

성악가들의 목소리에 대한 Long Term Average Spectrum 분석 - 2nd Singer's Formant의 존재 가능성에 대하여 -

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실
반재호 · 권영경 · 진성민

= Abstract =

Long Term Average Spectrum Characteristics of Head and Chest Register Sounds of Western Operatic Singers : Extended Study - Possibility of Second Singer's Formant -

Jae Ho Ban, MD, Young Kyung Kwon, MS and Sung Min Jin, MD

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

Background and Objectives : It has been shown that the epilaryngeal tube in the human airway is responsible for vocal ring, or the singer's formant. In previous study, authors showed that in trained tenors, besides the conventional singer's formant in the region of 2,500Hz, another energy peak was observed in the region of 8,000Hz. This peak was interpreted as the second resonance of the epilarynx tube. Singers in other voice categories who produce vocal ring are assumed to have the same peak, but no measurements have as yet been made.

Materials and Methods : Fifteen tenors, fourteen baritones, seven sopranos and five mezzo sopranos attending the music college, department of vocal music who could reliably produce the head and chest registers were chosen for this study. Each subject was asked to produce an /ah/ sound for at least three seconds for the head register sound (tenors ; G4, baritones ; E4, sopranos ; F5 and mezzosopranos ; C5) and for the chest register sound (tenors ; C3, baritones ; D3, sopranos ; D4 and Mezzosoprano ; A3). The sound data was analyzed using the Fast Fourier Transform (FFT)-based power spectrum, Long term average (LTA) power spectrum using the FFT algorithm of the Computerized Speech Lab. (CSL, Kay elemetrics, Model 4300B, USA). Statistical analysis was performed using the Mann-Whitney test of the Statistical Package for Social sciences (SPSS).

Results : For head register sounds, a significant increase was seen in the 2,200-3,400Hz region ($p < 0.05$) and the 7,500-8,400Hz region ($p < 0.05$: except the head register of mezzo soprano) in trained singers compared with untrained singers. Similar to the head register sounds, there was a significant increase in energy in the four trained singer group compared with the untrained group in the 2,200-3,100Hz region ($p < 0.05$), the 7,800-8,400Hz region ($p < 0.05$) for the chest register sounds.

Conclusions : When good vocal production was made for the head and chest registers, an energy peak was observed near 2,500Hz, a frequency already known as the "singer's formant", in all subjects in the study group. Another region of increased energy was observed around 8,000Hz that had not been noticed previously. The authors believe this region to be the second singer's formant.

KEY WORDS : Singer's formant · Register.

서 론

성악가들의 발성 시 2,500Hz 부근에서 Singer's formant

라는 특이한 포먼트(formant)가 나타난다는 것은 잘 알려진 사실이며,¹⁾²⁾ 이와 같은 포먼트는 성대(true vocal folds)와 피열후두개주름(aryepiglottic fold) 사이의 공간이 제3, 제4, 제5음형대를 합쳐지도록 하는 음향학적 효과에 의하여

논문접수일 : 2004년 4월 9일

심사완료일 : 2004년 4월 24일

책임저자 : 진성민, 110-746 서울 종로구 평동 강북삼성병원 108번지 성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

전화 : (02) 2001-2265 · 전송 : (02) 2001-2273 E-mail : strobojin@hanmail.net

이루어 지는 것이라고 보고되었다.³⁾ 그러나, 저자는 앞서 테너 성부의 성악가를 대상으로 시행한 연구에서 기존의 singer's formant 외에 약 8,000Hz 주변에서 형성되는 또 다른 포먼트를 발견하여 이것이 일반인들에 비하여 의미 있게 에너지가 증가 되어 있음을 보고한 바가 있다.⁴⁾ 또한 Titze 등⁵⁾은, singer's formant가 형성된다고 알려진 성대와 피열후 두개주름간의 공간을 한쪽이 막힌 단일관으로 생각하여 $F = (2n-1)c/L$ (F : formant frequency, c : the speed of sound in the vocal tract (350m/sec), L : length of epilarynx tube (3cm))의 공식에서 첫 번째 공명지점이 약 3,000Hz, 두 번째 공명지점이 약 9,000Hz가 되는 것으로 보아 이것이 성악가에서 보이는 다른 하나의 포먼트 라는 가능성을 제시하였다.

