

## 연결발화에서 마비말화자의 음질 특성 Voice Quality of Dysarthric Speakers in Connected Speech

서인효<sup>1)</sup> · 성철재<sup>2)</sup>  
Seo, Inhyo · Seong, Cheoljae

### ABSTRACT

This study investigated the perceptual and cepstral/spectral characteristics of phonation and their relationships in dysarthria in connected speech. Twenty-two participants were divided into two groups; the eleven dysarthric speakers were paired with matching age and gender healthy control participants. A perceptual evaluation was performed by three speech pathologists using the GRBAS scale to measure the cepstral/spectral characteristics of phonation between the two groups' connected speech. Correlations showed dysarthric speakers scored significantly worse (with a higher rating) with severities in G (overall dysphonia grade), B (breathiness), and S (strain), while the smoothed prominence of the cepstral peak (CPPs) was significantly lower. The CPPs were significantly correlated with the perceptual ratings, including G, B, and S. The utility of CPPs is supported by its high relationship with perceptually rated dysphonia severity in dysarthric speakers. The receiver operating characteristic (ROC) analysis showed that the threshold of 5.08 dB for the CPPs achieved a good classification for dysarthria, with 63.6% sensitivity and the perfect specificity (100%). Those results indicate the CPPs reliably distinguished between healthy controls and dysarthric speakers. However, the CPP frequency (CPP F0) and low-high spectral ratio (L/H ratio) were not significantly different between the two groups.

**Keywords:** Dysarthria, Connected speech, Voice quality, Cepstrum, CPPs, L/H ratio

### 1. 서론

마비말장애는 신경 손상으로 인한 말산출관련 근육의 마비, 약화, 불협응 등의 말운동집행의 문제로 호흡계, 후두계, 상후두조음계와 같은 말산출하위체계 중 특정 하위체계에만 영향을 줄 수도 있지만 대부분의 경우 하위체계 전반에 걸쳐 영향을 미치며 하위체계 간에도 상호 영향을 끼친다(Kent & Weismer, 1999). 마비말화자들에게서 빈번하게 나타나는 후두계 조절의 문제는 음질, 음도와 같은 발성 뿐 만 아니라 말명료도, 말자연성에도 영향을 미치므로 이에 대한 객관적인 연

구가 필요하다(Darley et al., 1969; Duffy, 1995).

음질은 성도의 크기나 모양 등의 구조 및 신경학적 요인과 화자에 의해 학습된 근육조절과 같은 음성학적 요인의 상호작용에 의한 결과다(Laver, 1980; Coadou, 2006). 마비말화자는 신경학적 문제와 이에 대한 화자의 부적절한 보상발성으로 인해 비정상적인 음질을 사용한다. 음질을 포함한 여러 발성의 문제는 모든 마비말 유형에서 지각되는 가장 일반적인 비정상적 특성이며 조조성(roughness), 긴장성(strain), 기식성(breathiness), 애성(hoarseness), 비성(nasality) 등의 다양한 음질로 지각된다(Darley et al., 1969). 청지각적 평가는 마비말장애의 분류 및 특성을 설명하기 위한 가장 일반적인 방법임에도 불구하고 평가의 신뢰성과 타당성에 대한 의문이 있다. 이를 보완하기 위해 음향학적 연구의 필요성이 제기되어왔으나 이에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다(Kent et al., 2003; Wang et al., 2009). 경직형, 이완형, 실조형, 과운동형, 과소운동형, 혼합형, 편측상위운동신경원형 등의 마비말장애 분류는 임상과 연구에서 가장 널리 사용되어왔다. 그러나 마비말장애 분

1) 충남대학교, slpseo@hanmail.net, 제 1 저자

2) 충남대학교, cjseong49@gmail.com, 교신저자

이 연구는 2013 한국음성학회 봄 학술대회의 발표논문을 대폭 수정·보완한 것이다.

접수일자: 2013년 11월 4일

수정일자: 2013년 11월 22일

게재결정: 2013년 12월 12일

류는 마비말장애의 음질과 말명료도에 대한 음향학적 동질성이나 예측력이 낮았고 오히려 마비말장애의 중증도가 높은 동질성과 예측력을 보였다(Kent et al, 1999; Kim, Kent, & Weismer, 2010). 마비말장애는 동일 분류유형 내에서도 화자간 다양성이 높은 비동질적 집단이므로 마비말장애의 음향학적 특성에 대한 최근 연구동향은 마비말장애유형에 대한 고려 없이 중증도에 따라 이루어지고 있다.

마비말장애의 음질에 대한 대부분의 음향학적 연구는 모음의 안정적 구간을 정상화자와 비교분석했으며 유의한 차이를 발견하지 못했다(Kent et al., 1999). 모음의 안정적 구간은 음성산출에 있어서 호흡-발성계의 기능만을 안정적으로 반영할 수 있는 반면, 다른 말산출하위체계와의 긴밀한 상호작용에 의한 화자의 일반적 음성산출특성은 반영하지 못할 수 있다(Wang et al, 2009). 또한 연결발화과제에 비해 모음의 연장발성과제에서 음질의 비정상성이 경미하게 측정된다(Revis et al, 1999). MDVP와 같은 대부분의 음성분석프로그램은 모음연장발성의 분석에는 적절하나 연결발화의 분석에는 상당한 제약이 있다. 연결발화는 기본주파수와 성대진동양상의 가변성으로 인해 변동률 측정이 난해하므로 음성의 더 실제적인 특성을 반영하는 연결발화를 객관적으로 분석할 수 있는 음향학적 분석방법의 모색이 요구되어왔다(Kent et al., 2003).

