

성악가와 훈련 받지 않은 일반인의 음도, 강도, 성구 변화 시 발성 및 호흡조절 특성

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실 음성언어의학연구소,¹ 의학공학교실²

최성희¹ · 남도현¹ · 김덕원² · 김영호¹ · 최홍식¹

= Abstract =

Characteristics of Phonatory and Respiratory Control on Pitch, Loudness, Register Change in Untrained and Trained Singers

Seong Hee Choi, PhD¹, Do-Hyun Nam, MD¹, Deak Won Kim, PhD²,
Young-Ho Kim, MD¹ and Hong-Shik Choi, MD¹

¹Department of Otorhinolaryngology, Institute of Logopedics and Phoniatrics and

²Biomedical Engineering, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background and Objectives : Training of breath support and laryngeal muscles control are important components in the development of the singing voice. The purpose of this study is to compare characteristics of respiratory and phonatory control on pitch, loudness, register change with untrained males and trained male singers.

Materials and Methods : The 11 untrained males and 11 trained male singers participated. Closed Quotient (CQ), fundamental frequency (fo) and relative volume contribution of the rib cage (in percentage rib cage, % RC) and relative volume contribution of abdomen (in percentage abdomen, % AB) were measured during various pitch, loudness, register tasks using /a/ vowel phonation : Legato, staccato with C3-D3-E3-F3-G3 notes and crescendo and decrescendo with C3 note as well as modal register with C3 and falsetto register with C4 note using an integrated analysis system of Respiration, EGG and Voice.

Results : (1) When pitch increased with legato task, loudness also increased in untrained male group but maintained in trained male singers. CQ was also increased both untrained and trained male singers but it was not significantly different ($p > .05$). The abdomen contribution to lung volume were significantly predominant both in inhalation and exhalation in trained males singers ($p < .05$). (2) When pitch increased with staccato task, CQ was not significantly different in untrained but significantly different in trained male singers. The respiratory function of male singers were characterized by significantly predominant abdomen contribution to lung volume in exhalation except for inhalation ($p < .05$) (3) When loudness increased with crescendo, fo was significantly increased with increasing CQ in untrained males but fo was relatively consistent with increasing CQ in trained male singers. The respiratory function of male singers were characterized by significantly predominant abdomen contribution to lung volume in exhalation except for inhalation ($p < .05$). (4) Most male singers were able to change register from modal to falsetto register, but untrained males were not. Thus, CQ was significantly different between modal and falsetto register in trained male singers ($p < .05$). The respiratory function of male singers were characterized by significantly predominant abdomen contribution to lung volume in exhalation except for inhalation ($p < .05$).

Conclusion : Male singers were superior to untrained males in coordination of respiratory and phonatory control on pitch, loudness, register change. Implication are offered regarding how the results might be applied to the voice therapy as well as singing training.

KEY WORDS : Singers · Pitch · Loudness · Register · Respiratory and phonatory control.

논문접수일 : 2006년 9월 18일

심사완료일 : 2006년 10월 30일

책임저자 : 최홍식, 135-720 서울 강남구 도곡동 146-92 연세대학교 의과대학 이비인후과학교실 음성언어의학연구소

전화 : (02) 3497-3461 · 전송 : (02) 3463-4750 E-mail : hschoi@yumc.yonsei.ac.kr

서론

발성은 성대내전근(intrinsic muscles)의 수축과 호기 활동 간의 관계에 따라 이루어지고, 음도(pitch), 강도(loudness), 성구(register) 변화와 같은 다양한 발성 기능을 가진다. 대부분의 대화는 적절한 습관적 음도와 강도를 포함한 흉성구(chest register)에서 산출되지만, 다양한 의사소통 상황에서 운율(prosody)과 관련된 음도와 강도의 변화가 나타나며, 특히 가창 시에는 음도에 따라 성구의 변화가 나타난다.

사람의 목소리는 기본주파수의 5 옥타브에 걸쳐서 소리를 산출할 수 있는 능력이 있다고 하였으며,¹⁾ 남성은 20~1000 Hz, 여성은 2000Hz 이상의 기본주파수를 산출할 수 있다고 하였으나 실제 사용하는 기본주파수는 이 생리학적 기본주파수 범위에 비해 매우 적으며, 일반적으로 말할 때 남성은 80~150Hz, 여성은 150~250Hz사이의 기본주파수를 사용한다고 하였다.²⁾ 성구(register)는 이러한 연속적인 기본주파수 범위 내에서 비교적 일정한 음질을 갖는 구역³⁾ 혹은 지각적으로 느낄 수 있는 음성의 영역⁴⁾이라 할 수 있다. 학자들에 따라 약간의 차이가 있으나, Holien은 modal, pulse, loft로 구분하였다.³⁾ Modal register는 남성의 경우 90~250Hz로 말할 때나 가창 시에 대부분 사용되는 기본주파수의 범위이다.⁵⁾

일반적으로 성대의 기본주파수의 조절은 주로 운상갑상근(cricothyroid muscle, CT)에 의해 조절되며, 이차적으로 갑상피열근(thyroarytenoid muscle, TA), 세 번째로 성문하압에 의해 조절된다. 증가된 CT근육과 성문하압은 기본주파수를 상승시키는 반면에 TA 근육은 기본주파수를 증가시키거나 감소시키는 것으로 알려져 있으며 이는 성대 진동의 깊이에 따라 다르다고 알려져 있다.⁶⁻⁸⁾

성대음의 크기는 주로 성문하압에 의해 조절되며, 성대 내근의 긴장도가 클수록, 성문폐쇄율이 클수록, 호기량이 많을수록 커진다고 하였다.⁹⁾ 따라서 음성 강도는 호흡과 후두의 조절을 모두 포함한다.²¹⁾ 그러나, 성악가와 훈련받지 않은 일반인들 간의 음도나 강도, 성구 조절 메카니즘은 차이를 보이는 것으로 보고되고 있다. 특히, 성악인들은 발성을 위한 호흡 훈련 및 발성 훈련에 의해 기본주파수 조절 시 내후두근과 외후두근을 적절히 잘 사용하며,¹⁰⁾ 강도 증가나 감소 시 'messa di voce' 라는 발성테크닉에 의해 비교적 균질한 음질을 유지하고 성구 전환을 잘 하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾¹²⁾ 현재까지 한국 남성 성악도를 대상으로 가성구와 흉성구, 두성구에 대한 음향학적 분석에 대한 연구가 있었

으나,¹³⁻¹⁵⁾ 훈련받지 않은 일반 남성과의 비교에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 정상적인 발성 중에 호흡 신호를 측정할 수 있으며, 발성 시 공명, 조음 기관에 영향을 주지 않고 호흡, 성문 및 발성 기능을 동시에 측정할 수 있는 음성, 성문 및 호흡 통합 검사 장치(이승훈 외, 2005)¹⁶⁾를 이용하여 훈련받지 않은 일반인과 성악인의 음도, 강도, 성구 변화 시 발성 및 호흡 특성에 차이가 있는지 살펴보고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상자

훈련받지 않은 일반인군은 호흡 훈련 경험이 없고, 최근 5년 이내에 흡연 경험이 없으며 후두 정밀 내시경 검사에서 성대 질환이 발견되지 않고 청지각적으로 음성 이상이 없는 남자 12명을 대상으로 하였으나, 음정을 맞추지 못하는 1명은 실험에서 제외하였다. 훈련받지 않은 남자군은 총 11명이었으며 평균 연령은 29.5세였다. 성악가군은 후두정밀 내시경 검사에서 정상인군과 같이 현재 성대 질환이 없는 남자 성악가 학생 12명(테너 4명, 바리톤 8명)을 대상으로 하였으며, 이들의 평균 연령은 26.3세, 경력은 7.4년이었다.

