (شامل یک آرایه‌ی ۲۴ الکترودی و یک گیرنده‌ی رادیوئی) و یک بخش بیرونی (شامل یک میکروفون، یک پردازنده‌ی گفتار و یک فرستنده‌ی رادیوئی) تشکیل شده است. آرایه‌ی الکترودها در خلال عمل جراحی و از طریق پنجره گرد^۹ وارد حفره‌ی تیمپانی^{۱۰} حلزونی گوش بیمار شده و به کمک ضربه‌های الکتریکی که توسط گیرنده رادیوئی دریافت می‌شوند، عصب شنوائی بیمار را تحریک می‌کنند. در پردازنده‌ی گفتار، سیگنال آکوستیک خروجی از میکروفون بلافاصله مورد پردازش قرار گرفته و ضربه‌های الکتریکی مناسبی برای تحریک نقاط مختلف عصب شنوائی تولید می‌شوند. این ضربه‌ها به کمک یک فرستنده‌ی رادیوئی رمز شده و برای گیرنده‌ی بی که به‌همین منظور در پشت زائده‌ی پستانی^{۱۱} بیمار - طی عمل جراحی - قرار داده شده ارسال می‌شوند.

نحوه‌ی تبدیل سیگنال آکوستیک به ضربه‌های الکتریکی، به راهکار پردازشی به کار رفته در پردازنده‌ی گفتار بستگی دارد. این بیماران همگی از روش پردازشی پربازه‌ی موسوم به SPEAK «قله‌های طیفی»^[۲۲] استفاده می‌کنند.

بر خلاف روش‌های پردازشی قبلی نظیر «چند قله‌ی»^[۲۳] MPEAK و $F_0/F_1/F_2$ که سعی در استخراج ویژگی‌هایی نظیر فرکانس گام و فرکانس فرمنت‌ها از سیگنال گفتار داشتند^[۲۱]، در روش اخیر یک آنالیز طیفی روی بخش‌های محدود سیگنال گفتار صورت گرفته و قله‌های طیفی برجسته‌تر مشخص می‌شوند. سپس انرژی هر یک از این قله‌های طیفی استخراج شده و به صورت ضربه‌های الکتریکی برای الکترودهای مناسب ارسال می‌شوند.^[۲۱] نرخ تحریک در بخش‌های واک‌دار گفتار توسط فرکانس گام و در بخش‌های غیر واک‌دار آن به صورت تصادفی تعیین می‌شود. بلندی صوت نیز در ارتفاع و عرض ضربه‌های ارسالی کد می‌شوند.

نحوه‌ی ضبط گفتار بیماران

هر یک از بیماران مورد مطالعه، پنج جمله‌ی معنادار فارسی را قبل از عمل، و در فاصله‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماه بعد از عمل، در دو وضعیت پروتز روشن و پروتز خاموش با فاصله‌ی زمانی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه بین این دو وضعیت ادا می‌کنند. در طراحی این جملات سعی شده تا حتی‌المقدور اکثر آوای زبان فارسی گنجانده شوند. عمل ضبط نمونه‌های گفتاری در یک اتاق آکوستیک و با استفاده از یک میکروفون با پهنای باند وسیع که در فاصله‌ی تقریبی ۲۰ سانتی‌متر از



شکل ۱. کانتورهای F_0 برای گروه کنترل و بیمار MC۲ در جمله سوم ادا شده توسط آنها، قبل از عمل و در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی کاشت حلزون.

