

음성검사 중 공기역학적 검사에서 한국인의 정상 평균치

영남대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실, 치과학교실,*
대구대학교 언어치료학과**

서장수 · 송시연 · 권오철 · 김준우 · 이희경* · 정옥란**

= Abstract =

Mean Value of Aerodynamic Study in Normal Korean

Jang-Su Suh, M.D., Si-Yeoun Song, M.D., Oh-Cheol Kwon, M.D.,
Jun-Woo Kim, M.D., Hee-Kyung Lee, D.D.S.,* Ok-Ran Jeong, Ph.D., CCC-SLP**

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Dentistry,
College of Medicine, Yeungnam University, Seoul, Korea
Department of Speech Pathology, Taegu University,** Taegu, Korea*

Recently, many people suffering from voice color change visit otolaryngologist. There is no specific data which can be evaluated objectively for voice color change in Korean. In aerodynamic study, maximum phonation time, mean air flow rate, phonatory flow volume and subglottal pressure were tested by using Aerophone II voice function analyzer in Korean. 112 male and 122 female aged from 10 to 69 years were randomly selected.

Maximum phonation time was 20.8 ± 6.4 sec in male and 17.2 ± 4.1 sec in female. Mean air flow rate was 167.1 ± 61.4 ml/sec in male and 129.6 ± 49.3 ml/sec in female. Phonatory flow volume was 3184.5 ± 646.0 ml in male and 2122.1 ± 670.5 ml in female. Subglottal pressure was 4.1 ± 1.8 cmH₂O in male and 3.5 ± 1.4 cm H₂O in female. There was no statistically significant difference among age groups in all above results.

KEY WORDS : Aerodynamic study · Normal Korean.

서 론

최근들어 음성에 대한 일반인들의 관심이 높아지면서 음성 이상을 호소하며 이비인후과 외래를 방문하는 환자가 점차적으로 증가하는 추세에 있다. 그러나 이러한 음성 이상을 객관적으로 평가할 수 있는 기준이 국내에는 거의 없는 실정이다.

복잡한 음성장애를 이해하기 위해서는 음성관에 대한

여러 단계에서의 객관적 검사가 이루어져야 한다. 이를 위하여 음성의 청각적 평가(psycho-acoustic evaluation of voice), 음향음성학적 검사(acoustic analysis), 공기역학적 검사(aerodynamic study), 후두구조물의 운동관찰(examination of vocal fold vibration) 그리고 근과 신경의 기능검사(electromyographic study of laryngeal muscles) 등의 여러 검사법이 이용되고 있다.⁶⁾ 이중 공기역학적 검사는 공기압을 음성신호로 전달하는데 있어서 후두의 효율에 대한 정보를 제공하는데 유용

한 검사법이다³⁾. 외국에서는 1960년대 이후 Isshiki와 von Leden¹³⁾, Yanagihara와 von Leden¹⁸⁾, Hirano 등⁹⁾ 그리고 Yoshioka 등²⁰⁾에 의해 정상인과 다양한 종류의 음성장애 환자에서 안정 발성 동안 평균호기율을 pneumotachograph 등을 이용하여 측정된 결과가 보고되고 있다. 그러나 국내에서는 음성외과학의 발달과 더불어 많은 음성교정수술이 시행되고 있음에도 불구하고 객관적으로 음성이상의 상태나 치료후 효과를 판정할 한국인의 정상평균치에 대한 기초 자료가 1982년 김 등²⁾의 보고 외에는 거의 없는 상태에서 외국의 정상치를 기준으로 삼고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 컴퓨터(computer)화된 측정기구를 이용하여 공기역학적 검사 중 최대발성지속시간(maximum phonation time), 평균호기율을(mean airflow rate), 발성기류량(phonatory flow volume) 및 성문하압(subglottal pressure)의 정상 한국인의 연령별 및 성별 평균치를 측정하여 이를 음성이상의 상태판정이나 치료후 효과판정에 이용할 기본자료를 마련하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

기왕력 상 폐질환이나 신경계질환, 후두질환을 앓은 적이 없으며 음성조율기관에 이상이 없고 정상 청력을 가진 10세에서 69세까지의 무작위 추출된 정상 한국인 남녀를 대상으로 하였다. 10대에서 60대까지 각 연령대 별로 20명을 측정하고자 하였으며 대상군의 전체 수는 남자 112명과 여자 122명으로 총 234명이었다(Table 1). 10세 미만과 70세 이상은 협조에 문제가 있어 대상에서 제외하였다.

