

스펙트로그램을 이용한 근위축성측삭경화증 여성 화자의 모음 포먼트, 음성강도, 기본주파수의 변화

변해원

호남대학교 보건과학대학 언어치료학과 교수

Characteristics of Vowel Formants, Voice Intensity, and Fundamental Frequency of Female with Amyotrophic Lateral Sclerosis using Spectrograms

Haewon Byeon

Professor, Department of Speech Language Pathology, Honam University

요 약 본 연구는 근위축성측삭경화증(amyotrophic lateral sclerosis, ALS)으로 진단된 여성을 대상으로 음향음성학적 스펙트로그램 분석을 이용하여 11개월 동안 모음과 이중모음의 포먼트 변화(vowel formant variation)를 분석하였다. 검사어는 단모음 /a, i, u/와 이중모음 /h + ja + da/, /h + wi + da/, /h + u+i + da/를 이용하였다. 발화자료는 'Alvin' 프로그램을 이용하여 모니터에 제시된 단어읽기과제를 통해 수집되었고, 녹음환경은 nyquist frequency는 5,500Hz, sampling rate는 11,000Hz로 설정하였다. 녹음자료는 스펙트로그램을 이용하여 강도, 음도와 이중모음의 포먼트를 분석하였다. 분석결과, ALS의 진행과정에서 기본주파수와 강도가 저하되었고, 단모음에서의 포먼트 변화보다는 이중모음의 포먼트 기울기의 감소가 특징으로 확인되었다. 이 결과는 병의 진행에 따른 ALS의 모음왜곡이 혀와 턱의 협응력 감소에 기인함을 시사한다.

주제어 : 스펙트로그램, 음향학적 분석, 루게릭병, 근위축성측삭경화증, 이중모음

Abstract This study analyzed the changes of vowel formant, voice intensity, and fundamental frequency of vowels for 11 months using acoustochemical spectrogram analysis of women diagnosed with amyotrophic lateral sclerosis (ALS). The test word was a vowel /a, i, u/ and a diphthong /h + ja + da/, /h + wi + da/, and /h + u+i + da/. Speech data were collected through the word reading task presented on the monitor using 'Alvin' program, and the recording environment was set to 5,500 Hz for the nyquist frequency and 11,000 Hz for the sampling rate. The records were analyzed by using spectrograms to vowel formants, voice intensity, and fundamental frequency. As a result of analysis, the fundamental frequency and intensity of the ALS process were decreased and the formant slope of the diphthong was decreased rather than the formant change in the vowel. This result suggests that the vowel distortion of ALS due to disease progression is due to the decrease of tongue and jaw co morbidity.

Key Words : Spectrogram, Acoustic analysis, Lou Gehrig's disease, Amyotrophic lateral sclerosis, Diphthong

1. 서론

근위축성측삭경화증(amyotrophic lateral sclerosis, ALS)은 근육의 움직임을 통제하는 운동 신경원의 점진적인 퇴행을 특징으로 하는 퇴행성 질환으로 루게릭병(Lou Gehrig's disease)으로 불린다[1]. 현재까지 병의 진행을 막거나 호전시키는 치료법이 없기 때문에 일반적으로 ALS가 진단되면 운동신경의 마비로 인해 신체근육이 약화되거나 경직되면서 궁극적으로 호흡부전 등의 증상으로 5년 이내에 사망하는 것으로 알려져 있다[2]. ALS는 40세 이상에서 주로 발병하며, 유병률은 10만명당 6명이고, 여성보다 남성에서 비율이 더 높다[3].

ALS의 진행 특성을 살펴보면 운동신경원의 손상 부위에 따라 차이가 있는데, 뇌의 운동피질에 위치하는 운동신경원들이 손상되는 경우에는 전형적으로 근육 경련 마비와 경직이 발생하며, 뇌간(brain stem)과 척수(spinal cord)에 위치하는 운동신경원들의 손상은 근육 약화와 위축이 발견된다[4]. 반면에 감각 신경은 운동 신경과 비교하면 비교적 문제 증상이 없으며, 의식이 명료할 뿐만 아니라 안구운동장애나 배변장애도 나타나지 않는다.

