

성악전공자와 비전공자에서의 음도에 따른 성대의근의 표면근전도 변화

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 이비인후과학교실
윤영선 · 손영익 · 추광철 · 김선일

= Abstract =

Surface EMG Activity of the Suprahyoid and Infrahyoid Muscles along the Pitch Changes in Trained and Untrained Singers

Young-Sun Yun, M.A., Young-Ik Son, M.D.,
Kwang-Chol Chu, M.D., Sun-Il Kim, M.D.

*Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery School of Medicine
Sungkyunkwan University, Samsung Medical Center, Seoul, Korea*

Extrinsic laryngeal muscles are well known to be important for the classical singers. We tried to elucidate any differences in the function of above muscles between trained and untrained singers by non-invasive surface electromyography(EMG).

Four trained sopranos and four untrained singers sang vowel /i/ at different pitch(E3, G3, C4, E4, G4, C5, E5, G5, C6). The EMG activities of the suprahyoid, infrahyoid and omohyoid muscles were measured using surface electrodes.

In trained singers, infrahyoid muscle activities increased more than those of suprahyoid in most of pitch. To the contrary, in untrained singers, the pattern of EMG activities were variable among each subjects and the EMG activities of suprahyoid muscles were relatively greater than those of infrahyoid.

KEY WORDS : Surface EMG · Extrinsic laryngeal muscles · Singer.

서 론

훈련된 성악가에서 관찰되는 성악 발성의 음향학적인 특성 중 하나인 singer's formant¹⁻³⁾는 스펙트로그램 상 3kHz 전후에서 관찰되는 강한 에너지로서, 오케스트라의 반주 속에서도 청중에게 자신의 목소리를 잘 전달하게 하는 중요한 기능을 갖는 것으로 이해되고 있다.

Sundberg는 이와 같은 음향학적인 현상을 후두가 확장되면서 후두실(laryngeal ventricle)과 이상와(piriform sinus)가 넓어져서 나타나는 성도의 공명 변화로 설명을 하였고,²⁾ Shipp 등은 남성성악가에서 고음으로 갈수록 후두의 하강이 증가됨을 관찰한 바 있어,⁴⁾ 성악 발성시 후두의 하강이 중요함을 예측할 수 있다.

후두의 상하 움직임과 관계되는 성대의근의 수축 경향을 파악하여, 성악전공자와 비전공자에게서 그 차이

를 규명하는 것은 성대의근이 성악 발성에 갖는 중요성을 파악하거나 나아가 얻어진 자료를 토대로 성악 발성 훈련이나 성악인의 음성치료에 활용할 수 있는 가능성이 있으리라 사료되어 비침습적인 방법을 통하여 그 차이를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

대상자는 정상 성대 소견을 보인 20~30대의 여성으로서, 성악을 전공한 지 10년 이상이 되는 소프라노 4명을 성악전공자군으로, 비전공자 4명을 대조군으로 하였다. 또한 두 군 간에 singer's formant의 형성여부를 확인하기 위해, E5음으로 /이/모음을 5초간 지속한 것을 CSL™(Computerized Speech Lab, KAY, USA)을 이용하여 FFT(Fast Fourier Transform) power spectrum을 통해 10.7msec(512point)의 크기로 분석하여, 3~4kHz 사이에 각 지점에서 얻어진 dB의 합을 비교하여 보았다. 그 결과, 전공자군에서는 dB의 합이

314.09 - 355.6이었고, 비전공자군에서는 155.97 - 238.06으로, 비전공자군에 비해 모든 전공자군에서 뚜렷하게 에너지가 증가되어 있는 singer's formant를 확인할 수 있었다. 성악전공자군에서 드라마틱, 리릭, 콜로라투라 등 소프라노 타입은 대상의 선별 기준에서 특별히 고려하지 않았다.

