



내전형연축성 발성장애 음성에 대한 켈스트럼과 스펙트럼 분석 Cepstral and spectral analysis of voices with adductor spasmodic dysphonia

심희정 · 정훈 · Lee, Sue Ann · 최병훈 · 허정화 · 고도홍*

Shim, Hee Jeong · Jung, Hun · Lee, Sue Ann · Choi, Byung Heun · Heo, Jeong Hwa · Ko, Do-Heung

Abstract

The purpose of this study was to analyze perceptual and spectral/cepstral measurements in patients with adductor spasmodic dysphonia(ADSD). Sixty participants with gender and age matched individuals(30 ADSD and 30 controls) were recorded in reading a sentence and sustained the vowel /a/. Acoustic data were analyzed acoustically by measuring CPP, L/H ratio, mean CPP F0 and CSID, and auditory-perceptual ratings were measured using GRBAS. The main results can be summarized as below: (a) the CSID for the connected speech was significantly higher than for the sustained vowel (b) the G, R and S for the connected speech were significantly higher than for the sustained vowel (c) Spectral/cepstral parameters were significantly correlated with the perceptual parameters, and (d) the ROC analysis showed that the threshold of 13.491 for the CSID achieved a good classification for ADSD, with 86.7% sensitivity and 96.7% specificity. Spectral and cepstral analysis for the connected speech is especially meaningful on cases where perceptual analysis and clinical evaluation alone are insufficient.

Keywords: spasmodic dysphonia, cepstrum, spectrum, CPP, L/H ratio, mean CPP F0, CSID, GRBAS

1. 서론

내전형 연축성 발성장애(adductor spasmodic dysphonia, 이하 ADSD)는 후두의 국한된 운동 유발성(action induced) 근긴장이 상증(dystonia)으로 인한 음성장애이다[1]. ADSD는 발성 도중에 갑작스럽게 또는 지속적으로 진성대의 과내전(hyper-adduction)이 발생하여, 발성일탈(phonatory breaks), 쥐어짜고 긴장된 음성, 음성 떨림 등의 음질 특성을 보이게 된다[2].

ADSD의 통상적인 치료는 보툴리눔 독소 주입술(botulinum toxin therapy)이 주로 시행되며, 보톡스 주입 후에 안정된 발성을 이룰 수 있도록 음성치료(voice therapy)가 병행되면 중재 에 후를 더욱 높일 수 있다고 보고된다[3-4]. 단기간에 음성치료 효과를 보이는 것은 ADSD의 진단 시 주요한 단서가 되기도 한다.

한 예로, 음성치료는 중도(moderate) 또는 심도(severe)의 ADSD 환자들에게 비효율적인 양상을 보일 수 있기 때문에, 음성치료가 종종 ADSD라는 확증 증거를 제시할 수 있다[1].

현재까지 ADSD를 객관적으로 감별하는 방법이 제시되지 않아, 발화과제에 따라 달라지는 음성 증상에 대해 문진(history taking), 후두 검사와 함께, 숙련된 음성언어치료사의 청지각적 음성 평가 소견이 ADSD의 진단에 중요하게 적용된다[5, 6]. 예를 들어, ADSD 환자들은 속삭이기, 노래하기 또는 가성(falsetto)으로 말할 때 후두 경직과 쥐어짜는 듯한 음성 문제에서 벗어나 정상적인 음도와 강도로 발화할 수 있으며[2], /b, d, g, z, v, j, m, n/와 같은 유성자음이 포함된 문장을 읽을 때에 비해 모음을 연장발성 할 때 환자의 발성일탈의 빈도와 중증도가 덜 두드러진다는 결과들을 보이기도 한다[7-9].

* 한림대학교, dhko7@hallym.ac.kr, 교신저자

Received 18 May 2016; Revised 8 June 2016; Accepted 10 June 2016

가변적이고 불규칙적인 음성증상은 ASD 진단의 결정적 단서가 될 수 있다. 언어병리학에서는 ASD가 발화과제에 따라 보이는 음질 정보를 객관적으로 기술하기 위해 기기적인 평가 접근을 시도해 왔다. 음향학적 평가의 경우, ASD 환자의 증가된 F0 SD, jitter, shimmer, voice break 값을 통해 환자의 불규칙적인 성대의 과내전 정도를 보고하였으며[10-12], 공기역학검사 중 하나인 PAS(Phonatory Aerodynamic System)를 통해서 불수의적인 후두근육의 움직임으로 감소된 평균 호기류율과 증가된 성문하압 등의 호흡 특성들을 확인하기도 하였다[13-14].

최근에는 음성장애의 감별진단에 스펙트럼(spectrum)과 켈스트럼(cepstrum) 분석의 유용성에 대한 연구들이 보고되고 있다[15-26]. 스펙트럼과 켈스트럼 분석을 통해 얻어진 측정치들(예: CPP, L/H ratio, mean CPP F0, CSID 등) ASD처럼 음성 중증도가 심한 음성뿐만 아니라 연결발화(connected speech)의 음질 분석 시 타당한 결과를 제공하며, 청지각적 평가와 상관성이 높을 뿐만 아니라, 음성치료 중재효과의 예측 또는 음성장애의 높은 감별진단 정확도를 가진다고 보고되어 켈스트럼과 스펙트럼 측정치가 갖는 임상적 가치에 대해서 강조되어 왔다[15-26].