ALS의 운동 문제, 특히 근육의 약화는 호흡 및 조음 근육에도 영향을 미쳐서 궁극적으로는 말 산출에 악영향을 미친다. ALS은 마비말장애(dysarthria)의 하위 유형 중에서 혼합형 마비말장애로 분류되는데[5], 이는 느린 말속도를 주된 요인으로 하는 경직형의 특징과 짧은 호흡 및 근육 약화가 주된 요인인 이완형 특징을 모두 가지고 있기 때문이다[6]. York 등[7]에 따르면, ALS가 산출한 발화는 짧지만 문법적으로는 적절하며 말(speech) 문제 이외에 언어(language)문제는 발견되지 않았다. 주로 청지각적 연구를 통해 확인된 ALS의 주요 말 특징으로는 모음왜곡, 과다비성, 느린 말속도, 낮은 명료도가 보고되었다[6,8].

한편, 음향음성학적 분석방법을 이용하여 ALS의 말 특성을 파악한 연구는 소수에 불과하며 대부분 영어권 화자를 대상으로 분석한 연구가 수행되었다. 이와 같은 선행연구에 서는[9,10], ALS화자가 산출한 말은 성대진동의 변동률(jitter, shimmer)이 정상 화자에 비해서 더 큰 경향을 보였다.

음향음성학적분석은 시간의 경과에 따라 근육의 약화가 특징적으로 나타나는 ALS화자의 조음운동 변화를 객관적으로 분석할 수 있다[11-15]. 그럼에도 불구하고, ALS의 진행과정에서 음향음성학적분석을 이용하여 한국어 발화특성을 파악한 연구는 매우 드물다[16,17]. 본 연

구는 ALS로 진단된 여성을 대상으로 음향음성학적분석을 이용하여 12개월 동안 모음과 이중모음의 포먼트의 변화를 통해 혀의 전후 움직임과 턱의 상하 움직임을 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

대상자는 만 56세의 ALS로 진단된 여성이다. 대상자는 서울에서 출생하였고, 생의 대부분을 서울에서 보냈으며, 연구 참여 시점까지 서울에 거주하였다. 최종학력은 중학교 졸업이고, 발병 전까지 자영업에 종사하였다. 가족력으로는 어머니가 ALS진단을 받았고, ALS로 사망하였다. 2011년 8월부터 보행의 어려움 등 근육의 약화(muscle weakness)를 자각하였고, 2012년 11월 서울A병원 신경과에서 ALS로 진단을 받았다. ALS진단 후 20개월이 경과한 2014년 7월부터 짧은 호흡과 혀의 움직임의 저하 등 자신의 말(speech)의 문제를 자각하였다. 2018년 2월에 수행된 검사에서는 팔과 다리의 근육약화(muscular weakness)와 근육위축(muscle atrophy)외에도 ALS의 특징인 혀의 섬유속성연축(tongue fasciculation)이 추가로 발견되었다. 음성특징은 과대비성(hyper nasality)과 느린 말속도(slow speaking rate)를 보였으며, 말명료도(speech intelligibility)는 80%이었다. 인지능력은 한국형 간이 정신상태 검사(Mini-Mental Status Examination-Koorea, MMSE-K)[18] 평가결과 27점으로 정상수준이었다.

2.2 측정

2.2.1 데이터 수집

자료는 B병원 음성검사실에서 17년 8월(1차), 18년 2월(2차), 18년 7월(3차)에 각각 수집되었다. 마이크는 대상자의 운동 특성을 고려하여 머리에 고정할 수 있는 헤드셋 마이크를 사용하였다. 대상자는 하지근육의 약화로 인해 독립적으로 착석이 불가능하였기 때문에 발화데이터를 수집하는 동안 휠체어에 앉아서 녹음을 진행하였고, 마이크와 입의 간격은 5cm를 유지하였다. 검사 절차는 첫째, 연구자가 대상자에게 측정방법을 간단하게 설명하였고, 둘째, 습관적 발화를 유도하고자 날씨 등의 일상적인 대화를 시도하였다.