2. 연구방법

사용한 장비는 Multi-Mode Program(MMP)-plus (Viking™ IV, Nicolet Biomedical Inc., USA)로서, 1개 채널의 음성신호 및 3개 채널의 표면전극(Surface Disk Electrodes, Nicolet Biomedical Inc., USA)을 사용하였다. 4채널 중, 채널 1에는 microphone을 연결시켜 발성 시 waveform이 나타나게 하였고, 채널 2에는 설골상근(suprahyoid muscle)을, 채널 3에는 설골하근(infrahyoid muscle)을, 채널 4에는 견갑설골근(omohyoid muscle)의 활동전위가 나타나게 하였다.

표면전극의 위치는 세 개의 근육 모두 대상자의 오른쪽으로 지정하였으며, 설골상근은 설골(hyoid bone)

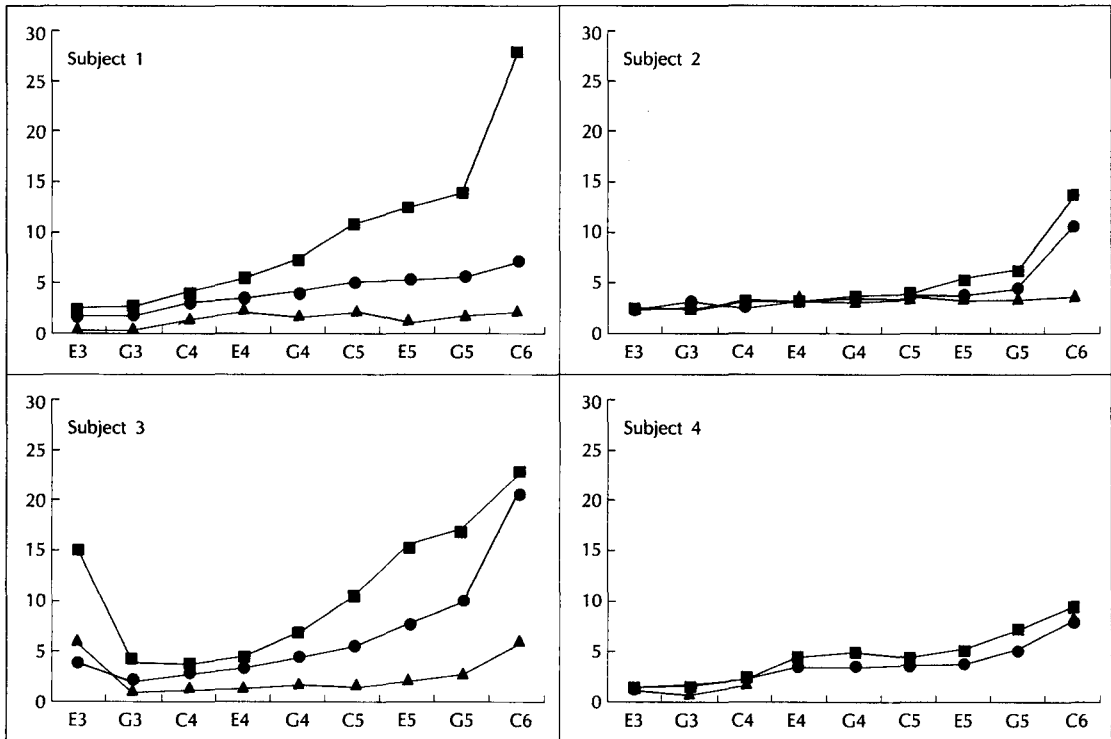


Fig. 1. EMG activities of each suprahyoid(●), infrahyoid(■), and omohyoid(▲) muscle along the pitch changes(E3, G3, C4, E4, G4, C5, E5, G5, C6) in four trained singers. Activity of infrahyoid muscle increased more than that of suprahyoid muscle at all notes. All y-axis data are the ratio of EMG activity at singing state and that at resting state.

을 기준으로 중앙에서 우측상방으로 1cm 떨어진 대각선에 위치한 곳에 부착하였고, 설골하근은 갑상연골결혼(thyroid notch)을 기준으로 중앙에서 동측하방으로 1cm 떨어진 대각선에 위치하게 하였다. 견갑설골근은 동측 흉쇄골근(sternocleidomastoid muscle)과 쇄골(clavicle)을 기준으로 삼각형을 이루는 견갑설골근 길이의 중심에 위치하게 하였다. 기준전극은 각각 2cm 떨어진 위치에 부착하였고, 접지전극은 손목에 부착하였다.