연결발화의 음질에 대한 음향학적 선행연구는 대부분 정상화자와 후두관련음성질환자를 대상으로 조화음 대 소음 비율(HNR)과 캡스트럼 분석치인 CPP(cepstral peak prominence)와 CPPs(smoothed CPP), 장구간 평균스펙트럼(LTAS; long-term average spectrum)이나 DFT(discrete Fourier transformation) 스펙트럼의 기울기, 저/고주파수 비율(L/H ratio)을 분석했다. 연결발화의 음향학적 분석치들 중 HNR은 기본주파수( $F_0$ ; fundamental frequency)가 정확히 측정되어야만 구할 수 있으므로 음성문제가 심각한 경우 발성의 불규칙성으로 인해  $F_0$ 를 구하기 어려우므로 측정이 불가하다. 이에 반해 캡스트럼 분석치인 CPP와 CPPs는 전체 신호음 중 소음으로부터 구분되는 조화음의 정도에 대한 측정치이며,  $F_0$ 의 정확한 측정을 요하지 않으므로 음성문제가 심각한 경우나 문장에서의 음질 분석도 가능하다(Moers et al., 2012). 연결발화의 CPPs는 정상음성과 음성장애의 판별을 위한 분석치로 유용할 뿐 아니라 후두관련음성질환자의 청지각적 중증도 측정치와 가장 높은 상관관계를 보이는 음향학적 분석치인 것으로 보고되었다(Heman-Ackah, et al., 2002; Awan & Roy, 2005; ; Haderlein et al., 2012; Lowell, et al., 2011; Moers et al, 2012). CPPs  $F_0$ 는 CPPs의 주파수로 신호음에서 가장 강력한 조화음 에너지를 가지며 일반적으로 기본주파수를 반영한다. 긴장성은 후두와 상후두의 긴장에 의해 기본주파수를 높이고, 기식성은 성대의 부전내전으로 인해 기본주파수를 낮추는 경향이 있다(Laver,

1980). 이와 같이 CPPs  $F_0$ 는 발성유형의 영향을 반영할 수 있다.

스펙트럼의 에너지분포는 음질에 대한 정보를 제공하며, 기식성은 고주파영역 에너지가 낮고, 긴장성은 고주파영역 에너지가 높다(Nordstrom, 2008; Gobl & Ni Chasaide, 2010; Watts & Awan, 2011). 대부분의 선행연구는 LTAS로 스펙트럼을 만들고 스펙트럼 기울기, 스펙트럼 에너지의 저/고 주파수 스펙트럴 에너지 비율 (L/H ratio; ratio of low to high-frequency spectral energies) 등을 산출했고 이러한 측정치들이 정상인이나 후두관련음성질환자의 기식성 감별과 전반적 음질문제의 심한정도, 치료 전후 음성 변화 측정에 유용하며 모음보다는 연결발화에서 더 뛰어난 결과를 보였다(Hillenbrand & Houde, 1996; Mendoza et al., 1996; Leino, T, 2009). 그러나 조작성과는 관련성이 낮은 것으로 확인되었다(Eadie & Baylor, 2006). 스펙트럼 생성에 있어서 LTAS는 정상인의 FFT 구간이 주파수축 bin 크기에 따른 bin 구간 평균값으로 변경되므로 위신호를 분석하게 될 가능성이 있다. 따라서 보다 실제적인 음성특성을 반영하는 DFT 스펙트럼을 분석할 필요가 있다. 최근 DFT 스펙트럼에서 L/H ratio를 구하여 정상음질과 특정 음질장애를 비교한 연구가 보고되었다. L/H ratio는 고주파수 에너지에 대한 저주파수 에너지 비율로 스펙트럼 기울기와 유사한 정보를 얻을 수 있다(Lowell et al., 2012). 따라서 여러 연구에서 스펙트럼 에너지분포 측정을 위해 한 개의 변수만을 분석할 때 L/H ratio를 사용했다. 편측성 대마비나 성대구중, 파킨슨병과 같은 성문의 저기능성 원인으로 인한 기식성, 조작성, 애성의 L/H ratio가 정상에 비해 유의하게 낮았다(Watts & Awan, 2011). 근긴장성발성장애나 편측성대마비 등과 같은 다양한 기능적 및 기질적 원인으로 인한 긴장성은 정상과 유의한 차이가 없었다(Lowell, et al., 2012).

앞에서 살펴보았듯이 연결발화의 캡스트럼과 스펙트럼 측정치는 정상음성과 후두관련음성장애의 판별에 유용하다. 또한 이러한 음향학적 측정치들은 후두관련음성장애의 청지각적 중증도 측정치들과 상관관계가 입증되었다. 그러나 이러한 음향학적 측정치들을 신경손상으로 인한 마비말장애의 연결발화 음질 분석에서도 유용하게 적용할 수 있는지에 대해서는 아직 보고된 바가 없다.

본 연구는 마비말장애의 청지각적 음질특성을 GRBAS의 각 측정치로 정상화자와 비교했다. 마비말장애 음성에 대한 음향학적 특성이 정상화자와 차이를 보이는지를 알아보기 위해 CPPs와 DFT 스펙트럼의 L/H ratio를 비교했다. 또한 청지각적 측정치와 음향학적 측정치 간의 관계를 알아보기 위해 상관분석을 실시했다. 청지각적 측정치와 음향학적 측정치가 마비말장애의 음질문제에 대한 감별진단적 가능성이 있는지 평가하기 위해 각 측정치들에 대한 ROC분석을 실시했다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상

연구대상자는 단국대학교병원에서 마비말장애를 가진 것으로 진단받은 11명(M:F=7:4)과 성별과 연령을 고려하여 짝지은 비교집단으로 구성된 건강한 일반화자(이하 정상화자) 11명(M:F=7:4)이었다. 마비말화자의 평균연령은 48.27세, 정상화자의 평균연령은 45.00세였다. 두 집단 간 연령을 Mann-Whitney U검정으로 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. <표 1>은 연구에 참여한 마비말화자 정보다.

