

서양음악을 전공으로하는 성악인에서의 공기역학적 검사

이화여자대학교 의과대학 이비인후과학교실
정 성 민

= Abstract =

Aerodynamic Study in Korean Western Classical Singers

Sung Min Chung, M.D.

Department of Otolaryngology, College of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Background and Objectives : Aerodynamic investigation is valuable information about the efficiency of the larynx in translating air pressure to acoustic signal. The normal data of the Korean has been reported, but there is no basic data of professional western classical singers who have learned how to control the flow of expiratory air for singing. The purpose of this study was to investigate the normal aerodynamic data of korean professional western classical singers and compare this with that of the Korean.

Materials and Methods : 50 Korean western classical singers were studied. Expiratory lung pressure combined with measurements of the mean air flow rate, voice frequency and intensity were measured with the aerodynamic test using airway interruption method. These data were compared with normal data of untrained normal adults.

Results and Conclusions : The voice frequency and the voice intensity were increased in the western classic singers, but the mean air flow rate and the expiratory air pressure of the classical singers were within the same range of the untrained normal adults. This result means that western classical singers can change the loudness and pitch with a little increasing or decreasing the mean air flow and the expiratory air pressure.

KEY WORDS : Korean western classical singers · Aerodynamic study.

서 론

말을 하고 노래를 하는 것은 폐로부터 나온 호기가 후두와 발음기관을 통과하면서 음향파(acoustic wave)를 만들고 이것이 공명기관에 의해 변형되는 공기역학적 과정에 의해 이루어진다. 그러므로 이러한 공기흐름의 상태를 측정하는 것은 음성형성 능력을 검사할수 있는 비교적 간단한 측정방법이라고 할수 있다. 기류저지

법을 이용한 공기역학적검사는 비침습적이고 간단한 방법으로 발생시의 폐내압과 호기류율, 음압, 주파수를 동시에 측정할수 있다. 국내 및 국외에서 정상성인 남녀의 공기역학적 검사치가 보고되어 왔으나, 아직까지 호흡방법 및 공명방법에 대해 고도로 훈련받은 성악인에서의 검사치는 보고되고 있지 않다. 이에 저자는 성악 훈련을 3년이상 교육받은 남녀 성악인들을 대상으로 기류저지법에 의한 공기역학적 검사를 시행하여, 이들의 검사치를 성악 훈련을 받지 않은 정상 남녀의 검사

치와 비교해 봄으로써, 훈련에 의한 공기흐름의 변화를 살펴보는 동시에, 성악인들에게서 음성문제가 발생되었을 때, 음성문제 발생의 원인을 진단하고 치료하기 위한 자료로 사용하고자 본연구를 시행하였다.

결 과

대상 및 방법

1. 연구대상

서양음악을 3년이상 교육받은 성악과 대학생, 대학원생 및 전문 성악인 50명(소프라노 27명, 메조소프라노 5명, 테너 9명, 바리톤 9명)을 대상으로 하였다. 이들 성악인들은 과거력상 및 현재력상 음성장애가 없었으며 후두스트로보스코피 소견이 모두 정상이었다. 일반 대조군으로는 성악훈련을 받지 않았으며 기왕력상 음성장애가 없고 후두스트로보스코피상 정상성대를 가진 성인 남녀 각각 10명을 대상으로 하였다.

2. 연구방법

기류저지법을 이용한 발성시의 공기역학적 검사법을 사용하여 주파수, 강도, 호기류를 및 호기압을 측정하였다. 측정기구는 Nagashima phonatory fuction analyzer(model PS77H)를 사용하였다. 측정은 방음실 내에서 피검자에게 마우스피스(mouth piece)를 구강전정에 물리고 입모양은 우(U) 또는 오(O)에 가깝게 하였다. 기류저지의 순간에 급속히 상승하는 구강내압에 대항하도록 구순과 볼을 긴장시키고 코로부터 숨이 나오지 못하도록 코를 쥐도록 하였다. 이 상태로 2~3초 동안 지속발성을 시키면서 발성개시후 1~2초에 강도, 호기류를, 기본주파수가 안정된 시점을 화면을 통해 확인하면서 기류저지의 셔터(shutter)를 눌러 호기유출을 차단하였다. 이런방법으로 편안한 발성을 2회 측정하였고 큰 소리, 부드러운 소리, 높은 소리, 낮은 소리에서 각각 1회씩 측정하였다.