녹음은 'Alvin'[19]을 이용하여 모니터에 검사어를 입

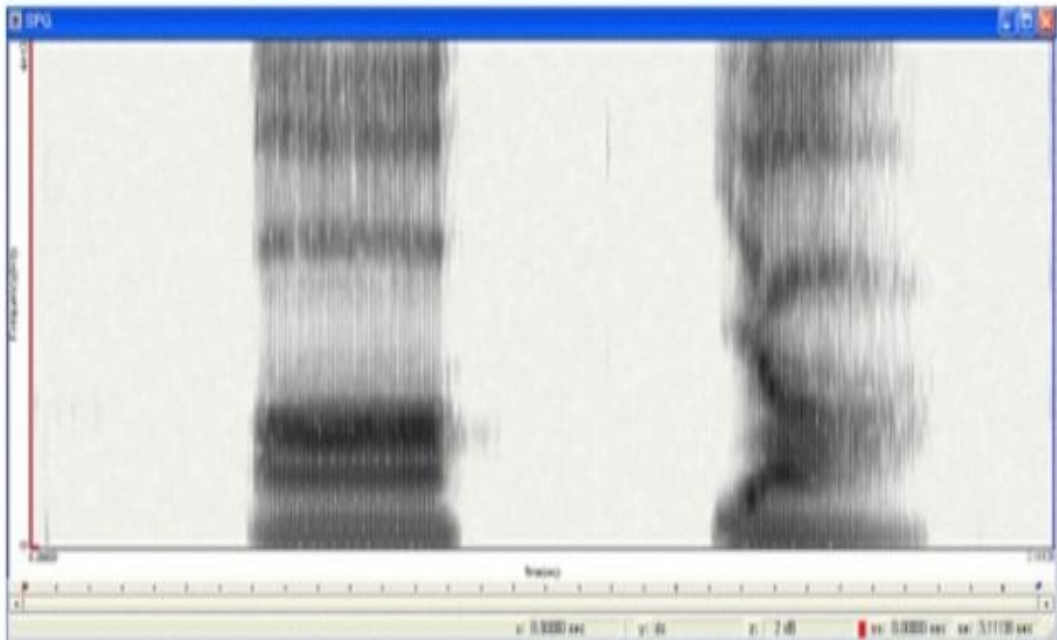


Fig. 1. Spectrogram of vowel /a/ and diphthong /ja/ [22]

의 순서대로 각각 1회 제시한 후 모니터에 제시된 단어를 피험자가 읽는 방법으로 진행되었다. 녹음환경은 nyquist frequency는 5,500Hz, 표본추출률은 11,000Hz으로 설정하였다.

2.2.2 검사어

검사어는 선행연구[20,21]를 참고하여 단모음 /a, i, u/와 이중모음 /h + ja + da/, /h + wi + da/, /h + wi + da/를 이용하였다.

검사어인 이중모음을 /h+이중모음+da/의 구조로 설정한 이유는 첫째, /h/는 조음기관의 형태가 모음과 가장 유사하면서 후속 모음의 포먼트에 가장 적은 영향을 미치기 때문이고, 둘째, /d/는 선행하는 모음과 포먼트 특성이 뚜렷하게 다르기 때문에 포먼트 분석 단계에서 구별이 용이하기 때문이며[20], 셋째, 한국어에서 종결어미인 /-da/는 문장형태의 자연스러운 단어를 만들어 주기 때문이다.