표 1. 마비말화자 정보  
Table 1. Dysarthric speakers' information

성별	연령	병인	마비말유형	중증도
F	22	뇌성마비	과운동형	G2
M	52	뇌졸중	과운동형	G2
F	65	뇌졸중	혼합형	G2
M	66	근위축성측삭경화증	혼합형	G1
F	16	자가면역성 뇌염	경직형	G3
M	30	외상성 뇌손상	경직형	G1
M	45	뇌성마비	경직형	G1
M	58	뇌졸중	경직형	G3
M	34	외상성 뇌손상	경직형	G2
M	58	뇌졸중	UUMN형 <sup>a</sup>	G1
F	85	뇌졸중	UUMN형	G1

<sup>a</sup> UUMN = Unilateral Upper Motor Neuron

정상화자는 최근 3개월 이상 음성문제가 없었고 후두내시경소견 상 후두의 구조적 이상이나 후두수술, 신경학적 병력이 없는 자로서 현재 자신의 음성이 정상이라고 판단하는 자 중에서 선별했다. 이들 중 대학병원에서 음성장애의 진단과 치료의 경험이 10년 이상인 언어치료사의 평가결과 GRBAS에서 G가 1이하인 사람만을 연구대상에 포함시켰다. <표 2>는 연구에 참여한 정상화자 정보다.

표 2. 정상화자 정보  
Table 2. Normal speakers' information

ID	성별	연령	중증도
C1	F	29	G1
C2	M	54	G0
C3	F	60	G0
C4	M	55	G1
C5	F	16	G1
C6	M	30	G0
C7	M	46	G1
C8	M	48	G1
C9	M	39	G0
C10	M	40	G0
C11	F	78	G0

2.2 말샘플 수집 및 분석방법

말샘플 수집을 위한 문장자료는 비록 아동을 대상으로 한 결과이기는 하나 7어절 이상의 문장은 읽기 오류가 많아진다 는 연구보고에 근거하여 6어절로 구성된 “아기 오리가 연못에서 헤엄을 치고 있습니다.”를 사용했다(정금수 & 성철재, 2008). 음성샘플수집은 단국대학교병원 음성언어치료실에서 이루어졌다. 샘플 수집 전, 문장을 3번 눈으로 읽게 하여 대상자가 읽기자료에 대해 친숙하게 했다. 화자의 입에서 3Cm정도 떨어진 곳에 Shure SM48 다이내믹 마이크를 두었다. 화자에게 문장을 소리내어 읽게 하고, CSL(KayPENTAX)로 표본추출률 44,100Hz, 16bit 양자화하여 녹음했다.

2.3 자료분석

음질특성을 비교분석하기 위해 청지각적 평가와 음향학적 분석을 했다. <표 3>은 분석에 사용된 측정치들을 정리한 것이다. 음향학적 분석에서 발화 전후 묵음구간의 포함 정도가 분석결과치에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 정확한 발화구간만의 비교를 위해 녹음된 음성자료를 Praat(version 5.2.21, Netherlands)으로 200ms 이상의 쉽 구간을 자동으로 자르고 수동으로 조정하여 문장의 시작과 끝의 앞 뒤 쉽구간을 제거하고 분석했다.

2.3.1 청지각적 평가

청지각적 평가는 언어병리학 전공자로서 임상경력이 7년 이상인 언어치료사 3명이 GRBAS척도로 평가했다. 각 척도에 대한 평가자 내 신뢰도는 Spearman's  $\rho$ 가 0.827에서 0.971로 모두 신뢰할 만 한 수준이었다. 세 명의 평가자 간 신뢰도는 각 척도에 대해 ICC(intraclass correlation coefficients)로 측정했다. 단일척도에 대한 ICC는 0.725에서 0.923까지 모든 척도에서 평가자 간 신뢰도가 높았다.

표 3. 측정치와 약어 목록  
Table 3. List of the measures and their abbreviation

음질분석	설명	측정치	
청지각적	GRBAS	전반적 음질 척도(0~3)	G
		조조성 척도(0~3)	R
		기식성 척도(0~3)	B
		무력성 척도(0~3)	A
		긴장성 척도(0~3)	S
음향학적	캡스트럼	평균 발화기본주파수	CPP F <sub>0</sub>
		문장평균CPPs	CPPs
	DFT 스펙트럼	4kHz 이상과 이하의 에너지 비율	L/H ratio

표 4 마비말화자와 정상화자 집단의 GRBAS와 CPPs, CPP F<sub>0</sub>, L/H ratio의 평균과 표준편차  
Table 4. Dysarthric and Normal Speaker Groups' Means and SDs for GRBAS, CPPs, CPP F<sub>0</sub>, and L/H ratio

	마비말화자		정상화자		p
	평균	표준편차	평균	표준편차	
G	1.73	.786	.45	.522	<.001 <sup>a†††</sup>
R	.45	.688	.18	.405	.438 <sup>a</sup>
B	1.09	.944	.27	.467	.019 <sup>a†</sup>
A	.36	.505	0	0	.151 <sup>a</sup>
S	1.27	.786	0	0	<.001 <sup>a†††</sup>
CPPs	4.58	1.59	6.34	.47	.004 <sup>**</sup>
CPP F <sub>0</sub>	175	37	177	32	.889
L/H ratio	-.854	1.982	.840	4.00	.222

Independent-t test, \*\*p < .01; <sup>a</sup>Mann-Whitney test, <sup>†††</sup>p < .001 <sup>†</sup>p < .05

2.3.2 음향학적 분석

음향학적 분석은 캡스트럼을 이용하여 CPPs와 CPP F<sub>0</sub>를 분석했고 DFT 스펙트럼을 이용하여 L/H ratio를 분석했다. "cpps.exe"를 Hillenbrand의 홈페이지에서 다운받아서 시행하여 CPPs와 CPP F<sub>0</sub>를 구했다. CPPs는 캡스트럼의 평균 에너지 수준과 cepstral peak 간의 차이이며, CPP F<sub>0</sub>는 CPPs의 주파수다. <그림 1>은 SpeechTool 1.65로 분석한 정상화자와 마비말화자의 smoothed 캡스트럼 그래프다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 음질이 좋은 음성(정상화자 음성)은 음질이 나쁜 음성(마비말화자 음성)보다 cepstral peak가 높다.