자세 변화에 의한 근전위 진폭의 증감을 최소화하기 위하여 대상자에게 평소 서서 노래를 부를 때 취하는 자세에서 시선은 10내지 15도로 상향하여 고정하게 하였고 양 팔을 자연스럽게 펴서 내린 채로 움직임을 제한하였다. 먼저 안정 상태에서 각 근육의 근전위 진폭을 측정하였고, 이후 발성을 할 때의 근전위 진폭을 측정하였다. 요구한 발성은 E3, G3, C4, E4, G4, C5, E5, G5, C6의 9개 음으로서, 낮은 음부터 시작하여 차례로 대상자에게 기준음을 들려주면서 같은 음으로 /이/ 모음을

수 초간 발성하게 하였다.

발성시작 후 1초가 되는 지점을 기준으로 1000ms의 안정된 구간을 지정하여, 각 채널마다 단위시간내 근전위 진폭의 합(uVms)을 자동으로 구하였다. 구한 값은 다시 각 채널마다 안정 상태에서 측정된 단위시간내 근전위 진폭의 합으로 나누어서 그 비율 값으로 음도에 따른 성대외근의 수축 정도를 비교하였다.

결 과

성악전공자군에서는 음도가 높아짐에 따라 성대외근의 근전위 진폭이 증가하는 경향을 보였고, 모든 음도에서 일관되게 설골상근에 비해 설골하근의 근전위 진폭이 증가하였다(Fig. 1).

비전공자군에서는 음도가 높아짐에 따라 성대외근의 근전위 진폭이 증가하는 경향을 보였지만, 개인간의 차이가 심하여 일관된 양상을 보이지 못하였고(Fig. 2), 평균적으로는 설골하근에 비해 설골상근이 근전위진폭이

