

소프라노 1인의 모음곡 발성 시 제 1 포먼트의 변화양상

이화여자대학교 언어병리학 협동과정,¹ 성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실²

송 윤 경¹ · 진 성 민²

= Abstract =

The First Formant Characteristics in Vocalize of One Soprano

Yun Kyung Song, MS¹ and Sung Min Jin, MD²

¹Interdisciplinary Program of Communication Disorders, The Graduate School, Ewha Womans University, Seoul; and

²Department of Otorhinolaryngology, Kangbuk Samsung Hospital, School of Medicine, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea

Background and Objectives : Vowels are characterized on the basis of formant patterns. The first formant (F1) is determined by high-low placement of the tongue, and the second formant (F2) by front-back placement of the tongue. The fundamental frequency (F0) of a soprano often exceed the normal frequency of the first formant. And the vocal intensity is boosted when F0 is high and a harmonic coincides with a formant. This is called a formant tuning. Experienced singers thus learned how to tune their formants over a reasonable range by lowering the tongue to maximize their vocal intensity. So, the current study aimed to identify the formant tuning in one experienced soprano by comparing the first formants of vowel [i] in three different voice productions : speech, ascending scale, and vocalize.

Materials and Method : All voices recordings of vowel [i] in speech, ascending scale (from F4 note to A5 note), and vocalize ("Ridente la calma") were made with digital audio tape-corder in a sound treated room. And the captured data were analyzed by the long term average (LTA) power spectrum using the FFT algorithm of the Computerized Speech Lab (CSL, Kay elemetrics, Model 4300B).

Results : Although the first formant of vowel [i] in speech was 238Hz, those of ascending scale [i] were 377Hz, 405Hz, 453Hz respectively in F4 (349z), G4 (392Hz), A4 (440Hz) note, and 722Hz, 820Hz, 918Hz respectively in F5 (698Hz), G5 (784Hz), A5 (880Hz) note. In vocalize, first formants of [i] were 380Hz, 398Hz, 453Hz respectively in F4, G4, A4 note, and 720Hz, 821Hz, 890Hz respectively in F5, G5, A5 note.

Conclusion : These results showed that the first formant of ascending scale and vocalize sustained higher frequency than fundamental frequency in high pitch. This finding implicates that the formant tuning of vowel [i] in ascending scale was also noted in vocalize.

KEY WORDS : Formant · Formant tuning · Vowel modification.

서 론

유능한 성악가의 음성은 독특한 나뭇잎의 특성이 있어 청취자로 하여금 강한 인상을 받도록 만들고, 강한 오케스트라의 연주 소리를 넘어서서 들을 수 있는 음성을 지치지 않고 반복적으로 산출할 수 있다.¹⁾ 이러한 성악 발성의 효과적인

성취는 배경문화와 개인의 음악적 창조성을 바탕으로 하여, 음질이나 강도와 같은 측면으로 표현되지만, 그 이면에는 생리학적 또는 음향학적 측면의 효과가 존재하고 있다.²⁾

후두에서 생성된 소리는 기본주파수(fundamental frequency)의 정수배인 주파수들의 연합으로 이루어진 복합음(complex tone)이다. 이 복합음에 들어있는 기본주파수 이외의 주파수들은 배음(overtone) 또는 하모닉스(harmonic partials)로 불린다.³⁾ 또 소리의 스펙트럼(spectrum)은 포먼트(formant)로 알려진 음향에너지의 정점을 갖고 있다. 포먼트는 주파수(frequency), 진폭(amplitude), 주파수 대역폭(bandwidth)의 세 가지 매개변수로 정의되며, 스펙트럼 포락선(spectrum envelope)에서 정점으로 나타나는데, 이는

논문접수일 : 2005년 5월 2일

심사완료일 : 2005년 6월 8일

책임저자 : 진성민, 110-102 서울 종로구 평동 108번지
성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

전화 : (02) 2001-2266 · 전송 : (02) 2001-2273

E-mail : strobojin@hanmail.net

음향에너지가 증폭된 주파수 영역을 의미한다.⁴⁾⁵⁾

한편, 각 모음은 다른 모음들과 구별될 수 있는 나름의 고유한 음향에너지의 패턴을 가지고 있는데, 성도의 공명관(resonant tube) 모양이 모음을 변별해주는 음향에너지의 두드러진 패턴을 만들어낸다.³⁾ 이 공명 시스템의 형태를 변화시켜 포먼트 주파수의 특성을 조절하는 규칙이 있는데, 성도의 길이를 길게 하면 모든 포먼트 주파수의 수치는 낮아지고, 인두 수축(pharyngeal constriction)을 시키면 제 1 포먼트 주파수는 높아지며, 구강 앞부분을 수축시키면 제 2 포먼트의 주파수가 높아진다.²⁾⁴⁾⁶⁾