2. 연구 방법

음성 표본은 소음이 차단된 방에서 연세대학교 의학공학 교실과 연세대 음성언어의학연구소에서 공동 개발한 다채널 통합 음성 검사 장치를 이용하여 발성 시 음성신호와 전기성문파형, 흉복부 호흡 운동을 동시에 측정하였다. 대상자는 서 있는 상태에서 목에는 EGG 밴드를, 유두와 배꼽 부분에 각각 Piezo Respiratory Belt (MLT 1132, USA) 측정기를 두르고, digital sound level meter (model, 8925)를 사용하여 음성 채취하였으며 입과 헤드셋 마이크로폰 Model C420 (AKG Acoustics, Austria)와의 거리는 5cm 거리로 하였다. 또한, 호흡 기능에 대한 운동학적(kinematic) 분석을 하기 위하여 호흡 보정을 실시하였다. 피검자 10명 여급 휴식 시 상태로부터 흉부와 복부로 최대 흡기와 호기를 하도록 하여 흉부채널에서 최대/최소, 복부채널에서 최대/최소 호흡 수치를 각각 구하였고 다음과 같은 방법에 의해 흡식 및 복식 호흡의 비율이 측정되었다.

$$\text{흡식 호흡 비율} = \frac{(\text{흉부 호흡 값} - \text{흉부 최소}) \times 100 / (\text{흉부 최대} - \text{흉부 최소})}{100} [\%]$$

$$\text{복식 호흡 비율} = \frac{(\text{복부 호흡 값} - \text{복부 최소}) \times 100 / (\text{복부 최대} - \text{복부 최소})}{100} [\%]$$

음도 변화는 pitch pipe로 첫 음을 들려주고 음도를 점

차적으로 높이면서 발성하고 내리면서 발성하도록 C3음-D3음-E3음-F3음-G3음으로 상행-하행 레가토(legato)와 스타카토(staccato) 음계를 모델링한 뒤 따라하도록 하였다. 소리의 크기는 편안한 보통 크기의 /아/ 발성은 피검자가 선 상태에서 보통 크기(65±5dB)가 되도록 하였고, 강도변화는 C3(131Hz)음에서 /아/ 모음으로 소리를 점차로 증가했다가(crescendo) 점차로 줄여서(decrescendo) 발성하도록 하였으며 digital sound level meter(model 8925, Korea)로 모니터하도록 시각적 피드백을 주었다. 옥타브 도약은 흉성구는 C3음에서 시작하여 한 옥타브 올려서 C4음 위치에서는 가성구로 발성하도록 하였다.

3. 자료 분석

본 연구의 발성 과제 동안 흡기 시 흡식 및 복식 호흡의 비율과 호기 시 흡식 및 복식 호흡의 비율은 복부와 흉부를 합한 채널에서 흡기 및 호기 구간을 선정하여 다음과 같은 공식에 의해 복식 호흡의 비율을 측정하였고, 흡식 호흡의 비율은 100 - 복식호흡의 비율로 계산해 내었다.

$$\text{복식 호흡의 비율} = \frac{R_{ABD}}{R_{CI} + R_{ABD}} \times 100[\%]$$

음도 고정 시 /아/ 발성은 5초 동안의 흡식 및 복식 호흡의 비율을 구하였고, 음도 변화 시 /아/ 발성은 저음인 C3음부터 고음인 G3음까지의 흡식 및 복식 호흡을 측정하였다. 강도 변화 시 /아/발성은 작은 강도부터 가장 큰 강도까지의 흡식 및 복식 호흡의 비율을 구하였고, 성구 변화 시 진성구부터 가성구까지의 흡식 및 복식 호흡 비율을 측정하였다.

기본주파수와 성문폐쇄율은 저음인 /C3/음 및 고음인 /G3/음을 구하였고, 강도가 가장 작은 지점과 강도가 제일 큰 지점의 기본주파수 및 성문폐쇄율을 구하였다. 또한 진성구와

가성구의 /아/발성에서 각각의 안정된 구간에서의 기본주파수 및 성문폐쇄율을 측정하였다.

4. 통계

통계학적 검증은 통계분석패키지인 Statistical Packages for Social Sciences(SPSS)12.0을 사용하였으며 집단 간 차이를 보기 위해 비모수 통계 분석인 Mann-Whitney test를 실시하였으며, 집단 내 차이를 보기 위해 Wilcoxon signed ranks test를 실시하였고 유의수준은 95%로 검증하였다.

결 과

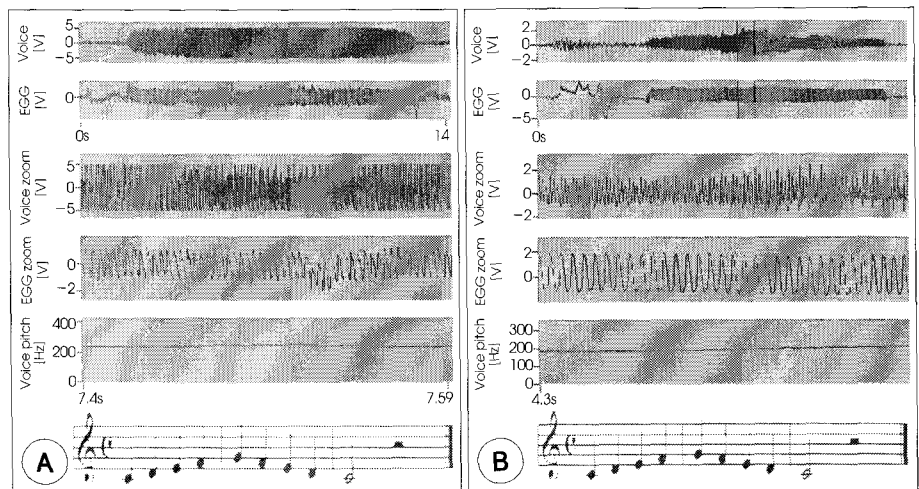
1. 음도 변화 시 발성과 호흡 조절 특성

1) 레가토(legato)/아/ 발성 시 기본주파수와 성문폐쇄율

가장 낮은 음인 /C3/음은 훈련받지 않은 남성군의 기본주파수는 124.15±5.34Hz이었으며, 가장 높은 음인 /G3/음에서 182.82±11.93Hz로 음도 증가와 함께 강도의 증가가 관찰되었다(Fig. 1). 또한 성악가군의 기본주파수는 /C3/음에서 131.72±7.55Hz이었으며, /G/음에서 199.34±12.65Hz이었고 음도가 증가함에도 불구하고 동일한 강도를 보였다(Fig. 1).

성문폐쇄율은 가장 낮은 음인 /C3/음에서 훈련받지 않은 남성군은 48.50±7.32%, 성악가군은 52.34±6.20%이었고, /G3/음에서는 훈련받지 않은 남성군은 50.86±4.73%, 성악가군은 59.27±5.36%로 음도가 높아짐에 따라 동일군 내에서 저음과 고음 사이에 성문폐쇄율이 모두 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았으며(p>.05), 일반인과 성악가군 비교 시 성악가가 저음(p=0.013)과 고음(p=0.001) 모두에서 성문폐쇄율이 통계적으로 유의하게 증가하였다

Fig. 1. Phonatory characteristics of one male singer(A) and one untrained male(B) during ascending and descending Legato/a/ phonation. The male singer maintained consistent loudness with pitch change while untrained male increased loudness with pitch rise.



(Table 1).

2) 레가토(legato) /아/ 발성 시 흉식 호흡과 복식 호흡의 비율

/아/발성 전 흡기 시 흉식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 43.5%, 남성 성악가는 24.1%였으며, 레가토 /아/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 36.6%였고, 남성 성악가는 19.7%로 성악가군이 통계적으로 유의하게 흉식 호흡의 비율이 작았다($p < .05$). 또한 두 집단 모두 음도 고정 시보다 음도 변화 시 흉식 호흡의 비율이 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$). /아/발성 시 호기 동안 흉식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 23.0%, 남성 성악가는 47.8%였으며, 레가토 /아/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 41.1%였고, 성악가는 22.7%였다. 즉, 성악가들은 훈련받지 않은 일반인에 비해 통계적으로 유의하게 흉식 호흡의 비율이 작았으며($p < .05$), 훈련받지 않은 남성은

Table 1. Fundamental frequency and closed quotient during legato /a/ phonation with pitch change

	Fundamental freq. (Hz)		Closed quotient (%)	
	Low (C3)	High (G3)	Low (C3)	High (G3)
Untrained (n=11)	124.15±5.34	182.82±11.93	48.50±7.32	50.86±4.73
Singers (n=12)	131.72±7.55	199.34±12.65	52.34±6.20	59.27±5.36

* : Mean±SD

Table 2. Relative volume contribution of the rib cage (in percentage rib cage, % RC) and relative volume contribution of abdomen (in percentage abdomen, % AB) during legato /a/ phonation with pitch change