그러나 이 연구는 성악가들 중 테너성부만을 대상으로 이루어진 것으로, 여성성악가를 포함하는 다른 성부에서도 같은 현상이 나타나는지에 대한 부분이 의문으로 남아 있다. 따라서 저자들은 다양한 성부의 성악가를 대상으로 기존의 singer's formant 뿐 아니라 2nd singer's formant의 존재 여부를 확인 하고자 하였다.

대상 및 방법

연구대상은 동일한 음악대학교 성악과에 재학 중이거나 성악과를 졸업하였으며, 홍성구와 두성구를 명확하게 발성하기에 용이한 테너성부의 학생 15명, 바리톤 성부의 학생 14명, 소프라노 성부의 학생 7명, 메조 소프라노 5명을 대상으로 하였다. 이들이 성악에 대한 교육을 받은 기간은 테너의 경우 평

균 4.6년, 바리톤 5.4년, 소프라노 8.8년, 메조 소프라노 18년이었으며, 평균 연령은 각각 23.3세, 22.0세, 21.4세, 34.0세이었다.

음성표본은 방음장치가 된 방에서 두성구의 경우 테너는 G4(392Hz) 바리톤은 E4(329Hz), 소프라노는 F5(698Hz), 메조 소프라노는 C5(523Hz)로, 그리고 홍성구의 경우는 테너에서 C3(131Hz), 바리톤은 D3(146Hz), 소프라노는 D4(293Hz), 메조 소프라노는 A3(220Hz) 음을 이용하여, 한국인의 모음 /이/를 5초 이상 발성토록 하였으며, 이때 음악대학교 대학원생 1명과 교수 1명이 듣고 판단하여 적절한 두성구와 홍성구로 발성된 경우를 녹취하였다. 각각의 발성음 선정시 앞서 언급한 음보다 반응정도 높거나 낮은 음을 발성토록 하여 녹취가 된 경우도 있었으나 이는 두성구 또는 홍성구를 보다 용이하게 발성할 수 있다고 요구했던 대상들의 경우이다. 발성된 음성은 SONY DAT recorder TCD-D7을 이용하여 우선 녹음하였으며, 후에 컴퓨터에 입력하였고 이때 표본에 대한 녹취 비(sampling rate)는 20kHz로 하였으며 음압 준위(sound pressure level)는 70dB에 일치하도록 노력하였다. 입력된 신호는 Computerized Speech Lab. (CSL, Kay elemetrics, Model 4300B, USA) 프로그램 중 FFT의 algorithm을 이용한 Long term average (LTA) power spectrum을 이용하여 분석하였고, 이때 LTA power spectrum을 이용한 분석에서는 frame size를 64point (3.2 msec)로 하여 각 주파수별 에너지 이득(energy gain)을 비교하였다.

대조군은 후두 및 조음기관에 이상이 없고 대상군과 비슷한 연령대의 건강한 성인 남자 15명과 성인 여자 11명을 대

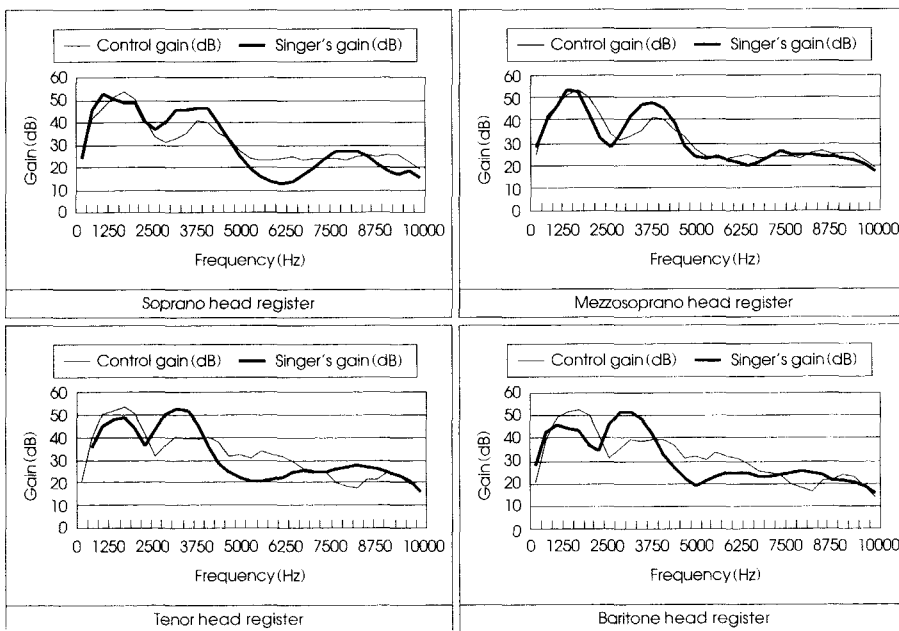


Fig. 1. Long term average power spectrum of head register.