2.3 데이터 분석

수집된 자료는 Praat version 6.0.0.3의 스펙트로그램 분석을 이용하여 단모음의 강도, 기본주파수, 이중모음의 포먼트를 각각 분석하였다[22]. Fig. 1과 같이 분석

절차는 첫째, 이중모음의 경계를 구분하고자 스펙트로그램의 오실로그램(oscillogram)에서 자음/h/와 후속 모음의 구간이 확인되는 구간을 선택하여 확대하였다. 둘째, 스펙트로그램에서 포먼트가 안정적으로 시작되는 구간을 탐색하였다. 이 때, 이중모음의 시작점은 먼저 F1, F2, F3수치가 모두 나타나는 구간을 시작점으로 선정하였고, 이후 시작점에서 F2, F3의 대역폭(bandwidth)수치를 측정한 후 500Hz이하의 값을 신뢰할 수 있는 포먼트로 간주하여 시작점으로 정의하였다[7]. 대역폭은 스펙트로그램을 통해 중심주파수(center frequency)로부터 3dB 아래의 폭을 측정하였다. 이중모음이 끝나는 구간인 종료점은 후속 음절의 초성인 파열음/d/에 의해 구분되는 구간으로 정의하였다.

이중모음의 측정 구간이 결정되면, 전체 분석 구간을 4등분하여 구간별로 평균 포먼트값을 산출하였다. 마지막에 위치한 4구간은 후속하는 음절/-da/의 영향을 받아 포먼트가 불안정하기 때문에 4구간을 제외한 1~3구간의 평균값만을 분석하였다. 본 연구에서 1구간은 활음, 2구간은 전이구간, 3구간은 모음으로 각각 정의하였다.

3. 결과

단모음에서의 강도와 기본주파수, 포먼트 변화는 Table1, Table2, Table3에 제시하였다. 대상자는 12개월 동안 ALS가 진행되면서 기본주파수는 /a/는 38Hz, /u/는 96Hz가 저하되었고, 강도는 /u/에서 15dB가 저하되었다. 포먼트는 모든 모음에서 F1과 F2의 수치가 증가하였다.

이중모음은 ALS가 진행되면서 /ja/는 활음과 전이구간의 F1과 F2의 수치는 감소하였고, 모음구간은 F1은 감소하였지만 Table 1에서와 같이 F2는 증가하였다. 반면에 /ui/는 모든 구간에서 F1의 수치가 증가하였는데, 특히 Table 3과 같이 전이구간이 100Hz 증가하였다.

Table 1. Changes of formant in diphthong /ja/

	F1			F2		
	G	T	V	G	T	V
1st	843.3	895.7	789.1	1611.3	1553.9	1509.3
2nd	1059.7	1088.3	750.7	1727.5	1684.2	1485.3
3rd	625.1	815.4	598.9	1553.5	1541.2	1593.0

G=glide: T=transition: V=vowel

Table 2. Changes of formant in diphthong /ja/

	F1			F2		
	G	T	V	G	T	V
1st	418.7	443.0	527.8	1893.4	1887.0	1915.5
2nd	299.3	346.2	355.1	1680.6	1579.5	1579.4
3rd	411.9	489.4	463.2	1861.3	1736.4	1718.5

G=glide: T=transition: V=vowel

Table 3. Changes of formant in diphthong /ui/

	F1			F2		
	G	T	V	G	T	V
1st	365.8	392.6	456.1	1934.5	1926.3	1861.9
2nd	513.5	641.3	613.2	1941.3	1941.1	1881.3
3rd	381.2	499.5	659.5	1852.2	1849.6	1815.1

G=glide: T=transition: V=vowel

4. 논의

본 연구는 ALS 여성을 대상으로 11개월 동안 병의 진행과정에서 음도, 강도, 포먼트의 변화를 스펙트로그램을 이용하여 분석하였다. ALS는 병의 진행과정에서 호흡과 조음근육이 약화되면서 발명료도가 저하되는 특징을 보이는데, 이러한 변화는 음향음성학적 분석을 이용하여 측정

이 가능하다. 특히, 모음의 포먼트 주파수와 스펙트럼을 이용한 데이터는 구어명료도에 대한 청지각적 판단을 보완해줄 수 있다는 장점이 있다[6,23,24].

본 연구의 주요 발견은 다음과 같다. 첫째, ALS의 진행과정에서 단모음에서의 포먼트 변화보다는 이중모음의 포먼트 기울기의 변화가 주요 음향음성학적 특징으로 확인되었다. 이는 ALS의 모음왜곡이 혀 또는 턱의 움직임의 제한보다는 혀와 턱의 협응력 감소에 기인함을 시사한다[9].

