

발성훈련 전 후의 혈중 산소포화도(SaO₂)와 폐포 내 이산화탄소분압(PaCO₂)의 비교 연구

남도현*, 안철민**

연세대학교 의과대학 이비인후과교실 음성언어의학연구소*,

영동세브란스 병원 호흡기 센터**

A comparison of Sao₂ & PACO₂ Changes of pre & post vocal training Classical singers

Do Hyun Nam*, Chul Min Ahn**

The institute of Logopedics & Phoniatrices*, Respiratory center **,

Yongdong Severance Hospital, Yonsei University College of Medicine

E-mail : dhnambar@yumc.yonsei.ac.kr

Abstract

Five males trained singers (age:25.0±1.4years, career:6.8±1.1 years) and five female trained singers (age:22.0±1.0years, career:5.8±1.2 years) participated in this study. SaO₂(Oxi Hemoglobin saturation) measured by Oxy-Pulse meter and PACO₂ (Pressure Alveolar Co₂) measured by Quick et CO₂ are compared with pre and post vocal training. As the result, PACO₂ was lower than normal range (36-40mmHg) after vocal training, leading to Hypocapnia. This causes headache and dizziness

Key: singers, vocal training, SaO₂, PaCO₂.

I. 서론

전통적인 가창예술의 발성훈련의 목표는 대체로 발성 시 성구(Register)의 변화에도 불구하고 균질한 음색(timber)을 구사할 수 있도록 하는 훈련, 균질한 음색을 가지고 넓은 음역(Vocal range)의 획득할 수 있도록 훈련, 목소리의 전달력을 극대화하기 위한 성악가 음형대(Singer's formant)형성을 위한 훈련, 음악적 표현을 위한 발성 테크닉의 터득하는 훈련, 장시간 발성 시 성대에 무리를 최소화하기 위한 효율적인 발

성방법의 터득하는 훈련, 발성훈련을 극대화하기 위한 효과적이고 효율적인 호흡방법의 터득을 위한 훈련 등이다. 그 중 호흡훈련은 목소리를 만드는 에너지원이기 때문에 발성 시 조금도 소홀히 할 수가 없다. 또한 호흡은 목소리를 생성하기 위한 에너지원 일뿐만 아니라 모든 장기에 산소를 공급하고 이산화탄소를 배출하는 생명유지의 역할도 동시에 수행하여야 한다. 발성 시 호흡작용과 발성작용을 살펴보면 호흡중추기관의 명령에 의하여 횡격막(diaphragm)이 수축하여 아래로 하강하고 보조근인 외 늑간근(external intercostals muscle)과 내 늑간근(internal intercostals muscle)일부가 작용하면 폐에 음압이 생기면서 구강과 기도를 통과하여 폐로 공기가 흡입되어 흡기작용이 완성되고 폐로 들어온 공기는 폐의 탄성회복작용(elastic recoiling)에 의하여 다시 밖으로 방출되는데 성대의 내전 작용(vocal folds adduction)과 베르누이효과에 의하여 성대는 진동하여 성대원음을 만든다. [1] 이때 상복부에 압력을 가하면 호흡압력은 증대되고 이는 성문하부에 작용하여 성대의 진동 폭을 증가시켜 목소리의 강도를 증가시킨다. 음도(pitch)의 조절을 위한 근육 작용을 살펴보면 윤상갑상근(CT:cricothyroid muscle)이 수축하고 갑상피열근(TA:thyroarytenoid muscle)이 이완되면 성대의 길이가 늘어나게 되어 음도는 높아지게 되고, 갑상피열근이 수축하게 되면 성대의 길이는 짧아지고 두꺼워지면 음도는 낮아진다. 그 외의 보조적으로 측윤상피열근(LCA:lateral cricoarytenoid muscle)

이 수축하여 피열연골 (arytenoid cartilage)의 성대돌기(vocal process)를 내전시켜 음도 및 음의 강도의 조절에 보조적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다.[2]

또한 전통적인 성악발성은 음향기기의 도움을 받지 않고 목소리를 극장 끝까지 전달하기 때문에 일반 대중가수들 보다 소리의 강도를 증가시키려는 발성훈련에 중요한 비중을 둔다. 그리고 저음에서 고음까지 넓은 음역에서 소리의 강도 증가시키기 위해서는 공기역학적인 요소뿐만 아니라 성대작용과 공명작용도 극대화 시켜야하는데, 이로 인하여 많은 에너지를 필요로 하고 장시간 발성 시 많은 체력의 소모한다고 한다.

