

Research Article

Investigation acoustic intelligibility of high and low vowels in healthy adults and those with Parkinson's disease

Shiva Javadipour¹, Ali Ghorbani¹, Negin Moradi², Hamid Nourallahi Moghadam³, Akbar Biglarian⁴

¹- Department of Speech therapy, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

²- Department of Speech therapy, Faculty of Rehabilitation Sciences, Ahvaz Jondi Shapour of University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

³- Department of Neurology, School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Iran

⁴- Department of Biostatistics, University of Social Welfare and Rehabilitation, Tehran, Iran

Received: 4 April 2012, accepted: 25 September 2012

Abstract

Background and Aim: Parkinson's disease (PD) is a progressive neurological disorder resulting from significant decrease of dopamine in the brain. The main and most common symptom of speech disorder associated with Parkinson's disease, which is kind of dysarthria, is reduction in speech intelligibility. Since this disorder represents damages to acoustic aspects, researchers are attracted to study the relationship between these two disorders. In this study, we assessed the comparison of speech vowels between normal people and patients with Parkinson's disease.

Methods: In this cross-sectional study, 18 voice samples of patients with Parkinson's disease and the same number of samples from normal people in a voiceless environment were recorded and analyzed by Praat software. Data analysis was performed by independent samples and Mann-Whitney tests.

Results: All variables investigated in two groups showed significant differences. In adults with Parkinson's disease, F1-F0 in low vowels showed a considerable reduction in respect to normal people ($p < 0.001$). In addition, F2-F1 in high vowels represented a significant decrease in these patients ($p < 0.05$).

Conclusion: The results indicate that Parkinson's disease affects formant frequency in patients compared with normal people. Reduction in speech intelligibility can be accurately measured using acoustic procedure.

Keywords: Parkinson's disease, speech intelligibility, acoustic analysis, vowel

Please cite this paper as: Javadipour Sh, Ghorbani A, Moradi N, Nourallahi Moghadam H, Biglarian A. Investigation acoustic intelligibility of high and low vowels in healthy adults and those with Parkinson's disease. *Audiol.* 2013;22(3):83-8. Persian.

Corresponding author: Department of Speech therapy, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Nezam Alley, Shahid Shahnazari St., Madar Square, Mirdamad Blvd., Tehran, 15459-13487, Iran. Tel: 009821-22228051-2, E-mail: Ali-Ghorbani@tums.ac.ir

بررسی وضوح اکوستیکی واکه‌های افراشته و افتاده در مردان عادی و مبتلا به پارکینسون

شیوا جواد پور^۱، علی قربانی^۱، نگین مرادی^۲، حمید نورالهی مقدم^۳، اکبر بیگریان^۴

^۱ گروه گفتاردرمانی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۲ گروه گفتاردرمانی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

^۳ گروه نورولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۴ گروه آمار زیستی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: بیماری پارکینسون نوعی از اختلال پیش‌رونده عصب‌شناختی است که به سبب کاهش قابل توجه ترشح دوپامین در مغز ایجاد می‌شود. اصلی‌ترین و شایع‌ترین علامت اختلال گفتاری در پارکینسون که از نوع دیزآرتری است، کاهش وضوح گفتار است. نظر به این که کاهش وضوح گفتار به نوعی بازگوکننده آسیب به جنبه‌های اکوستیک است، پژوهشگران اخیراً به مطالعه رابطه بین این دو پرداخته‌اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اکوستیکی واکه‌های گفتار افراد مبتلا به پارکینسون و عادی انجام شده است.

روش بررسی: پژوهش حاضر از نوع تحلیلی و به صورت مقطعی انجام شده است. در این بررسی نمونه صدای ۱۸ مرد مبتلا به پارکینسون و ۱۸ مرد عادی در محیط بدون صدا جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار praat تجزیه و تحلیل شد. برای بررسی تفاوت میان داده‌ها آزمون‌های t مستقل و من‌ویتنی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: متغیرهای مورد بررسی در دو گروه مورد مطالعه تفاوت‌های معنی‌دار نشان دادند. در واکه‌های افتاده F1-F0 بیماران نسبت به افراد عادی کاهش معنی‌دار نشان داد ($p < 0.01$) همچنین در واکه‌های افراشته F2-F1 بیماران نسبت به افراد عادی کاهش معنی‌دار نشان داد ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از اثر پارکینسون بر ویژگی‌های اکوستیک گفتار این افراد است و با استفاده از رویکرد اکوستیکی به‌طور دقیق می‌توان این تفاوت‌ها را سنجید و کاهش وضوح گفتار را اندازه‌گیری کرد.