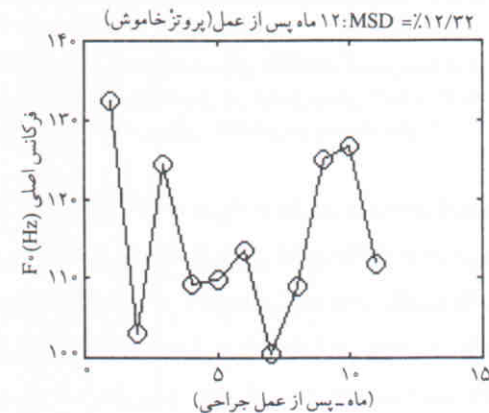
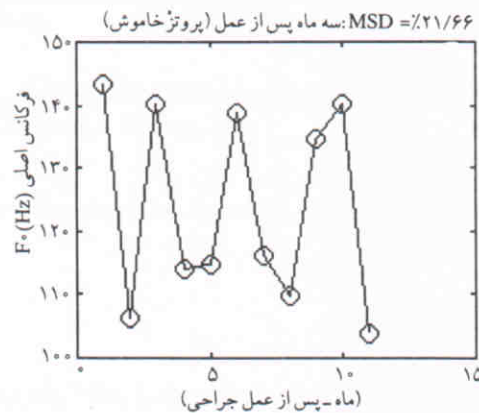
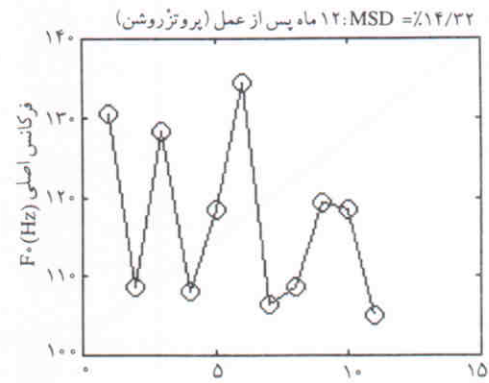
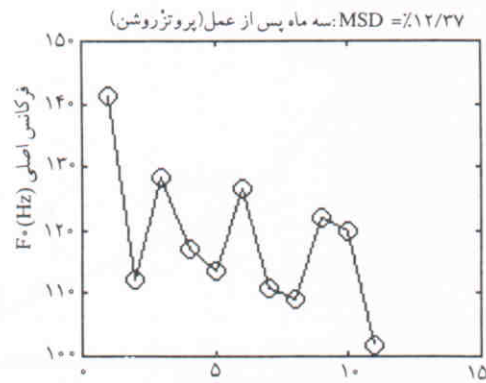
بیمار به اطلاعات فیدبک شنوائی بوده و در هر مقطع زمانی پس از عمل جراحی، قطع این فیدبک باعث دور شدن این ویژگی از مقدار طبیعی آن می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، قطع فیدبک شنوائی در فاصله‌ی ۳ ماه از عمل جراحی، میزان ویژگی MSD در کانتور F_0 بیمار MC۲ را از ۱۲/۳۷٪ به ۱۲/۶۶٪ افزایش می‌دهد که به مقدار قبل از عمل آن (۲۱/۲۰٪) بسیار نزدیک بوده و انحرافی به میزان ۷۵/۱۰٪ را از مقدار این ویژگی در شرایط پروتزروشن نشان می‌دهد. ولی خاموش کردن پروتزر در فاصله‌ی ۱۲ ماه از عمل جراحی، ویژگی MSD را از ۱۴/۳۲٪ در حالت پروتزروشن به ۱۲/۳۲٪ در وضعیت پروتزر خاموش تغییر می‌دهد که تنها انحرافی به میزان ۱۳/۹۷٪ را نشان می‌دهد.

به این ترتیب به نظر می‌رسد که این ویژگی نیز همانند بسیاری از ویژگی‌های دیگری که قبلاً به همین روش پروتزروشن و پروتزر خاموش مورد مطالعه قرار داده‌ایم^[۲۴ و ۲۳] از قابلیت یادگیری خوبی نزد بیماران کاشت حلزون برخوردار بوده و پس از گذشت زمان کافی از برقراری فیدبک شنوائی تثبیت می‌شوند.

به‌منظور بیان دقیق‌تر این مدعا، کانتورهای F_0 بیماران را نسبت

در مورد بیمار MC۲ نیز همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، میزان MSD در جمله‌ی سوم قبل از عمل جراحی ۲۱/۲۰٪ بوده است. که نشان‌دهنده‌ی تغییرات بیش از حد در کانتور F_0 این بیمار است. پس از انجام عمل جراحی و برقراری فیدبک شنوائی، میزان MSD در جمله‌ی سوم این بیمار در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل، به ترتیب به مقادیر ۱۲/۳۷٪ و ۱۴/۳۲٪ رسیده است که در محدوده‌ی مقدار طبیعی بوده و حاکی از قاعده‌مندی نسبتاً خوب این بیمار در کانتور F_0 پس از عمل جراحی و برقراری فیدبک شنوائی است.