둘째, ALS가 산출한 이중모음은 활음이 모음과 같은 형태로 조음된 특성을 보였다. 이중모음은 선행하는 활음(glide)과 후행하는 단모음으로 구성되는데[25], 활음은 모음과 유사하지만 전이 속도가 빠른 매우 빠른 특징을 보인다[20]. 그럼에도 불구하고, 본 연구의 ALS화자가 산출한 이중모음은 활음에서 모음구간까지의 포먼트가 계속 변화하여 전이속도가 느렸다.

셋째, 이중모음 /ui/는 활음에서 모음까지의 F2수치 변화가 뚜렷하게 확인되었다. 이는 Yang[26]의 연구에서 정상성인이 발음한 /ui/에서 F2수치의 변화가 없었던 점과는 차이가 있다. 이처럼 ALS가 산출한 이중모음은 비정상적인 조음운동의 타이밍의 문제를 반영하는 것으로 Yunusova 등[27]의 연구에서도 ALS는 정상성인에 비해서 모음길이가 유의미하게 길었다. 종합하면 ALS가 산출하는 모음은 신경학적특성으로 인해 혀 움직임이 더 약하고 느리며 이로 인해 발화의 발명료도가 저하될 수 있을 가능성을 시사한다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 11개월의 추적기간이 ALS의 모음의 특성 변화를 파악하는 데 충분하지 않을 가능성이 있다. 둘째, 본 종적사례연구는 확률과 추론의 통계적 검정이 반영되지 않았기 때문에 연구결과를 모든 ALS의 결과로 일반화 할 수 없다. 향후 ALS의 진행에 따른 포먼트의 변화를 규명하기 위한 실험연구가 요구된다.

5. 결론

본 연구는 스펙트로그램을 이용하여 ALS의 말 특성을 분석한다면 청지각적평가에 비해 객관적인 데이터를 수집할 수 있을 뿐만 아니라 병의 진행과정에 따른 효과적인 모니터링도 가능할 것이다. 본 연구의 결과를 기초로 향후 ALS의 진행에 따른 말 특성을 인과적으로 파악하기 위한 종적연구가 요구된다.