ASD의 음성 분석에서 스펙트럼과 켈스트럼 분석이 가지고 있는 유용성 중에 주목해야 할 부분은, 연결발화 음질 분석의 타당성에 관한 것이다. 켈스트럼 관련 측정치들은 연결발화 과제에서 음성장애 환자의 음성증상을 비교적 정확하게 수치화하므로 장애를 감별 진단할 때 높은 민감도와 특이도를 보일 뿐만 아니라, 음성장애의 중증도를 예측하는 강한 변수로 꼽힌다[16-18]. 이는 발화과제에 따라 음성증상이 달라지는 ASD의 과제의존도 특성을 고려했을 때, 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들이 ASD 환자의 음성 특성을 객관적으로 설명해줄 수 있음을 기대하게 한다.

지금까지 과제에 따른 ASD의 음질 특성에 관한 연구들은 주관적인 청지각적 평가 결과 위주로 보고되어 왔으며, 객관적 평가의 경우 문장 내 자음과 모음이 갖는 다양한 주파수의 영향으로 ASD 환자의 연결발화에 대한 음향학적 분석이 제한을 받아왔다. 스펙트럼과 켈스트럼 분석은 소음과 배음에너지의 정도를 분리해서 배음의 정도를 설명해줄 수 있는 분석 방법이기에 때문에, 기존의 분석 방법이 갖던 문장 내 음질 분석에 제한점을 해결할 수 있는 방안을 마련해 준다. 또한 ASD의 진단 시 특히 발화과제에 따라 나타나는 음성증상이 주요한 정보가 되기 때문에, 이에 켈스트럼과 스펙트럼 분석이 갖는 강점을 적용하는 것은 ASD의 음성 중증도를 객관적으로 평가할 수 있는 방향을 제시한다고 볼 수 있다.

본 연구는 스펙트럼과 켈스트럼 분석을 적용하여 발화과제(모음연장발성, 문장읽기)에 따른 ASD 음성의 음향음성학적 특성을 살펴보고, 그 결과가 기존에 ASD 환자의 감별진단에 주로 시행되어 온 청지각적 평가와 어떠한 상관성을 갖는지 보고자 하였다. 또한 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들이 ASD 환자 음성을 감별할 때 진단예측력을 갖는지 알아보려고 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구 대상

본 연구는 대구지역에 소재한 M이비인후과 병원에서 이비인후과 전문의와 언어치료사에게 ASD로 진단받은 환자군 30명(F=30)을 대상으로 하였으며, ASD를 정상 화자와 비교하여 진단할 때 켈스트럼과 스펙트럼 측정치들이 어떠한 진단예측력을 가지고 있는지 살펴보고자 환자군과 성별과 연령을 일치시킨 정상군 30명(F=30), 총 60명을 모집하였다.

ASD는 Cannito & Woodson (2000)의 진단기준에 따라 후두내시경(stroboscopy)과 초고속 성대촬영(HSDI)을 포함한 전반적인 음성평가를 통하여 마비말장애 증상을 보이지 않고, 발성동안 귀어짜는 소리 또는 발성일탈을 보이고, 가끔씩 정상 음성을 산출하며, 비구어 발성 또는 높은 음도로 발성할 때 다소 음질향상을 보이는 자를 ASD로 진단하였다. 모든 대상자들은 호흡, 시각, 청각 및 언어 문제, 후두의 신경학적, 구조적 이상이 없으며, 인구통계학적 정보는 <표 1>에 제시하였다.

표 1. 연구 대상
Table 1. Subjects

	ASD (n=30)	Control (n=30)
Age±SD (range)	32.97±7.44 (20-46)	33.40±2.28 (20-47)
Sex	Female	

2.2. 검사 도구

ASD 환자의 발화과제에 따른 음향음성학적 특성을 살펴보기 위해, KayPENTAX사의 ADSV™(Analysis of Dysphonia in Speech and Voice Model 5109, 이하 ADSV)를 사용하여 환자의 음성을 녹음 및 디지털화하였다(그림 1). 또한 ASD 환자의 청지각적인 음질 특성을 살펴보기 위해 GRBAS(Hirano, 1981)를 사용하여 4점 척도로 평가 하였다.

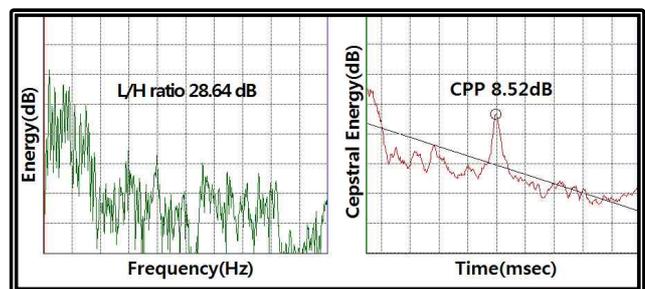


그림 1. 모음연장발성 시 ASD 음성의 spectral & cepstral 분석
Figure 1. Spectral and cepstral analysis of ASD for sustained vowel /a/

2.3. 검사 절차

검사자는 소음이 40dB 이하인 음성검사실에서 연구 대상자들의 음성을 녹음하였다. 음성 녹음은 90도 각도로 고정된 마이크에 화자의 입과 7cm 떨어진 위치에서 음성과제를 수행하도록 안내하였다. 또한 화자에게 최대한 편안하고 자연스러운 상태에서 모음 /a/를 1회 2초 이상 연장발성한 뒤, 한국어 자음이 42개로 56.76%(유성자음 25개 59.52%+무성자음 17개 40.48%), 모음이 32개로 43.24% 비율로 구성된 ‘산책 문장(정옥란, 1993)’의 첫 번째 문장(예: 높은 산에 올라가 맑은 공기를 마시며 소리를 지르면 가슴이 활짝 열리는 듯하다)을 1회 읽게 하였다.