성악가들은 작곡가들에 의해 의도된 음을 정확히 노래해야 하지만, 나름대로 자신의 성도를 어느 정도는 조절할 수 있어서 성도의 포먼트와 배음들을 일치시키려고 한다.²⁾⁵⁾ 이 과정을 포먼트 조율(formant tuning)이라고 하는데, 성대의 진동수, 즉 기본주파수가 성도의 포먼트 중심 주파수(formant center frequency) 중의 하나와 일치하거나 가까울 때 일어난다. 이 조율이 일어나면 성대에서 만들어진 진동음이 보다 강하게 전달된다. 선행 연구¹⁾⁷⁾에 의하면 여성 성악가는 턱을 더 열어줌으로써 제 1 포먼트를 조절하고, 이로써 기본주파수와 제 1 포먼트 주파수가 조화되도록 하여 음향학적인 문제를 해결하고자 하는데, 이와 같은 포먼트 조율의 과정에서 필수적으로 일어나는 성도의 변형과 그에 따른 모음 변화를 모음 조절(vowel modification)이라고 한다.

이에 관련된 선행 연구들을 살펴보면, Sundberg¹⁾⁷⁾는 소프라노로 하여금 상행음계의 모음 발성을 하도록 유도하여, 고음으로 발성할수록 그 기본주파수의 상승에 따라 제 1 포먼트의 주파수도 같이 높아지는 현상을 보여주었다. 또한 Titze⁸⁾는 테너에게 다양한 모음을 상행음계로 발성하도록 하여, [u] 모음을 제외한 여러 모음에서 모음조절이 일어나 제 1 포먼트 주파수의 변화가 나타나는 것을 보여주었다. 그러나 하나의 곡을 실제로 연주하는 과정에서 나타나는 포먼트 주파수의 변화를 살펴본 연구는 없었다.

따라서 본 연구는 고도로 훈련된 소프라노 1인에게 일반 말소리와 상행음계의 발성, 그리고 모음곡(vocalize)을 직접 연주하도록 하여 각 경우의 제 1 포먼트 주파수의 변화를 살펴보고자 하였다.

대상 및 방법

충분한 훈련을 받고 고유의 발성 테크닉이 안정적으로 자리 잡은 성악가의 음성을 분석하기 위하여, 실험의 대상은 성악 경력이 30년 이상이며 현 대학교수로 재직 중인 소프

라노 1인을 선택하였다. 연구의 특성 상, 그 목적을 알면 녹음 시에 자연스러운 모음의 조절이 어려울 것으로 여겨져 그 내용을 알리지 않고, 최대한 발성이 잘 이루어진 자료를 녹음하도록 하였다.

목표 모음은 제 1 포먼트 주파수가 가장 낮은 [i] 모음으로 제한하여, 음도의 변화에 따른 포먼트 주파수의 변화를 잘 관찰할 수 있도록 하였다.¹⁾⁷⁻⁹⁾ 따라서 대상자 고유의 기본 주파수와 제 1 포먼트를 알기 위하여 일반 말소리의 [i] 모음을, 발성된 소리에서의 분석을 위해서는 상행음계의 발성 모음 [i]를 녹음하였으며, 실제 연주할 때의 소리를 분석하기 위해서는 목표 음도가 고르게 들어간 연주곡 “Ridente la calma”(W. A. Mozart)를 [i] 모음으로 모음곡(vocalize : 전체 곡을 하나의 모음으로만 연주하는 것) 연주를 하게 하여 수집하였다. 또 목표음도는 F4음(349Hz), G4음(392Hz), A4음(440Hz)과, 이에 비하여 두 배의 주파수를 갖는 F5음(698Hz), G5음(784Hz), A5음(880Hz)을 선택하였다.

각 자료의 녹음진행은 방음된 공간에서 실시하였으며, 상행음계의 발성과 모음곡의 경우 피아노로 첫 음을 잡은 후 무반주 상태로 부르게 하였다. 마이크와 녹음기는 SONY의 ECM-909A microphone과 TCD-D7 digital audio tape recorder를 사용하였으며, 녹음 시 마이크와 성악가의 입 사이 거리는 30cm을 유지하였다.