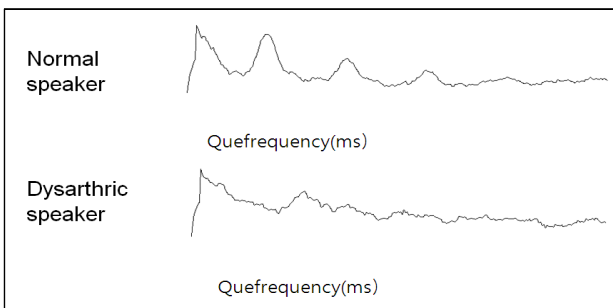


그림 1. 집단 간 smoothed 캡스트럼 비교  
Figure 1. A smoothed cepstrum comparing normal and dysarthric speaker

스펙트럼 분석은 Praat 5.2.25를 사용하여 25,000Hz로 리샘플링한 음성의 DFT 스펙트럼을 생성하여 L/H ratio(4kHz이상과 이하의 에너지비율)를 구했다. <그림 2>는 남성 음성의 DFT 스펙트럼이며 4,000Hz를 cutoff 주파수로 하여 구분한 그림이다.

2.4 결과처리 및 통계분석

<표 4>는 집단 간 비교분석에 사용된 청지각적 평가와 음향학적 분석 변수에 대한 평균과 표준편차, 집단 간 비교 유의수준이다. GRBAS 각 지표에 대한 집단 간 비교는 정규성이 위배되어 Mann-Whitney U 검정을 실시했다. 음향학적 측정치의 집단 간 비교를 위해 정규성검정을 실시한 결과 모든 음향학적 측정치(CPP F<sub>0</sub>, CPPs, L/H ratio)에서 정규성이 확인되어 독립표본 t-검정을 했다. 또한 청지각적, 음향학적 측정치 간의 관계를 알아보기 위해 Spearman's ρ 상관분석을 시행했다(SPSS Ver. 17.0).

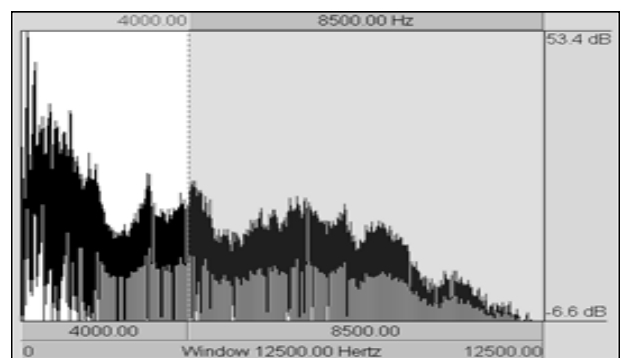


그림 2. DFT 스펙트럼(남성)  
Figure 2. DFT spectrum(male voice)

청지각적 측정치와 음향학적 측정치가 마비말화자의 음질 문제에 대한 감별진단적 가능성이 있는지 평가하기 위해 각 측정치들에 대한 ROC (receiver operating characteristics) 분석을 했다. Youden index를 구하고 진단변수의 유효성 평가와 각 변수에 대한 최적역치(구분점; cutoff point)를 확인했다.

3. 연구 결과

3.1 청지각적 특성

마비말화자의 전반적 음질장애 심한정도(G척도)는 평균 1.73이었고 1(경증)에서 3(최중증)까지 다양했다. 조조성(R척도)과 기식성(B척도), 긴장성(S척도)은 0(정상)에서 2(중증)까지 다양했으나 무력성(A척도)은 4명만이 1(경증)이고 나머지는 모두 0(정상)이었다. 마비말화자에서는 긴장성이 가장 빈번하게 나타났고(11명 중 9명), 다음으로 기식성(11명 중 7명), 조조성과 무력성(각각 11명 중 4명)순으로 나타났다. 긴장성을 가진 환자의 88.9%(9명 중 8명)가 기식성이나 조조성을 수반했다. 정상화자의 G척도는 .45였으며 모든 대상자가 모든 척도에서 1 이하였다. 11명 중 5명이 R척도나 B척도에서 1이었으며, 나머지 모든 대상자는 모든 척도에서 0이었다. <그림 3>은 GRBAS의 각 척도를 두 집단 간 비교한 것이다.

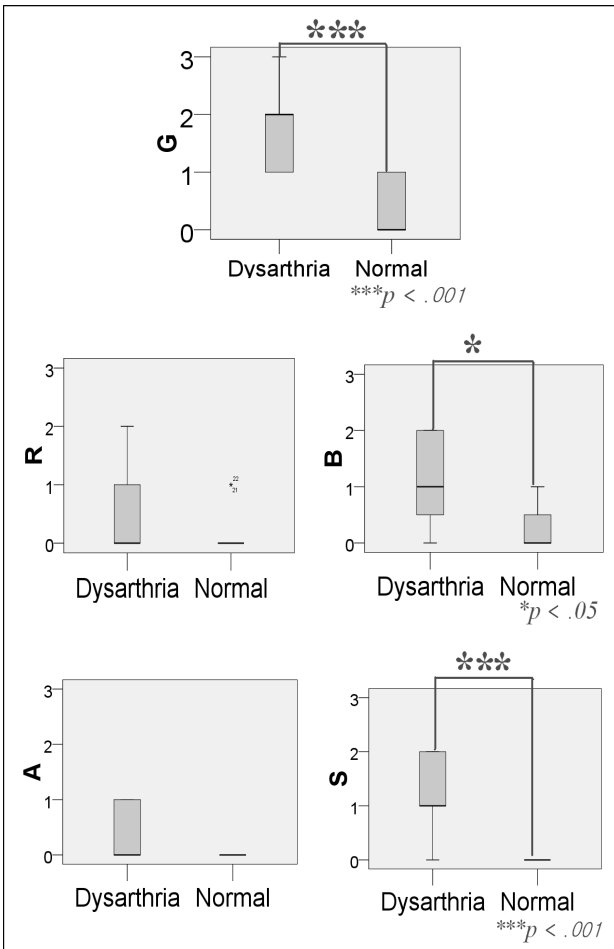


그림 3. GRBAS에 대한 집단 간 비교  
Figure 3. The intergroup comparison for GRBAS

Mann-Whitney 검정결과 마비말화자의 G척도, B척도, S척도가 정상화자에 비해 높았다[G척도 U(20) = 12.50, Z = -3.358,

R척도 U(20) = 48.5, Z = -1.013, p = .311; B척도 U(20) = 25.50, Z = -2.501, p < .05; A척도 U(20) = 38.5, Z = -2.16, p = .151; S척도 U(20) = 11.00, Z = -3.686, p < .001].