읽기 과제 횟수는 음성장애환자의 음성 피로도(vocal fatigue)를 증가시킬 수 있음을 고려하여 1회로 제한하였다. 글 자료는 50pt 이상의 크기로 출력한 코팅재질의 자료로 제시하였다.

2.4. 자료 분석

모음연장발성과 읽기 과제 수행 시, ADSD의 음성중증도를 청지각적 평가를 통해 살펴보고자 3년 이상의 임상 경력이 있는 음성언어치료사 3명이 GRBAS를 사용하여 0(정상)에서 3점(심도)까지 4점 척도로 환자의 음성중증도를 평가하였으며, 평가 결과는 평균하여 통계에 적용하였다. 청지각적 평가는 음성언어치료사들에게 환자에 대한 어떠한 정보도 제공하지 않은 채 녹음된 음성 샘플 60개(ADSD 모음연장발성 과제 30개 + ADSD 문장 읽기 과제 30개)를 듣고 평가하도록 요청하였다. 음성샘플의 구성은 연구자가 임의로 모음과 문장 과제에 관련 없이 무작위 순서화시켜 다음과 같은 음성샘플의 제목으로 치료사들에게 메일을 통해 온라인상으로 평가 의뢰하였다(예: 1_KJI_SV, 2_HHO_CS, 3_SEH_SV ... 60_LYK_CS).

모든 음성자료의 음향음성학적 분석은 KayPENTAX사의 ADSV™를 사용하여 진행되었다. 먼저 /a/ 모음연장발성 녹음 파일은 환자가 발생한 전체 데이터 중 음도와 강도가 일정하게 수평이 되는 안정구간 2초 이상을 편집하였으며, 문장 읽기 과제의 음성 분석은 산책 문장 12어절(32음절) 전체가 포함된 문장을 편집한 뒤, 분석프로그램이 자동으로 잡아주는 구간을 분석해주는  (Apply Automatic Data selection) 기능을 활용하였다. 자료 분석을 통해 본 연구에서 살펴본 스펙트럼과 켈스트럼 관련 측정치들은 <표 2>에 제시하였다.

표 2. Spectral & Cepstral 측정치
Table 2. Spectral and cepstral measures

	Acoustic measures
Cepstral	CPP, mean CPP F0(CPP F0)
Spectral	L/H ratio
Cepstral & spectral	CSID

본 연구에서 살펴본 스펙트럼과 켈스트럼 관련 측정치들의 특성을 살펴보면 CPP, L/H ratio, mean CPP F0, CSID를 꼽을 수

있다. CPP(cepstral peak prominence, 이하 CPP)는 배음 정도를 하나의 피크(peak)로 나타내기 때문에 정상 화자는 주기성이 잘 형성되어 배음 구조가 잘 나타나기 때문에 높은 CPP 값을 보이지만, 음성장애 환자는 주기성이 규칙적으로 형성되지 않아 낮은 켈스트럴 피크를 나타내게 된다[17]. CPP는 기식성(breathy voice, 이하 B)과 조조성(roughness, 이하 R), 애성(hoarseness)과 관련성이 높기 때문에 청지각적으로 이러한 음질 특성이 두드러질 경우 CPP가 낮아지는 부적 상관 양상을 보인다[17, 19, 20].

mean CPP F0(이하 CPP F0)는 화자가 산출한 유성음의 60-300Hz범위에 해당하는 CPP의 평균 주파수를 나타내며, 성대의 긴장이 증가할수록 CPP F0도 커지며 노력성(S)과 관련성이 높다고 보고된다[21].

4kHz 주파수 대역을 기점으로 고주파수와 저주파수의 에너지 비율을 나타내는 L/H ratio(ratio of low to high frequency spectral energy, 이하 L/H ratio)는 고주파수 영역에서 높은 소음성 에너지를 갖는 기식성(B)과 조조성(R)을 보이는 음성장애 환자에게서 낮아지는 양상을 보인다[15, 20].

음성의 비정상 정도를 수치화한 음향음성학적 비정상 음성지수(cepstral/spectral index of dysphonia, 이하 CSID)는 CPP, L/H ratio, 성별 정보를 다중회귀방식으로 가중치를 주어 도출된 지수로, 음성 중증도가 높을수록 증가하는 양상을 보인다. CSID는 청지각적 평가 결과와도 높은 상관을 보이므로[22-24], 최근에는 CSID가 중재효과를 모니터링할 때도 유용할 뿐만 아니라 음성장애의 선별에 영향력 있는 측정치로 대두되고 있다[22-25].

2.5. 통계 분석

본 연구의 통계 분석은 SPSS version 19.0(IBM Co., New York, NY, USA)을 이용하여 시행되었으며, 모든 측정값은 평균±표준편차로 표기하였고, 유의수준이 .05 이하인 경우, 통계적으로 유의한 차이가 있다고 평가하였다. 본 연구의 통계방법은 표본의 갯수가 충분히 큰 경우(n>30) 표본의 분포는 정규분포에 근사한다는 중심극한이론에 근거하여 모수 통계 분석을 실시하였다.