실제로 많은 성악가의 경우 발성훈련 후 일시적으로 어지러움을 호소하기도 하고, 고 음역의 발성 시 안면 부위의 얼굴색이 급격히 홍조를 띠는 것을 관찰할 수 있다. 이에 저자들은 발성 훈련을 전 후의 동맥혈 내 헤모글로빈과 산소의 결합하는 비율을 나타내는 동맥혈 내 산소포화도 (SaO₂: Oxi-Hemoglobin Saturation)와 동맥혈 내 이산화탄소 분압과 이론적으로 같은 폐포 내 이산화탄소분압(PACO₂: pressure alveolar CO₂)를 측정하여 서로 비교 하려한다.

II. 연구방법

2.1 설문조사

성악가들이 발성훈련 후 신체적으로 어떠한 변화를 느끼는가에 대하여 알아보고, 만약 느낀다면 어떠한 변화를 느끼는가에 대하여 알아보기 위하여 남자성악가 15명과 여자성악가 15명을 대상으로 다음과 같은 전화로 설문조사를 하였다.

- 1) 발성훈련 중이나 발성훈련 후 어떠한 신체적인 변화를 느낀 적이 있는가?
- 2) 발성 훈련중이나 발성훈련 후 느낀 적이 있다면 어떠한 느낌을 느낀 적이 있는가?

2.2 연구대상

후두스트로보스코피검사에서 이상이 없고 폐 기능 검사에서 이상이 없으며, 호흡근력 검사에서 정상적으로 나타난 평균연령이 25.0±1.4년이고 평균성악경력은 6.8±1.1년인 남자 5명과, 평균연령이 22.0±1.0년이고 평균성악경력이 5.8±1.2년인 여자 5명을 실험 군으로 선정하였다.

2.3 폐 기능 검사

폐 기능 검사는 영동세브란스 호흡기 센터에서 Autobox를 이용하여 폐 기능 검사 (pulmonary

function test)를 실시하여 노력성 폐활량 (FVC: forced vital capacity), 폐활량(VC: vital capacity)등을 측정하여 폐 기능에 이상이 있는 사람들은 실험 군에서 제외하였다.

2.4 호흡근력검사

호흡근력검사는 Spirovis를 이용하여 똑바로 선 자세에서 폐 잔류량에 가깝게 최대한 숨을 천천히 내쉬게 한 후 Spirovis에 연결된 mouthpiece를 통해 최대한 강하게 흡입을 시켜 최대흡기압(MIP: maximum inspiratory pressure)측정을 한 후, 최대한 강하게 숨을 내쉬게 하여 최대호기압(MEP: maximum expiratory pressure) 이를 측정하였다. 검사는 3 회 측정하여 평균을 구하였다.

2.5 발성훈련 전 후의 SaO₂ 측정

혈액 내 산소포화도의 측정은 맥박산소계측기(Pulse Oxi-meter)인 Pulsox-M24를 통하여 발성훈련 전 검지에 측정기기를 끼고서 측정하였으며, 발성 훈련 2분 후, 4분 후, 6분 후 각각 발성 전과 같은 방법으로 측정하였다.

2.6 발성훈련 전후의 PACO₂의 측정

혈액 내 이산화탄소분압의 측정은 이론적으로 폐포 내 이산화탄소분압과 일치하므로 Quick etCo₂를 통하여 발성 전 최대한 깊은 호흡을 한 후 최대한 호흡을 내쉴 때의 폐포 내 이산화탄소분압을 측정한 후, 발성 훈련 2분 후, 4분 후, 6분 후 같은 방법으로 반복하여 측정하였다.

2.7 발성훈련방법

발성훈련은 '아' 모음을 사용하여 Soprano는 C4음에서 C6 까지, Mezzo soprano는 A3에서 A5까지 Tenor는 C3에서 B^b4까지 Baritone은 A2에서 F[#]4까지 반복적으로 2분, 4분, 6분 발성한 후 혈중산소포화도와 폐포 내 중이산화탄소분압을 각각 측정 하였다.