수집된 모음은 KAY 사의 CSL 4300B를 이용하여 분석하였는데, 디지털 레코더의 자료를 CSL 4300B로 입력시키고 포먼트 추출이 용이한 FFT Power Spectrum 프로그램으로 long term average spectrum(이하 LTAS)을 그려 포먼트 주파수를 찾아내었다.¹⁰⁾¹¹⁾

일반 말소리의 [i] 모음은 산출된 소리의 중간부분을 2초 남겨 선택하였으며, 상행음계의 경우 최우 음도가 포함되지 않는 부분만을 선택하여 분석하였다. 모음곡의 경우 전곡을 녹음한 후 목표음도에 해당하는 발성만을 추출하여 분석하였는데(Fig. 1), 곡의 내용에 따라 목표음도가 길거나 짧게 지속되는 변이가 있어, 이 경우도 포먼트 전이 부분을 잘라내고 최소 900msec, 최대 1200msec의 안정구간을 확보하여 분석하였다.

말소리와 상행음계의 발성, 그리고 모음곡 연주는 각각 3회 반복 실시하였고, 따라서 분석은 3회의 자료 모두 실시하였으며, 결과의 포먼트 주파수는 그 3회의 분석 자료의 평균이다.

결 과

실험 대상의 말소리 높이는 224Hz로 이때 [i] 모음의 제

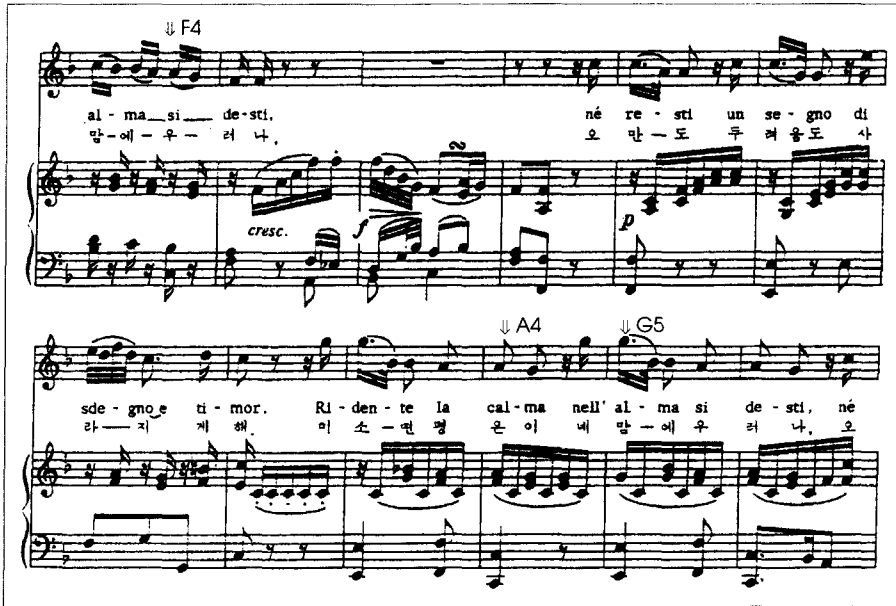


Fig. 1. Vocalize ("Ridente la calma" by W. A. Mozart).

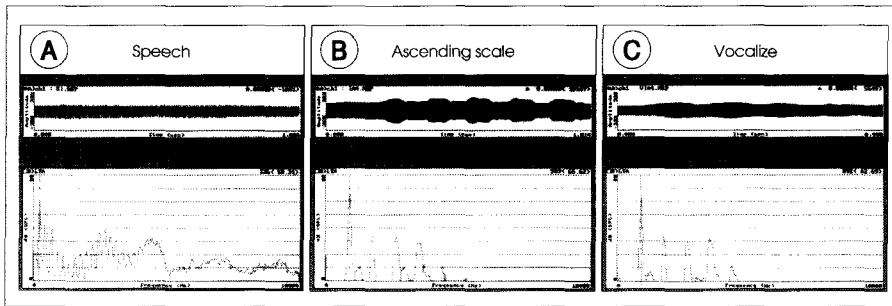


Fig. 2. Examples of long term average power spectrum. A : Analysis of vowel [i] in speech (F0 : 224Hz, F1 : 235Hz), B : A5 note of ascending scale (F0 : 880Hz, F1 : 909Hz). C : A5 note of vocalize (F0 : 880Hz, F1 : 892Hz).