Table 1. Long term average power spectrum of female head register

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Soprano gain (dB)	Mezzo gain (dB)
0	24.93	24.18	28.27
312.5	41.57	45.24	40.58
625	46.74	52.57	46.73
937.5	51.34	50.77	53.10
1250	53.53	48.62	52.64
1562.5	50.21	48.97	42.64
1875	42.76	40.96	31.97
2187.5	33.29	36.51	27.56
2500	31.60	39.65	33.61
2812.5	33.11	45.82*	41.93*
3125	35.27	45.6*	46.86*
3437.5	40.87	46.46*	46.77*
3750	40.07	46.08	45.49
4062	35.31	39.16	38.62
4375	32.70	32.15	28.47
4887	26.97	25.16	23.89
5000	24.0	19.39	23.27
5312.5	22.89	16.27	23.76
5625	23.10	13.39	22.31
5937.5	24.10	12.62	21.56
6250	24.42	13.41	19.74
6562.5	22.94	16.92	21.31
6875	24.08	20.03	23.61
7187.5	24.04	24.31	25.92
7500	23.62	27.27	23.34
7812.5	23.39	26.82*	24.40
8125	25.17	26.86*	24.51
8437.5	25.99	25.03*	23.64
8750	24.62	21.21	23.45
9062.5	25.42	18.66	23.36
9375	25.32	17.13	21.97
9687.5	22.14	18.76	20.25
10000	18.95	15.40	16.85

* : p<0.05

Table 2. Long term average power spectrum of male head register

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Baritone gain (dB)	Tenor gain (dB)
0	20.20	27.94	
312.5	39.26	42.38	34.82
625	49.67	46.26	44.52
937.5	51.70	44.67	47.42
1250	52.96	43.75	48.12
1562.5	49.82	36.84	43.59
1875	41.60	34.56	35.72
2187.5	31.05	45.96*	42.59*
2500	35.62	51.61*	50.04*
2812.5	39.50	52.11*	52.49*
3125	38.80	48.46*	51.42*
3437.5	39.19	41.53*	45.45*
3750	39.59	32.69	35.96
4062	37.11	26.87	27.98
4375	30.93	22.18	23.96
4887	31.68	19.22	21.89
5000	30.26	21.20	20.14
5312.5	33.41	23.21	20.27
5625	32.07	24.38	20.91
5937.5	31.15	24.90	22.05
6250	29.17	24.59	24.01
6562.5	25.37	23.22	25.13
6875	24.87	23.00	24.22
7187.5	23.92	23.54	23.87
7500	19.66	24.66*	25.38*
7812.5	18.24	25.29*	26.41*
8125	16.79	24.87*	26.93*
8437.5	20.97	24.22	26.83*
8750	21.33	21.7	25.63
9062.5	23.97	21.0	23.97
9375	22.82	20.38	22.31
9687.5	19.12	19.31	20.39
10000	15.98	14.07	15.87

* : p<0.05

상으로 하였고, 남자의 경우는 평소 발성법으로 G4(392Hz)와 C3(131Hz)를, 여자의 경우는 F5(698Hz)와 D4(293Hz)를 발성토록 하여 컴퓨터에 직접 입력하여 분석하였다.

통계학적 검증은 통계분석 패키지인 Statistical Packages for Social Science(SPSS) 중 Mann-Whitney test를 이용하여 각 결과치를 비교하였고, 유의 수준은 95%로 하여 검증하였다.