2. 방 법

공기역학적 검사(aerodynamic study)는 미국 KAY Elemetric Corp.에서 개발한 computer software인 Aerophone II Voice Function Analyzer를 이용하였으며 평균호기율을(mean airflow rate, MAFR) 및 발성기류량(phonatory flow volume, PFV)등의 환기능과 최대발성지속시간(maximum phonation time, MPT)을 측정하였고, 성문하압(subglottic pressure, SGP)은 간접적인 측정방법의 하나인 기류저지법중 [i : pi : pi :]발성법을 이용하여 측정하였다.

공기밀폐형 마스크(mask)를 코와 입을 완전히 덮을

수 있도록 하여 얼굴에 밀착시킨 후 가장 편한 자세에서 충분한 흡기후 편안한 발성(대개 [a :])을 가능한 길게 지속하게 하여 최대발성지속시간, 평균호기율을 및 발성기류량을 측정하였다. 이때 무의식적으로 초당기류량을 줄이거나 발성량을 작게함으로써 발성시간이 연장되는 것을 방지하기 위하여 초당 기류량은 최소 70ml/sec으로 제한하였으며, 발성량 역시 70±10dB의 범위를 넘지 않도록 제한하였다.

발성시작 후 발성량이 화면상 그래프에서 기준선으로부터 상승하기 시작하는 순간부터 기준선에 다시 도달하는 순간까지를 발성지속시간으로 정의하였으며, 3회 반복하여 가장 큰 값을 최대발성지속시간으로 채택하였다.

호기류율의 측정은 발성지속시간의 측정과 동시에 이루어졌으며 1회 발성시에 이용한 총기류량, 즉 발성기류량을 발성지속시간으로 나눈값으로 정의하였다. 3회 측정하여 평균값을 평균호기류율로 채택하였다.

발성기류량 역시 발성지속시간의 측정과 동시에 이루어졌으며 발성시작부터 발성이 끝나는 순간까지 호기된 공기의 총량을 측정하였다. 3회 측정하여 평균값을 발성기류량으로 채택하였다. 평균호기류율이 발성시 초당 공기의 흐름을 나타내는 반면에 발성기류량은 발성시 호기된 공기의 총량을 나타낸다.

성문하압은 마스크내에 직경 2mm 가량의 실리콘 튜브를 위치시킨 후 피검자가 충분한 흡기후 마스크를 얼굴에 밀착시킨 상태에서 입술로 튜브를 가볍게 문 채로 이-피-피([i : pi : pi :])를 발성하게하여 측정하였다. 3회 반복하여 평균값을 채택하였다⁴⁾.

각 연령대별 통계학적 검증은 ANOVA를 이용하였다.

결 과

1. 최대발성지속시간(maximal phonation time : MPT)

최대발성지속시간은 남자가 평균 20.8초(10.5~34.2)

Table 1. Age and sex distribution

Age(yrs.)	Male		Female	
	No.	Rate(%)	No.	Rate(%)
10-19	20	17.9	17	13.9
20-29	21	18.7	23	18.9
30-39	18	16.0	22	18.0
40-49	20	17.9	20	16.4
50-59	20	17.9	20	16.4
60-69	13	11.6	20	16.4
Total	112	100.0	122	100.0

였고 여자가 17.2초(10.2~29.3)였다(Table 2). 각 연령대별로 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 못하였다.

2. 평균호기류율(mean airflow rate : MAFR)

평균호기류율은 남자가 평균 167.1ml/sec(86.3~386.7)였고 여자가 129.6ml/sec(77.0~310.0)였다(Table 3). 각 연령대별로 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 못하였다.