Table 1. The first formant of vowel [i] in speech, ascending scale, and vocalize

	Speech	Ascending scale						Vocalize					
		F4	G4	A4	F5	G5	A5	F4	G4	A4	F5	G5	A5
F0 (Hz)	224	349	392	440	698	784	880	349	392	440	698	784	880
F1 (Hz)	238	377	405	453	722	820	918	380	398	453	720	821	890

1 포먼트 주파수는 238Hz이었다. 그러나 상행음계 발성의 경우 제 1 포먼트는 F4음(349Hz)에서 377Hz, G4음(392Hz)에서 405Hz, A4음(440Hz)에서 453Hz이었으며, 한 옥타브 위인 F5음(698Hz)에서는 722Hz, G5음(784Hz)에서는 820Hz, A5음(880Hz)에서는 918Hz로 나타나 음도가 높아질수록 제 1 포먼트 주파수가 상승하는 경향이 관찰되었다. 또 모음곡 연주 시의 목표음도를 추출하여 분석한 결과에서 제 1 포먼트는 F4음(349Hz)에서 380Hz, G4음(392Hz)에서 398Hz, A4음(440Hz)에서 453Hz이었으며, 한 옥타브 위인 F5음(698Hz)에서는 720Hz, G5음(784Hz)에서는 821Hz, A5음(880Hz)에서는 890Hz로 나타났다 (Table 1). 이 분석 결과는 상행음계의 단순발성이 아닌 실

제 모음곡의 연주에서도 음도가 높아질수록 그보다 더 높은 주파수에 제 1 포먼트가 유지되는 것을 보여준다. 일반 말소리와 상행음계 그리고 모음곡을 분석한 예는 Fig. 2와 같다.

고 찰

본 연구는 모음조절을 통한 포먼트 조율이 단순 상행음계의 모음발성만이 아니라 직접 연주하는 곡에서도 실제로 적용되는지 살펴보기 위하여, 고도로 훈련된 소프라노 1인에게 모음곡(vocalize)을 연주하도록 한 뒤 각 목표음도의 제 1 포먼트 주파수를 분석하여 일반 말소리와 상행음계

의 발성에서와 비교하였다. 분석 결과, 실험 대상자는 상행 음계의 음도에서뿐 아니라 모음곡 연주시의 목표음도에서도 제 1 포먼트를 기본주파수보다 높이 위치시키는 포먼트 조율을 보여주었다.

이 과정에서 대상자는 음도가 높아질수록 [i] 모음을 조절하여 청지각적으로 거의 [a] 모음에 가깝게 산출하는 경향을 나타내었다. 이는 합성음이나 성악가의 음성을 대상으로 한 선행 연구들에서 제시된 음향에너지의 증폭을 위한 과정과 같은 특성을 갖는다.¹⁾²⁾⁷⁻⁹⁾ 즉 개인은 고유한 성도의 길이나 넓이의 특성에 따라 나름의 포먼트 주파수를 갖고 있는데, 높은 음을 산출할 경우 제 1 포먼트가 기본주파수보다도 낮게 위치하는 포먼트의 역전 현상이 일어나며,⁶⁾ 이러한 상황에서의 음향에너지 감소를 막기 위한 수단으로 모음을 조절하여 포먼트 주파수를 변화시키는 것이다.

이 개념은 성악 전문 영역에서 일부 논쟁이 있기도 하지만, 과학적 검증과 경험에 의하여 지지받고 있, Miller는 “중성 모음화되거나 또는 그 반대로 인접한 모음에 접근함으로써 모든 음도에 비례하여 기본주파수와 배음들의 균형이 유지되는 것”으로 모음조절을 설명하였다.⁵⁾ 성악가는 의도된 음과 모음을 최대한 소화하기 위하여 성도를 변화시켜 특정 모음으로 인식되는 스펙트럼을 산출하는 형태로 순응해야만 하는 것이다. 여성 성악가의 경우에는 극단적인 고음을 내야할 경우가 있는데, 예를 들어 F5음(698Hz)에 해당하는 소리를 [i] 모음으로 낸다면, 제 1 포먼트는 400Hz를 넘지 못한다. 따라서 소프라노가 [i] 소리를 내려고 할 때 기본주파수인 698Hz는 그 모음의 제 1 포먼트보다 위에 위치하게 되는 것이다. 이때 네 번째나 다섯 번째의 배음이 제 2 포먼트와 일치하겠지만 이러한 성도 형태의 공명 속성으로는 그 아래 배음의 에너지가 모두 약해지게 된다. 그러나 성악가가 모음을 조절하여 [i] 모음을 [a] 모음에 가깝게 내면 성도의 공명 또는 포먼트는 그 형태에 의하여 기본주파수인 698Hz를 증폭시킬 것이며, 그 결과 발성된 소리는 더 강한 음향에너지를 갖게 될 것이다. 즉 성악가는 제 1 포먼트의 주파수를 올리기 위하여 혀나 턱을 낮출 필요가 있는 것이며, 이렇게 함으로써 음향에너지의 손실을 막을 수 있는 것이다. 결국 모음 조절을 통하여 포먼트 조율이 잘 이루어지면, 클래식 음악 발성에서 이상적으로 요구되는 음질과 강도가 유지될 수 있게 된다.²⁾³⁾