결 과

LTA power spectrum을 이용한 분석에서 주파수별

에너지 이득은 두성구의 발성인 경우 테너, 바리톤, 소프라노, 메조 소프라노에서 0Hz에서 10,000Hz의 영역 중 약 2,200~3,400Hz에 이르는 영역(p<0.05)과 약 7,500~8,400Hz의 영역에서(p<0.05) 메조 소프라노를 제외한 다른 모든 군에서 대조군에 비하여 의미 있는 증가를 보였다(Fig. 1)(Table 1, 2). 흉성구의 발성에서는 테너, 바리톤, 소프라노 그리고 메조 소프라노 모두 약 2,200~3,100Hz영역(p<0.05)과 약 7,800~8,400Hz의 영역(p<0.05)에서 대조군에 비하여 에너지가 의미 있게 증가되어 있었다(Fig. 2)(Table 3, 4).

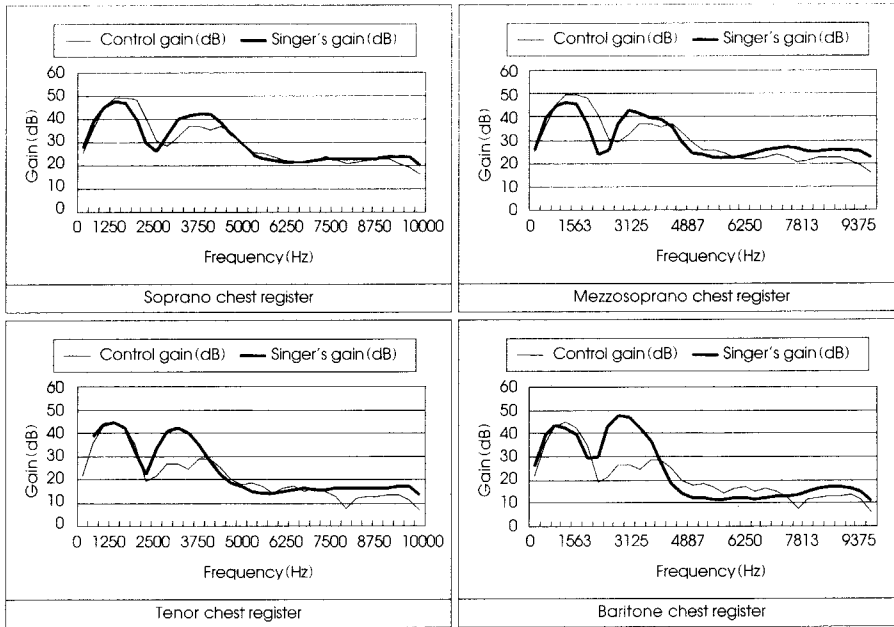


Fig. 2. Long term average power spectrum of chest register.

고 찰

1988년에 Gramming 등⁽⁵⁾은 남자 성악가와 일반 성인남자에서 주파수별로 낼 수 있는 가장 큰 소리로 고향을 질렀을 때 양자간에 발생강도에 분명한 차이점을 관찰할 수 없었고 보고하였다. 따라서 성악가라고 해서 일반인들보다 더 큰 소리로 노래를 하는 것은 아니라는 것을 알 수 있는데, 어떤 이유로 오케스트라 연주속에서 성악가의 노래가 우리 귀에는 명료하게 들리는지에 대해서 의문점이 생긴다. 이는 성악가와 일반인들의 목소리간에 분명한 차이를 보이는 주파수역 즉, 스펙트럼의 특징에서 그 이유를 알 수 있다. 성악가는 발성 시 일반인들과 달리 약 2,500Hz 근처에 singer's formant라 불리우는 에너지 집중대가 형성되며, 이 영역 때문에 오케스트라의 연주 속에서도 성악가의 목소리가 청중들의 귀에 명료하게 들리는 것이라 설명할 수 있다.¹⁾ Singer's formant가 형성되는 중심 주파수는 각각의 성부에서 다소간의 차이를 보이기는 하나 대부분 앞서 언급한 2,500Hz 주변에 위치하는 것으로 알려져 있다.¹⁾⁷⁾⁸⁾ 그러나 Sundberg¹⁾는 소프라노의 경우에서 보이는 소견은 singer's formant가 아니라 단순한 제 3, 제 4 포먼트라 주장하였다.