1. 음 고

모든 발성방법에서 남성성악인의 경우 테너는 102~377Hz의 음고변화를 나타내었고 바리톤은 89~308Hz의 음고변화를 나타내어 정상성인 남자의 음고변화인 106~286Hz에 비해 큰폭으로 음고를 변화시킬수 있었으며 특히 테너의 경우는 낮은소리를 제외한 모든 발성에서 정상인에 비해 높은 음고를 나타내고 있었다($p < 0.05$). 여자성악인에서도 소프라노는 177~631Hz, 메조소프라노는 165~671Hz의 음고변화를 보여 정상성인여자의 음고변화인 188~405Hz에 비해 큰폭으로 음고를 변화 시킬수 있었으며, 특히 소프라노는 모든 발성에서 메조소프라노는 높은소리를 발성할 때 정상인에 비해 높은 주파수로 발성하였다($p < 0.05$)(Table 1).

2. 음의 강도

발성방법에서 테너는 72~95dB의 음의 강도 변화를 보였고 바리톤은 72~93dB의 변화를 보여 정상성인 남자의 음의 강도변화인 71~85dB의 변화에 비해 음의 강도변화의 폭이 컸을 뿐만아니라 모든 발성에서 정상성인남자에 비해 음의 강도가 증가되어 있었다($p < 0.05$). 여자성악인에서 소프라노는 70~86dB, 메조소프라노는 71~90dB의 음의 강도변화가 있었고, 정상성인여자의 음의 강도는 67~87dB사이에 있었다. 음의 강도 변화폭은 정상인과 성악인 사이에 큰 차이가 없었으나 소프라노는 모든 발성에서 메조소프라노는 높은 소리를 낼 때 통계적으로 유의있게 정상인에 비해 큰소리로 발성하고 있었다($p < 0.05$)(Table 2).

3. 호기류를

발성방법에 따라 테너는 186~346ml/sec의 호기류

Table 1. Voice frequency of classical singers and untrained normal adults in different phonation(Hz)

Phonation	Male			Female		
	Untrained adults	Tenor	Bariton	Untrained adults	Soprano	Mesosoprano
Easy I	113.32	136.00*	112.11	202.62	232.44*	204.40
Easy II	113.27	135.33*	111.33	203.44	232.96*	201.40
Loud	193.78	293.00*	228.00	294.49	416.74*	414.80
Soft	123.15	169.56*	120.33	236.93	288.41*	294.80
High	286.88	377.56*	308.00	405.89	631.63*	671.00*
Low	106.66	102.00	89.56	189.76	177.30*	165.20

* : $p < 0.05$

울의 변화가 있었고 바리톤은 172~366ml/sec의 호기류율의 변화가 있었다. 정상성인남자는 147~254ml/sec의 호기류율 변화를 보여 성악인에 비해 호기류율의 변화폭이 적었으며 특히 큰소리를 낼 때 테너와 바리톤은 모두 정상성인남자에 비해 호기류율이 의의있게 증가하였다($p < 0.05$).

여자성악인 경우 소프라노는 112~245ml/sec, 메조소프라노는 109~246ml/sec의 호기류율의 변화가 있었고 정상성인여자는 109~187ml/sec의 호기류율 변화가 있어, 성악인에서 호기류율의 변화폭이 현저하게 증가되어 있다. 특히 소프라노는 편안한 소리, 큰소리, 부드러운 소리를 낼 때 메조소프라노는 높은 소리를 낼 때 성악훈련을 받지않은 정상인에 비해 호기류율이 의의

있게 증가되어 있었다(Table 3).

4. 호기압

다양한 발성방법에서 테너는 61~152mmH₂O의 호기압의 변화를 보였고, 바리톤은 41~122mmH₂O의 호기압의 변화를 보였고 정상성인남자는 42~114mmH₂O의 변화를 보여 성악훈련을 받지 않은 정상인과 성악인 사이에 큰차이가 없었다. 또한 모든 발성방법에서 성악인과 정상인 사이에 호기압의 차이는 발견되지 않았다. 여자성악인에서도 소프라노는 50~107mmH₂O, 메조소프라노는 47~147mmH₂O의 호기압의 변화를 보였고 정상성인여자는 49~94mmH₂O의 호기압의 변화를 보였으며 정상인과 성악인 사이의 호기압에 통계적으로 의의있는 차이는 없었다(Table 4).