	% RC				% AB			
	Inspiration		Expiration		Inspiration		Expiration	
	/a/	legato /a/	/a/	legato /a/	/a/	legato /a/	/a/	legato /a/
Untrained	43.5 (21.1)	36.6 (20.4)	47.8 (19.2)	41.1 (18.2)	56.5 (21.1)	63.4 (20.4)	52.2 (19.2)	58.9 (18.2)
Singers	24.1 (16.6)	19.7 (16.3)	23.1 (15.7)	22.7 (16.6)	75.9 (16.6)	80.3 (16.3)	76.9 (15.8)	77.3 (16.6)

* : Mean(SD)

Table 3. Fundamental frequency and closed quotient during staccato /a/ phonation with pitch change

	Fundamental freq. (Hz)		Closed quotient (%)	
	Low (C3)	High (G3)	Low (C3)	High (G3)
Untrained	125.55±6.91	184.52±8.40	52.86±5.11	53.40±7.35
Singers	133.16±3.00	196.90±8.94	54.39±5.73	58.88±3.82*

* : Mean±SD

Table 4. Relative volume contribution of the rib cage (in percentage rib cage, % RC) and relative volume contribution of abdomen (in percentage abdomen, % AB) during staccato /a/ phonation with pitch change

	% RC				% AB			
	Inspiration		Expiration		Inspiration		Expiration	
	/a/	staccato /a/	/a/	staccato /a/	/a/	staccato /a/	/a/	staccato /a/
Untrained	43.5(21.1)	30.5(24.7)	47.8(19.2)	38.3(19.4)	56.5(21.1)	69.5(24.7)	52.2(19.2)	61.7(19.4)
Singers	24.1(16.6)	19.8(13.1)	23.1(15.7)	21.5(13.8)	75.9(16.6)	80.2(13.1)	76.9(15.8)	78.5(13.8)

* : Mean (SD)

음도 고정 시보다 음도가 변화 시 흉식 호흡의 비율의 증가를 보인 반면, 남성 성악가는 음도 고정 시보다는 음도 변화 시 흉식 호흡의 비율이 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$) (Table 2).

/아/ 발성 전 흡기 시 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 56.5%, 성악가는 75.9%였고, 레가토 /아/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 63.4%였고, 남성 성악가는 80.3%로 성악가군이 통계적으로 유의하게 복식 호흡의 비율이 높았다($p < .05$). 또한 음도 고정 시보다 음도 변화 시 복식 호흡의 비율이 두 군 모두 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$). /아/ 발성 시 호기 동안 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 52.2%, 남성 성악가는 76.9%였으며, 레가토 /아/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 58.9%였고, 성악가는 77.3%였다. 따라서, 성악가는 훈련받지 않은 일반인에 비해 통계적으로 유의하게 복식 호흡의 비율이 높았으며($p < .05$), 음도 고정 시보다 음도 변화 시 두 군 모두 복식 호흡의 비율의 증가를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p > .05$) (Table 2).

3) 스타카토 /아/ 발성 시 기본주파수와 성문폐쇄율

가장 낮은 음인 /C3/음은 훈련받지 않은 일반인 군의 기본주파수는 123.81±8.46Hz이었고, 가장 높은 음인 /G3/음에서 184.52±8.40Hz이었다. 성악인은 /C3/음에서 133.16±3.00Hz이었고, /G3/음에서 196.90±8.94Hz이었다 (Table 3).

성문폐쇄율은 처음에서는 일반인군은 53.02±4.74%, 성악인군은 54.39±5.73%였고, 고음에서는 일반인군은 53.25±6.89%, 성악인군은 58.88±3.82%이었다 (Table 3). 음도가 증가함에 따라 일반인군은 처음과 고음 간에 차이가 없었으나($p = 0.722$), 성악인군은 처음과 고음 간에 유의한 차이가 있었다($p = 0.015$). 일반인군과 성악인 군을 비교할 때, 처음에서는 두 군 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나($p = .083$), 고음에서는 남성 성악인 군에서 유의하게 성문폐쇄율이 증가하였다($p = .044$).

4) 스타카토 /아/ 발성 시 흉식 호흡과 복식 호흡의 비율

/아/ 발성 전 흡기 시 흉식 호흡의 비율은 훈련받지 않은

남성은 43.5%, 성악가는 24.1%였고, 스타카토 /아/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 30.5%였고, 남성 성악가는 19.8%로 성악가들이 훈련받지 않은 일반인에 비해 흡식 호흡의 비율이 낮았으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$). 또한 두 집단 모두 음도 고정 시보다 음도 변화 시 흡식 호흡의 비율이 감소하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>.05$). /아/ 발성 시 호기 동안 흡식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 23.0%, 남성 성악가는 47.8%였으며, 스타카토 /아/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 38.3%였고, 성악가는 21.5%였다(Table 4). 즉, 성악가군은 훈련받지 않은 일반인에 비해 호기 동안 흡식 호흡의 비율이 유의하게 낮았으며($p<.05$), 훈련받지 않은 남성은 음도 고정 시보다 음도가 변화 시 흡식 호흡의 비율의 증가를 보인 반면, 남성 성악가는 음도 고정 시보다는 음도 변화 시 흡식 호흡의 비율이 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p>.05$).

/아/ 발성 전 흡기 시 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 56.5%, 성악가는 75.9%였고, 스타카토 /아/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 69.5%였고, 남성 성악가는 80.2%로 성악가들이 훈련받지 않은 일반인에 비해 복식 호흡의 비율이 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>.05$). 또한 음도 고정 시보다 음도 변화 시 복식 호흡의 비율이 두 군 모두 증가하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p>.05$). /아/ 발성 시 호기 동안 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 52.2%, 남성 성악가는 76.9%였으며, 스타카토 /아/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 61.7%였고, 성악가는 78.5%로 성악가들은 통계적으로 유의하게 복식 호흡의 비율이 높았다(Table 4) ($p<.05$). 또한 음도 고정 시보다 음도 변화 시 두 군 모두 복식 호흡의 비율의 증가를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지

않았다($p>.05$). 이와 더불어, 스타카토 발성 시 성악가 집단에서는 횡경막 attack으로 인한 복부의 규칙적인 움직임 변화가 관찰되었다(Fig. 2).

5) 레가토와 스타카토의 성문폐쇄율 비교

성문폐쇄율은 처음 조건인 /C3/음에서 레가토와 스타카토 비교 시, 일반인군은 /C3/음인 처음 조건에서 레가토는 48.5%, 스타카토는 53.0%, 성악가군은 레가토는 52.3%, 스타카토는 54.4%로 두 군 모두 증가하였으나 통계적 유의성은 없었다($p>.05$).

고음 조건인 /G3/음에서 레가토와 스타카토의 성문폐쇄율은 일반인군은 레가토에서 50.9%, 스타카토에서 53.2%로 증가하였으나 유의한 차이는 보이지 않았고($p>.05$), 성악가군에서는 레가토에서는 59.3%, 스타카토에서는 58.9%로 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다($p>.05$) (Table 5).

2. 강도 변화 시 발성과 호흡 조절 특성

1) 강도 변화 시 기본주파수와 성문폐쇄율

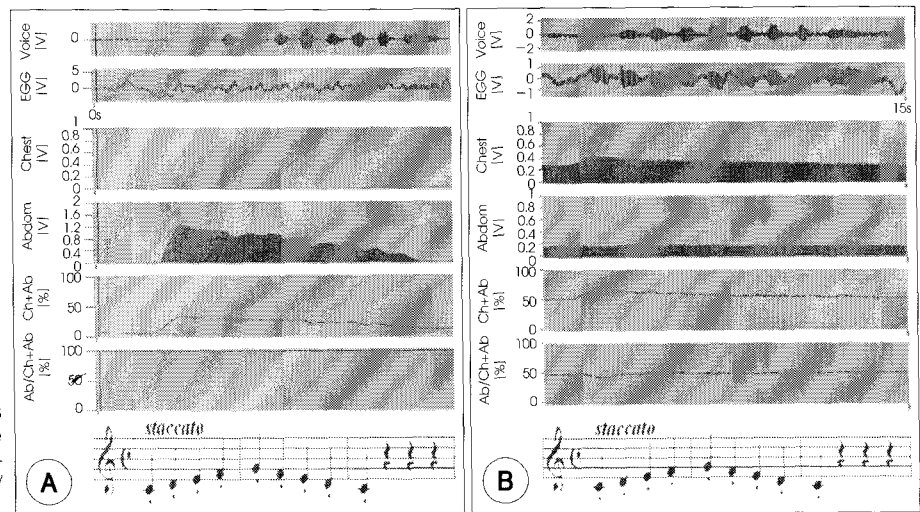
피치파이프로 동일한 음(C3음)을 주고 강도를 점차로 크게(crescendo) 했다가 작게(decrescendo)했을 때, 훈련받지 않은 일반인군은 119.8Hz에서 158.1Hz로 강도가 증가함에 따라 기본주파수가 통계적으로 유의하게 증가하였으며(Fig. 3), 성악가군은 130.7Hz에서 133.5Hz로 음도 변화가 거의 없었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보이지

Table 5. Comparison of closed quotient on legato and staccato

	CQ of legato (%)		CQ of staccato (%)	
	Low (C3)	High (G3)	Low (C3)	High (C3)
Untrained	48.5±7.3	50.9±4.7	53.0±4.7	53.2±6.9
Singers	52.3±6.2	59.3±5.4	54.4±5.7	58.9±3.8

* : Mean(SD)

Fig. 2. Respiratory characteristics of one male singer(A) and one untrained male(B) during ascending and descending staccato /a/ phonation.