그렇다면 어떻게 성악가들은 이와 같은 특유한 스펙트럼을 그들의 목소리에서 만들어 낼 수 있을까 하는 점인데, 이는 바로 공명에 의한 것이라 말할 수 있다. 이 같은 공명현상을 설명하기 위한 노력이 아직도 계속 이루어지고 있으며, 아직까지 singer's formant가 형성되는 방법에 대

해서 분명하게 밝혀진 바는 없다. Sundberg가 성도내의 후두 주변부에 위치하는 작은 공명기의 존재를 modeling을 통하여 설명함으로써, singer's formant의 형성에 대하여 증명하고자 하였고, Titze는 물리적 수식을 통하여 singer's formant의 형성여부를 증명하고자 하였다.²⁾ Sundberg에 따르면 진성대로 부터 후두개의 경개부까지를 한쪽이 막혀 있는 관으로 생각하여, 그 단면적과 이상외를 포함하는 하인두부의 단면적 간의 비를 6배 이상으로 해결 경우 singer's formant에 해당하는 공명이 이루어졌다고 설명하였고, Titze는 한쪽이 막혀 있는 공명관에서 공명 주파수를 산출해 내는 공식 즉, $F = (2n-1)c/4L$, (c : speed of sound in the vocal tract (350m/sec), L : length of epilarynx tube (3cm))을 이용하여 singer's formant의 형성을 설명하였다. Titze의 설명에서 보면 일반 성인남자의 성도의 길이를 17cm 내외라 볼 때 이 역시 Sundberg의 1:6비와 같아서 1:6비가 2가지 양상으로 나타나는 것 같다고 하였다. 따라서 이들의 주장을 바탕으로 성악가들이 singer's formant를 만들어 내기 위해서는 발성 시 하인두부를 넓혀주고, 후두를 아래로 내려(또는 고정시켜) 성도의 길이를 길게 만들어 줌으로써 형성되는 것이 아닌가 하는 생각을 할 수 있다.

최근 진¹⁾과 Titze 등⁵⁾의 보고에 따르면, 약 2,500Hz 주변에서 형성되는 기존의 singer's formant외에도 약 8,000Hz 주변에서 성악가의 경우 일반인들과 다른 특이한 음형대가 형성된다고 주장한 바 있다. 이것 역시 앞서 말한 $F = (2n-1)c/4L$ 의 수식을 통하여 $n=2$ 일 때 정확하

Table 3. Long term average power spectrum of female chest register

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Soprano gain (dB)	Mezzo gain (dB)
0	25.30	27.77	26.01
312.5	36.45	39.33	39.50
625	45.30	45.20	44.85
937.5	49.42	47.74	46.15
1250	49.24	47.18	45.43
1562.5	48.12	39.93	36.86
1875	40.76	29.62	23.74
2187.5	30.59	26.18	25.99
2500	28.79	33.30*	36.73*
2812.5	32.38	39.86*	42.60*
3125	36.63	41.53*	41.61*
3437.5	37.12	42.13	39.23
3750	35.76	42.57	38.73
4062	36.63	38.57	35.30
4375	33.85	33.36	29.86
4887	29.10	29.53	24.58
5000	25.70	24.74	24.03
5312.5	25.45	22.85	22.72
5625	24.11	22.14	22.22
5937.5	22.33	21.63	22.71
6250	21.90	21.36	23.28
6562.5	21.80	21.39	24.54
6875	22.31	22.18	25.81
7187.5	23.51	22.85	26.35
7500	22.09	22.89	27.28
7812.5	20.42	22.78	26.22*
8125	21.39	23.14*	24.73*
8437.5	22.53	23.2*	24.94*
8750	22.74	23.35	25.67
9062.5	22.74	23.64	25.85
9375	21.09	23.88	25.60
9687.5	19.03	23.70	25.25*
10000	15.89	20.34	22.69