3.2 음향학적 특성

캡스트럼 분석치 중 CPPs로 음질을, CPP F<sub>0</sub>로 음도를 두 집단 간 비교했다. <그림 4>는 CPPs를 두 집단 간 비교한 결과다.

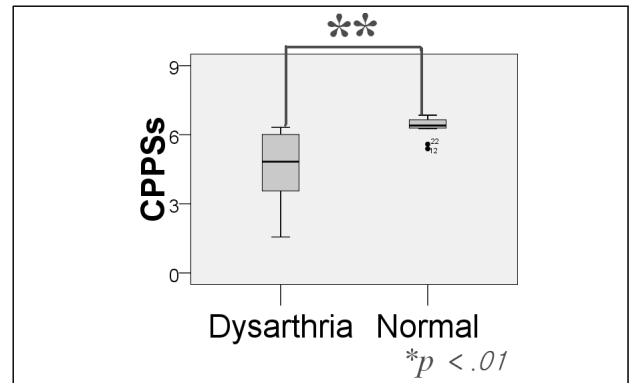


그림 4. CPPs에 대한 집단 간 비교  
Figure 4. The intergroup comparison for CPPs

독립표본 t-검정 결과 CPPs는 마비말화자가 정상화자에 비해 유의하게 높았다(p < .01). <그림 5>는 CPP F<sub>0</sub>를 두 집단 간 비교하여 보여준다.

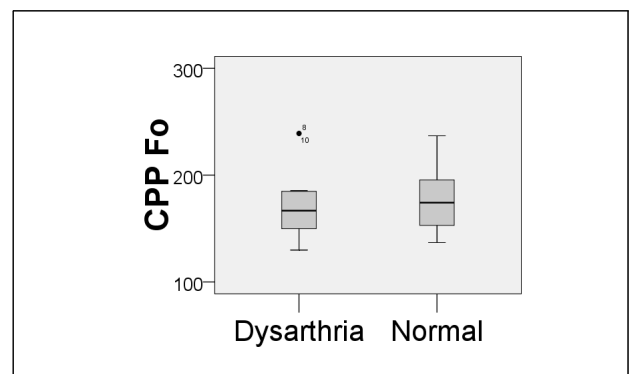


그림 5. CPP F<sub>0</sub>에 대한 집단 간 비교  
Figure 5. The intergroup comparison for CPP F<sub>0</sub>

독립표본 t-검정 결과 CPP F<sub>0</sub>는 유의확률이 .889로 p < .0수준에서 두 집단 간 유의한 차이가 없었다.

<그림 6>은 4,000Hz를 기준으로 고저 주파수의 비율을 비교하기 위해 DFT 스펙트럼의 L/H ratio를 두 집단 간 비교한 것이다.

표 5. 마비말화자 집단의 GRBAS와 CPPs, CPP F<sub>0</sub>, L/H ratio 간 상관관계  
Table 5. Correlation of GRBAS, CPPs, CPP F<sub>0</sub>, and L/H ratio in Dysarthric Speaker Group

Spearman's $\rho$	B	S	CPPs	CPP F <sub>0</sub>	L/H ratio
G	.709*	.833**	-.853***	.412	.486
B		.961***	-.847**	.817**	.117
S			-.897***	.765**	.118
CPPs				-.573	-.264
CPP F <sub>0</sub>					-.055

\*\*\*  $p < .001$ , \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$

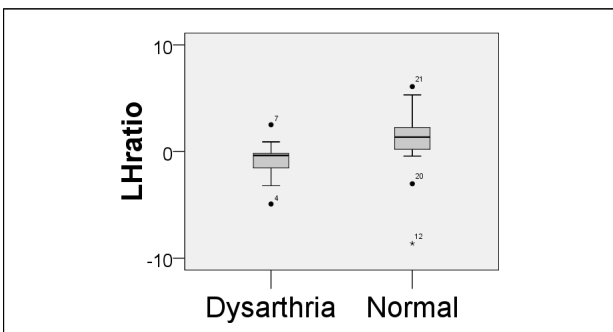


그림 6. L/H ratio에 대한 집단 간 비교  
Figure 6. The intergroup comparison for L/H ratio

독립표본 t-검정 결과 L/H ratio는 유의한 차이가 없었다( $p = .222$ ).

### 3.3 청지각적 및 음향학적 측정치 간 상관관계

마비말화자의 청지각적 측정치와 음향학적 측정치의 상관관계를 Spearman's  $\rho$  상관계수를 구하여 알아보았다. <표 5>는 청지각적 측정치와 음향학적 측정치의 상관분석 결과이다. 음향학적 측정치들 간에는 유의한 상관관계가 없었다(CPPs, CPP F<sub>0</sub>, L/H ratio). 청지각적 측정치들 간에는 높거나 매우 높은 정적 상관관계가 있었다(G-B,  $\rho = .709$ ,  $p < .05$ ; G-S,  $\rho = .833$ ,  $p < .01$ ; B-S;  $\rho = .961$ ,  $p < .001$ ). 음향학적 측정치 중 켈 스트럼의 측정치인 CPPs는 청지각적 측정치와 매우 높은 부적 상관관계가 있었다(G척도,  $\rho = -.853$ ,  $p < .001$ ; B척도,  $\rho = -.847$ ,  $p < .01$ ; S척도;  $\rho = -.897$ ,  $p < .001$ ). CPP F<sub>0</sub>는 청지각적 측정치 중 G척도와는 유의한 관계가 없었으나 B척도, S척도와는 높거나 매우 높은 상관관계가 있었다(G척도,  $\rho = .412$ ,  $p = .208$ ; B척도,  $\rho = .817$ ,  $p < .01$ ; S척도;  $\rho = .765$ ,  $p < .01$ ). L/H ratio는 어떠한 청지각적 측정치와도 유의한 상관관계가 없었다.

### 3.4 ROC 분석

#### 3.4.1 청지각적 측정치

청지각적 음질 측정치 중 정상음질로부터 마비말음질의 특성을 감별할 수 있는 것이 있는지를 확인하기 위해 ROC분석을 실시했고 그 결과는 <표 6>과 <그림 7>에 제시했다.