REFERENCES

- [1] M. C. Kiernan et al. (2011). Amyotrophic lateral sclerosis. *The Lancet*, 377(9769), 942–955.
- [2] A. C. Ludolph, J. Brettschneider, & J. H. Weishaupt, (2012). Amyotrophic lateral sclerosis. *Current opinion in neurology*, 25(5), 530–535.
- [3] L. J. Elias & M. S. Saucier. (2006) *Neuropsychology: Clinical and Experimental Foundations*. Boston; MA. Pearson Education Inc.
- [4] A. Chiò, G. Logroschino, B. J. Traynor, J. Collins, J. C. Simeone, L. A. Goldstein, & L. A. White. (2013). Global epidemiology of amyotrophic lateral sclerosis: a systematic review of the published literature. *Neuroepidemiology*, 41(2), 118–130.
- [5] B. Tomik, & R. J. Guiloff. (2010). Dysarthria in amyotrophic lateral sclerosis: a review. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 11(1–2), 4–15.
- [6] D. Freed (2011). *Motor Speech Disorders: Diagnosis & Treatment*. Clifton Park, NY: Cengage Learning.
- [7] C. York, L. Elman, L. McCluskey, S. Ash, & M. Grossman. (2014). Impaired Grammar in the Speech of Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Neurology*, 82(10 Supplement), P2–168.
- [8] L. J. Ball, D. R. Beukelman & G. L. Pattee. (2004). Communication effectiveness of individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Communication Disorders*, 37(3), 197–215.
- [9] C. T. Ferrand. (2006). *Speech Science: An Integrated Approach to Theory and Clinical Practice*(3rd ed.). Boston; Allyn and Bacon.
- [10] G. Weismer, J. Y. Jeng, J. S. Laures, R. D. Kent & J. F. Kent. (2001). Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 53(1), 1–18.
- [11] S. Watanabe, K. Arasaki, H. Nagata, & S. Shouji. (1994). Analysis of dysarthria in amyotrophic lateral sclerosis. MRI of the tongue and formant analysis of vowels. *Clinical neurology*, 34(3), 217–223.
- [12] J. C. Hwang. (2016). Voice recognition performance improvement using the convergence of bayesian method and selective speech feature extraction. *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(6), 7–11.
- [13] J. M. Hillenbrand, M. J. Clark, & T. M. Nearey. (2001). Effects of consonant environment on vowel formant patterns. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109(2), 748–763.
- [14] J. C. Hwang. (2017). Voice recognition performance improvement using the convergence of voice signal feature and silence feature normalization in cepstrum feature distribution. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(5), 13–17.
- [15] J. Yi, Y. K. Kim, & G. J. Kim. (2017). A study on improving English pronunciation and intonation utilizing fluency improvement system. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(11), 1–6.
- [16] H. Byeon. (2010). Comparing the acoustic character of diphthong production between flaccid dysarthria and spastic dysarthria. *Communication Sciences & Disorders*, 15(1), 66–78.
- [17] Y. Yunusova, J. R. Green, M. J. Lindstrom, G. L. Pattee, & L. Zinman. (2013). Speech in ALS: longitudinal changes in lips and jaw movements and vowel acoustics. *Journal of medical speech–language pathology*, 21(1), 1–13.
- [18] Y. Kang, D. L. Na, & S. Hahn. (1997). A validity study on the Korean Mini–Mental State Examination (K–MMSE) in dementia patients. *Journal of the Korean neurological association*, 15(2), 300–308.
- [19] J. M. Hillenbrand. (2004). *Alvin experiment–control software*. <http://homepages.wmich.edu/~hillenbr>
- [20] H. Byeon (2014). The Acoustic Characteristics of Korean Diphthongs in Speakers with Flaccid and Hypokinetic Dysarthria. *Information Tokyo*, 17(10B), 5297–5302.
- [21] H. Byeon, & S. Cho (2016). Cepstral analysis of connected speech of hypokinetic dysarthria and normal speakers. *Advanced Science and Technology Letters*, 132, 212–215.
- [22] Dongdaegu Child Development Center (2019). *Use of Spectrogram in Language Diagnosis and Assessment*. Dongdaegu Child Development Center [Online] <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=ksc133&logNo=220610796408&redirect=Dlog&widgetTypeCall=true&directAccess=false>.
- [23] G. S. Turner, K. Tjaden, & G. Weismer. (1995). The influence of speaking rate on vowel space and speech intelligibility for individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(5), 1001–1013.
- [24] R. D. Kent, J. F. Kent, G. Weismer, R. F. Martin, R. L. Sufit, B. R. Brooks, & J. C. Rosenbek. (1989). Relationships between speech intelligibility and the slope of second–formant transitions in dysarthric subjects. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 3(4), 347–358.
- [25] H. M. Sohn. (2001). *The Korean Language*. Cambridge, Cambridge University Press.
- [26] B. G. Yang. (1993). An Acoustical Study of Korean. Diphthongs, *MALSORI*, 25(1), 3–26.
- [27] Y. Yunusova, G. Weismer, & M. J. Lindstrom. (2011). Classifications of vocalic segments from articulatory kinematics: healthy controls and speakers with dysarthria. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54(5), 1302–1311.

변 해 원(Haewon Byeon)

[정회원]



- 2013년 2월 : 아주대학교 대학원 예방의학교실 (이학박사)
- 2009년 9월 ~ 2011년 2월 : 아주대학교의료원 연구원
- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 대림대학교 언어재활과 교수
- 2013년 3월 ~ 2017년 2월 : 남부대학교 언어치료학과 교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 언어치료학과 교수
- 관심분야 : 예측 모형, 데이터 마이닝, 의사소통장애
- E-Mail : bhwpuma@naver.com