در شکل ۲ کانتورهای F_0 همین بیمار در جمله‌ی سوم ادا شده توسط وی را در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل و در دو وضعیت پروتزروشن و پروتزر خاموش مشاهده می‌کنیم. هدف از انجام این تحقیق، بررسی قابلیت یادگیری ویژگی MSD توسط بیمار بوده است. به‌عبارت دیگر، هدف از این تحقیق پاسخ دادن به این سؤال بوده است که آیا بهبود ایجاد شده در ویژگی MSD پس از برقراری فیدبک شنوائی با گذشت زمان توسط بیمار قابل یادگیری است و به مرور تثبیت می‌شود یا به‌شدت وابسته به دسترسی مداوم

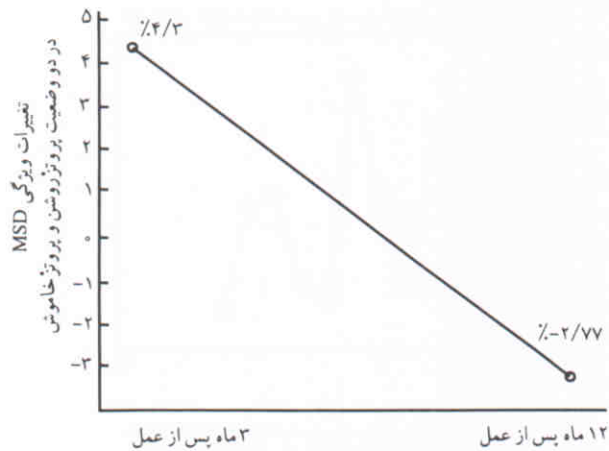


شکل ۲. کانتورهای F0 برای بیمار MCY در جمله سوم ادا شده توسط وی، در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی و در دو وضعیت پروتزروشن و پروتزخاموش.

گروه بیماران با افراد طبیعی از ۷/۳۱٪ قبل از عمل به ۳/۸۳٪ در فاصله ۳ ماه و ۱/۰۹٪ در فاصله ۱۲ ماه پس از عمل جراحی کاهش یافته که نشان‌دهنده طبیعی شدن کانتورهای F0 بیماران در فاصله ۱۲ ماه پس از فیدبک شنوائی است. در شکل ۴ تأثیر خاموش کردن پروتز کاشت حلزون بیمار در انحراف و ویژگی MSD از مقدار آن در وضعیت پروتزروشن در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه از عمل جراحی با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، انحراف و ویژگی MSD در وضعیت پروتزخاموش از مقدار آن در وضعیت پروتزروشن در فاصله ۳ ماه پس از عمل ۳/۴٪ بوده که به ۲/۷۷٪ در فاصله ۱۲ ماه پس از عمل کاهش یافته است. این کاهش تغییرات نشان از قابلیت یادگیری بالای ویژگی MSD نزد بیماران کاشت حلزون داشته و این احتمال را قوت می‌بخشد که با گذشت زمان، بیشتر بیماران بدون نیاز به اطلاعات فیدبک شنوائی قادر باشند که کانتورهای F0 خود را در جملات مختلف زبان فارسی به خوبی کنترل کرده و الگویی بسیار شبیه به افرادی که شنوائی طبیعی دارند تولید کنند. در جدول ۲ مقادیر ویژگی MSD برای بیماران مورد مطالعه به تفکیک داده شده است. این مقادیر

به کلیه ۵ جمله‌ی ادا شده توسط هر بیمار و نیز کلیه ۵ بیمار مورد مطالعه میانگین گرفته و ویژگی MSD متوسط در گروه بیماران را در فواصل زمانی قبل از عمل و ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از آن در دو وضعیت پروتزروشن و پروتزخاموش به دست آورده‌ایم. ویژگی MSD در گروه کنترل نیز به همین روش برای افراد گروه کنترل که شنوائی طبیعی دارند، به دست آمده و نسبت به کلیه ۵ جمله‌ی ادا شده توسط این افراد میانگین‌گیری شده است. مقدار این ویژگی در افراد گروه کنترل ۱۳/۴۰٪ محاسبه شده است.