않았다(Table 6) (Fig. 4).

강도 변화에 따른 성문폐쇄율은 훈련받지 않은 일반인군은 기본주파수의 많은 증가와 함께 49.1%에서 55.0%로 통계적으로 유의하게 증가하였다. 성악가군은 기본주파수의 작은 증가와 함께 성문폐쇄율은 51.9%에서 63.1%로 통계적으로 유의하게 증가하였다(Table 6).

2) 강도 변화 시 흉식 호흡과 복식 호흡의 비율

/a/ 발성 전 흡기 시 흉식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 43.5%, 성악가는 24.1%였고, 크레센도 /a/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 31.1%였고, 남성 성악가는 20.2%로 성악가들은 훈련받지 않은 일반인에 비해 흉식 호흡의 비율이 낮았으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$). 또한 강도 고정 시보다 강도 변화 시 흉식 호흡의

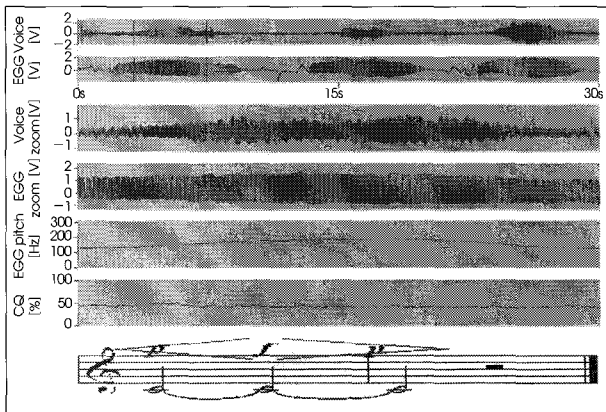


Fig. 3. Fundamental frequency(FO) and closed quotient(CQ) with loudness change of one untrained male in marked voice signal(1st window): Pitch zoom window(5th window) showed fo increased during crescendo while fo decreased during decrescendo.

Table 6. Fundamental frequency(FO) and closed quotient(CQ) during loudness change

	FO (Hz)		CQ (%)	
	Piano	Forte	Piano	Forte
Untrained	119.79 ± 11.66	158.14 ± 53.47*	49.41 ± 3.80	54.58 ± 6.55†
Singers	130.70 ± 3.45	133.54 ± 3.91	51.92 ± 8.72	63.12 ± 4.69†

* : Pitch change with loudness increase in untrained males, $p=0.003$, † : CQ change with loudness increase in untrained males, $p=.013$, ‡ : CQ change with loudness increase in male singers, $p=.002$

Table 7. Relative volume contribution of the rib cage(in percentage rib cage, % RC) and relative volume contribution of abdomen(in percentage abdomen, % AB) during crescendo /a/ phonation with loudness change

	% RC				% AB			
	Inspiration		Expiration		Inspiration		Expiration	
	/a/	Crescendo /a/	/a/	Crescendo /a/	/a/	Crescendo /a/	/a/	Crescendo /a/
Untrained	43.5*(21.1)	31.1(21.7)	47.8†(19.2)	37.5†(17.2)	56.5*(21.1)	68.9(21.7)	52.2†(19.2)	62.5(17.2)
Singers	24.1*(16.6)	20.2(17.6)	23.1†(15.7)	21.5†(18.1)	75.9*(16.6)	79.8(17.6)	76.9†(15.8)	78.5(18.1)

*, †, ‡ : $p<.05$. Mean(SD)

비율이 두 군 모두 유의하게 감소하였다($p<.05$). /a/ 발성 시 호기 동안 흉식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 47.8%, 남성 성악가는 23.1%였으며, 크레센도 /a/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 37.5%였고, 성악가는 21.5%로 성악가들은 흉식 호흡의 비율이 유의하게 낮았으며($p<.05$), 강도 고정 시보다 강도 변화 시 흉식 호흡의 비율이 두 군 모두 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 (Table 7).

/a/ 발성 전 흡기 시 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 56.5%, 성악가는 75.9%였고, 크레센도 /a/ 발성 전 훈련받지 않은 남성은 68.9%였고, 남성 성악가는 79.8%로 강도 고정 시보다 강도 변화 시 복식 호흡의 비율이 두 군 모두 증가하였다. /a/ 발성 시 호기 동안 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 52.2%, 남성 성악가는 76.9%였으며, 크레센도 /a/ 발성에서는 훈련받지 않은 남성은 62.5%였고, 성악가는 78.5%로 강도 고정 시보다 강도 변화 시 두 군 모두 복식 호흡의 비율의 증가를 보였다(Table 7).

3. 성구 전환 시 발성과 호흡 조절 특성

1) 성구 전환 시 기본주파수와 성문폐쇄율

진성구에서 가성구로 성구 전환 시 훈련받지 않은 일반인군은 진성구에서 성문폐쇄율이 $49.90 \pm 4.42\%$, 성악가군은 $53.19 \pm 8.72\%$ 였으며, 성구 전환 시 가성구에서는 일반인

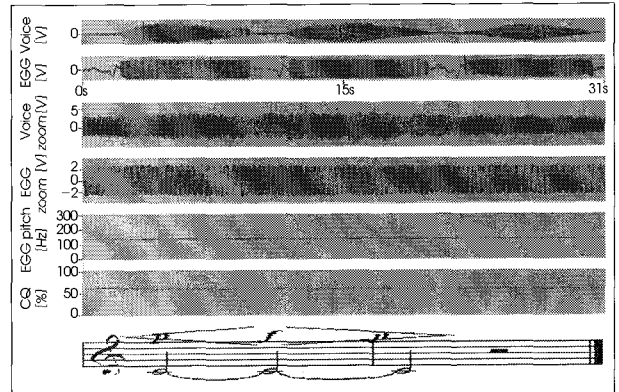


Fig. 4. Fundamental frequency(fo) and Closed quotient(CQ) with loudness change of one male singer in marked voice signal(1st window): Pitch zoom window(5th window) showed fo was nearly no changed during crescendo and decrescendo.

군은 $36.73 \pm 23.87\%$, 성악가군은 $11.73 \pm 21.39\%$ 였다 (Table 8). 훈련받지 않은 일반인군은 가성구를 사용하는 데 어려움이 있었으며, 대부분 흉성구에서 발생하였다(Fig. 5). 성악가군은 진성구에서 가성구로 성구 전환 시 대부분 가

Table 8. Fundamental frequency(FO) and closed quotient(CQ) with register change

	Modal				Falsetto			
	Untrained		Singers		Untrained		Singers	
	CQ (%)	Fo (Hz)	CQ (%)	Fo (Hz)	CQ (%)	Fo (Hz)	CQ (%)	Fo (Hz)
Mean	49.90	115.98	53.19	130.39	36.73*	279.44	11.73*	263.14
SD	4.42	10.99	8.72	6.89	23.87	74.87	21.39	16.43

* : $p < .05$, † : Mean(SD)

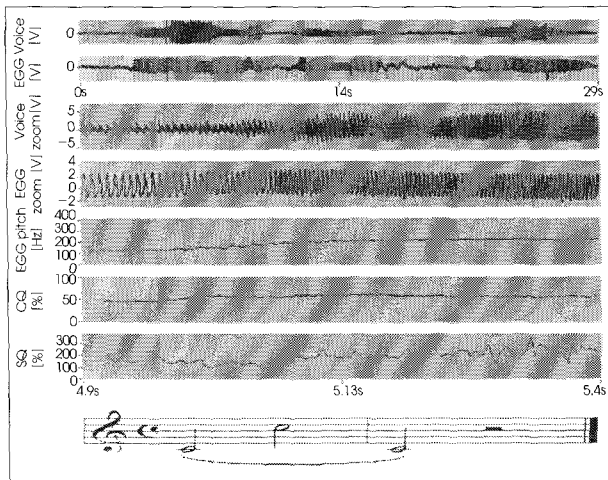


Fig. 5. Phonatory characteristics of FO and CQ with register change (from modal to falsetto, C3-C4-C3) of one untrained male in marked voice signal (1st window). Register transition was not achieved. Gradual pitch change in pitch zoom window (5th window) and CQ increase in CQ zoom window (6th window).