먼저 ADSD 환자의 발화과제에 따른 음향학적 측정값과 청지각적 평가에 차이가 있는지 살펴보기 위해 모음과 문장과제에 따른 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였다.

다음으로 모음연장발성과제와 문장읽기과제의 spectral & cepstral 측정치가 GRBAS와 상관성이 있는지 Pearson 상관분석(Pearson Product Moment Correlation, 이하 PPMC)을 시행하였다.

마지막으로 과제에 따른 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들이 정상 화자 음성과 비교하여 ADSD 음성을 얼마만큼 감별할 수 있는지 진단예측력을 살펴보고자 ROC 분석(Receiver Operation Characteristic Curve, 이하 ROC)을 실시하였다.

2.6. 신뢰도

음향학적 분석 및 청지각적 평가의 신뢰도 측정을 위해 약 이주일 뒤, 검사자에게 재검사를 요청하였다. 음향학적 분석의 평가자 내 신뢰도를 측정하고자 전체 샘플의 20% (12개, 환자 6개+

정상 6개)를 임의로 선정하여 재분석 한 뒤 피어슨 상관분석을 실시한 결과, 1.000으로 높은 평가자 내 신뢰도를 보였다 ($p < 0.001$). 청지각적 평가의 평가자 간 신뢰도를 측정하고자 ASD 환자에게 음성자료 6개 샘플을 재분석한 결과, Cronbach의 알파는 .864로 청지각적 평가에 대한 평가자 간 신뢰도가 높았다.

3. 결과

3.1. ASD의 과제에 따른 스펙트럼과 켈스트럼 측정치
 ASD의 과제에 따른 음향학적 측정치에 차이를 살펴보고자 대응표본 t -검정을 시행한 결과, CPP, L/H ratio, CSID값에 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 3). CPP와 L/H ratio는 문장에서 낮은 양상을 보인 반면, CSID는 문장에서 높은 양상을 보였다.

표 3. ASD의 과제에 따른 음향학적 측정치 값

Table 3. Mean \pm SD of the acoustic measures from ASD according to tasks

Acoustic measures	Mean \pm SD		t
	Sustained vowel /a/	Connected speech	
CPP	10.64 \pm 2.15	4.72 \pm 1.22	16.33***
L/H ratio	29.68 \pm 4.42	25.88 \pm 3.60	4.67***
CPP F0	205.06 \pm 34.93	204.27 \pm 21.85	0.16
CSID	18.72 \pm 13.59	31.12 \pm 19.04	-3.25***

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

3.2. ASD의 과제에 따른 GRBAS

ASD의 과제에 따른 청지각적 결과에 차이를 살펴보고자 대응표본 t -검정을 시행한 결과, G, R, S에 통계적으로 유의한 차이를 보였으며, 전반적으로 문장에서의 청지각적인 음성증증도가 높은 양상을 보였다(표 4).

표 4. ASD의 과제에 따른 청지각적 측정치 값

Table 4. Mean \pm SD of the perceptual measures from ASD according to tasks

Acoustic measures	Mean \pm SD		t
	Sustained vowel /a/	Connected speech	
G	1.53 \pm .63	1.83 \pm .07	-3.07***
R	0.93 \pm .69	1.27 \pm .83	-3.81***
B	0.70 \pm .65	0.80 \pm .66	-1.80
A	0.17 \pm .46	0.27 \pm .69	-1.80
S	1.43 \pm .90	1.67 \pm .88	-2.25*

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

3.3. ASD의 음향학적, 청지각적 측정치의 상관

ASD의 모음과 문장 과제의 음향학적 측정치와 청지각적 결과의 Pearson 상관분석을 시행한 결과, 모음과제에서 전반적인 음성증증도(G), 노력성(S)이 높아질수록 CPP와 L/H ratio가 감소하는 부적 상관을 보였고, CSID는 증가하는 정적 상관이 관찰되었다. 문장읽기 과제에서는 전반적인 음성증증도(G), 조조성(R),

기식성(B), 노력성(S)이 높아질수록 CPP와 L/H ratio가 감소하는 부적 상관을 보였고, CSID는 증가하는 정적 상관이 관찰되었다(표 5). 전반적으로 모음과제에 비해 문장과제의 음향학적 분석 결과와 청지각적 평가 결과의 상관이 높은 양상을 보였다.

3.4. ASD에 대한 스펙트럼과 켈스트럼 측정치의 진단예측력

ASD 환자의 음성장애 진단 시, 스펙트럼과 켈스트럼 측정치가 갖는 진단예측력의 정도와 진단 준거를 살펴보기 위해서 ROC 분석하여 곡선 아래 면적을 살펴본 결과, 모음의 CPP .412, L/H ratio .578, CPP F0 .344, CSID .689, 문장의 CPP .086, L/H ratio .312, CPP F0 .199, CSID .908로(표 6), 문장과제의 CSID가 ASD 환자의 음향음성학적 음질 진단예측력이 높은 변수였다(그림 2). 문장읽기과제의 CSID 최적 역치값은 13.491로 민감도와 특이도는 각각 .867, 967이였으며 정상 음성으로부터 ASD의 음질을 감별할 수 있는 역치로 사용할 수 있음을 확인하였다.