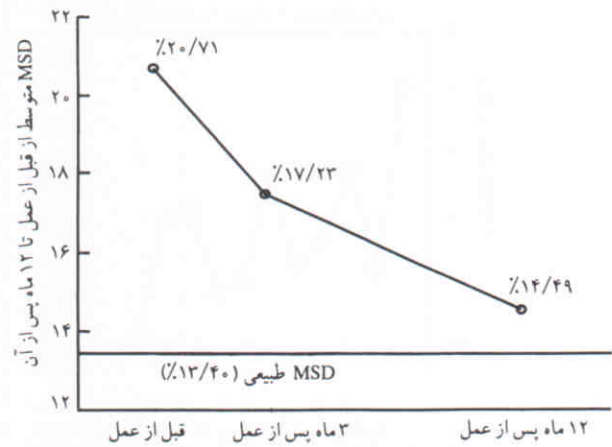
در شکل ۳ منحنی تغییرات ویژگی MSD متوسط در گروه بیماران از قبل از عمل تا ۱۲ ماه پس از آن نشان داده شده است. میزان ویژگی MSD متوسط در گروه کنترل نیز تحت عنوان "MSD نرمال" در این شکل نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، میزان ویژگی MSD متوسط گروه بیماران از ۲۰/۷۱٪ قبل از عمل به ترتیب به ۱۷/۲۳٪ و ۱۴/۴۹٪ در فاصله ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از برقراری عمل رسیده که کاهش قابل ملاحظه‌ی در فاصله‌ی این ویژگی تا مقدار طبیعی آن را پس از برقراری فیدبک شنوائی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اختلاف فاصله‌ی ویژگی MSD متوسط در



شکل ۴. منحنی تغییرات ویژگی MSD در گروه بیماران در دو وضعیت پروتزویشن و پروتز خاموش در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی. (اختلاف در ویژگی MSD در دو وضعیت مذکور)

در فواصل ۳ و ۱۲ ماه پس از عمل در دو وضعیت پروتزویشن و پروتز خاموش استفاده کرده‌ایم. نتایج حاصله نشان می‌دهند که اولاً میزان قاعده‌مندی در کانتورهای بیماران در مقایسه با افراد طبیعی گروه کنترل پس از عمل جراحی افزایش یافته و در فاصله ۱۲ ماه پس از عمل، تقریباً به میزان طبیعی خود رسیده است. تأثیر دسترسی مداوم بیمار به اطلاعات فیدبک شنوائی برای تولید صحیح این کانتورها به مرور زمان کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، پس از ۱۲ ماه از عمل جراحی، بیماران تقریباً بدون نیاز به فیدبک شنوائی و در وضعیت پروتز خاموش قادرند به خوبی کانتورهای F^0 طبیعی و مشابه با وضعیت پروتزویشن تولید کنند در صورتی که در فاصله ۳ ماه از عمل جراحی، این توانایی در آنها به خوبی ایجاد نشده است. ویژگی MSD قبلاً توسط Lane ارائه شده ولی نوآوری‌های این تحقیق را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:^[۱]

- این تحقیق برای اولین بار برای افراد فارسی زبان صورت گرفته است. به دلیل تفاوت‌های فاحش آوایی و نوایی که بین زبان فارسی و سایر زبان‌ها از جمله انگلیسی وجود دارد، نتایج به دست آمده، توسط Lane و همکارانش مستقیماً قابل حمل به زبان فارسی نیست و همین امر، انجام این تحقیق در مورد فارسی زبانان را ضرورت می‌بخشد.
- در تحقیقات قبلی، فقدان گروه کنترل باعث می‌شود که انجام یک مقایسه کمی و عددی بین بیماران و افرادی که دارای شنوائی هستند میسر نباشد. در این تحقیق، ما با استفاده از این گروه کنترل سعی در برطرف کردن این نقیصه و به دست آوردن نتایج کمی و عددی معتبر کرده‌ایم.
- در تحقیقات قبلی، میزان پایدار بودن و قابلیت یادگیری ویژگی



شکل ۳. منحنی تغییرات ویژگی MSD در گروه بیماران مورد مطالعه و گروه کنترل از قبل از عمل تا ۱۲ ماه پس از آن.

نسبت به کلیه‌ی ۵ جمله‌ی ادا شده توسط هر بیمار میانگین‌گیری شده‌اند.