واژگان کلیدی: پارکینسون، وضوح گفتار، تحلیل اکوستیکی، واکه

(دریافت مقاله: ۹۱/۱/۱۶، پذیرش: ۹۱/۷/۴)

مقدمه

آسیب به دستگاه عصبی مرکزی یا محیطی و در نتیجه آشفتگی در کنترل عضلانی سازوکار گفتار روی می‌دهد (۴). مشکل عمده بیماران مبتلا به دیزآرتری عدم وضوح گفتار است که ارتباط و تعامل اجتماعی آنها را شدیداً به مخاطره می‌اندازد (۵). در میان اختلالات ارتباطی دیزآرتری به دلیل آسیب‌های متعددی که بر اجزای تولید گفتار وارد می‌سازد، شدیدترین تأثیر را بر وضوح گفتار می‌گذارد. به روش سنتی، معمولاً اندازه‌گیری وضوح گفتار با

پارکینسون نوعی اختلال نورولوژیک است که به سبب کاهش پیش‌رونده دوپامین در مغز ایجاد می‌شود. کاهش ترشح دوپامین بر حرکات غیرگفتاری اثر می‌گذارد و به همان میزان تولید گفتار را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). گفتار افراد مبتلا به پارکینسون را دیزآرتری پارکینسونی و یا دیزآرتری هیپوکاینیتیک می‌نامند که در ۹۸ درصد بیماران مبتلا به پارکینسون دیده می‌شود (۳و۲). دیزآرتری اصطلاح کلی نوعی اختلال گفتاری است که به دلیل

نویسنده مسئول: تهران، بلوار میرداماد، میدان مادر، خیابان شهید شاه نظری، کوچه نظام، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، گروه گفتاردرمانی، کد پستی: ۱۳۴۸۷-۱۵۴۵۹، تلفن: ۰۲۱-۲۲۲۲۸۰۵۱-۲؛ E-mail: Ali-Ghorbani@tums.ac.ir

نظر به این که ارزیابی‌های ابزاری بر اندازه‌گیری عینی و آزمایشگاهی متکی است، اندازه‌گیری اکوستیکی، دقت سنجش را افزایش می‌دهد و مکمل با ارزشی برای ارزیابی ادراکی است (۱۰). تا کنون در زبان فارسی پژوهشی با این رویکرد به بررسی حفظ جایگاه‌ها و وضوح گفتار نپرداخته است. در این پژوهش با استفاده از رویکرد اکوستیک جایگاه واکه‌ها در افراد پارکینسون بررسی می‌شود.