물론 성악가의 성도는 최종적인 음색에 지대한 영향을 미치기 때문에 선천적으로 타고난 신체적 조건이 매우 중요하다. 그러나 더 중요한 것은 모든 음도와 모든 모음에서 최적의 공명을 이루도록 성도를 최적화시킬 수 있는 성악가의 능력이며, 이는 발성기관의 자세를 조절하고 성도의 근

육을 조절함으로써 획득될 수 있다.⁵⁾

한편 말이나 노래에서, 분명한 발음은 모음의 완전성을 유지하는 것으로 가능해진다. 이 완전성은 성대에서 만들어진 소리가 적절한 공명관의 형태를 따라 흘러나오면서 성취될 수 있다. 성악가가 모든 모음을 하나의 이상적인 성도형태에서 산출하도록 잘못 배운다면, 모든 포먼트의 흐름은 찾기 어려울 것이며 모음은 왜곡될 것이다. 말과 노래의 음향학적 원칙은 같을지라도, 전통 성악 발성은 매우 잘 연마된 발성과 여과방법이 요구된다.³⁾ 즉 성악 발성에서는 낮은 음부터 높은 음까지 음색(timbre)을 단일하게 유지하는 것을 중요시하는 것이다. 성악 발성이 능숙한 경우는 음도가 올라가더라도 후두는 안정적으로 남아있다. 후두를 갑작스럽게 올리거나 낮추는 것은 그다지 바람직한 조절방법이 아닌 것이다. 따라서 성악가는 누구나, 특히 고음 발성이 잦은 소프라노의 경우는 모음의 조절을 통하여 자연스럽게 음향에너지와 음색을 유지할 수 있어야 한다.

그러나 본 연구에서도 관찰되었듯이, 포먼트 조율은 음색을 유지하고 음향에너지의 감소를 막을 수 있을지는 몰라도, 모음조절이 지나치면 다른 모음처럼 들리는 문제가 발생하게 된다. 우리가 성악가의 노래를 들을 때 우리말로 부르는 노래도 잘 알아듣기 어려운 경우가 간혹 있는 것도 이와 같은 이유 때문일 것이다.

그렇다면 성악가는 모음의 명료도와 음향에너지의 유지 사이에서 균형을 유지해야 하는 입장에 있는 것으로 짐작해 볼 수 있다. Smith와 Scott⁹⁾는 다양한 조건에서 성악 발성을 하게하여 청취자가 그 명료도를 체크하도록 함으로써, 자음-모음-자음의 맥락에서 발성을 하면 보다 나은 명료도를 얻을 수 있으며, 또 바람직한 방법은 아니지만 후두를 끌어올려 발성을 하여도 발성된 모음의 명료도를 높일 수 있게 된다는 것을 보여주었다.

모음의 포먼트 변화는 앞 또는 뒤의 음소에 따라서 나타나게 되는데, 이러한 포먼트 전이(formant transition)는 주변의 음향적 특성 뿐 아니라 모음의 가운데 부분에도 영향을 미친다. 따라서 포먼트 특성을 평가하기 위한 연구는 표준음소환경(자음-모음-자음)이나 독립된 모음의 단순 연장 발성을 사용하며, 일반적으로 모음의 가운데 부분에서 이루어진다.⁴⁾ 본 연구 역시 이러한 점을 고려하여 자음이 포함되지 않은 연주곡인 모음곡을 사용하였는데,⁹⁾ 만일 모음의 전, 후에 자음이 더해진다면 이번 실험에서 나타난 것과 같은 명료도의 저하는 그 정도가 덜해질 수 있을 것이다.