표 5. ASD의 음향학적, 청지각적 측정치의 상관

Table 5. Pearson correlation between perceptual and acoustic measures

Task	Acoustic measures	G	R	B	A	S
Sustained vowel /a/	CPP	-.380*	-.323	-.352	-.117	-.246
	L/H ratio	-.428*	-.111	.133	.274	-.493**
	CPP F0	-.107	-.003	.223	-.035	-.017
	CSID	.588**	.263	.228	.288	.314
Connected speech	CPP	-.527**	-.426*	-.523**	-.006	-.421*
	L/H ratio	-.242	-.496**	-.440*	.311	-.343
	CPP F0	-.006	-.063	-.063	-.076	.003
	CSID	.680***	.579**	.496**	-.151	.561**

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

표 6. Spectral & cepstral 측정치들의 ROC 분석 결과

Table 6. ROC analysis of spectral and cepstral measures

Task	Acoustic measures	Cutoff value	Sensitivity	Specificity	AUC \dagger	Std. Error
Sustained vowel /a/	CPP	10.580	.400	.433	.412	.078
	L/H ratio	28.030	.567	.500	.578	.074
	CPP F0	217.212	.400	.433	.344	.074
	CSID	12.885	.633	.633	.689	.070
Connected speech	CPP	5.593	.167	.133	.086	.040
	L/H ratio	26.952	.433	.433	.312	.069
	CPP F0	214.083	.267	.233	.199	.058
	CSID	13.491	.867	.967	.908	.047

\dagger AUC (Area Under the ROC Curve) ROC 곡선 아래 면적

4. 논의 및 결론

본 연구는 ASD 여성 환자 30명과 성별과 연령을 일치시킨 정상 화자 30명, 총 60명을 대상으로 /a/ 모음연장발성과 산책문단의 첫 번째 문장 읽기 과제를 수행하여 ASD 환자의 과제이존도 특성을 객관적으로 살펴보고자 하였다.

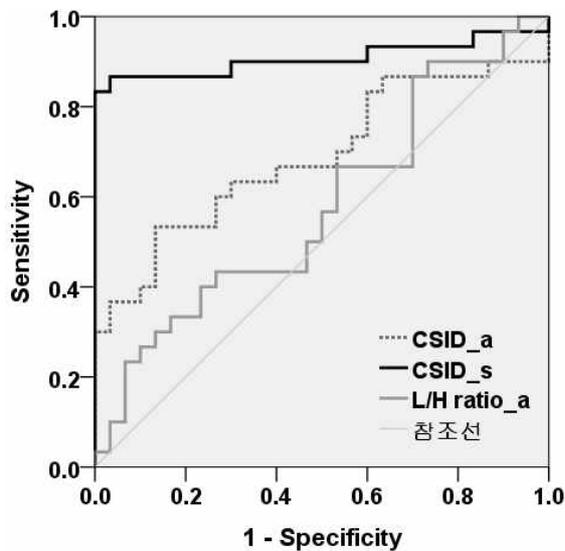


그림 2. Spectral & Cepstral 측정치들의 ROC 곡선 (AUC \geq .50)
Figure 2. ROC curve to spectral and cepstral measures

먼저 ASD의 과제에 따른 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들의 특성을 파악하고, ASD의 과제에 따른 청지각적 특성을 GRBAS로 살펴본 뒤, 음향학적 특성과 청지각적 특성의 상관성을 파악한 후, ROC분석을 통하여 ASD의 진단예측에 있어 유용한 과제의 음향학적 측정치와 그 준거를 제공하고자 하였다.

발화과제에 따른 ASD 환자의 음성을 음향학적으로 분석 결과, 문장과제에서 CPP와 L/H ratio는 낮았지만 CSID는 높은 양상을 보였다. 이는 CPP가 배음 정도를 나타내는 측정치이기 때문에 연속적으로 유성음을 산출하는 모음연장발성 시 주기성이 잘 형성되어 배음 구조가 잘 형성되어 CPP값이 더 높게 나타난 것을 의미한다. 한편 문장과제는 다양한 무성음과 유성음의 음향학적 영향 때문에 모음에 비해 주기성 형성에 제한을 받아 낮은 CPP 값을 보였다고 논의할 수 있다[17].

같은 맥락에서 고주파수와 저주파수의 에너지 비율을 나타내는 L/H ratio도 문장 내 포함된 무성자음인 파찰음과 마찰음이 고주파수 영역대에 소음성 에너지를 갖는 음향학적 특성으로 인해 모음과제에 비해 문장과제의 L/H ratio 값이 낮은 양상을 보인 것으로 해석할 수 있다[20].

CSID는 음성장애의 중증도를 CPP와 L/H ratio, 표준편차, 성별에 다중회기방식으로 가중치를 두어 객관적으로 제시한 비정상 음향음성학적 지수로, ASD 환자의 모음 CSID는 18.72, 문장은 31.12로 문장과제의 CSID가 훨씬 높게 나타났다. 이는 ASD 환자의 객관적인 음성장애 중증도 지수가 모음과제에 비해 문장과제에서 더 높게 나타난 것으로 ASD 환자의 과제특이성이 드러난 것으로 볼 수 있다.

[11], [27], [28]는 ASD 환자가 연결발화에서 더 심각한 음성 문제를 보이는 것은 문장산출 시 필요한 언어학적, 조음운동학적 복잡성이 더 많은 인지와 운동조절 능력을 요구하기 때문이라고 주장하였다. 반면 모음연장발성은 연결발화에 비해 상대적으로 의사소통의도가 적은 과제이며, 발성 시 후두근육이 고

정된 자세로 수행되기 때문에 문장 과제에 비해 적은 인지와 후두운동조절이 요구되므로 음성과제에 따라 ASD의 음성장애가 달라지는 특성이 스펙트럼과 켈스트럼 분석을 통한 음향학적 측정치에서도 차이를 보인 것을 의미한다. 이는 기준에 주관적인 평가 위주로 진행되어 온 ASD의 음성 평가 시 스펙트럼과 켈스트럼 분석이 객관적으로 유용한 정보를 제공할 수 있다고 볼 수 있다.