성구를 사용할 수 있었다(Fig. 6).

진성구의 성문폐쇄율은 집단 간 차이를 보이지 않았으며 ($p=.235$), 가성구의 성문폐쇄율은 집단 간 차이를 보였다 ($p=.032$). 훈련받지 않은 일반인군에서는 진성구와 가성구 간에 유의한 차이를 보이지 않았으며 ($p=.248$), 성악가군에서는 유의한 차이를 보였다 ($p=.002$).

진성구에서 가성구로의 성구 전환 시 훈련받지 않은 남성군은 대부분 성구 전환이 되지 않아 음성 신호에서 강도의 증가를 보였으나(Fig. 7), 남성 성악가군은 대부분 성구 전환이 가능하였으며 음성 신호에서 강도의 감소를 보였다 (Fig. 7).

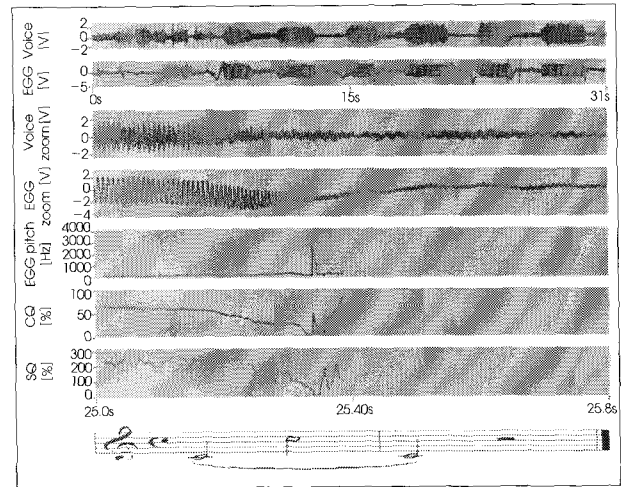


Fig. 6. Phonatory characteristics of fo and CQ with register change (from modal to falsetto, C2-C3-C2) of one male singer in marked voice signal (1st window). Register transition was achieved. The EGG data at the fourth window indicates decreased vocal folds contact with abrupt pitch jump change and 0% CQ in falsetto register (6th window).

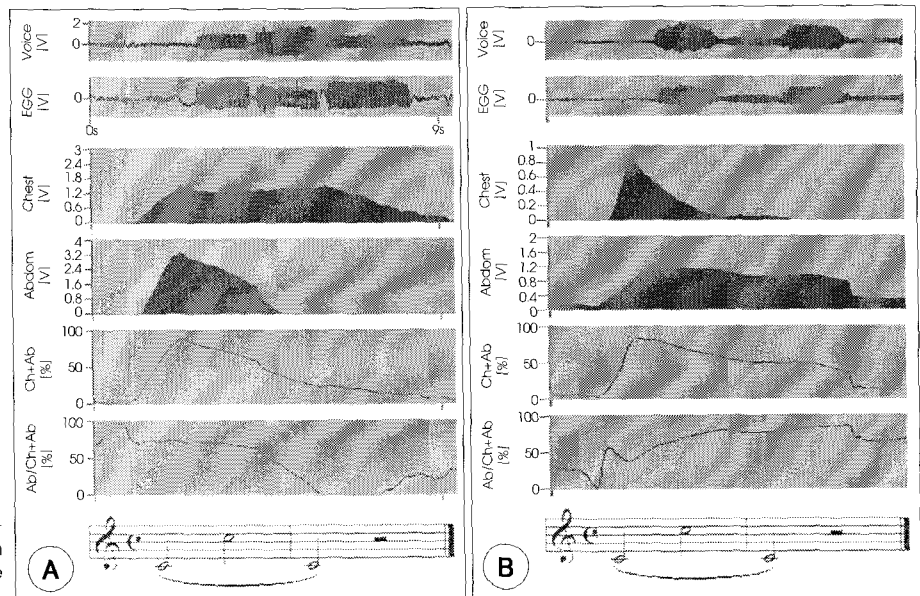


Fig. 7. Characteristics of Voice, EGG, and Respiration during modal-falsetto-modal /a/ phonation in an untrained male (A) and a male singer (B).

Table 9. Relative volume contribution of the rib cage (in percentage rib cage, % RC) and relative volume contribution of abdomen (in percentage abdomen, % AB) during /a/ phonation with register change from modal to falsetto register

	% RC				% AB			
	Inspiration		Expiration		Inspiration		Expiration	
	/a/	Modal -falsetto /a/	/a/	Modal -falsetto /a/	/a/	Modal -falsetto /a/	/a/	Modal - falsetto /a/
Untrained	43.5(21.1)	37.1(23.1)	47.8(19.2)	45.4(18.4)	56.5(21.1)	62.9(23.1)	52.2(19.2)	54.6(18.4)
Singers	24.1(16.6)	27.3(22.2)	23.1(15.7)	25.6(20.7)	75.9(16.6)	72.8(22.2)	76.9(15.8)	74.5(20.6)

2) 성구 전환 시 호흡 특성

/a/ 발생 전 흡기 시 흡식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성군은 43.5%, 남성 성악가군은 24.1%였고, 성구 변화 시, /a/ 발생 전 훈련받지 않은 남성군은 37.1%였고, 남성 성악가군은 27.3%였다. 즉, 훈련받지 않은 일반인은 성악가에 비해 흡식 호흡의 비율이 높았으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었으며 ($p>.05$), 성구 고정 시보다 성구 변화 시 흡식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성군은 감소하였고, 남성 성악가군은 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$). /a/ 발생 시 호기 동안 흡식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성은 47.8%, 남성 성악가는 23.1%였으며, 성구 변화 시 /a/ 발생에서는 훈련받지 않은 남성군은 45.4%였고, 남성 성악가군은 25.6%였다. 즉, 호기 시 성악가들은 훈련받지 않은 일반인에 비해 흡식 호흡의 비율이 유의하게 낮았고 (Fig. 7) ($p<.05$), 성구 고정 시보다 성구 변화 시 흡식 호흡의 비율은 감소하였으며, 남성 성악가군은 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$) (Table 9).

/a/ 발생 전 흡기 시 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성군은 56.5%, 남성 성악가군은 75.9%였고, 성구 변화 시, /a/ 발생 전 훈련받지 않은 남성군은 62.9%였고, 남성 성악가군은 72.8%로 성악가들은 일반인에 비해 복식 호흡의 비율이 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$). 또한, 성구 고정 시보다 성구 변화 시 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 일반 남성군은 증가하였으나, 남성 성악가군은 감소하였으나 유의한 차이는 보이지 않았다 ($p>.05$). 한편, /a/ 발생 시 호기 동안 복식 호흡의 비율은 훈련받지 않은 남성군은 52.2%, 남성 성악가군은 76.9%였으며, 성구 변화 시 /a/ 발생에서는 훈련받지 않은 남성군은 54.6%였고, 성악가는 74.5%로 성악가들은 일반인에 비해 복식 호흡의 비율이 유의하게 높았다 (Fig. 7) ($p<.05$). 또한 성구 고정 시보다 성구 변화 시 훈련받지 않은 일반 남성군은 호기 시 복식 호흡의 비율이 증가하였고, 남성 성악가군은 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (Table 9).