Table 2. Voice intensity of classical singers and untrained normal adults in different phonation(dB)

Phonation	Male			Female		
	Untrained adults	Tenor	Bariton	Untrained adults	Soprano	Mesosoprano
Easy I	72.34	77.56*	76.44*	67.24	70.19*	74.00
Easy II	72.20	78.00*	76.00*	68.11	71.11*	72.80
Loud	85.12	95.22*	93.44*	87.98	87.44*	90.00
Soft	73.02	78.89*	76.78*	67.73	71.07*	71.20
High	81.51	95.44*	89.22*	75.56	86.41*	87.00*
Low	71.46	156.90	72.56	68.33	71.63*	71.60

* : $p < 0.05$

Table 3. Mean air flow rate of classical singers and untrained normal adults in different phonation(ml/sec)

Phonation	Male			Female		
	Untrained adults	Tenor	Bariton	Untrained adults	Soprano	Mesosoprano
Easy I	155.42	189.00*	172.00*	109.80	130.85	110.00
Easy II	147.29	186.22	181.67	109.24	133.70*	119.60
Loud	204.02	346.00*	366.67*	135.13	215.70*	204.80
Soft	162.24	200.56	206.22	120.29	152.93*	146.40
High	254.24	283.33	349.89	187.96	223.19	246.60*
Low	155.27	195.33	178.33	118.09	112.89	109.20

* : $p < 0.05$

Table 4. Expiratory air pressure of classical singers and untrained normal adults in different phonation(mmH₂O)

Phonation	Male			Female		
	Untrained adults	Tenor	Bariton	Untrained adults	Soprano	Mesosoprano
Easy I	42.29	66.00	50.56*	49.71	57.00	48.00
Easy II	45.29	75.67	40.89	51.09	57.58	49.80
Loud	100.70	152.11	122.22	82.29	107.67*	127.40
Soft	47.63	75.22	41.78	51.33	59.78	66.40
High	114.42	147.67	102.00	94.89	104.44	147.60
Low	50.90	61.22	40.89	49.78	50.89	47.20

* : $p < 0.05$

고 안

기류저지법을 사용한 공기역학적검사는 비침습적이고 간단한 방법이면서 발생시의 폐내압과 호기류율, 음압 및 주파수를 동시에 측정할수 있는 장점을 가지고 있다. 폐로 부터 나온 호기는 하기도의 기류저항을 거쳐 성문하에 도달하게 되므로 기류저지법에 의해 측정되는 호기압이 성문하압과 완전히 일치하지 않으나 Bohnuys¹⁾ 등의 보고에 의하면 정상인에서는 폐포로부터의 성문하까지의 저항을 무시하여도 좋을만큼 작은 양이므로 하기도의 기류저항에 변화가 없는한 폐에서 방출되는 호기압으로 성문하압을 대치하여 사용가능하다고 하였다. 1987년 Masayuki²⁾과 Sawashima³⁾이 기류저지법을 사용하여 호기류율과 호기압 및 음압을 측정하여 보고한바 있으며, 국내에서는 문⁴⁾이 기류저지법을 사용하여 한국의 정상성인 남녀의 검사치를 보고한바 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 고도의 발생법을 훈련받은 서양음악을 전공으로 하는 성악인의 검사치는 보고된바 없다.

성악인들은 전문적인 운동선수와 마찬가지로 음성을 사용하는 운동선수이기 때문에 이들의 검사치는 성악 훈련을 받지 않은 일반인들과는 구별하여 전문적인 성악인들의 기준치를 작성하여, 성악인이 발생에 이상이 발생되었을때는 이들 기준치와 비교하여 기능이상인지를 판단해야 한다. 왜냐하면 성악인들은 호흡기나 후두 또는 공명기관에 이상이 발생되었을 때에도 이것을 처음에는 기교적으로 보상함으로써 초기병변이 은폐될수 있기 때문이다. 음성발성 및 조절은 호흡기관, 후두, 공명강의 상호작용에 의해 이루어지는데, 호흡방법과 공명방법에 대해 고도로 훈련받은 서양음악을 전공으로 하는 성악인들의 경우 호흡조절에 의해 성문하압을 다양하게 변화시키며 음의 크기와 음의 높이를 큰폭으로 조절하는 것이 보고되고 있다.⁵⁻⁷⁾ 실제로 본연구에서도 성악인이 성악훈련을 받지 않은 정상인에 비해 호기류율이나 호기압은 큰 차이가 없었으나 음의 높이와 크기가 현저하게 증가되어있는 것을 볼수 있었다. 본 연구에서의 성악인들의 공기역학적검사 소견은 모든 검사치가 성악훈련을 받지 않은 정상인들에 비해 증가되어있었다.