روش بررسی

در پژوهش حاضر از افراد طبیعی برای مقایسه استفاده شد که از نظر سن و جنس با نمونه‌های پارکینسونی همسان بودند. آزمودنی‌ها شامل ۱۸ مرد مبتلا به پارکینسون و ۱۸ مرد سالم ۵۱ تا ۷۸ سال با میانگین سنی ۶۳/۲۷ سال و انحراف معیار ۸/۷۴ بودند که از نظر سن و جنس یک به یک همسان‌سازی شده بودند. نمونه‌ها از بین بیماران مبتلا به پارکینسون از بیمارستان حضرت رسول اکرم (ص) و همچنین مطب پزشک فوق تخصص نورولوژی انتخاب شدند. روش نمونه‌گیری در پژوهش از نوع آسان بوده است. معیارهای انتخاب ۱۸ بیمار مرد مبتلا به پارکینسون، تشخیص پزشک مبنی بر مبتلا بودن به بیماری پارکینسون، داشتن سواد و توانایی خواندن و نوشتن، فارسی‌زبان بودن، مبتلا نبودن به دمانس یا سایر مشکلات ذهنی با تشخیص پزشک، و دارا بودن سن ۵۰ سال به بالا بود. معیار ورود آزمودنی‌های طبیعی عدم سابقه ابتلا به بیماری‌های نورولوژیکی، داشتن سواد خواندن و نوشتن، و همسانی دقیق از نظر سنی با آزمودنی‌های مبتلا به پارکینسون بود. برای جمع‌آوری نمونه‌های صدا، از برنامه ضبط‌کننده صدا نصب شده بر رایانه قابل حمل استفاده شد. ضبط صدا در یک اتاق ساکت و به دور از صدا و به صورت انفرادی و با خواندن فهرستی از واژه‌ها انجام شد. درباره فهرست واژگان برای آزمودنی‌ها توضیح ارائه شد و از آنها خواسته شد که واژه‌های نوشته شده را با سرعت و بلندی صدای معمولی بخوانند. از ده واژه تک‌هجایی استفاده شد که پنج واژه دارای واکه‌های افراشته و پنج واژه دارای واکه‌های افتاده بودند. برای بررسی اکوستیکی واژه‌ها از

شمارش بخش‌های مجزایی از گفتار که شنونده آنها را درست شناسایی کرده است صورت می‌گیرد (۶).

عمده‌ترین مشکلات در کاربرد این روش‌ها نبود داده‌های مطمئن برای تفسیر و تصمیم‌گیری است. هر کدام از این روش‌ها در جایگاه خود می‌توانند مفید واقع شوند و تاریخچه‌ای طولانی و موفق در زمینه کاربردشان وجود دارد، اما فقدان تفسیر آسان باعث کاهش کاربرد بالینی آنها می‌شود (۷). در سال ۱۹۸۹، Kent رویکرد سازمان‌یافته‌ای را برای ارزیابی و شناسایی پایه‌های آوایی نقایص وضوح گفتار مطرح کرد. بر خلاف تحقیقات گذشته که به اثر همخوان‌ها در بررسی وضوح می‌پرداختند، در این رویکرد واکه‌ها و همخوان‌ها مد نظر قرار گرفتند. همزمان با بررسی پایه‌های آوایی، Kent برای بررسی سنجش وضوح گفتار از همبسته‌های اکوستیکی تقابل‌ها استفاده کرد. وی با مروری بر پژوهش‌های پیشین، همبسته‌های هر تقابل را در پروفایلش مشخص ساخت. این اولین بار در تاریخچه سنجش وضوح گفتار بود که از روش‌های اکوستیکی استفاده می‌شد (۶). پس از Kent (۱۹۸۹) Bunton و همکاران (۲۰۰۱) در تحقیقی با توجه به آسیب‌پذیری واکه‌های افراشته و افتاده در افراد مبتلا به دیزآرتی (پارکینسون، سکتة مغزی و اسکروز متعدد) به بررسی ادراکی و اکوستیکی این واکه‌ها پرداختند. آنها با بررسی متون گذشته اختلاف فرکانس پایه از سازه اول (F1-F0) و اختلاف سازه اول از سازه دوم (F2-F1) را به‌عنوان همبسته‌های اکوستیکی تولید واکه‌های افراشته و افتاده در نظر گرفتند. بررسی آنها نشان داد که این همبسته‌های اکوستیکی در گروه افراد مبتلا به پارکینسون، در مقایسه با افراد عادی، تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهد (۸). در پژوهشی دیگر Kent و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی ویژگی‌های اکوستیکی دیزآرتی افراد مبتلا به پارکینسون، آمیولترال اسکروز، افراد دچار آسیب مغزی و سکتة مغزی با آسیب نیمکره‌ای یک‌طرفه پرداختند و روش‌های اکوستیکی و ادراکی را برای سنجش به‌کار بردند که نتایج به‌دست آمده از پژوهش آنها در زیرگروه افراد مبتلا به پارکینسون با بررسی Bunton و همکاران در سال ۲۰۰۱ همسو بود (۹).