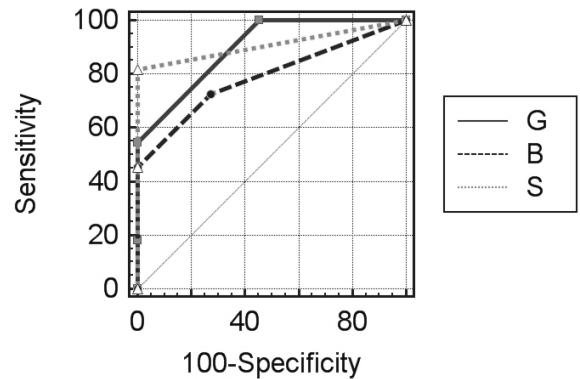


그림 7. 청지각적 측정치들의 ROC 커브  
Figure 7. The ROC curve of perceptual measures

ROC 커브 아래의 면적(AUC 값)이 G척도는 .897, B척도는 .789, S척도는 .909였다. S척도가 마비말화자의 청지각적 음질 특성 중 가장 변별적 특성이 높았다. ROC 커브에 따르면 최적 역치값은  $>0$ 이었으며, 민감도 .818, 특이도 1.000으로 정상음질로부터 마비말음질을 감별할 수 있는 역치로 사용할 수 있음을 확인했다. S척도의 Youden index는 .818로 3개의 청지각적 측정치 중 가장 높았다.

#### 3.4.2 음향학적 측정치

음향학적 음질 측정치 중 정상음질로부터 마비말음질의 특성을 감별할 수 있는 것이 있는지를 확인하기 위해 ROC분석을 실시했고 그 결과는 <표 6>과 <그림 8>에 제시했다.

표 6. 청지각적 측정치와 음향학적 측정치의 ROC 분석  
Table 6. ROC analysis of auditory-perceptual and acoustic measures

변수	AUC†	Std. Error	Asymptotic P	Asymptotic 95% CI	
				Lower Bound	Upper Bound
G	.897	.065	.002	.000	1.000
B	.789	.101	.022	.592	.986
S	.909	.072	.001	.000	1.000
CPPs	.913	.059	.001	.000	1.000
CPP F <sub>0</sub>	.529	.128	.818	.278	.780
L/H ratio	.727	.118	.071	.497	.958

† ROC 곡선 아래 면적(Area under the ROC curve)

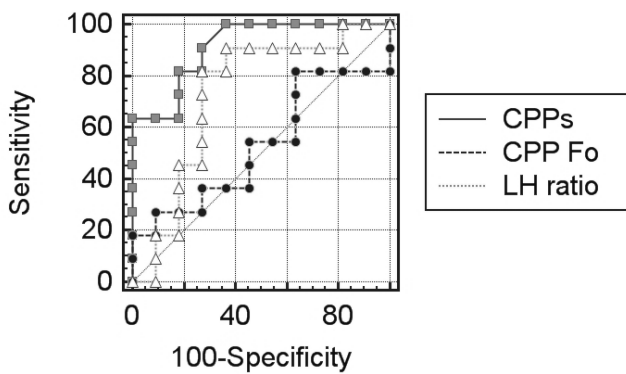


그림 8. 음향학적 측정치들의 ROC 커브  
Figure 8. The ROC curve of acoustic measures

ROC 커브 아래의 면적(AUC 값)이 CPPs는 .913, CPP F<sub>0</sub>는 .529, L/H ratio는 .727이었다. CPPs가 마비말화자의 음향학적 음질 진단에 있어서 가장 유용한 변수였다. ROC 커브에 따르면 최적 역치값은 ≤ 5.08이었으며, 민감도 .636, 특이도 1.000으로 정상음질로부터 마비말음질을 감별할 수 있는 역치로 사용할 수 있음을 확인했다. CPPs의 Youden index는 .636으로 3개의 음향학적 측정치 중 가장 높았다.

#### 4. 논의 및 결론

본 연구에서 저자들은 마비말화자와 정상화자의 음성을 비교하여 마비말화자 음질의 청지각적 특성과 음향학적 특성을 살펴보았다. 또한 청지각적 측정치와 음향학적 측정치 간의 관계를 분석하여 마비말화자에서 음질의 객관적인 평가를 위한 음향학적 측정치를 확인했다.

연결발화에서 마비말화자의 전반적 음질은 정상화자보다 나빴으며, 대부분의 마비말화자가 긴장성과 기식성을 가졌다. 특히 긴장성은 마비말음질에 대한 매우 높은 예측력(AUC = .909)을 보였다. 전체 11명의 마비말화자 중 9명이 긴장성을 가졌으며 그 중 8명(88.9%)이 기식성이나 조조성을 동시에 가졌다. 이러한 특성은 긴장성 음질을 사용하는 화자의 대부분

이 기식성이나 조조성과 같은 다른 음질문제와 임상적으로 함께 나타난다는 Lowell(2012)의 주장과 일치한다. 특히 본 연구에 참여한 마비말화자의 긴장성과 기식성은 Spearman's  $\rho$  상관관계수가 .961로 매우 높은 상관관계를 보였다. 일반적인 음질에 대한 연구는 주로 하나의 음성에 하나의 음질 특성이 두드러지는 음성을 대상으로 다양한 음질을 비교한다. 즉, 기식성은 기식성이 두드러지고, 긴장성은 긴장성이 두드러지는 음성을 비교분석한다. 그러나 마비말화자의 음질은 본 연구에서 분석된 음성들과 같이 기식성과 긴장성이 매우 높은 상관성을 갖고 하나의 음성에서 나타난다. 마비말화자의 이러한 음질특성은 정상화자의 다양한 음질과는 확연한 차이를 보이는 이질적 특성이다. 긴장성은 발성관련 음성노력(vocal effort)으로 성문에서의 음원생성과 성문상부의 여과과정 모두에서의 근긴장도에 의해 발생할 수 있다(서인호 등, 2012; Nordstrom, 2008; Gobl & Ni Chasaide, 2010). 마비말화자의 음성은 신경학적 문제뿐만 아니라 화자의 부적절한 보상발성의 영향을 받는다. 따라서 긴장성은 상위운동신경원의 손상으로 인한 경직형이나 UUMN형 마비말장애에서 주로 나타날 뿐 만 아니라 말초신경손상으로 인한 편측성대마비에서와 같이 다양한 유형의 마비말장애에서 성대부전내전에 대한 보상적 발성으로 나타나게 된다(Wang, et al., 2009; Lowell et al., 2012). 본 연구의 결과는 이러한 선행연구보고를 반영한다.