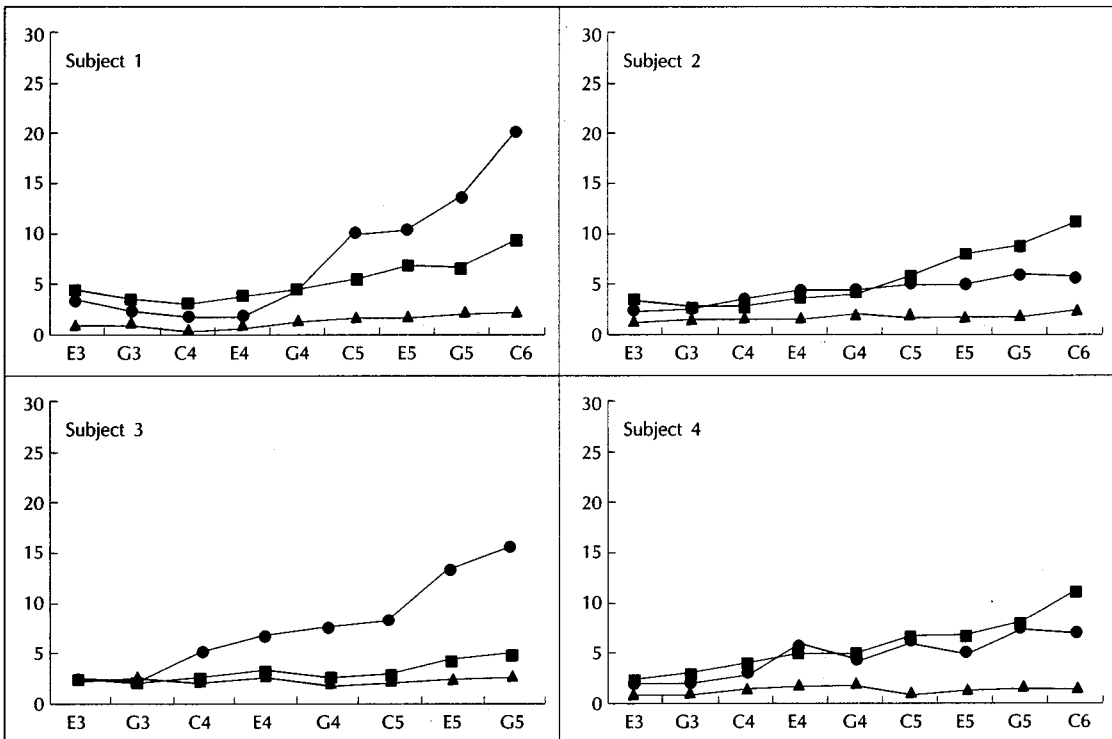


Fig. 2. EMG activities of each suprahyoid(●), infrahyoid(■), and omohyoid(▲) muscle along the pitch changes(E3, G3, C4, E4, G4, C5, E5, G5, C6) in four untrained singers. Various patterns of EMG activities by different pitch are observed among subjects. All y-axis data are the ratio of EMG activity at singing state and that at resting state.

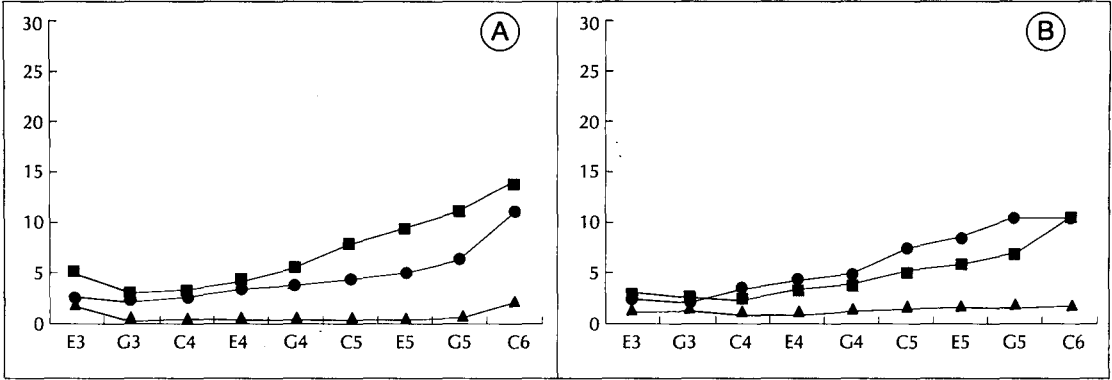


Fig. 3. Average EMG activities of suprahyoid(●), infrahyoid(■), and omohyoid(▲) muscles along the pitch changes(E3, G3, C4, E4, G4, C5, E5, G5, C6) in(A) trained singers and(B) untrained singers. All y-axis data are the ratio of EMG activity at singing state and that at resting state.

증가되는 양상을 보였다(Fig. 3).

견갑설골근은 변화의 폭이 다른 근육에 비해 상대적으로 매우 적었으며, 성악전공자와와 비전공자 간에 차이를 보이지 않았다.

고 찰

본 연구에서는 표면전극을 이용하여 지정된 위치에서의 설골하근과 설골상근의 근전위 진폭을 비교하여 보았기 때문에, 침전극을 이용할 때와 같이 성대내근이나 특정 성대외근의 수축경향을 관찰할 수는 없었다. 하지만 본 연구의 목적상 실제 임상에서 성악을 전공으로 하는 환자에게 발성 상태의 진단 또는 치료에의 응용 가능성을 예측하고자 하였기 때문에, 이와 같은 비침습적인 방법이 사용이 간편하며 피검자에게 동의를 얻기가 용이하다는 측면에서 장점이 될 수 있다고 본다.

이전의 연구 중, Sapir는 저모음 /아/에 비해서 고모음 /이/나 /우/에서 후두가 낮아지면서 높은 음도로 낸다고 하였고,⁵⁾ Sundberg는 일반적으로 평순음인 /이/에서는 후두의 높이가 높아지고, 원순음 /우/에서는 낮아진다고 하는 등,²⁾ 말을 할 때 발음에 따라서는 후두의 높이가 달라진다는 보고를 하였다. 또한 /아/모음은 발성시 음도의 증가에 따라 턱이 열리는 폭에 큰 차이가 없는 반면 /이/를 포함한 다른 모음들은 음도가 증가되면서 턱이 열리는 폭이 커진다고 하였다.²⁾ 이에 본 연구에서는 모음 차이에 의한 다양한 결과 해석의 가능

성을 배제하고 음도에 따른 차이를 보기 위해서 발성시 /이/모음으로 조건을 한정하여 분석하였다.