خلاصه

تغییرات کانتورهای F^0 در بیماران ناشنوای دارای سابقه‌ی شنوائی پس از عمل جراحی کاشت حلزون مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این تحقیق، بررسی میزان قاعده‌مندی در کانتورهای قبل و بعد از عمل و نیز بررسی میزان تأثیر قطع موقتی فیدبک شنوائی در تخریب آنها در فواصل زمانی مختلف پس از عمل جراحی بوده است. برای این منظور، بیماران مورد مطالعه ۵ جمله‌ی معنادار فارسی را قبل از عمل و در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل در دو وضعیت پروتزویشن و پروتز خاموش ادا کرده‌اند. بین این دو وضعیت، 3^0 الی 4^5 دقیقه پروتز را خاموش کردیم تا از قطع کامل فیدبک شنوائی و حافظه‌ی کوتاه‌مدت شنوائی بیمار اطمینان حاصل کنیم. سپس با انتخاب قسمت‌های پایدار و میانی واژه‌ها در هجاهای یک جمله، فرکانس گام با استفاده از آنالیز کوتاه‌مدت کپستروم به دست آمده و با اتصال مقادیر فرکانس گام در هجاهای یک جمله، کانتور F^0 برای آن جمله ترسیم شده است. با میانگین‌گیری از کانتورهای به دست آمده برای ۵ جمله‌ی ادا شده توسط یک بیمار، به کانتور متوسط آن بیمار و با میانگین‌گیری از این کانتورهای متوسط، به منحنی کانتور متوسط برای گروه بیماران مورد مطالعه می‌رسیم. با انجام آنالیز مشابه، کانتور متوسط برای گروه کنترل را نیز که شامل ۱۰ فرد بزرگسال هم‌جنس و هم‌سن بیماران با شنوائی طبیعی هستند، به دست می‌آوریم. به منظور انجام یک آنالیز کمی، از معیار MSD برای مقایسه‌ی کانتورهای بیماران با افراد طبیعی و نیز مقایسه‌ی کانتورهای بیماران

توسط Lane تا حد ممکن بر طرف شود و نتایج کاملاً کمی و عددی و مبتنی بر روش‌های استاندارد پردازش گفتار برای این بیماران ارائه شود.^[۱]

ما در تحقیقات قبلی خود نیز از همین روش برای مطالعه‌ی ویژگی‌های ایستای گفتار در کودکان فارسی‌زبان کاشت حلزون استفاده کرده‌ایم.^[۲۳ و ۲۴] نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دادند که اولاً به کارگیری پروتز کاشت حلزون توسط کودکان ناشنوای بدون سابقه‌ی شنوایی باعث بهبود ویژگی‌های استاتی گفتار - نظیر فرکانس گام و فرمنت‌های واکه‌ها، دوام زمانی نسبی واکه‌ها در یک کلمه، انرژی متوسط نسبی یک واکه به همخوان ادا شده قبل از آن، میزان واک‌دار بودن همخوان‌ها و میزان خیشومی شدن واکه‌های دهانی - می‌شود و میزان این ویژگی‌ها را در درازمدت به سمت مقادیر نرمال و طبیعی‌شان سوق می‌دهد و ثانیاً بسیاری از این ویژگی‌ها از قابلیت یادگیری بالائی در نزد بیماران برخوردارند و پس از گذشت زمان کافی از عمل جراحی، قطع فیدبک شنوایی باعث ایجاد اندکی انحراف در مقدار این ویژگی‌ها، در مقایسه با مقادیر آنها در وضعیت پروتزروشن می‌شود.

نتایج به دست آمده در مطالعه‌ی اخیر، با نتایج قبلی ما بسیار سازگار است و نشان می‌دهد که استفاده از پروتز کاشت حلزون در بیماران دارای سابقه‌ی شنوایی قادر است ویژگی‌های پویاتر گفتار آنها - نظیر کانتور F⁰ در جملات - را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داده و این ویژگی‌ها را به سمت مقادیر طبیعی و نرمال خود سوق دهد، هرچند که تأثیر استفاده از این پروتز در بهبود ویژگی‌های استاتی گفتار - نظیر فرکانس گام واکه‌ها - در بیماران دارای سابقه‌ی شنوایی به‌شدت تأثیر آن در مورد افراد بدون سابقه‌ی شنوایی نیست (جدول ۲). از طرفی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی پویای MSD در بیماران دارای سابقه‌ی شنوایی شبیه به ویژگی‌های ایستای گفتار در بیماران بدون سابقه‌ی شنوایی از قابلیت خوبی برخوردار است و پس از گذشت زمان کافی تثبیت می‌شود. شاید بتوان دلیل این امر را به داشتن زمینه قبلی شنوایی در این بیماران و فقدان آن در بیماران بدون سابقه‌ی شنوایی نسبت داد. به عبارت دیگر، بیماران بدون سابقه‌ی شنوایی ویژگی‌هایی را که از طریق لب‌خوانی می‌توانند بیاموزند، پس از به کارگیری پروتز کاشت حلزون نیز به‌خوبی فرا گرفته و مستقل از قطع یا وصل فیدبک شنوایی خود، به‌خوبی آنها را ادا می‌کنند ولی ویژگی‌هایی را که قادر به یادگیری آنها از طریق لب‌خوانی نیستند - نظیر ویژگی واک‌دار بودن به‌ویژه در مورد همخوان‌ها^[۲۵] - پس از عمل جراحی نیز نمی‌آموزند و ادعای صحیح