마비말화자와 정상화자의 음질에 대한 음향학적 비교 분석 결과 캡스트럼 측정치 중의 하나인 CPPs가 집단 간 유의한 차이가 있었으며 전반적 음질장애 심한정도, 기식성, 긴장성과 높은 상관관계를 보였다. 특히 CPPs는 마비말음질에 대한 매우 높은 예측력(AUC = .913)을 보였다. 연결발화의 CPPs가 정상음성과 비신경학적 후두관련음성장애의 판별을 위한 분석치로 유용할 뿐 아니라, 전반적 음질장애 심한정도, 기식성, 긴장성과 높은 상관관계를 보이는 음향학적 분석치인 것으로 여러 연구자들에 의해 보고되었는데, 본 연구의 결과는 CPPs가 신경손상으로 인한 마비말화자의 음질의 객관적인 평가측정치로도 유용함을 보여준다.

Lowell et al.(2012)의 연구에서는 긴장성이 정상음성보다 CPPs  $F_0$ 가 높았는데 그들은 긴장성이 다른 음질특성보다 두드러진 화자를 대상으로 정상화자와 비교했다. 본 연구 결과에서는 마비말화자와 정상화자 간의 CPPs  $F_0$ 가 유의한 차이가 없었다. Lowell et al.(2012)의 연구와 상반된 결과를 보인 이유는 대상자의 음질특성 차이 때문인 것으로 보인다. 비록 본 연구에 참여한 마비말화자가 다른 청지각적 음질문제에 비해 긴장성의 빈도가 높았을지라도 다른 청지각적 음질문제보다 심한 정도가 높은 경우는 단 1사례 밖에 없었으므로 Lowell et al.(2012)의 연구 대상자들 보다 기식성의 영향을 더 많이 받았기 때문인 것으로 해석된다. 마비말화자에서 기식성과 긴장성은 매우 높은 정적 상관관계가 있기 때문에 음도에 기식성과 긴장성이 동시에 영향을 주므로 정상화자와 CPP  $F_0$ 가 유의한 차이가 없었던 것으로 해석된다. CPP  $F_0$ 가 전반적 음질장애 심한 정도와는 무관하나 기식성, 긴장성과는 높은 상관관계가 있었다. 즉 기식성이나 긴장성이 높을수록 CPP  $F_0$ 도 높았다. 그러나 CPP  $F_0$ 를 성별, 연령에 따라 짝을 지어 집단 간 비교하는 것과는 달리 집단 내에서 음질특성과 관련하여 비교할 때는 성별, 연령의 영향이 크므로 이러한 상관관계를 일반화할 수는 없다. 따라서 추후 성별과 연령을 고려한 대집단에서 CPP  $F_0$ 와 청지각적 음질특성의 상관관계를 알아보는 것이 필요할 것으로 보인다.

스펙트럼의 저/고 주파수 에너지분포를 통한 음질(엄밀히 말하자면 발성유형) 비교측정치인 L/H ratio는 마비말화자와 정상화자 간에 유의한 차이가 없었다. 또한 청지각적 음질척도인 GRBAS, 켈스트럼측정치인 CPPs, CPP  $F_0$ 와도 유의한 상관관계가 없었다. 정상화자의 음질 비교나 음성합성 연구에서 기식성은 고주파영역 에너지가 낮고, 긴장성은 고주파영역 에너지가 높은 것으로 알려져 있다(Gobl & Ni Chasaide, 2010; Nordstrom, 2008). 그러나 마비말화자의 대부분은 기식성과 긴장성이 동시에 영향을 주므로 L/H ratio가 정상화자와 유의한 차이가 없었던 것으로 해석된다.

앞에서 살펴본 바를 종합적으로 요약하자면 다음과 같다.

첫째, 마비말화자의 대부분은 긴장성과 기식성이 섞인 음성을 사용한다.

둘째, 전체 신호음에서 조화음의 정도에 대한 측정치인 CPPs는 비신경학적 후두관련음성질환자의 음성뿐만 아니라 긴장성과 기식성이 섞인 음성을 주로 사용하는 마비말화자의 음질평가에서도 매우 유용하다.

셋째, 스펙트럼 에너지의 저/고 주파수 에너지 비율에 대한 측정치인 L/H ratio는 긴장성과 기식성이 섞인 음성을 주로 사용하는 마비말화자의 음질평가에는 유용성이 떨어진다. 따라서 마비말화자의 이질적인 음질특성을 반영할 수 있는 다른 스펙트럼 분석치에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 음질

에 영향을 주는 근육운동조절은 후두조절, 상후두조절, 전체적 근긴장도 조절이다(Hirose, 2010). 음원-여과이론에 따라 음질을 살펴보면 흔히 기식성으로 불리는 가청 마찰성(audible friction)은 성문의 부전폐쇄로 인해 음원에 그 특성이 반영된다. 긴장성은 성문이나 성문상부에서 과도한 근긴장으로 인해 음원이나 여과기에 그 특성이 반영된다. 따라서 추후 음원-스펙트럼과 여과기-스펙트럼에 대한 후속연구가 이루어질 것을 제언한다.