جدول ۱- مقایسه متغیرهای مورد بررسی در افراد عادی و مبتلا به پارکینسون

میانگین (انحراف معیار) اختلاف در گروه‌ها (هرتز)			
متغیرها	عادی	بیمار	p
اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افراشته	۲۲۰/۵۳ (۸۰/۰۹)	۵۲۲/۷۱ (۱۷۹/۴۶)	۰/۰۰۰
اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افتاده	۵۲۱/۸۴ (۶۵/۰۲)	۳۰۸/۵۶ (۹۶/۴۹)	۰/۰۰۰
اختلاف سازه اول از سازه دوم در واژه‌های افتاده	۷۷۳/۰۳ (۲۱۳/۲۵)	۱۶۲۷/۴۶ (۴۲۶/۸۰)	۰/۰۰۰
اختلاف سازه اول از سازه دوم در واژه‌های افراشته	۱۲۷۳/۱۷ (۲۲۹/۴۶)	۸۲۰/۷۲ (۴۶۶/۰۰)	۰/۰۱۹

نرم‌افزار praat 5.2.25 استفاده شد. در بررسی اکوستیکی هر واژه در هر فرد میانگین سازه‌های F_0 ، F_1 و F_2 اندازه‌گیری شد و با استفاده از این داده‌ها در هر فرد F_0-F_1 ، F_1-F_2 محاسبه شد. محاسبه و تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام شد. از آزمون t مستقل و آزمون من‌ویتنی برای مقایسه آماری دو گروه استفاده شد. برای مقایسه اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افتاده در افراد عادی و مبتلا به پارکینسون از آزمون t مستقل استفاده شد. به دلیل نبود توزیع طبیعی در بررسی اختلاف سازه اول از دوم در واژه‌های افتاده، اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افراشته، اختلاف سازه اول از سازه دوم در واژه‌های افراشته، از آزمون ناپارامتری من‌ویتنی برای مقایسه افراد عادی و افراد مبتلا به پارکینسون استفاده شد.

یافته‌ها

اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افراشته، اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افتاده، اختلاف سازه اول از سازه دوم در واژه‌های افتاده، اختلاف سازه اول از سازه دوم در واژه‌های افراشته در بیماران، در مقایسه با افراد عادی، کاهش معنی‌دار نشان داد ($p < 0.05$). جدول ۱ نشان‌دهنده این موارد است.

بحث

بنابر یافته‌های این پژوهش میانگین اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واژه‌های افتاده افراد مبتلا به پارکینسون در مقایسه با افراد عادی تفاوت معنی‌داری داشت ($p < 0.001$). این نتایج با دستاوردهای پژوهش Kent و همکاران (۲۰۰۳) و Bunton و همکاران (۲۰۰۱) روی بیماران پارکینسون همسو بود (۹ و ۸). با وجود این که واژه‌های افتاده F_1 بالا دارند (۹)، در افراد مبتلا به پارکینسون به دلیل کاهش دامنه حرکت زبان به علت ویژگی‌های هیپوکانتیک مرتبط با این بیماری میزان F_1 کاهش زیادی نسبت به افراد عادی نشان می‌دهد؛ به این معنی که در بیماران، برخاستگی زبان برای تولید که مرتبط با مقدار F_1 است، در مقایسه با افراد عادی، با توجه به خصوصیت بیماری کاهش نشان می‌دهد. در افراد مبتلا به پارکینسون میانگین F_0 افزایش که ممکن است ناشی از تأثیر تغییرات بیماری پارکینسون بر ساختار تارهای صوتی باشد و میانگین F_1 کاهش می‌یابد، در نتیجه اختلاف آنها با یکدیگر مقداری کوچک است. در این مقیاس اکوستیکی هر چه مقدار این تفاضل بیشتر باشد واژه افتاده‌تر و جایگاه آن از نظر اکوستیکی حفظ شده است. در افراد مبتلا به پارکینسون کاهش مقدار این تفاضل به صورت تفاوت معنی‌دار قابل مشاهده است و واژه خاصیت افتاده بودن خود را حفظ نکرده و این در کاهش وضوح گفتار مؤثر است (۷).