III. 결과 및 논의

3.1 설문조사

성악가들을 상대로 한 전화 설문조사에서 다음과 같이 대답하였다.

- 1) 발성훈련 후 어떠한 신체적인 변화를 느낀 적이 있는가?

있다 : 남자 14명, 여자 13명,

- 잘 모르겠다 : 남자:1명, 여자 2명,
- 2) 느낀 적이 있다면 어떠한 느낌을 느낀 적이 있는가? 대체로 다음 같이 대답을 하였다.
- (1) 발성훈련 후 어지러움을 경험한 적이 있다.
 - (2) 순간적으로 아찔한 경험을 한적 있다.
 - (3) 고음발성 시 얼굴이 벌게진다.
 - (4) 고음발성 후 두통을 경험한 적이 있다.
 - (5) 발성훈련 후 힘이 빠진다.
 - (6) 가슴이 답답한 적이 있다.
 - (7) 머리가 멍해진다.

대체로 발성 훈련 시 강한 복식호흡을사용하고 높은 고음을 발성 하여야하므로 많은 성악가의 경우 위와 같은 경험을 한다. 대체로 저음역과 중 음역보다는 고음역에서 소리의 강도가 증가하는 경향을 보이기 때문에 많은 호흡압력을 사용하는 것이 일반적인데 이런 경우 신체적으로 많은 에너지를 쓰는 것으로 알려져 있다. 위와 같은 현상은 어떠한 이유에서 나타나는지 아직 정확히 밝혀진 것이 없는데 이번 연구에서 어느 정도 접근 할 수 있을 것이다.

3.2 폐 기능 검사 결과(Table1)

폐 기능 검사는 폐질환이 있는 경우에 대비하여 신체 건강한 조건의 실험군을 선정하기위하여 실시하며 일반인과 특별한 차이를 보이지 않았다. 저자의 다른 연구에 의하면 훈련받은 성악가들과 일반인들과 폐활량의 차이는 보이지 않으며 다만 폐활량을 활용하는 능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다.[4]

Table1) Pulmonary function test of the all subject

Characteristics		Male	Female
FVC	Liters	5.0±0.7	3.4±0.3
(% predicted)	%	88.8±9.6	89.2±3.0
FEV1	Liters	4.1±0.5	3.1±0.3
(% predicted)	%	91.2±7.5	91.8±6.4
Peak Flow	Liter/sec	9.5±1.5	7.3±0.9

3.3 호흡근력검사 결과(Table 2)

호흡근력은 일반인보다 훈련받은 성악가들에게서 높게 나타나며 음성질환자의 경우 낮게 나타나는 것으로 보고하고 있으며 최대흡기압은 횡격막의 압력을 대변하여주는데 남자실험군의 경우 같은 몸무게를 가진 남자성악가의 최대흡기압(100cm H20)과 최대호기압(96cmH20)보다 낮은 압력을 보였으나 일반인 평균 보다는 높게 측정되었으며 여성성악가의 경우 최대흡

기압(74cmH20)보다 높게 측정 되었으며 최대호기압은 여자성악가의 평균(70cmH20)보다 높게 측정되었다. 최대흡기압은 횡격막압력을 대변하고 최대호기압은 상복부의 압력을 대변하며 정상적인 훈련을 받은 성악가인가를 보여주는 중요한 지표 중에 하나로서 알려져 있다.

Table2) MIP(Maximum inspiratory muscle pressure) & MEP(Maximum expiratory muscle pressure) of the all subject

		Male	Female
MIP	cm H20	99.2±23.7	86.6±15.4
MEP	cm H20	81.8±30.6	74.8±17.6

3.4 발성훈련 전 후의 SaO2 (Table3)