한편, 성악 발성 시 성도의 형태에 따른 모음의 변화는 우리가 알아듣지 못할 만큼 그다지 심하지 않다는 주장이 있다.¹⁾ 평상시 우리는 성인 남성과 여성, 아동의 다양한 성도

길이에 따른 여러 음도의 말소리를 듣는데 익숙해 있기 때문에 그 상관관계가 우리의 지각 시스템에 잘 확립되어 있어서, 어느 정도의 포먼트 주파수의 변화로 모음을 알아듣지 못하게 되는 것은 아니라는 것이다. 결국 소프라노는 음도에 따른 제 1 포먼트 조절의 결과로 모음의 명료도를 지나치게 손상시키지는 않는다는 것이다. 게다가 작곡자들은 이러한 모음의 명료도 문제를 의식하여, 중요한 내용어의 경우 음역의 최고 위치에 두는 것을 피하는 경향이 있다고 한다.¹⁾

이러한 점들을 고려하면, 말과 노래의 모음 간 차이에 있어서 현명한 선택은 음성노력(vocal effort)의 경제성을 잘 살리는 것으로 조절되어야 할 것으로 여겨진다. 명료도 유지를 위하여 모음조절을 통한 포먼트 조율을 포기하고 발성에 심한 노력성을 들일 것인지, 아니면 모음의 적절한 조절을 통하여 힘을 덜 들이고도 음향에너지를 증폭시킬 것인지는 성악가의 선택에 달려있다. 숙련된 성악가일수록 가사 전달에도 유의하면서, 성도의 공명을 잘 활용할 것이다.

결 론

본 연구에서 연구자들은 소프라노가 고음도에서 턱을 더 열어줌으로써 기본주파수보다 높게 제 1 포먼트를 위치시키는 포먼트 조율이 상행음계의 발성 뿐 아니라 모음곡의 연주에서도 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 상행음계의 발성과 모음곡의 분석과정에서 음도가 높아질수록 [i] 모음이 [a] 모음으로 근접해가는 청지각적 특성 또한 관

찰할 수 있었다. 따라서 앞으로의 연구는 가사가 있는 곡을 다양한 성도 조절 방법으로 연주하게하고, 그 음향에너지 및 청취자의 명료도를 평가하여 가사전달과 음향에너지 양자에 유효한 변인을 찾아보는 것도 흥미로운 것이다.

중심 단어 : 포먼트 · 포먼트 조율 · 모음 조절.

REFERENCES

- 1) Sundberg J. *The acoustics of the singing voice*. *Scientific Am* 1977; 236 (3):82-91.
- 2) Scherer R. *Formants in singers*. *NCVS Status and Progress Report* 1996;9:27-30.
- 3) Miller R. *The mechanics of singing: coordinating physiology and acoustics in singing*. In: Benninger Ms, Jacobson BH, Johnson AF, editors. *Vocal arts medicine: the care and prevention of professional voice disorders*. New York: Thieme Medical Publishers; 1994. p.64-71.
- 4) Baken RJ, Orlikoff RF. *Clinical measurement of speech and voice*. 2nd ed. San Diego, CA: Singular Publishing; 2000. p.258-65.
- 5) Ware C. *Basics of vocal pedagogy: the foundations and process of singing*. Minnesota, MN: McGraw-Hill; 1998. p.135-68.
- 6) Titze IR. *Principles of voice production*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc; 1994. p.148-232.
- 7) Sundberg J, Skoog J. *Dependence of jaw opening on pitch and vowel in singers*. *J Voice* 1997;11 (3):301-6.
- 8) Titze IR, Mapes S, Story B. *Acoustics of the tenor high voice*. *J Acoust Soc Am* 1994;95 (2):1133-42.
- 9) Smith LA, Scott BL. *Increasing the intelligibility of singing vowels*. *J Acoust Soc Am* 1980;67 (5):1795-7.
- 10) Schutte HK, Miller DG, Švec JG. *Measurement of formant frequencies and bandwidths in singing*. *J Voice* 1995;9 (3):290-6.
- 11) Oliveira Barrichelo VM, Heuer RJ, Dean CM, Sataloff RT. *Comparison of singer's formant, speaker's ring, and LTA spectrum among classical singers and untrained normal speakers*. *J Voice* 2001;15 (3): 344-50.