3. 발성기류량(phonatory flow volume : PFV)

발성기류량은 남자가 평균 3184.5ml(2148.3~4941.7)였고 여자가 2122.1ml(1333.9~4278.0)였다(Table 4). 각 연령대별로 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 못하였다.

4. 성문하압(subglottal pressure : SP)

성문하압은 남자가 평균 4.1cmH₂O(1.3~8.7)였고 여자가 3.5cmH₂O(1.2~8.8)였다(Table 5). 각 연령대별로

Table 2. Mean value of maximum phonation time(sec)

Age(yrs.)	Male(meam ± SD)	Female(meam ± SD)
10 - 19	19.4 ± 5.4	17.2 ± 3.4
20 - 29	23.3 ± 5.9	17.5 ± 4.5
30 - 39	23.6 ± 8.1	16.5 ± 3.2
40 - 49	18.1 ± 5.6	17.5 ± 4.6
50 - 59	19.6 ± 6.3	17.5 ± 4.3
60 - 69	21.1 ± 5.2	16.8 ± 5.0
Total	20.8 ± 6.4	17.2 ± 4.1

Table 3. Mean value of mean airflow rate(ml/sec)

Age(yrs.)	Male(meam ± SD)	Female(meam ± SD)
10 - 19	170.6 ± 42.7	125.0 ± 47.3
20 - 29	164.2 ± 42.1	134.1 ± 47.5
30 - 39	146.0 ± 66.1	140.9 ± 51.7
40 - 49	177.0 ± 58.4	130.2 ± 57.5
50 - 59	188.2 ± 94.2	130.9 ± 49.7
60 - 69	148.1 ± 39.0	114.0 ± 42.3
Total	167.1 ± 61.4	129.6 ± 49.3

Table 4. Mean value of phonation flow volume(ml)

Age(yrs.)	Male(meam ± SD)	Female(meam ± SD)
10 - 19	3163.3 ± 648.0	2100.1 ± 734.1
20 - 29	3674.6 ± 774.9	2212.7 ± 491.6
30 - 39	3028.4 ± 535.1	2275.9 ± 754.1
40 - 49	2937.3 ± 509.8	2147.1 ± 708.6
50 - 59	3207.6 ± 606.3	2201.1 ± 825.0
60 - 69	2972.0 ± 467.3	1763.6 ± 371.1
Total	3184.5 ± 646.0	2122.1 ± 670.5

Table 5. Mean value of subglottal pressure(cmH₂O)

Age(yrs.)	Male(meam ± SD)	Female(meam ± SD)
10 - 19	3.9 ± 1.1	3.7 ± 2.1
20 - 29	4.0 ± 1.9	3.2 ± 1.2
30 - 39	4.6 ± 2.0	3.3 ± 1.2
40 - 49	4.3 ± 1.7	3.7 ± 1.2
50 - 59	3.2 ± 1.9	3.9 ± 1.5
60 - 69	4.4 ± 2.2	3.4 ± 1.2
Total	4.1 ± 1.8	3.5 ± 1.4

통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지 못하였다.