발화과제에 따른 청지각 평가 조건은 ASD의 진단에 중요하게 적용된다[5-6, 10]. 본 연구에서 ASD 환자들이 모음에 비해 문장과제에서 쉼 목소리 (G), 긴장되고 거칠고 (R), 귀어짜는 듯한 음성 (S)이 두드러지는 양상을 보였는데, 이는 ASD 환자의 과제 의존도 특성이 청지각 평가에서도 드러난 것을 의미한다.

청지각적 평가 시 연결발화에서 ASD 환자의 음성 증상이 두드러지게 나타난 것은 연결발화에 포함된 다양한 자음과 모음 산출 시 역동적인 후두와 상후두의 통제와 같은 복잡한 운동과제를 필요로 하기 때문에 중추신경계 신호 전달에 손상을 보이는 ASD 환자의 감각운동통제체계에 과중한 부담을 줄 수 있기 때문이다[7, 9]. 반대로 모음과제는 빠르고 조작적인 후두와 조음조절을 필요로 하지 않기 때문에 운동통제 면에서 문장보다는 더 단순한 과제이기 때문에 덜 심각한 음성증상을 나타내는 것으로 논의할 수 있다[8].

음성장애 환자의 청지각적 평가 결과는 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들과 상관성이 높다고 보고된다[20, 21, 25]. 본 연구에서는 모음연장발성 과제에서 G, S가 높아질수록 CPP와 L/H ratio가 감소하고 CSID는 증가하였으며, 문장읽기 과제에서 G, R, B, S가 높아질수록 CPP와 L/H ratio가 감소하고 CSID는 증가하여, 전반적으로 문장과제의 음향학적 분석과 청지각적 평가가 상관관계수 $\pm .380 \sim .680$ 까지 통계적으로 유의한 상관성을 보였다. 특히 모음과 문장과제의 대부분의 음향학적 측정치들은 G 척도와 상관성을 보였는데 이는 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들이 청지각적 음성장애의 중증도와 관련성이 높은 것을 의미한다고 볼 수 있다.

음성장애 환자의 음성중재 전/후를 음향학적, 청지각적 평가를 통해 중단적으로 모니터링한 [18]은 음성치료 후에 배음의 정도를 나타내는 CPP가 증가하고, 음성중증도와 관련성이 매우 높은 CPP SD가 유의하게 감소되어 음향학적 측정값을 통해 언어치료의 중재효과를 보고하였다. 환자의 음성개선은 음향학적인 평가뿐만 아니라 전반적인 음질 중증도를 나타내는 시각적 아날로그 척도(VAS)를 사용하였을 때도 음성치료 후 환자의 음성중증도가 전반적으로 개선됨을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 스펙트럼과 켈스트럼 측정치들이 청지각적 평가와 밀접한 상관성을 갖으며, 음성장애 환자의 중재과정을 모니터링하는데 유용한 정보를 제공함을 의미한다.

스펙트럼과 켈스트럼 측정치들은 특히 연결발화에서의 환자 음성중증도를 잘 반영한다고 알려져 있다. 연결발화의 CPP와 L/H ratio는 특히 음성장애환자들의 기식성(B) 특성을 잘 반영한다고 알려져 과소기능적 음성장애를 감별 진단할 때 유용한 측정치로 사용된다[17, 19, 20]. 본 연구 결과도 연결발화에서만 기

식성(B) 척도가 CPP, L/H ratio와 상관성을 보였는데, 이는 모음 과제 수행에 비해 문장과제에서 환자의 음성증상이 더 두드러지게 나타난다고 보고된 ASD 환자의 독특한 특성이 반영된 것으로 논의할 수 있겠다. 연결발화에서 마비말장애의 G, B, S 척도가 smoothed CPP, CPP F0와 .800 이상의 높은 상관성을 보여 문장과제에서의 청지각적 평가와 스펙트럼과 캡스트럼 측정치의 관련성에 주목해야 함을 살펴볼 수 있다[15].

음성 증증도를 객관적으로 나타내는 CSID는 청지각적 평가 결과에 높은 상관성을 보이는데[17], 불수의적인 성대의 과내진과 불규칙적인 운동으로 목 권 음성과 거칠고 귀어짜는 듯한 음성 특성을 가지고 있는 ASD 환자들은 배음형성에 제한을 받기 때문에[6, 10, 11], 음성 문제가 심할수록 CPP는 감소하고 CSID는 증가하는 양상을 보인다. CSID는 음성증상 및 증증도를 반영해 줄 뿐만 아니라 음성치료 중재 전/후를 예측할 수 있는 측정치로[23], 음성 증증도에 대한 객관적 판단 가능성과 임상적 유용성을 살펴볼 수 있다.