در پژوهش حاضر نیز همسو با پژوهش‌های Bunton و همکاران (۲۰۰۱) و Kent و همکاران در سال ۲۰۰۳ (۹ و ۸)،

نشان‌دهنده افزایش بودن واکه مورد بررسی بود و در افراد پارکینسون افزایش، نمایانگر عدم حفظ جایگاه واکه مورد بررسی است.

مقایسه افراد عادی و مبتلا به پارکینسون در بررسی اختلاف سازه اول از سازه دوم در واکه‌های افزایش یافته معنی‌دار نشان داد ($p < 0/05$). همان‌طور که پیشتر ذکر شد، بر خلاف انتظار که باید در واکه‌های افزایش یافته F1 پایین مشاهده شود، در افراد مبتلا به پارکینسون واکه‌های افزایش یافته F1 بالا نشان می‌دهند. این یافته با یافته‌های Kent و همکاران (۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) افزایش Bunton و همکاران (۲۰۰۱) همسو بود (۹،۴-۱۲ و ۱۲). افزایش میانگین F1 در افراد مبتلا به پارکینسون نسبت به افراد عادی تفاوت معنی‌دار داشت. بر طبق انتظار و به‌طور طبیعی واکه‌های افزایش یافته باید F2 بالایی نشان دهند که مرتبط با حرکت قدامی-خلفی زبان است. در افراد مبتلا به پارکینسون میانگین F2 در واکه‌های افزایش یافته کمتر از افراد عادی است، هرچند این تفاوت معنی‌دار نیست. به‌همین دلیل اختلاف این دو سازه در افراد مبتلا به پارکینسون کمتر از همین اختلاف در افراد عادی است. از آنجایی که این پژوهش در ایران پیشینه‌ای ندارد و حتی در متون انگلیسی نیز تحقیقات در این زمینه نسبتاً جدید است نمی‌توان نتایج را با پژوهش‌های دیگر مقایسه کرد. این پژوهش شروع راهی جدید در زمینه بررسی وضوح اکوستیکی بیماران در ایران بود و می‌تواند نقطه شروعی برای بررسی دیگر تقابل‌ها باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج، حاکی از اثر پارکینسون بر ویژگی‌های اکوستیک گفتار این افراد است و با استفاده از رویکرد اکوستیکی به‌طور دقیق می‌توان این تفاوت‌ها را سنجید و کاهش وضوح گفتار را اندازه‌گیری کرد؛ در واقع رویکرد اکوستیک در بررسی وضوح و حفظ جایگاه واکه‌های گفتار افراد مبتلا به پارکینسون روشی دقیق، سریع، آسان، مستند، عینی و تکرارپذیر است.

سپاسگزاری

یافته‌ها بیانگر معنی‌دار بودن میانگین اختلاف سازه اول از سازه دوم در واکه‌های افتاده در مقایسه بین افراد عادی و مبتلا به پارکینسون بود ($p < 0/001$). افراد مبتلا به پارکینسون همچنین تغییرپذیری زیاد و کاهش در F1 ناشی از تأثیر بیماری در واکه‌های افتاده نشان می‌دهند (۶). به دلیل آنکه در دیزآرتری پارکینسون حین تولید، جایگاه مورد نظر مورد اصابت اندام‌های گویایی قرار نمی‌گیرد، در این افراد کاهش در دامنه حرکات اندام‌های گویایی دیده می‌شود، و با اینکه به‌طور طبیعی انتظار می‌رود F2 واکه‌های افتاده کاهش نشان دهد، افزایش F2 دیده می‌شود و اختلاف این دو سازه در افراد عادی کمتر از افراد مبتلا به پارکینسون است. تفاضل این دو سازه با خلفی و قدامی بودن واکه در ارتباط است و هر چه این مقدار کمتر باشد واکه خلفی‌تر بوده و جایگاه خود را حفظ می‌کند. در افراد مبتلا به پارکینسون افزایش این مقدار نشان می‌دهد که جایگاه واکه از نظر قدامی و خلفی بودن حفظ نشده است و منجر به کاهش وضوح گفتار از دیدگاه اکوستیکی می‌شود. این دقت سنجش در مورد حفظ جایگاه‌ها از دیدگاه اکوستیکی قابل بررسی است.