고찰

음도(기본주파수)의 조절은 주로 내후두근(intrinsic laryngeal muscles) 특히, 윤상갑상근(CT)과 갑상피열근(TA)의 조절과 성문하압, 평균호기류율, 공기역학적 힘(성문하압과 평균호기류율의 량)과 같은 공기역학적 요소에 의해 이루어진다.¹⁷⁾ 줄 모델(string model)에 의하면, 줄의 여러 가지 자질들은 성대의 기본주파수 변이를 이해하는 데 도움을 줄 수 있는데, 이 중에서도 긴장, 크기, 길이가 기본주파수에 영향을 준다. 즉, 수학적 용어에 의하면 진동하는 기본주파수는 줄의 길이의 두 배에 반비례하며, 질량의 제곱근에 반비례하고 긴장의 제곱근에 비례한다.²⁾ 또한 몸체-덮개 이론(body-cover theory)에 의하면, 성대연(superficial, intermediate, deep layers)은 서로 다른 다양한 성분으로 이루어져 성대는 길이, 두께, 긴장을 조절할 수 있다고 하였다.¹⁸⁾¹⁹⁾ 성대의 덮개는 액체로 덮여 있어 성문의 기류가 성대조직으로 에너지를 전이하기 쉬운 파장으로 전파할 수 있고 이 때 긴장은 성대의 길이에 의해 조절될 수 있다. 한편 성대의 인쪽 부분은 몸체로서 lamina propria의 deep layer와 갑상피열근으로 이루어져 있으며 이것의 긴장은 길이 뿐 아니라 근육 자체의 능동적 긴장(active stiffness)에 의해 이루어지며 성대 진동 시 몸체와 덮개의 합쳐진 긴장이 기본주파수를 조절하는 것으로 보였다. 음성 산출 시 진성구(modal)이나 가성구(falsetto)의 차이는 성대연 사이에 연결(coupling) 정도에 따라 다른데, 낮은 음도에서는 덮개가 느슨해지고 몸체가 다소 독립적으로 움직일 수 있게 되며, 가성구에서는 몸체와 덮개가 늘어나게 되며 단일 질량으로서 움직이게 된다. 이러한 동일하지 않은 조직의 움직임에 대한 다질량 모델(multimass model)들은 성대 덮개는 몸체와 독립적으로 움직일 수 있으며 성대진동의 방식을 설명하는 데 사용되었다. 성대의 긴장(tension) 변화는 음도 조절에 중요한 요소인데, 윤상갑상근의 rectus fibers수축은 피열연골을 후상방으로 움직이게 하고 이것은 성대의 길이를 신장시키며 두께를 감소시킨다. 또한 윤상갑

상근의 oblique fibers의 수축은 갑상연골을 전방으로 기울어지게 하여 성대 길이가 늘어나게 된다. 이와 동시에 후윤상피열근은 윤상갑상근이 수축할 때, 피열연골이 윤상연골의 몸체를 따라 앞으로 미끄러지는 것을 저지함으로써 피열연골을 고정시키는 역할을 한다. 갑상피열근은 성대를 후방으로 이와 동시에 가운데로 움직이게 하여 성대의 진동 부위의 길이를 짧게 한다. 이러한 세 근육(윤상갑상근, 후윤상피열근, 갑상피열근)들 간의 길항 작용적 관계가 성대 긴장을 유지하고 음도를 조절하는 데 관여한다.⁹⁾ 한 EMG 연구 결과, Vocalis muscle은 좁은 운율(prosody)을 위해 세밀한 음도 조절에 필수적이며, 반면에 윤상갑상근은 성대를 일정한 긴장을 유지하도록 한다.²⁵⁾ 또한 일반적으로 성문하압의 증가는 강도를 증가시키며, 정도에 따라 음도를 증가시킨다. 그러나, 성문하압의 증가는 성대의 medial compression을 증가시키며 효과적인 성대 진동을 유지하기 위하여 긴장이 증가된다. 그러므로 일정한 성대의 긴장을 유지하였을 때 성문하압이 증가하더라도 음도는 증가하지 않는다.⁹⁾ Titze는 전이(transition)의 두 가지 형태인 주기성(periodicity) 전이와 음질(timbre) 전이에 따라 성구를 분류하였다.⁴⁾ 주기성 전이에서 기본주파수는 음향학적 변수인데, 기본주파수보다 낮은 소리들은 청지각적으로 pulse register 혹은 음성프라이(vocal fry)에 속하는 것으로 인식되고 기본주파수보다 높은 경우는 연속적인 음으로 인식된다고 하였다. 음질 전이는 음원에서 고주파 소리의 에너지를 얻거나 상실했을 때 초래되는 갑작스러운 음질의 변화로 특징 지워지는데 이 때 중요한 음향학적 변수는 스펙트럼의 기울기(spectral tilt)로 옥타브에 따른 강도(dB)로 나타내며 음원의 연속적인 부분에서 강도의 감소를 측정한다. 사람의 목소리에서 갑작스러운 음질의 전이는 성문의 폐쇄정도에 의해 초래되며 주요한 생리학적 변수는 성대 내전의 정도이다.⁹⁾ 주요한 음질 전이는 300~350Hz에서 불수의적인(involuntary) 음질 전이가 나타나는데 여성에서는 첫 번째 성구전환(passagio), 남성에서는 두 번째 성구전환이며 훈련된 성악가들에 있어서는 기본주파수의 넓은 범위에 걸쳐서 균일한 음질을 나타낸다. 수의적(voluntary) 음질 전이는 성대 내전의 변화와 호흡 압력의 변화에 의해 조절될 수 있다. 메사디보체(messa di voce)는 점차적인 크레센도(crescendo) 후에 디크레센도(decrescendo)를 했을 때 강도와 내전이 잘 협응되지 않으면 음질 변화를 나타내는데, 크레센도 부분에서 성대 진동의 강도가 증가함에 따라 성대는 일정한 성대외전지수(Qa)를 유지하기 위하여 약간 외전(abduction)되어야 하며⁹⁾ 이와 같은 성대 진동 때 점막의 진동 폭(amplitude)과 폐로부터의 공기압

간에 적절한 조화가 필수적이다.¹³⁾

윤상갑상근(CT)의 수축은 윤상연골이 갑상연골로 근접하게 하고 성대 길이를 늘임으로써 음도를 높이며, 갑상피열근(TA)은 음도 조절에 있어서 윤상갑상근(CT)과 길항 작용을 하는데, 갑상피열근(TA)의 수축은 음도를 높이기도 하고 낮추기도 하는 이중적 영향을 주는 것으로 알려져 있으며^{7,8)} 성구(vocal register)의 조절과 성문개방율(open quotient)에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 측윤상피열근(lateral cricoartenoid muscle)은 수축 시 피열연골의 성대돌기(vocal process)부위가 주로 내전되며 근전도 검사(Electromyography : EMG)에서 성구 및 기본주파수, 음의 크기 조절에 관여하나 주 결정요소로 작용하기 보다는 보조적인 작용을 하는 것으로 알려져 있다.²⁰⁾ Tanaka 등의 개의 생체발성모형의 실험적 연구¹⁷⁾에서는 호기를 일정하게 유지하여 음도와 공기역학적 요소 간의 관계에서 윤상갑상근(CT)과 갑상피열근(TA)의 영향을 연구하였다. 그 결과, 윤상갑상근(CT)은 공기역학적 힘의 도움 없이 음도가 높아졌으며, 갑상피열근(TA)이 수축 시에 음도가 낮아졌는데 갑상연골과 피열연골 간 거리를 짧게 함으로써 성대의 긴장을 감소시키고 성대를 두껍게 함으로 발성 동안 진동 질량을 증가시켜 음도를 낮추는 역할을 한다고 하였다. 따라서 갑상피열근(TA)의 수축 없이 윤상갑상근(CT)이 강하게 수축할 때에는 공기역학적 힘이 감소함에도 불구하고 음높이가 증가하였으며, 윤상갑상근(CT)과 갑상피열근(TA)이 동시에 수축할 때에는 음높이가 약간 증가하는 것으로 보고하였다. 이와 같이 통제된 실험 연구 결과, 윤상갑상근이 음높이를 조절하는 주 근육으로 보였다. 갑상피열근(TA)은 성구 조절에 있어서 윤상갑상근(CT)과 길항 작용을 하는데, 갑상피열근(TA)의 근전위가 증가하지 않는다면 기본주파수를 높이기 위해 윤상갑상근(CT)의 활동이 증가하게 되고 그 결과 좀 더 밝은 성구로 변경되므로 동일한 음질을 유지하기 위해 갑상피열근(TA)의 활동도 동시에 증가해야만 한다.