고 찰

최근 음성장애에 관한 관심이 높아지면서 음성장애의 진단법과 치료법들이 새로이 개발되고 있다. 음성장애를 객관적으로 판정하는 진단법으로 음성의 청각적 평가(psycho-acoustic evaluation of voice), 음향음성학적 검사(acoustic analysis), 공기역학적 검사(aerodynamic study), 후두구조물의 운동관찰(examination of vocal fold vibration) 그리고 후두근의 근전도검사(electromyographic study of laryngeal muscles) 등의 여러 검사법이 이용되고 있다. 음성의 청각적 평가에는 Isshiki classification, Takahashi-Koike's investigation 및 GBRAS scale 등이 있으며, 음향음성학적 검사에서는 기본진동수(fundamental frequency), sound spectrogram 등을 검사한다. 또한 후두 스트로보스코피(stroboscopy) 등을 이용하여 성대의 운동 및 점막의 파동을 검사하며 후두근의 검사에서는 측윤상피열근, 후윤상피열근 등의 근육에 대한 전기적 특성을 검사하게 된다. 공기역학적 검사는 공기압을 음성신호로 전달하는데 있어서 후두의 효율에 대한 정보를 제공하는데 유용한 검사법으로 기류율(airflow rate), 발성율(phonation quotient), 성문하압(subglottal pressure) 그리고 성대저항(glottal resistance) 등을 검사한다⁹⁾. 외국에서는 1960년대 이후 Isshiki와 von Leden¹³⁾, Yanagihara와 von Leden¹⁸⁾, Hirano 등⁹⁾ 그리고 Yoshio-ka 등²⁰⁾의 주로 일본학자들을 중심으로 정상인과 다양한 종류의 음성장애 환자에서 안정 발성 동안 평균호기류율을 pneumotachograph를 이용하여 측정하였다. 그러나 국내에서는 음성이상의 상태나 치료후 효과를 판정할 한국인의 정상평균치에 대한 기초자료가 거의 전무한 상태에서 외국의 정상치를 기준으로 삼고 있는 실정

이다.

많은 연구자들⁹⁾¹³⁾¹⁸⁾²⁰⁾이 발화시 후두기능에 대한 정보를 얻기 위하여 많은 공기역학적 검사법을 보고하였다. 가장 초기에는 주로 지속적인 모음 발생 동안의 평균호기류를 측정하는 것이었으나 이는 발화시 후두의 역동적인 움직임에 대한 결과와는 일치하지 않았다. 그후 발화시에 평균호기류율과 성문하압을 동시에 측정하였으나 초기에는 성문하압을 측정하기 위하여 기관내 침삽입법, 경성문법 혹은 경식도법등 기구를 직접 인체내에 삽입해야하는 많은 어려움이 있었다. 최근에는 이러한 단점들이 잘 극복되어 공기역학적 검사에 의한 정보는 질병의 평가, 치료진행경과 및 치료결과평가등에 관련된 정보를 줄 수 있다. 특히 발화시의 성문하압과 평균호기류율 및 최대발성지속시간은 매우 유용한 정보로 이용되고 있다⁷⁾. Kotby¹⁵⁾는 공기역학적 검사를 치료전과 치료후에 시행함으로써 치료의 효과판정에 직접 이용하였다.

발성은 공기흐름을 직류에서 교류로 변형시키는 공기역학적 현상이다¹¹⁾. 발성의 공기역학적 측면은 성문저항(glottal resistance), 성문상압(supraglottal pressure), 성문하압(subglottal pressure) 그리고 성문부의 공기체적유속(volume velocity of airflow at the glottis)의 4가지 인자에 의해서 특징지어진다³⁾. 따라서 공기역학적 검사는 발성기능을 반영하는 검사라 할 수 있을 것이다.

공기역학적 검사의 방법 및 기구를 보면 피검자가 착용하는 마스크는 공기가 새지 않는 airtight mask나 Rothenberg형 mask 등 두 가지를 주로 이용하는데¹⁷⁾ 본 연구에서는 airtight mask를 이용하였다. 유량계의 교정(calibration)에는 Rotameter나 압축된 공기원(compressed air source)을 이용하며 호기류율의 측정을 위하여 spirometer와 같은 volume type의 측정장치와 열선유량계, pneumotachograph 또는 기공부착 pneumotachograph 등과 같은 flow type 측정장치가 주로 이용되며, 이외에도 초음파 유량계, body plethysmograph, electroaerometer 등이 이용된다⁵⁾. 본 연구에서는 electroaerometer를 이용하였다. 성문하압의 측정에는 기관천자법, 경성문 tube 삽입법, 경성문 변환기 도입법 또는 기관절개술을 통한 측정법 등의 직접측정법과 식도내압법 또는 기류저지법 등의 간접측정법이 이용되고 있으며⁵⁾ 본 연구에서는 간접적인 측정방법의 하나인 기류저지법 중 (i : pi : pi :)발성법을 이용하였다. 공기역