در مقایسه میانگین‌ها اختلاف فرکانس پایه از سازه اول در واکه‌های افزایش یافته در افراد عادی و مبتلا به پارکینسون تفاوت معنی‌دار داشت ($p < 0/001$). Bunton و همکاران (۲۰۰۱) نیز همین نتیجه را از مطالعه خود گزارش کرده‌اند (۸). در واکه‌های افزایش یافته نیز همانند آنچه در واکه‌های افتاده دیده شد، به‌علت تأثیر بیماری، میانگین F0 نسبت به افراد عادی افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد. ولی بر خلاف انتظار که باید در واکه‌های افزایش یافته F1 پایین مشاهده شود، از آنجا که F1 با میزان بازشدگی دهان رابطه عکس دارد، این پدیده ممکن است به این دلیل باشد که در این بیماران، میزان بازشدگی دهان حین تولید واکه‌های افزایش یافته کاهش می‌یابد. این یافته در پژوهش حاضر با یافته‌های Kent و همکاران (۱۹۹۲، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) و Bunton و همکاران (۲۰۰۱) همسو بود (۹،۴-۱۲). به دلیل افزایش F0 و F1 در افراد مبتلا به پارکینسون، در مقایسه با افراد عادی، اختلاف این دو سازه در دو گروه دارای تفاوت معنی‌دار است. کاهش مقدار این متغیر

به پارکینسون که بدون همکاری آنها اجرای این پژوهش امکان‌پذیر نبود.

با تشکر از رئیس محترم بخش تخصصی مغز و اعصاب بیمارستان حضرت رسول جناب آقای دکتر مقدسیان برای همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش و بیماران محترم مبتلا

REFERENCES

- Schulz GM, Grant MK. Effects of speech therapy and pharmacologic and surgical treatments on voice and speech in Parkinson's disease: a review of the literature. *J Commun Disord.* 2000;33(1):59-88.
- Goberman AM, Elmer LW. Acoustic analysis of clear versus conversational speech in individuals with Parkinson disease. *J Commun Disord.* 2005;38(3):215-30.
- Ziegler W, Hoole P, Hartmann E, von Cramon D. Accelerated speech in dysarthria after acquired brain injury: acoustic correlates. *Br J Disord Commun.* 1988;23(3):215-28.
- Kent RD, Kent JF, Weismer G, Duffy JR. What dysarthrias can tell us about the neural control of speech. *J Phon.* 2000;28(3):273-302.
- Richter S, Schoch B, Ozimek A, Gorissen B, Hein-Kropp C, Kaiser O, et al. Incidence of dysarthria in children with cerebellar tumors: a prospective study. *Brain Lang.* 2005;92(2):153-67.
- Kent RD, Weismer G, Kent JF, Rosenbek JC. Toward phonetic intelligibility testing in dysarthria. *J Speech Hear Disord.* 1989;54(4):482-99.
- Kent RD. Intelligibility in speech disorders: theory, measurement and management. 1st ed. Philadelphia: John Benjamins Publishing Company; 1992.
- Bunton K, Weismer G. The relationship between perception and acoustics for a high-low vowel contrast produced by speakers with dysarthria. *J Speech Lang Hear Res.* 2001;44(6):1215-28.
- Kent RD, Vorperian HK, Kent JF, Duffy JR. Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program. *J Commun Disord.* 2003;36(4):281-306.
- Kent RD, Weismer G, Kent JF, Vorperian HK, Duffy JR. Acoustic studies of dysarthric speech: methods, progress, and potential. *J Commun Disord.* 1999;32(3):141-86.
- Miller N, Allcock L, Jones D, Noble E, Hildreth AJ, Burn DJ. Prevalence and pattern of perceived intelligibility changes in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2007;78(11):1188-90.
- Kent RD. Vocal tract acoustics. *J Voice.* 1993;7(2):97-117.