E3부터 C6내의 9가지의 음도를 요구한 것은 일반적으로 소프라노의 음역을 F3부터 C6로 볼 때,⁶⁾ 중성(middle voice)뿐만 아니라 저음도에서 나타나는 흉성(chest voice)과 고음도에서 나타나는 두성(head voice)을 포함하여 소프라노의 음역 전체를 대상으로 음도에 따른 변화를 보기 위함이었다. 중성의 범위는 대게 리릭 소프라노의 경우 E-flat4에서 F-sharp5로, 드라마틱 소프라노에서는 F4에서 F-sharp5(또는 F5) 등으로 나타난다.³⁾ 대상 성악전공자군 중에서 제일 낮은 음인 E3를 내기 어려운 경우도 있었고, 반면 비전공자군 중에서는 음역이 좁아서 E3와 C6를 내기 어려운 경우도 있었는데, 이와 같이 측정되지 않은 값은 결과의 해석에서 배제하였다.

본 연구에서는 대상자에게 일정한 강도를 유지하면서 발성을 하도록 요구하기보다는 음도에 따라 자연스럽게 발성하기를 요구하였다. 따라서 일반적으로 음도가 높아질수록 강도도 증가하는 경향이 있는 것을 고려하면, 음도뿐만 아니라 강도의 증가도 근육의 수축을 증가시키는 조건이 될 수 있다는 가정을 배제할 수 없다. 음도에 대한 변화만을 관찰하기 위해서는 음도가 증가하더라도 일정한 강도를 유지하도록 요구해야 하나, 그런 경우에는 자연스러운 발성에서 볼 수 있는 경향을 관찰하기 어려울 수도 있어서 위와 같이 자연스러운 발성 상태에서 측정을 하였다.

음도의 변화에 따른 후두외근의 기능에 관련한 기준

연구들로서, Shipp는 일반적으로 저음을 낼 때 후두가 하강되고, 고음을 낼 때 후두가 상승되며,⁷⁾ 이같은 현상은 발생훈련이 되지 않은 일반인에게서 더 잘 나타나고, 성악가의 경우에는 이와 반대로 고음을 낼 때 후두가 하강되는 것을 남성성악가를 통해 관찰하였다.⁴⁾ Neuschaefer-Rube등도 MRI를 이용하여, 고음시 후두가 상승되고 저음시 후두가 하강되지만, 훈련된 성악가일수록 이와 같은 후두의 위치 변화가 적다고 하였다.⁸⁾

Faarborg-Anderson등은 흉골갑상근(sternothyroid muscle)의 경우에는 저음에서는 활성화되고, 갑상설골근(thyrohyoid muscle)과 악설골근(mylohyoid muscle)의 경우에는 고음에서 활성화된다고 하였다.⁹⁾¹⁰⁾ Honda는 이설골근(geniohyoid muscle)이 고음을 내는 것에 관계한다고 하였다.¹⁰⁾ Roubeau 등은 침전극을 이용한 근전도로 glissando 시 음도의 변화에 따라 최저음을 낼 경우에는 설골하근만 활성화되었고, 중음역에서는 윤상갑상근이 음도에 직접적인 영향을 주어 설골하근의 활성화가 줄어들다가, 고음으로 갈수록 다시 상승한다고 보고하였다.¹¹⁾

Zemlin은 성악 발생시 흉골갑상근은 흉골설골근과 함께 숨을 들이쉬는 시기에 후두를 끌어내린다고 하였고, 이를 좋은 호흡조절이라 하였다.¹²⁾

본 연구 결과, 성악전공자군에서는 개인차가 없이 설골하근이 설골상근에 비해 근전위 진폭이 컸으나, 비전공자군에서는 개인차가 심한 편이었으며, 평균적으로는 설골상근이 설골하근에 비해 근전위 진폭이 더 큰 편이었다. 비전공자군에서 일정한 경향을 보이지 못한 것은 성악전공자에 비해 구조화된 발성을 하는 것이 아니라서 개인차가 큰 것으로 사료된다. 이에 반해 훈련된 성악전공자군에서 고음으로 갈수록 설골상근에 비해 설골하근의 근전위 진폭이 점차 증가하는 것은 음도가 증가함에 따라 후두의 하강이 더 많음으로 설명할 수 있겠다.