## 참고문헌

- Awan, S. N., & Roy, N. (2005). Acoustic prediction of voice type in women with functional dysphonia. *J Voice*, 19(2), 268-282.
- Coadou, M. (2006). Voice quality and variation: a pilot study of the Liverpool accent. *Speech Prosody*, 2006, paper 123.
- Darley, F. L., Aronson, A. E., & Brown, J. R. (1969). Differential diagnostic patterns of dysarthria. *J Speech Hear Res*, 12(2), 246-269.
- Duffy, J. R. (1995). *Motor speech disorders: substrates, differential diagnosis, and management (1st ed.)*. St. Louis: Mosby.
- Eadie, T. L., & Baylor, C. R. (2006). The effect of perceptual training on inexperienced listeners' judgments of dysphonic voice. *J Voice*, 20(4), 527-544.
- Gobl, C., & Ni Chasaide, A. (2010). Voice source variation and its communicative functions. In Hardcastle W. J., Laver J., & Gibbon, F. E. (Eds.), *The handbook of phonetic sciences (2nd ed.)*. (pp. 379-423). Chichester, West Sussex, U.K. Malden, Ma.: Wiley-Blackwell.
- Haderlein, T., Moers, C., Möbius, B., & Nöth, E. (2012). Automatic rating of hoarseness by text-based cepstral and prosodic evaluation. *Proceedings of the 15th International Conference on Text, Speech and Dialogue (TSD 2012)*, 573-580.
- Heman-Ackah, Y. D., Michael, D. D., & Goding, G. S., Jr. (2002). The relationship between cepstral peak prominence and selected parameters of dysphonia. *J Voice*, 16(1), 20-27.
- Hillenbrand J. (1996). cpps.exe [computer program]. Retrieved from <http://homepages.wmich.edu/~hillenbr/> on October 13, 2013.
- Hillenbrand, J., & Houde, R. A. (1996). Acoustic correlates of breathy vocal quality: dysphonic voices and continuous speech. *J Speech Hear Res*, 39(2), 311-321.
- Hirose, H. (2010). Investigating the Physiology of Laryngeal Structures. In Hardcastle W. J., Laver J., & Gibbon, F. E.



- (Eds.), *The handbook of phonetic sciences (2nd ed.)*. (pp. 130-152). Chichester, West Sussex, U.K. Malden, Ma.: Wiley-Blackwell.
- Jung, K., & Seong, C. (2008). A comparative study on the characteristics of the prosodic phrases between autism spectrum disorder and normal children in the reading of Korean read sentences. *Malsori*, 65, 51-65.  
(정금수 & 성철재 (2008). 자폐 범주성 장애아동과 정상아동의 평서문 읽기에서의 운율구 특성 비교. *말소리*, 65, 51-65.)
- Kent, R. D., Vorperian, H. K., Kent, J. F., & Duffy, J. R. (2003). Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program. *J Commun Disord*, 36(4), 281-306.
- Kent, R. D., Weismer, G., Kent, J. F., Vorperian, H. K., & Duffy, J. R. (1999). Acoustic studies of dysarthric speech: methods, progress, and potential. *J Commun Disord*, 32(3), 141-186.
- Laver, John. (1980). *The phonetic description of voice quality*. Cambridge Eng ; New York: Cambridge University Press.
- Leino, T. (2009). Long-term average spectrum in screening of voice quality in speech: untrained male university students. *J Voice*, 23(6), 671-676.
- Lowell, S. Y., Colton, R. H., Kelley, R. T., & Hahn, Y. C. (2011). Spectral- and cepstral-based measures during continuous speech: capacity to distinguish dysphonia and consistency within a speaker. *J Voice*, 25(5), e223-232.
- Lowell, S. Y., Kelley, R. T., Awan, S. N., Colton, R. H., & Chan, N. H. (2012). Spectral- and cepstral-based acoustic features of dysphonic, strained voice quality. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 121(8), 539-548.
- Mendoza, E., Munoz, J., & Valencia Naranjo, N. (1996). The long-term average spectrum as a measure of voice stability. *Folia Phoniatr Logop*, 48(2), 57-64.
- Moers, C., Mobius, B., Rosanowski, F., Noth, E., Eysholdt, U., & Haderlein, T. (2012). Vowel- and text-based cepstral analysis of chronic hoarseness. *J Voice*, 26(4), 416-424.
- Nordstrom, K. I. (2008). *Transforming high-effort voices into breathy voices using adaptive pre-emphasis linear prediction*. Ph. D. Dissertation, University of Victoria.
- Revis, J., Giovanni, A., Wuyts, F., & Triglia, J. (1999). Comparison of different voice samples for perceptual analysis. *Folia Phoniatr Logop*, 51(3), 108-116.
- Seo, I. H., & Seong, C. J. (2013). Vocal quality of connected speech in dysarthria. *Proceedings of 2013 Spring Conference of Korean Society of Speech Sciences*, 100-101.  
(서인효 & 성철재 (2013). 연결발화에서 마비말장애의 음질 특성. 2013 한국음성학회 봄 학술대회 발표논문집, 100-101.)
- Seo, I. H., Lee, S. J., Chung, P. S., & Seong, C. J. (2012). The Comparison of Laryngeal Effort between Pathologic Whispering Voice and Normal Voice. *Proceedings of 2012 Fall Conference of Korean Society of Speech Sciences*, 174-175.  
(서인효, 이상준, 정필상, 성철재 (2012). 병리적 속삭임음성과 정상적 음성의 후두부 과노력에 대한 비교. 2012 한국음성학회 가을 학술대회 발표논문집, 174-175.)
- Wang, Y. T., Kent, R. D., Kent, J. F., Duffy, J. R., & Thomas, J. E. (2009). Acoustic analysis of voice in dysarthria following stroke. *Clin Linguist Phon*, 23(5), 335-347.
- Watts, C. R., & Awan, S. N. (2011). Use of spectral/cepstral analyses for differentiating normal from hypofunctional voices in sustained vowel and continuous speech contexts. *J Speech Lang Hear Res*, 54(6), 1525-1537.
- **서인효(Seo, Inhyo), 제1저자**  
충남대학교 대학원 언어병리학과 박사과정  
대전광역시 유성구 궁동 220  
Tel: 041) 550-6599  
E-mail: slpseo@hanmail.net  
관심분야: 마비말장애, 음성장애
  - **성철재(Seong, Choeljae), 교신저자**  
충남대학교 인문대학 언어학과  
대전광역시 유성구 대학로 99번지  
Tel: 042) 821-6395  
E-mail: cjseong49@gmail.com  
관심분야: 분절음 및 운율분석  
현재 충남대학교 인문대학 언어학과 교수