* : p<0.05

Table 4. Long term average power spectrum of male chest register

Frequency (Hz)	Control gain (dB)	Baritone gain (dB)	Tenor gain (dB)
0	21.49	25.86	
312.5	35.89	39.56	38.82
625	42.88	43.48	43.87
937.5	44.75	42.48	44.29
1250	42.24	39.82	41.92
1562.5	34.90	29.49	32.13
1875	19.23	29.73	21.96
2187.5	21.37	43.22*	33.14
2500	26.84	47.91*	40.87*
2812.5	26.79	46.77*	42.33*
3125	24.78	42.42*	40.11*
3437.5	28.72	36.77	35.11
3750	28.86	27.91	28.33
4062	25.11	18.70	22.37
4375	19.70	14.63	18.42
4887	17.85	12.34	16.67
5000	18.41	12.05	14.81
5312.5	17.08	11.70	14.08
5625	14.23	11.92	14.18
5937.5	16.43	12.43	14.79
6250	17.13	12.10	15.43
6562.5	14.85	11.93	16.01
6875	16.11	12.16	15.73
7187.5	15.06	12.78	15.82
7500	12.39	12.84	16.17
7812.5	7.34	13.49*	16.24*
8125	11.50	15.22*	16.21*
8437.5	12.58	16.31*	16.43*
8750	12.66	16.89	16.43
9062.5	13.23	17.15	16.59
9375	13.31	16.59	16.79
9687.5	11.33	15.33	16.73*
10000	6.31	10.60	13.18

* : p<0.05

게 기존의 singer's formant가 형성되는 지점에서 3배되는 주파수에서 형성되는 것을 설명할 수 있다. 그런데 이 경우 그 에너지가 첫번째 singer's formant에 비하여 약 20~30dB 낮게 나타나고, 3,000Hz 근처 보다 10,000Hz 근처에서의 소리가 청각기의 민감도면에서 약 20dB 정도 낮다는 점을 고려한다면 실제 우리가 청각적으로 큰 차이 점을 못 느낄 수 있다는 문제점이 있다.⁵⁾ 또한 이들의 연구는 앞서 언급된 바와 같이 대상이 테너에만 국한되어 있었다는 한계점이 있어 저자들은 다른 성부들 즉, 바리톤, 소프라노 그리고 메조 소프라노의 성악가들을 추가하여 연

구를 시행한 결과, 다른 성부에서도 앞선 연구에서와 유사한 결과를 얻어 낼 수 있었다. 따라서 성악들의 목소리 중 일반인들의 귀에 우렁찬 울림으로 들리는 기존의 singer's formant 외에 청각학적으로 느끼기에 다소 무리가 있는 8,000Hz 주변의 음형대를 특별한 recording 시스템이나 증폭 시스템을 이용하여 고주파수역을 강조 한다면, 더욱 풍성한 울림의 목소리로 나타날 수 있을 것이라는 생각을 한다. 이 음형대가 단순한 학문적 연구를 벗어나 실용적인 부분으로 까지도 적용되기 위해서는 다양한 분야의 학문적 지식의 공유를 통한 발전이 필요할 것으로 생각된다.

결론

성악가들의 발성 시 적절한 발성이 이루어 졌을 경우, 기존의 singer's formant 보다는 낮은 에너지영역 이기는 하나 8,000Hz 주변에서 의미 있게 에너지가 증가되는 2nd singer's formant가 관찰 되는 것을 알 수 있었으며, 사람의 여러 가지 목소리에 대한 음향학적 접근은 앞으로 도 많은 관심의 대상이 될 수 있을 것으로 생각된다.

중심 단어 : 포먼트 · Singer's formant

본 연구는 강북삼성병원 고이희 교실발전기금으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

1) Sundberg J. *Vocal tract resonance. In Satalloff RT. The Professional*

Voice: The Science and Art of Clinical Care. New York, NY: Raven Press; 1991. p.167-84.

- 2) Titze IR. *Principles of voice production. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc; 1994. p.252-78.*
- 3) Sundberg J. *Articulatory interpretation of the 'singing formant. J Acoust Soc Am 1974;55:838-44.*
- 4) Jin SM. *Acoustic analysis of singing voice. J Korean Soc Logo Phon 2002;13 (1):51-8.*
- 5) Titze IR, Jin SM. *Is there evidence of a second singer's formant? J Singing 2003;59 (4):329-31.*
- 6) Gramming P, Sundberg J, Ternstrom S, Leanderson R, Perkins W. *Relationship between changes in voice pitch and loudness. J Voice. 1988;2 (2):118-26.*
- 7) Sundberg J. *level and center frequency of the singer's formant. J Voice 2001;15 (2):176-86.*
- 8) Schutte HK, Miller R. *Resonance balance in register categories of the singing voice:a spectral analysis study. Folia phoniatr 1984;36: 289-95.*