기본주파수의 조절 기전은 진성구와 가성구가 다르다고 보고하였다.²¹⁾ 훈련받지 않은 일반인의 경우, 진성구에서는 상행 음계로 기본주파수가 증가할 때, 윤상갑상근(CT), 측윤상피열근(LCA), 성대근(VOC), PCA(후윤상피열근)의 활동전위가 모두 증가하였으며 윤상갑상근(CT)이 가장 중요한 역할을 하였으나, 이와는 대조적으로 가성구에서는 윤상갑상근, 측윤상피열근, 성대근의 활동전위는 기본주파수의 증가와 함께 항상 증가하지는 않았다. 진성구에서 윤상갑상근은 성대가 정중선에 위치해 있을 때 성대를 외전(abduction)시킬 수도 있고 성문을 개방할 수도 있다. 따라서 기

본주파수 증가 시 LCA와 VOC의 동시 증가는 증가된 CT에 의해 초래된 성대 외전을 수동적으로 막기 위한 차원에서 필요하며 동일한 성구를 유지하기 위하여 VOC의 동시 증가는 필수적이라고 하였다. 한편, 가성구에서 기본주파수 조절 기전은 성악가의 경우 진성구와는 대조적으로 CT, LCA, VOC는 기본주파수 증가가 증가함에 따라 항상 증가하지는 않았다. 또한 기본주파수는 성대의 질량과 길이에 반비례하며 성대의 긴장도와 비례한다고 하였는데, 긴장에 영향을 줄 수 있는 다른 신체적 자질을 stiffness라 지칭하며 이것은 외부의 힘에 의한 변형에 저항하는 신체의 자질을 일컫는다.⁹⁾ 성대의 종적 긴장(longitudinal tension)은 수동적 긴장 메카니즘으로서 주로 고주파수에서 중요하며 성대 덮개가 느슨하고 유연한 낮은 진성구에서는 성대가 다양한 방법으로 자유롭게 움직이므로 중요성이 덜 강조된다. 즉, 진동하는 횡단면이 성대 덮개인 경우 종적 긴장은 갑상피열근에 의해 감소하게 되고, 진동하는 횡단면이 주로 성대의 몸체인 경우 종적 긴장은 증가하게 된다고 하였다. 성대의 능동적 긴장(active tension)은 성대근(vocalis) 자체의 수축으로 인하여 성대가 진동하지 않을 때보다 성대의 길이는 짧아지고 두꺼워지며 성대는 다양한 질량을 갖은 것처럼 진동하게 된다. 성대의 길이와 음높이의 관계는 성구에 따라 다르게 작용한다.²²⁾ 즉 흉성구(modal register)에서는 기본주파수가 증가함에 따라 성대 길이도 증가하였으나, 가성구(falsetto register)에서는 기본주파수가 증가해도 성대 길이는 변화하지 않는다고 하였다. 이는 가성구나 두성구에서의 음도 조절이 성대 길이의 변화에만 의존하지 않는다는 것을 보여 준다. 성대의 질량과 음높이에 있어서는 성대 질량은 가성구 시작 전까지만 감소하였으며, 가성구의 높은 음높이에서는 일정한 질량을 유지한다고 하였다. 성대의 긴장도는 흉성구에서는 약간의 긴장 증가에도 성대가 길어지는 반면, 가성구에서는 긴장도가 크게 증가하였을 때에도 성대 길이가 약간 길어진다고 하였다. 본 연구에서 훈련받지 않은 일반 남성군에서 상행 발성 시 성대접촉률이 증가하였으며, 강도도 함께 증가하였는데 이러한 현상은 성대 내전의 증가와 함께 호흡 압력이 같이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 반면에, 남성 성악가군에서 상행 발성 시 성대접촉률의 증가가 훈련받지 않은 일반 남성군에 비해 높았음에도 불구하고 강도를 일정하게 유지한 것은 호흡 압력의 증가해도 일정한 성대의 긴장을 유지할 수 있었기 때문이며 이러한 능력은 성악가들이 일반인에 비해 후두내근을 더 적절히 잘 조절하며 호흡과 후두 간의 균형을 잘 유지할 수 있는 것을 반영해 준다.

한편, Hirano(1988)의 한 연구는²¹⁾ 강도 조절 메카니즘

이 진성구와 가성구간에 차이가 있음을 보고하였다. 진성구에서 강도 조절은 성악가는 vocalis muscle의 활동이 기본주파수와 관계없이 음성강도 증가와 함께 두드러지게 변화한 반면, 훈련받지 않은 일반인은 저음영역에서는 성악가와 유사하였으나, 변화 정도는 성악가보다는 크지 않고 고음 영역에서는 vocalis muscle가 강도 조절에 기여하지 않았다. 이를 통해 Vocalis muscle의 조절 정도가 발성의 숙련도에 중요한 역할을 하는 것으로 보였다. 한편, 가성구에서는 성악가와 훈련받지 않은 일반인 모두 어떠한 내후두근도 활동하지 않았다. 따라서 가성구에서는 호흡이 독립적으로 음성강도를 조절하였음을 시사하였다. 이와 더불어 남성 성악가의 경우 일정한 음에서 두성구(head register)에서 시작하여 흉성구(chest register)로 crescendo를 하고 다시 decrescendo로 돌아오게 하였을 때 crescendo와 함께 vocalis muscle의 활동 전위가 증가하였으며 흉성구에서 특히, CT와 LCA근의 근전위는 감소하였다고 하였다. 즉, vocalis muscle의 활동 전위 증가는 기본주파수를 상승시키는 원인이 되지만 일정한 기본주파수를 유지하기 위해서는 CT근이 비례적으로 감소해야만 한다고 하였다. 본 연구에서 crescendo로 강도 증가 시 훈련받지 않은 일반 남성군은 기본주파수가 증가하였는데, 일반인은 강도 증가 시 호흡 압력의 증가에 의하여 더 많은 lung pressure를 소비하고 내후두근의 수축으로 기본주파수가 같이 상승한 것으로 생각된다. Titze(1994)에 의하면,⁹⁾ 성대는 두 가지 단계에 의해 길어질 수 있다고 하였는데, 첫 번째 증가는 CT와 TA 근육의 결합된 활동으로부터 정적인(static) 길이 변화가 생기며 둘째는 호흡 압력 조절에 의한 성대 길이에 대한 성대 진동의 강도의 비(amplitude-to-length ratio)인 동적인(dynamic) 길이 변화에 의해 일어난다고 하였다. 또한, 일정한 기본주파수를 내기 위한 Muscle activation plot을 표시하였는데, 고주파수는 폐압력이 증가할 때 동일한 주파수를 내기 위해서는 CT activity가 덜 필요로 하기 때문에 동일한 기본주파수를 내려면 폐압력이 증가할 때 CT activity가 감소해야 한다고 하였다. 반면에 저주파수는 동일한 기본주파수를 내기 위하여 폐압력이 증가할 때에는 TA activity를 증가해야 한다. 따라서 crescendo에서 훈련된 남성 성악가군이 같은 기본주파수를 유지하기 위해서는 갑상피열근에 의해 증가된 성대 내전 운동을 상쇄하기 위하여 성대 돌기가 양 방향으로 벌어져야 하며 이와 같은 발성을 하기 위해서는 성대의 내전 운동과 폐의 공기압 간의 조화가 필수적이다.⁹⁾¹³⁾

실제로 훈련받은 전문 성악가들은 발성 시 호흡의 중요성이 매우 강조된다. 상행 발성 시 호흡의 특성을 보면, 훈

련받지 않은 남성군은 음도 고정 시보다 음도가 증가 시 호흡 호흡의 비율의 증가를 보인 반면, 남성 성악가는 음도 고정 시보다 음도 증가 시 호흡 호흡의 비율이 감소하였으며, 복식 호흡의 비율은 음도 고정 시보다 음도 변화 시 두 군 모두의 증가를 보였다. 즉, 훈련받지 않은 일반 남성군은 음도 증가 시 호흡과 복식 호흡 비율이 음도 고정 시보다 모두 증가하여 이는 음도 증가 시 호흡을 증가시키기 위한 흉벽 움직임의 생물학적 기전을 설명해 주며 이러한 현상이 강도 증가에 기여한 것으로 생각된다. 반면에, 남성 성악가군은 음도가 증가할 때 음도 고정 시보다 호흡 호흡의 비율은 감소하였으나, 복식 호흡의 비율은 증가하여 남성 성악가군은 호흡 훈련에 의해 음도 증가 시 복식 호흡에 의해서 주로 조절됨을 알 수 있었다.