발성 시 흡기작용은 짧은 시간에 많은 호흡을 흡입 하여야 하므로 이때에 최대흡기압의 높을수록 유리하게 된다. 음악적 표현을 위하여 긴 프레이즈의 노래를 하는 경우 중간에 숨을 쉴 수없는 경우 특히 깊고 많은 공기를 흡입하는 것은 무척 중요하다. 깊고 빠른 흡기를 하면 성대는 밸브 역할을 하여 공기를 조절하고 또한 이때 상복부에 압력을 가하면 호흡압력이 증가하여 성문하압(Sub glottal pressure)이 증가하여 소리의 강도가 증가한다. 보통 흡기와 호기의 비율은 1:3이나 발성 시 흡기와 호기의 비율은 1:18.1:10또 그 이상도 가능하다. 즉 발성 시 호흡은 짧은 시간에 많은 공기를 흡입한 후 호기작용 시 성대를 진동시키며 천천히 공기를 내뿜는 것과 비슷한 작용을 하는 것이다. 이때 헤모글로빈과 산소의 결합 정도를 %로 표시하는 동맥혈내의 산소 포화도는 정상 범위 (97%)안에 있었다. 이것은 발성 시 길게 호기를 유지하더라도 흡기 시 많은 산소를 흡입하기 때문에 정상범위 안에 있으며 2분,4분,6분 발성 훈련을 하더라도 그 차이는 발견 할 수없었다. 실제로 임상에서 혈중 산소포화도가 낮아지면 심호흡을 반복적으로 하여 정상화시킨다.

Table3) Oxi-Hemoglobin saturation of pre & post vocal training. Abnormal < 97%

		SaO2 (%)					
		2 minutes		4 minutes		6 minutes	
		pre	post	pre	post	pre	post
F		98±1.2	98±0.3	97.4±0.5	98.2±0.3	97.6±0.9	98.4±0.4
M		96.6±0.5	97.4±0.8	97.2±0.8	97.6±0.7	97.4±0.5	97.7±0.4

3.5 발성훈련 전 후의 PACO2

발성훈련 전 후에 가장 두드러지게 차이를 보이는 것이 PACO2로 발성 훈련 후 비 정상적인 수치를 보였다. 또한 2분 발성 후 어느 정도 휴식을 취한 후 4분을 발성 하였는데도 불구하고 유의한 차이를 보였고, 역시 4분 발성 후에도 어느 정도 휴식을 취한 후에도 정상 값(36mmHg이상) 보다 낮았는데 이는 완전한 휴식 후에 발성 한 것이 아니라 실험 전에도 어느 정도 발성 훈련을 한 것이 원인이라 추정된다. 또한 주목 할만 한 것은 발성 훈련 후에는 정상치보다 아주 낮은 수치를 나타내 저 이산화탄소증(Hypocapnia) 현상을 보였다. 발성 시 지속적인 반복적인 깊은 호흡은 과 호흡상태를 만들어 혈액중 이산화탄소를 과잉토출시켜 동맥 혈 내 이산화탄소부분압력을 저하시키면 PH농도가 상승하여 호흡성 알카리증을 초래하여 그 결과 이온화 칼슘의 저하를 일으켜서 신경, 근육의 흥분성을 높이고 산소의 감소를 위해 뇌혈관을 수축시켜 혈류를 감소시키면 현기증, 국소빈혈, 어지럽거나 부정맥, 두통 등이 나타난다.[5]

숨을 들이 마시고 발성과 동시에 호흡압력을 조절하여 깊게 발성하는 것을 반복적이고 시행하는데 이때 지속적인 깊은 호흡과 지속적인 호흡방출 작용에 의하여 폐포 내 이산화탄소분압(PACO2)이 낮아지는 현상을 초래한다. 이러한 이산화탄소 저하 증은 성악가들의 어지러움이나 현기증 두통 등의 하나의 원인이라 생각된다.

V. 참고문헌

- [1] 남도현, 최홍식. 발성과 호흡. 군자출판사. 2007
- [2] 최홍식. 내 후두근의 작용: 개에서의 생체발성 모형. 대한음성언어의학회. 1997;8(2): 185-92
- [3] 남도현, 안철민, 최홍식. 성악가와 훈련을 받지 않은 일반인과 성대질환이 있는 환자에서 최대흡기압, 최대호기압, 최대발성지속시간에 관한 연구. 대한음성언어의학회지 13(2):200: 117-23
- [4] 남도현, 안철민, 임성은, 강성웅, 최홍식. 훈련된 여자 성악가와 일반인의 호흡능력에 대한 비교 연구. 대한음성언어의학회. 200.1;12(2):121-125
- [5] 샤피로, B. A, 김원욱. 템플린 R, 페루치, W, T. 서울한서의학사. 1994