본 연구는 과제에 따라 음성증상에 차이를 보이는 ASD 환자의 특성을 활용하여 정상화자와 비교하여 감별할 때 진단에 측력이 높은 캡스트럼과 스펙트럼 측정치가 무엇인지 찾기 위해 ROC 분석을 실시한 결과, 문장과제의 CSID가 민감도 86.7%, 특이도 96.7%로 ASD의 음성을 예측할 때 가장 주요한 정보를 제공하는 측정치임을 확인하였다. 이는 ASD의 감별진단 시 문장과제의 캡스트럼과 스펙트럼 측정치 CSID에 주목해야 함을 의미한다.

CSID의 진단유용성은 ASD와 비슷한 음질 특성을 보이는 MTD 환자에게서도 보고되는데, 후두의 신경학적, 구조적 문제가 없으며 거칠고 귀어짜는 듯한 음성 특성을 보여 ASD와의 감별진단에 어려움을 겪는 근긴장성 발성장애(muscle tension dysphonia, 이하 MTD) 여성 환자의 음성치료 전후를 CSID와 청지각적 평가를 통해 종단적으로 살펴본 [25]는 CSID가 음성치료 이후 음성 증증도를 정확하고 민감하게 잘 반영해주어, CSID가 음성문제의 예측뿐만 아니라 음성 중재 효과를 객관적으로 제시할 수 있는 유용한 변수임을 강조하였다.

ROC 분석 결과에서 곡선아래 면적(AUC)은 1.0에 가까울수록 장애의 예측에 높은 민감도와 특이도를 갖는다고 보고하는데, <표 6>에서 살펴볼 수 있듯이 모음과제의 L/H ratio와 CSID는 진단예측 정확도가 문장과제의 CSID보다 낮아 음성장애의 감별에 어려움이 있으므로, ASD의 감별진단 시 문장과제의 CSID가 갖는 진단유용성에 대해 다시 한 번 살펴볼 수 있었다. 이러한 결과는 ASD 환자가 갖는 과제 의존도가 진단 시 주요한 정보를 제공하며, 기존에 ASD의 진단 지표가 된 주관적인 청지각적 평가에 대해서 객관적인 진단 접근 가능성을 열어둬 줄 수 있다. 다시 말해 ASD의 주관적 또는 객관적인 감별진단 시 연결발화과제에 대한 음질분석이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 ASD 환자들의 발화과제에 따른 음성증상을 객관적으로 설명하고자 캡스트럼과 스펙트럼 분석을 적용하여 임상적 진단 유용성과 분석의 활용 가능성을 살펴보았다. 이는 ASD 진단에 주요한 정보를 제공하는 연결발화에 대한 객관적

음질분석에 제한점을 해결할 방향을 제시하며, 기존에 주관적 평가 위주로 이루어졌던 ASD의 감별진단에 객관적 접근의 가능성을 제시해주었다.

본 연구는 성별과 음성 과제에 대한 제한점이 있으므로, 후속 연구에서는 남성 환자에 대한 보고와 문장의 문맥을 조절하여 ASD 환자의 음질 특성을 살펴볼 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Rubin, J. S., Sataloff, R. T., & Korovin, G. S. (2006). *Diagnosis and treatment of voice disorders*. San Diego: Plural Publishing.
- [2] Cannito, M. P. & Woodson, G. (2000). The spasmodic dysphonias. In R. Kent & M. Ball (Eds.), *Voice quality measurement* (pp. 411-430). San Diego: Singular Thomson Learning.
- [3] Murry, T. & Woodson, G. E. (1995). Combined-modality treatment of adductor spasmodic dysphonia with botulinum toxin and voice therapy. *Journal of Voice*, 9(4), 460-465.
- [4] Silverman, E. P., Garvan, C., Shrivastav, R., & Sapienza, C. M. (2012). Combined modality treatment of adductor spasmodic dysphonia. *Journal of Voice*, 26(1), 77-86.
- [5] Yoon, Y. S., Kim, H. H., & Son, Y. E. (2003). Useful speech task in the perceptual evaluation of adductor spasmodic dysphonia. *Korean Journal of Communication Disorders*, 8(2), 146-162. (윤영선·김향희·손영익 (2003). 내전형 경련성 발성장애의 청지각 평가에 유용한 말 과제. *언어청각장애연구*, 8(2), 146-162.)
- [6] Langeveld, T. P., Drost, H. A., Zwinderman, A. H., Frijns, J. H., & De Jong, R. J. B. (2000). Perceptual characteristics of adductor spasmodic dysphonia. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 109(8), 741-748.
- [7] Bloch, C. S., Hirano, M., & Gould, W. J. (1985). Symptom improvement of spastic dysphonia in response to phonatory tasks. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 94(1), 51-54.
- [8] Ludlow, C. L., & Connor, N. P. (1987). Dynamic aspects of phonatory control in spasmodic dysphonia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 30(2), 197-206.
- [9] Erickson, M. L. (2003). Effects of voicing and syntactic complexity on sign expression in adductor spasmodic dysphonia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 12(4), 416-424.
- [10] Cannito, M. P., Doiuchi, M., Murry, T., & Woodson, G. E. (2012). Perceptual structure of adductor spasmodic dysphonia and its acoustic correlates. *Journal of Voice*, 26(6), 818.e5-818.e13.
- [11] Sapienza, C. M., Walton, S., & Murry, T. (2000). Adductor spasmodic dysphonia and muscular tension dysphonia: acoustic analysis of sustained phonation and reading. *Journal of Voice*, 14(4), 502-520.
- [12] Zwimer, P., Murry, T., & Woodson, G. E. (1993). Perceptual-acoustic relationships in spasmodic dysphonia. *Journal of*