스타카토 /아/는 통계적으로 유의하지는 않았지만, 훈련받지 않은 일반 남성군에서 /아/ 발성이나 레가토 /아/보다 성문폐쇄율이 높아 음성 치료에서 과소기능성 음성장애의 성문접촉훈련 시 사용될 수 있을 것으로 보인다. 이와 더불어 crescendo시 흡기와 호기 동안 훈련받지 않은 남성군과 남성 성악군에서 호흡 호흡의 비율이 감소하고 복식 호흡의 비율이 증가하였다. 즉, 강도 고정 시보다 강도 증가 시 복식 호흡의 지지가 잘 됨을 알 수 있었다. 이를 통해 이러한 과제들은 복식 호흡의 훈련에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

또한 Sundberg 등은 바리톤을 대상으로 한 연구에서 상대 접촉률은 낮은 음도일 때 보다는 높은 음도에서 더 높은 경향을 보인다고 보고하여 본 연구와 일치된 결과를 보였다.²³⁾ 성구는 갑상피열근(TA)과 윤상피열근(CT)의 활동의 비(ratio)에 의해 조절되며 갑상피열근(TA)과 윤상피열근(CT)의 활동의 비가 갑작스럽게 변화할 때 음도일탈(pitch break)이 나타나며, 점차적으로 변화할수록 성구 전환이 청각적으로 인식되지 않는다.¹⁵⁾ 진성구에서 가성구로의 성구 간의 갑작스런 전이는 요들송과 같은 음악적 목적으로 사용되기도 하지만, 임상에서 mutational falsetto와 같은 갑작스런 pitch 변화는 상대 조절의 문제로도 알려져 있다.²⁶⁾ 즉, 진성구와 가성구의 조절 기전은 갑작스런 성대 진동 패턴의 변화와 성대근의 활동 변화로 설명된다.⁹⁾²⁶⁾ 즉, 이것은 변화된 성문하압 뿐 아니라 성대 내전의 비대칭성, 성대길이의 증가를 의미한다. 본 연구에서 진성구에서 가성구로의 전환 시 훈련받지 않은 일반 남성들은 성구 전환의 어려움이 있었으며 남성 성악가군은 진성구에서 가성구로의 전환이 대부분 가능하였다. 훈련받지 않은 일반 남성군에서는 대부분 진성구에서 계속 발성하였고 훈련된 남성 성악가군은 가성구로 발성이 전환되어 호흡의 특성은 호기 시

일반인군은 성구 고정 시보다 성구 변화 시 호흡 호흡의 비율은 감소하였으나, 남성 성악가군은 증가하여 다른 패턴을 보였다.

전문 오페라 성악가들의 흡기 호흡패턴에 대한 연구에서는²⁴⁾ 전체 폐용적 변화에 기여하는 흉부와 복부의 기여도는 개인마다 달랐으며, 이러한 결과는 전문 오페라 성악가들에게 동일한 호흡 훈련이 요구되지 않는다고 하였으나, 본 연구에서는 개인 간의 차이는 있었으나, 훈련받은 남성 성악가들은 흉부보다는 복부의 기여도가 더 높은 경향을 보였다. 이에 반해, 스타카토로 인한 음도 변화와 강도 및 성구 변화 시, 일반인과 성악가 간의 흡기 시 복식 호흡의 비율은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 이러한 과제들은 훈련받지 않은 일반인들의 흡기 시 복식 호흡의 비율을 증가시키는데 도움을 줄 것으로 보인다.

결론

성악가들은 음도의 변화, 강도변화, 성구 변화를 하는 경우 호흡 및 성대조절의 상호작용이 일반인에 비하여 우수함을 알 수 있었다. 이와 더불어, 음도나 강도, 성구 변화는 훈련받지 않은 일반인이나 성악가들에게 음도, 강도, 성구 고정시보다 성문폐쇄율에 영향을 주고 호흡의 지지가 증가하는 경향을 보였으며, 호흡과 발성 간의 협응 조절을 더 요하는 과제이므로 발성 조절을 개선할 뿐 아니라, 음성장애 환자들의 음성치료 시에도 도움을 줄 것으로 보인다.

중심 단어 : 성악가 · 음도 · 강도 · 성구 · 발성 및 호흡 조절.

REFERENCES

- Hollien H, Dew D, Phillips P. *Phonational frequency ranges of adults. J Speech Hear Res* 1971;14:755-60.
- Colton RH. *Physiological mechanisms of vocal frequency control: The role of tension. J Voice* 1988;2 (3):208-20.
- Hollien H. *On vocal registers. J Phonetics* 1974;2:125-43.
- Titze IR. *A Framework for the study of vocal registers. J Voice* 1998; 2 (3):183-94.
- Colton R, Hollien H. *Phonational range in the modal and falsetto registers. J Speech Hear Res* 1972;15:708-13.
- Titze IR, Jiang J, Dricker DG. *Preliminaries to the Body-Cover Theory of Pitch Control. J Voice* 1988;4 (1):314-9.
- Titze IR, Luschei ES, Hirano M. *Role of the thyroarytenoid muscle in regulation of fundamental frequency. J Voice* 1989;3 (3):213-24.
- Shipp T, McGlone R. *Laryngeal dynamics associated with voice frequency change. J Speech Hear Res* 14:761-8.
- Titze IR. *Principles of voice production. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc;1994.*
- 윤영선, 손영익, 추광철, 김선일. 성악전공자와 비전공자에서의 음도에 따른 성대외근의 표면근전도 변화. *대한음성언어의학회지* 1999;10 (1):24-9.
- Titze IR. *More on Messa Do Voce. Science for Singers. A series of voice research columns. NCVS.*

- 12) Carroll. L.M. *Voice disorders and phonosurgery II: Application of singing techniques for the treatment of dysphonia. Otolaryngol Clin North Am* 2000;33 (5):1003-16.
- 13) 진성민. 성악도의 두성구와 흉성구 발성에 대한 음향학적 분석. *대한음성언어의학회지* 2002;13 (1):52-8.
- 14) 진성민, 송윤경, 권기환, 이경철, 반재호. 가성구와 흉성구의 객관적인 음성 분석. *대한음성언어의학회지* 2002;13 (2):151-4.
- 15) 남도현, 최성희, 최재남, 최홍식. 남성성악가의 *vocal register transition (passaggio)*시 공기역학적 변화와 EGG변화 연구. *대한음성언어의학회지* 2004;15 (1):21-6.
- 16) 이승훈, 정원혁, 최홍식, 김수찬, 임재중, 김덕원. 음성, 성문 및 호흡 통합 검사 시스템의 개발. *음성과학* 2005;12:77-94.
- 17) Tanaka S, Tanabe M. *Experimental study on regulation of vocal pitch. J Voice* 1989;2 (3):93-8.
- 18) Hirano M. *Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. Folia Phoniatr* 1974;26:89-94.
- 19) Hirano M. *Structure of the vocal fold in normal and disease states Anatomical and physical studies. In: Ludlow C, Hart M, eds. Proceedings of the Conference on the Assessment of Vocal Pathology. ASHA Reports, Rockville: American Speech Language and Hearing Association;1980.*
- 20) 최홍식. 내후두근의 작용: 개에서의 생체발성 모형. *대한음성언어의학회지* 1997;8 (2):185-92.
- 21) Hirano M. *Vocal mechanisms in singing: Laryngological and phoniatric aspects. J Voice* 1988;2 (1):51-69.
- 22) Hollien H. *Vocal pitch variations related to changes in vocal fold length. J Speech Hear Res* 1960;3:150-6.
- 23) Sundberg J, Hogset C. *Voice source differences between falsetto and modal registers in conunter tenors and baritones. Log Phon Vocol* 2001;26:26-36.
- 24) Thomasson M, Sundberg J. *Consistency of inhalatory breathing patterns in professional operatic singers. J Voice* 2001;15 (3):373-83.
- 25) Hirano M, Vennard W, Ohala J. *Regulation of register, pitch, and intensity of voice. Folia phoniatr* 1970;22:1-20
- 26) Svec JG, Schutte HK, Miller DG. *On pitch jumps between chest and falsetto registers in voice: Data from living and excised human laryges. J Acoust Soc Am* 1999;16 (3):1523-31.