특히 음의 높이와 음의 강도는 통계적으로 의의있게

정상인 등에 비해 증가되어있었고, 호기류율과 호기압도 통계적인 의의는 없었지만 평균적으로 정상인들의 검사치에 비해 증가된 소견을 보여주고 있었다. 성악인들 특히 소프라노에서 일반인들에 비해 음역(vocal range)의 범위가 넓고, 높은 고음을 발생하고 있는 것을 볼수 있다. 이것에 대한 설명은 2가지로 할수 있는데 첫째, 턱을 내리고 입을 크게 벌리므로써 기본주파수(fundamental frequency)가 제1음형태(first formant)보다 높을 때, 제1음형태를 기준주파수에 가깝게 음조를 맞추는 것이다. 이런과정들이 실제적으로 음압을 높일수 있다는 것이다. 둘째, 성악인들은 일반인들에 비해 높은 성문하압(subglottic pressure)을 사용한다는 것이다⁸⁻¹¹⁾. 이런 두가지 이유로 성악인들이 일반인보다 훨씬 높은 고음을 발생한다는 것이다. 본 연구에서도 높은 소리로 발생시 기본주파수가 일반성인 남자는 286Hz인 반면 테너에서는 377Hz였고 일반성인 여자는 405Hz였으나 소프라노에서는 631Hz까지 증가하고 있었다. 성문하압은 음성조건에 가장 중요한 요소로 사용하는데, 여러보고자들이 성악인들이 어떻게 자유자재로 성문하압을 조절하는지와¹²⁾¹³⁾, 몸의 자세와 폐활량이 노래하는 동안 어떻게 성문하압에 영향을 미치는지를 연구 하였고¹⁴⁾¹⁵⁾, 성악인에서 폐압과 음압강도 사이의 연관성을 연구한 바 있으며 그 결과 성악인들은 같은 폐압에서도 호기류율을 일반인들보다 3~4배이상 변화시킬 수 있었으며 이것으로 음의 크기를 10~12dB정도 변화시킬 수 있음을 발견하였다.¹⁶⁾ 이와 같이 성악인들은 일반인들보다 높은 성문하압을 만들면서 발생하고 큰소리로 노래할 수 있다는 것을 알수 있다. 즉 성악인들은 훈련에 의해 후두 근육을 강하게 만들어서 높은 성문하압에도 견딜수 있으며 동시에 높은 음압 즉, 큰소리로 노래 할수 있다고 보며, 동시에 앞에서 언급한바와 같이 제1음형태를 기본 주파수에 가깝게 조율함으로써 음의 고도를 높일뿐아니라 음의 강도를 높일수 있다고 본다.

본연구에서도 성악인들에서 일반인들에 비해 통계적인 의의는 없었지만 호기압이 모든 발생에서 증가되어있었으며, 음의 강도는 통계적으로 의의있게 성악인에서 증가되어 있었다. 음압(sound pressure level)은 우선적으로 성문하압에 의해서 조절되는 것이 밝혀졌지만⁶⁾¹⁷⁾ 성문하압외에도 성대내전, 기본주파수, 음형태주파수 등에 의해서도 영향받는 것으로 알려져 있다.¹⁸⁾ 이중

에서도 성대내전이 중요한데 즉 성대내전 형태로 발성 형태 즉 호기흐름을 조절하는 것이다. 즉 성악인들은 'flow phonation'으로 'pressed phonation'에 비해 음압을 높일수 있는데, 성악인들은 'flow phonation'에 의해 성문의 폐쇄기(closed phase)를 길게 하므로써 성문 하압을 증가시키고 음압을 크게 하는 것으로 생각된다.¹⁹⁾ 본 연구에서도 호기류율은 성악인에서 통계적인 의미는 없었지만 일반인에 비하여 증가되어 있었다. 이와 같이 성악인들은 훈련에 의해 발성방법을 변화 시킴으로써 일반인과는 차이가 있는 공기 역학적 소견이 관찰되므로 추후 더 많은 성악인에서 이런 검사를 시행하여 성악인들의 정상 기준치를 작성함으로써 이들의 발성상태 변화의 기준으로 사용하는 것이 필요하다고 본다.