- Voice*, 7(2), 165-171.
- [13] Heo, J. H., Song, K. B., & Choi, Y. G. (2013). A comparison of aerodynamic characteristics in muscle tension dysphonia and adductor spasmodic dysphonia. *Phonetics and Speech Sciences*, 5(4), 63-70. (허정화·송기범·최양규 (2013). 근긴장성 발성장애와 내전형 연축성 발성장애의 공기역학적 특성 비교. *말소리와 음성과학*, 5(4), 63-70.)
- [14] Higgins, M. B., Chait, D. H., & Schulte, L. (1999). Phonatory air flow characteristics of adductor spasmodic dysphonia and muscle tension dysphonia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(1), 101-111.
- [15] Seo, I. & Seong, C. (2013). Voice quality of dysarthric speakers in connected speech. *Phonetics and Speech Sciences*, 5(4), 33-41. (서인효·성철재 (2013). 연결말화에서 마비말화자의 음질 특성. *말소리와 음성과학*, 5(4), 33-41.)
- [16] Moers, C., Mobius, B., Rosanowski, F., Noth, E., Eysholdt, U., & Haderlein, T. (2012). Vowel- and text-based cepstral analysis of chronic hoarseness. *Journal of Voice*, 26(4), 416-424.
- [17] Heman-Ackah, Y., Heuer, R., Michael, D., Ostrowski, R., Horman, M., Baroody, M., Hillenbrand, J., & Sataloff, R. (2003). Cepstral peak prominence: a more reliable measure of dysphonia. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 112(4), 324-333.
- [18] Awan, S., Roy, N., & Dromey, C. (2009). Estimating dysphonia severity in continuous speech: Application of a multi-parameter spectral/cepstral model. *Clinical linguistics & phonetics*, 23(11), 825-841.
- [19] Kumar, B., Bhat, J., & Prasad, N. (2010). Cepstral analysis of voice in persons with vocal nodules. *Journal of Voice*, 24(6), 651-653.
- [20] Watts, C. & Awan, S. (2011). Use of spectral/cepstral analyses for differentiating normal from hypofunctional voices in sustained vowel and continuous speech contexts. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54, 1525-1537.
- [21] 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. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 121(8), 539-548.
- [22] Awan, S. N., Roy, N., Zhang, D., & Cohen, S. M. (2016). Validation of the cepstral spectral index of dysphonia (CSID) as a screening tool for voice disorders: development of clinical cutoff scores. *Journal of Voice*, 30(2), 130-144.
- [23] Jalalinajafabadi, F., Gadepalli, C., Ascott, F., Homer, J., Luján, M., & Cheetham, B. (2013). Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurement. *Modelling Symposium*, 283-286.
- [24] Peterson, E. A., Roy, N., Awan, S. N., Merrill, R. M., Banks, R., & Tanner, K. (2013). Toward validation of the cepstral spectral index of dysphonia (CSID) as an objective treatment outcomes measure. *Journal of Voice*, 27(4), 401-410.
- [25] Awan, S. & Roy, N. (2009). Outcomes measurement in voice disorders: application of an acoustic index of dysphonia severity. *Journal of Speech, Language & Hearing Research*, 52(2), 482-499.
- [26] Shim, H. J., Jang, H. R., Shin, H. B., & Ko, D. H. (2015). Cepstral, Spectral and Time-Based Analysis of Voices of Esophageal Speakers. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 67(2), 90-96.
- [27] Roy, N., Gouse, M., Mauszycki, S. C., Merrill, R. M., & Smith, M. E. (2005). Task specificity in adductor spasmodic dysphonia versus muscle tension dysphonia. *The Laryngoscope*, 115(2), 311-316.
- [28] Roy, N., Mazin, A., & Awan, S. N. (2014). Automated acoustic analysis of task dependency in adductor spasmodic dysphonia versus muscle tension dysphonia. *The Laryngoscope*, 124(3), 718-724.
- **심희정 (Shim, Hee Jeong)**
 한림대학교 언어병리청각학과
 강원도 춘천시 한림대학길 1
 Tel: 033-248-2227
 Email: amy2020@hallym.ac.kr
 관심분야: 음성장애, 신경말장애, 노인
- **정훈 (Jung, Hun)**
 구미대학교 언어재활과
 경상북도 구미시 야은로 37
 Tel: 054-440-1404
 Email: jhuns2002@gumi.ac.kr
 관심분야: 음성장애, 유창성장애
- **Lee, Sue Ann**
 Texas Tech University Health Sciences Center
 3601 4th Street, MS 6294 | Lubbock, TX 79430
 Tel: 806-743-3220 Fax: 806-743-2994
 Email: sueann.lee@ttuhsc.edu
 관심분야: Phonetics, Articulation and Phonology Disorders, Clinical Instrumentation and Technology for Communication Disorders
- **최병훈 (Choi, Byung Heun)**
 명이비인후과의원
 대구 남구 두류공원로 18-1
 Tel: 053-627-0075
 Email: kiru@naver.com
 관심분야: 후두과학

• **허정화 (Heo, Jeong Hwa)**

명이비인후과의원

대구 남구 두류공원로 18-1

Tel: 053-627-0075

Email: ghkdi120@naver.com

관심분야: 음성과학, 음성장애

• **고도홍 (Ko, Do-Heung)** 교신저자

한림대학교 언어청각학부

강원도 춘천시 한림대학길 1

Tel: 033-248-2212

Email: dhko7@hallym.ac.kr

관심분야: 음성과학