MSD در نزد بیماران مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق، ما با انجام یک آنالیز پروتزروشن و پروتزخاموش در فواصل زمانی ۳ و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی، میزان وابستگی بیماران به دسترسی مداوم به اطلاعات فیدبک شنوایی برای تولید صحیح این ویژگی را با گذشت زمان مورد بررسی قرار داده و به نتایج کمی و عددی دست یافته‌ایم.

بحث و نتیجه‌گیری

ویژگی MSD برای اولین بار توسط Lane معرفی شد.^[۱] وی از این ویژگی برای تعیین میزان قاعده‌مندی و در کانتورهای F⁰ بیماران دارای سابقه‌ی شنوایی مورد مطالعه خود استفاده کرد و گزارش کرد که به کارگیری پروتز کاشت حلزون در این بیماران، باعث کاهش میزان این ویژگی می‌شود.

به این ترتیب وی نتیجه گرفت که پروتز کاشت حلزون موجب قاعده‌مند شدن کانتورهای F⁰ در بیماران دارای سابقه‌ی شنوایی می‌شود. آنچه که تحقیقات Lane فاقد آن است، ابتدا یک گروه کنترل متشکل از افراد نرمال و دارای شنوایی طبیعی است تا با مقایسه‌ی ویژگی MSD بیماران با این گروه کنترل بتوان روند تغییرات ایجاد شده در ویژگی MSD بیماران را مثبت یا منفی ارزیابی کرد و به‌طور کمی و عددی بتوان میزان بهبود ایجاد شده در کانتورهای F⁰ بیماران را در مقایسه با افراد طبیعی هم سن و هم جنس‌شان گزارش کرد؛ و سپس ضرورت انجام یک مطالعه‌ی پروتزروشن و پروتزخاموش که در مقاطع مختلف زمانی پس از عمل جراحی انجام شده باشد، تا از طریق نتایج این مطالعه بتوان به میزان نقش برقراری فیدبک شنوایی در تغییرات کانتورهای F⁰ بیماران پی برد و وابستگی ویژگی MSD را به دسترسی مداوم بیمار به اطلاعات فیدبک شنوایی در فواصل زمانی متعدد پس از عمل جراحی به‌صورت کمی و عددی بیان کرد. در تحقیق حاضر، علاوه بر اینکه برای اولین بار از بیماران فارسی‌زبان دارای سابقه‌ی شنوایی در انجام مطالعه‌ی فوق استفاده شده است - که به دلیل تفاوت‌های فراوان آوایی و نوایی زبان فارسی با سایر زبان‌ها از جمله انگلیسی، به کارگیری مستقیم نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققین در مورد بیماران غیر فارسی‌زبان را برای این بیماران غیر ممکن ساخته و ضرورت انجام این تحقیق درباره‌ی بیماران فارسی‌زبان را روشن می‌سازد - سعی شده با استفاده از یک گروه کنترل متشکل از افراد طبیعی هم سن و هم جنس بیماران مورد مطالعه و نیز انجام آزمون پروتزروشن و پروتزخاموش در فواصل زمانی ۳ ماه و ۱۲ ماه پس از عمل جراحی، تقابص مطالعه انجام شده

جدول ۲. مقادیر ویژگی MSD برای بیماران مورد مطالعه. مقادیر این ویژگی نسبت به ۵ جمله ادا شده توسط هر بیمار میانگین‌گیری شده است.