본 연구에서는 실험 여건 상 대상자의 수가 적어 결과에 대한 통계적인 유의성을 확인할 수 없었고, 성악전공자와 비전공자 두 군간의 양상만을 비교할 수 있었다. 또한 대상자를 소프라노로만 한정하였고, 모음 중에서는 /이/ 모음만으로 조건을 제한하여 발생한 결과를 비교하였기 때문에, 본 연구의 결과로써 서양 성악의 양상을 모두 설명하고 이를 적용하기에는 아직은 미

흡한 점이 있으리라 보며, 향후 연구에서는 이에 대한 보완이 필요하리라고 사료된다. 하지만 비침습적인 방법을 통하여 성악전공자에서 설골상근에 비해 설골하근의 근전위 진폭의 상승을 일관되게 관찰할 수 있었기에 이를 성악 발생의 숙련도 판정에 응용하거나 잘못된 후두외근의 사용에 대한 치료에 응용할 수 있는 가능성이 있으리라 생각된다.

결 론

성악전공자의 경우 발생시 고음으로 갈수록 설골상근에 비해 설골하근의 근전위 진폭이 증가하는 경향을 보였으나, 비전공자의 경우 설골상근의 진폭이 증가하는 등 음도에 따른 후두외근의 수축이 차이가 있음을 알 수 있었다. 따라서 표면전극 근전도를 이용하여 설골하근과 설골상근의 수축 양상을 비교하는 것은 성악가들의 발생 진단 및 치료 또는 발생훈련 등에 이용될 수 있으리라고 본다.

References

- 1) Cleveland TF : A clearer view of singing voice production : 25 years of progress. *J Voice*. 1994 ; 8(1) : 18-23
- 2) Sundberg J : *The Science of the singing voice*. DeKalb, Illinois : Northern Illinois university press, 1987 : 93-133
- 3) Benninger MS, Jacobson BH, Johnson AF : *Vocal arts medicine*. In : Miller R. *The Mechanics of singing : coordinating physiology and acoustics in singing*. New York : Thieme medical publishers, 1994 : 65-67
- 4) Shipp T, Izdebski K : *Vocal frequency and vertical larynx positioning by singers and nonsingers*. *J Acoust Soc Am*. 1975 ; 58(5) : 1104-1106
- 5) Sapir S : *The intrinsic pitch of vowels : theoretical, physiological, and clinical considerations*. *J Voice*. 1989 ; 3 : 44-51
- 6) Boone DR, McFarlane SC : *The voice and voice therapy*. 5th ed, New Jersey : Prentice hall, 1994 : 44
- 7) Shipp T : *Vertical laryngeal position during continuous and discrete vocal frequency*. *J Voice*. 1975 ; 18(4) : 707-718
- 8) Neuschaefer-Rube C, Wein B, Angerstein W et al

- : *MRI examination of laryngeal height during vowel singing. Folia Phoniatr.* 1996 ; 48(4) : 201-209
- 9) Faaborg-Andersen K, Sonninen A : *The function of the extrinsic laryngeal muscles at different pitch. Acta Otolaryngol.* 1960 ; 51 : 89-93
- 10) Vikman E, Sonninen A, Hurme P et al : *External laryngeal frame function in voice production Revisited : a review.* 1996 ; 10(1) : 78-92
- 11) Roubeau B, Chevrie-Muller C, Lacau St Guily J : *Electromyographic activity of strap and cricothyroid muscles in pitch change. Acta Otolaryngol.* 1997 ; 117 : 459-464
- 12) Brown ON : *Discover your voice. San Diego : Singular publish, 1996 : 177-180*