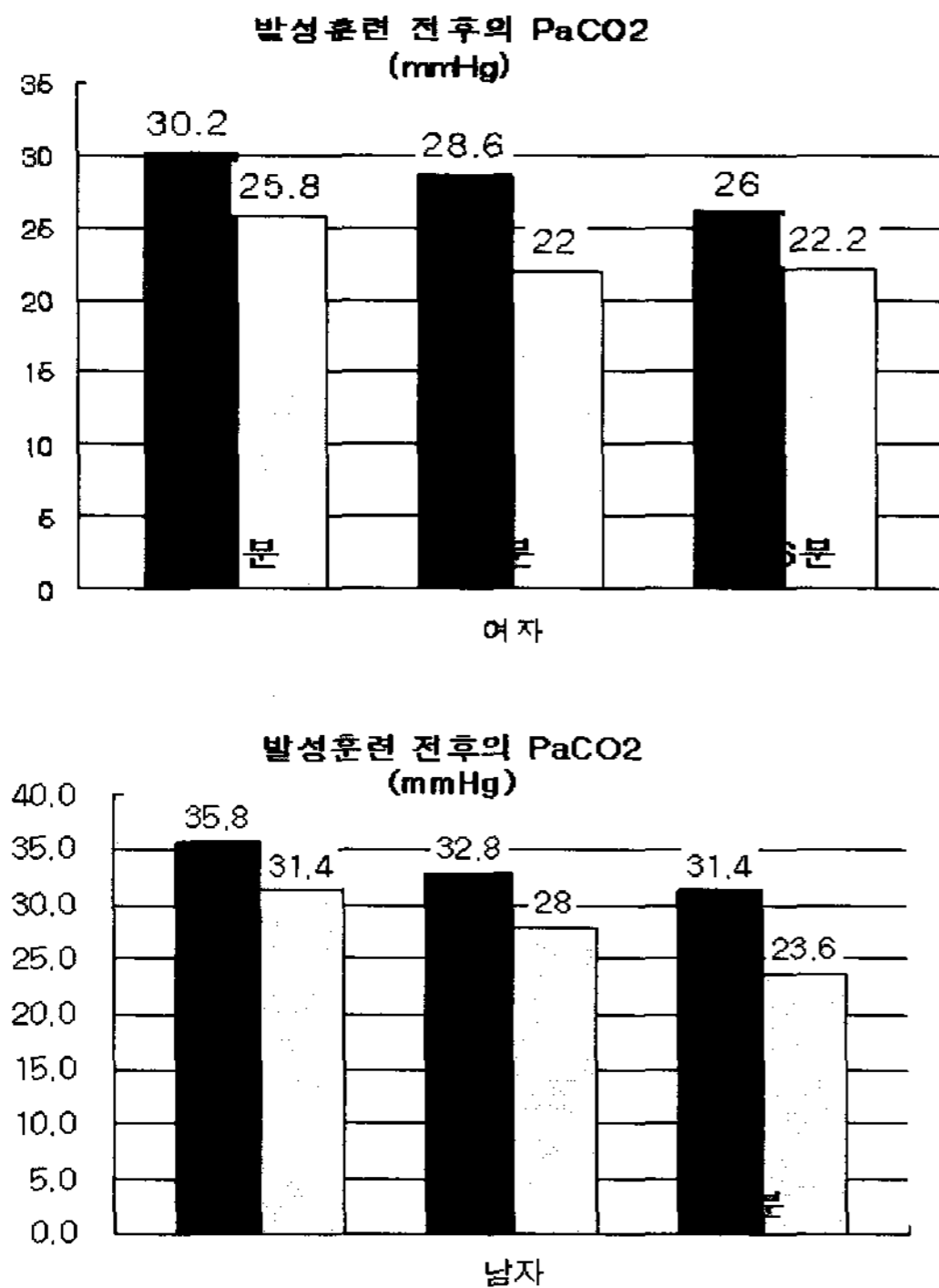


Fig 1) pulmonary alveolar CO2 pre & post vocal training. normal=36-40 mmHg

IV. 결론

훈련받은 성악가들의 흡기 시 짧은 흡기 시간에 깊게