بیمار	قبل از عمل	۳ ماه پس از عمل		۱۲ ماه پس از عمل	
		پروتز روشن	پروتز خاموش	پروتز روشن	پروتز خاموش
MC _۱	%۷/۸۵	%۹/۵۶	%۸/۹۰	%۸/۴۵	%۷/۴۸
MC _۲	%۲۱/۲۰	%۱۲/۳۷	%۲۱/۶۶	%۱۴/۳۲	%۱۲/۳۲
MC _۳	%۱۵/۶۰	%۱۲/۵۲	%۱۱/۳۴	%۱۸/۸۱	%۱۵/۶۵
*FC _۱	%۱۴/۰۸	%۱۵/۸۳	%۲۲/۴۰	%۱۰/۰۴	%۲۰/۸۱
FC _۲	%۳۸/۲۰	%۳۴/۴۸	%۴۴/۲۳	%۱۶/۳۸	%۱۱/۵۴

* به دلیل غیر متعارف بودن داده‌های به دست آمده از گفتار این بیمار در مقایسه با سایر بیماران مورد مطالعه و به منظور پرهیز از غیر معتبر بودن نتایج حاصل از تحلیل‌ها، در محاسبه‌ی میانگین ویژگی MSD گروه بیماران و ترسیم شکل‌های ۳ و ۴، این بیمار را حذف نموده و نتایج را برای سایر بیماران مورد مطالعه به دست می‌آوریم.

این ویژگی در این‌گونه بیماران، به شدت وابسته به دسترسی مداوم بیمار به برقراری فیدبک شنوائی باقی می‌ماند. [۲۶ و ۲۵] بیماران دارای سابقه‌ی شنوائی قبل از ناشنوا شدن به طور کامل آموخته بودند که جملات خود را با تکیه‌ی صحیح بر کلمات مناسب ادا کنند. بدین ترتیب آنها دارای کانتور F^۰ طبیعی بوده و یک زمینه‌ی قبلی از آن در ذهن خود دارند. پس از شنوائی، این زمینه از دست رفته و چون از طریق لبخوانی نیز قابل اکتساب مجدد نبوده، از حالت طبیعی خود فاصله گرفته است. با برقراری مجدد فیدبک شنوائی و تحریک

حافظه‌ی بلندمدت شنوائی در این بیماران، کانتورهای F^۰ آنها مجدداً به وضعیت طبیعی خود در قبل از زمان شنوا شدن برگشته و با تثبیت حافظه‌ی بلندمدت شنوائی در این بیماران، این ویژگی در گفتار آنها نیز مجدداً تثبیت شده است. لذا با قطع مجدد فیدبک شنوائی در فواصل زمانی طولانی پس از عمل، کانتورهای F^۰ در گفتار این بیماران دستخوش تغییرات فاحش نشده و ثبات و پایداری خود را حفظ می‌کنند. این نتایج به خوبی با نتایج مطرح شده توسط Lane تحت عنوان «فرایند دوگان» سازگار است. [۱۰]

پانوش

1. postlingual
2. cochlear implant-CI
3. regularity
4. mean successive differences (MSD)
5. sound pressure level. (SPL)
6. duration
7. rainbow passage
8. Dual-Process
9. round window
10. scala tympani
11. mastoid
12. spectral peak
13. Multiple Peak

منابع

1. Lane, H., Wozniak, J., Matthies, M., Svirsky, M., Perkell, J., O'Connell, M., and Manzella, J. "Changes in sound pressure and fundamental frequency contours following changes in hearing status", *J. Acoust. Soc. Am.*, **101**(4), pp 2244-2252 (1997).
2. Leader, S., Spitzer, J.B., Milner, P., Flevaris-Phillips, C., Kirchner, J.C. and Richardson, F. "Voice intensity of prospective cochlear implant candidates and normal hearing

- adult males", *Laryngoscope*, **97**, pp 224-227 (1987b).
3. Leder, S., Spitzer, J.B. and Kirchner, J.C. "Speaking fundamental frequency of postlingually profoundly deaf adult men", *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, **96**, pp 322-324 (1987).
4. Binnie, C.A., Daniloff, R.G. and Buckingham, H. "Phonetic disintegration in a five-year-old following sudden hearing loss" *J. Speech Hear. Disord.*, **47**, pp 181-189 (1982).
5. Leder, S. and Spitzer, J.B. "Speaking fundamental frequency, intensity and rate of adventitiously profoundly hearing impaired adult women", *J. Acoust. Soc. Am.*, **93**, pp 2146-2151 (1993).
6. Plant, G. "The effects of an acquired profound hearing loss on speech production", *Br. J. Audio.*, **18**, pp 39-48 (1984).
7. Shannon, R.V. "Psychophysics", in *Cochlear Implants: Audiologic Foundation*, Edited by R.S. Tyler, pp 357-368, Singular, San Diego, CA (1993).
8. Leder, S., and Spitzer, J.B. "Longitudinal effects of single-channel cochlear implantation on voice quality", *Laryngoscope*, **100**, pp 395-398 (1990).
9. Oster, A. "Some effect of cochlear implantation on speech production", *Speech Transmission Laboratory, Quarterly Progress and Status Report*, **1-1987**, pp 81-89 (1987).
10. Lane, H., Wozniak, J. and Perkell, J. "Changes in voice-onset time in speakers with cochlear implants", *J. Acoust. Soc. Am.*,