결 론

음의 고도는 테너와 소프라노에서 일반인에 비해 통계적으로 유의있게 모든 발성방법에서 주파수가 증가되어 있다. 음의 강도는 테너와 바리톤에서는 낮은 소리를 발성할때를 제외한 모든 발성에서 일반인에 비해 통계적으로 유의 있게 증가되어 있었고, 소프라노는 모든 발성에서, 메조소프라노는 높은 소리에서 일반인에 비해 통계적으로 유의있게 큰소리로 발성하고 있었다. 호기류율은 모든 발성에서 성악인이 일반인 보다 증가되어 있었으나, 테너에서는 편한 발성과 큰 소리를 낼때, 소프라노는 편한 발성, 큰 소리, 부드러운 소리를 낼 때, 메조소프라노는 높은 소리를 낼때에만 통계적으로 유의있게 증가되어 있었다. 호기압 역시 일반적으로 성악인에서 일반인에 비해 증가되어 있었으나 테너가 편한 발성을 할 때와 소프라노가 큰소리로 발성할때만 통계적으로 유의있게 증가되어 있었다. 이와 같이 호흡 방법과 발성방법에 따라 전문적으로 훈련받은 성악인 경우 공기 역학적 검사치가 일반인들과는 상당히 차이가 있으므로 향후 좀더 많은 성악인에서 검사를 시행하여 일반인들과는 다른 성악인들만의 기준치를 작성함으로써 이들에게서 음성문제가 발생되었을 때 진단과 치료에 도움이 되도록 하는 것이 필요하다고 사료된다.

References

1) Bouhuys A, Proctor D, Mead J : *Kinetic aspect of*

singing. J Appl Physiol. 1996 ; 21 : 483-496

- 2) Masayuki S, Seiji N, Satoshi H : *On the clinical evaluation of aerodynamic data in phonation : A study of evaluation of aerodynamic data using airway interruption method. Ann Bull RILP.* 1987 ; 21 : 101-110
- 3) Sawashima M, Honda K, Niimi S, Hirose H : *Some clinical data on aerodynamic examination using airway interruption method. Ann Bull RILP.* 1986 ; 20 : 217-224
- 4) Moon YI : *Aerodynamic test in phonation using the airway interruption method - A study of Korean normal data. Korean J Otolaryngol.* 1996 ; 39(7) : 1087-1092
- 5) Sundberg J, Iwarsson J, Holm Billstrom AM : *Significance of mechanoreceptors in the subglottic mucosa for subglottal pressure control in singers. J Voice.* 1995 ; 9(1) : 20-26
- 6) Rubin H, LeCover M, Vennard W : *Vocal intensity, subglottic pressure and airflow relationships in singers. Folia phoniatr(Basel).* 1967 ; 19 : 393-413
- 7) Leanderson R, Sundberg J, Von Euler C : *Role of diaphragmatic activity during singing : A study of transdiaphragmatic pressures. J Appl Physiol.* 1987 ; 62 : 259-270
- 8) Lindblom B, Sundberg J : *Acoustical consequences of lip, tongue, jaw and larynx movement. J Acoust Soc Am.* 1971 ; 50 : 1166-1179
- 9) Sundberg J : *Formant technique in a professional female singer. Acoustica.* 1975 ; 32 : 89-96
- 10) Miller DG, Schutte HK : *Formant tuning in a professional baritone. J Voice.* 1990 ; 4 : 231-237
- 11) Miller DG, Schutte HK : *Feedback from spectrum analysis applied to the singing voice. J Voice.* 1990 ; 4 : 329-334
- 12) Leanderson R, Sundberg J, Von Euler C : *Role of diaphragmatic activity during singing : A study of transdiaphragmatic pressure. J Appl Physiol.* 1987 ; 62 : 259-270
- 13) Leanderson R, Sundberg J, Von Euler C : *Breathing muscle activity and subglottal pressure dynamic in singing and speech. J Voice.* 1987 ; 3 : 258-261
- 14) Sundberg J, Leanderson R, Von Euler C : *Activity relationship between diaphragm and cricothyroid muscles. J Voice.* 1989 ; 3 : 225-232
- 15) Leanderson R, Sundberg J, Von Euler C, Knutsson E : *Influence of body posture and lung volume subglottal pressure control during singing. J Voice.* 1991

- ; 5 : 283-291
- 16) Titze I, Sundberg J : *Vocal intensity in speakers and singers. J Acoust Soc Am. 1992 ; 91 : 2936-2946*
- 17) Bouhuys A, Mead J, Proctor D, Steven SK : *Pressure-flow events during singing. Ann NY Acad Sci. 1968 ; 155 : 165-176*
- 18) Gramming P, Sundberg J : *Spectrum factors relevant to phone to gram measurement. J Acoust Soc Am. 1988 ; 83 : 2352-2360*
- 19) Sundberg J, Titze I, Scherer R : *Phonatory control in male singing : A study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency and mode of phonation on the voice source. J Voice. 1993 ; 7 : 15-2*