- 96, pp 56-64 (1994).
11. Kirk, K.I. and Edgerton, B.J. "Effects of cochlear implant use on voice parameters", *Otolaryngol. Clin. North Am.*, **16**, pp 281-292 (1983).
12. Perkell, J., Lane, H., Svirsky, M. and Webster J. "Speech of cochlear implant patients: A longitudinal study of vowel production", *J. Acoust. Soc. Am.*, **91**, pp 2961-2978 (1992).
13. Svirsky M., Lane H., Perkell J., and Wozniak, L. "Effects of short-term auditory deprivation on speech production in adult cochlear implant users", *J. Acoust. Soc. Am.*, **92**, pp 1284-1300 (1992).
14. Plant, G. "The effects of a long-term hearing loss on speech production", Speech Transimission Laboratory, Quarterly Status and Progress Reports (Stockholm), **1-1983**, pp 18-35 (1983).
15. Ball, G. and Faulkner, A. "Speech production of postlingually deafened adults using electrical and acoustic speech pattern prostheses", *Speech Hear. Lang. Works Prog. (UCLA)* **3**, pp 13-32 (1989).
16. Ball, V. and Ison, K.T. "Speech production with electocochlear stimulation", *Br. J. Audiol.* **18**, pp 251 (1984).
17. Cowie, R. and Dauglas-Cowie, E. *Postlingually Acquired Deafness: Speech Deterioration and the Wider Linguistic Consequences*, Mouton De Gruyter, New York (1992).
18. Cowie, R. and Duaglas-Cowie, E. "Speech production in profound post-lingual deafness", in *Hearing Science and Hearing Disorders*, Edited by M.E.Lutman and M.P. Haggard, pp 183-231 Academic press, New York (1983).
19. Lane, H. and Webster, J. "Speech deterioration in postlingually deafened adults", *J. Acoust. Soc. Am.*, **89**, pp 859-866 (1991).
20. Leder, S., Spitzer, J.B., Milner, P., Flevaris-Phillips, C., Richardson, F. and Kirchner, J. "Reacquisition of contrastive stress in an adventitiously deaf speaker using a single channel cochlear impalnt", *J. Acoust. Soc. Am.*, **79**, pp 1967-1974 (1986).
21. NUCLEUS ®, mini system 22, Audiologist's handbook, Cochlear © pty. limited (1998).
22. Deller, J.R., Proakis, J.G., and Hansen, J.H., *Discrete-time processing of speech signals*, McMillan publishing company (1993).
۲۳. امیرفتاحی، رسول و شیخزاده نجار، حمید «تغییرات تولید واکه‌های زبان فارسی بدنبال استفاده از پروتز چندکاناله‌ی کاشت حلزون در کودکان ناشنوای بدون سابقه شنوایی.» نشریه علمی و پژوهشی امیرکبیر، سال دوازدهم، شماره ۴۶، صص ۲۲۰-۲۲۷ (۱۳۸۰).
24. Sheikhzadeh Nadjar, H. and Amirfattahi, R. "Objective long-term assessment of speech quality changes in pre-lingual cochlear implant children", *International Conference on Spoken Language Processeing (ICSLP2000)*, Beijing, China, Paper no: 00593 (2000).
25. Tye-Murray, N., Spencer, L. and Gilbert-Bedia, E. "Relationships between speech production and speech perception skills in young cochlear-implant users", *J. Acoust. Soc. Am.*, **98** (5), Pt, 1 pp 2454-2460 (1995).
26. Tye-Murray, N., Spencer, L., Gilbert-Bedia, E. and Woodworth, G. "Differences in children's sound production when speaking with a cochlear implant turned on and turned off", *J. Speech Hear. Res.*, **39**, pp 604-610 (1996).