학적 검사에서는 최대기류량이나 발생시 기류량과 같은 기류량(ml), 평균호기류율과 발생율 등의 단위 시간당 기류량(ml/sec), 성문상압이나 성문하압등의 공기압(mmHg), 성대저항과 같은 후두의 기도저항(mmHg/L) 그리고 최대발성지속시간등의 발생시간(sec)등을 측정하게 되는데⁷⁾, 본 연구에서는 임상에서 주로 이용하는 평균호기류율, 발생시 기류량, 최대발성지속시간 및 성문하압을 측정하였다.

최대발성지속시간(maximum phonation time, MPT)은 한번 폐에 흡입된 공기로 얼마나 오랫동안 발성이 가능한가를 측정하는 방법으로¹⁾ stop watch만 있으면 쉽게 측정할 수 있으며 일반적으로 3회 측정하여 최대값을 최대발성지속시간으로 채택한다¹⁴⁾. 본 연구에서는 Aero-phon II Voice Function Analyzer에 내장된 program으로 측정하였다. 이 검사는 일상생활에서 필요한 발성능력의 장애여부 및 정도를 알 수 있는 매우 간편하고도 좋은 검사법인 동시에 성문에서 호기가 어느 정도까지 좋은 효율로 음향신호로 변환되는가를 정량적으로 측정할 수 있게 한다²⁾. 최대발성지속시간은 발성동안 평균호기류율에 반비례한다¹¹⁾. 김 등²⁾은 20대의 정상 한국인 남녀 각 50명씩을 대상으로 최대발성지속시간을 측정하여 남자는 30.5초, 여자는 19.1초로 보고하였다. 본 연구에서는 남자에서 평균 20.8초, 여자에서 17.2초로 다소 작은 결과를 보였으며, 20대에서도 남자 23.3초, 여자 17.5초로 역시 김 등²⁾의 보고에 비하여 짧은 최대발성지속시간을 보였다. 외국에서는 Isshiki와 von Leden¹³⁾, Yanagihara와 von Leden¹⁸⁾ 그리고 Hirano 등⁹⁾이 김 등²⁾과 유사한 결과를 보고하였다. 임상에서는 일반적으로 최대발성지속시간이 10초 이하인 경우 비정상적으로 간주한다³⁾. 본 연구에서는 최대발성지속시간이 최하 10.2초로 10초 이하인 경우는 없었다. 또한 임상적으로 성대용종(vocal polyp)이나 성대마비 등으로 인해 성문부 폐쇄부전이 있는 경우 최대발성지속시간은 현저히 감소되는 것으로 보고되고 있다²⁶⁾.

발성동안의 기류량은 호흡운동과 성대의 밀착정도 또는 성대균열의 존재유무등의 성대의 상태에 의해 결정되게 된다¹¹⁾. 기류량의 측정은 spirometer, pneumotachograph 또는 열선유량계(hot-wire flow meter) 등으로 측정하게 되는데 서로에 장단점은 있으나 일반적으로 임상에서는 측정치 간에 큰 차이가 없는 것으로 통용되고 있다¹³⁾. 본 연구에서는 컴퓨터화된 측정기구를 이

용한 Electroaerometer법으로 평균호기류율(mean airflow rate, MAFR) 및 발성기류량(phonatory flow volume, PFV)을 측정하였다. 본 연구에서 발성기류량은 남자가 평균 3184.5ml였고 여자가 2122.1ml로 Yanagihara와 von Leden¹⁸⁾이 보고한 발성시기류량과 비슷한 결과를 나타내었으며 국내에는 비교할 자료가 없었다. 지속적인 모음발성, 주로 [a] 발성시의 평균호기류율은 발성기능을 평가하는데 있어서 실제적인 척도로 이용된다. 평균호기류율은 발성중 이용된 총공기량을 발성 시간으로 나누어 획득된다. 평균호기류율은 최대 발성과 안정발성시의 두 경우로 나누어지는데 주로 후자가 임상적으로 이용된다¹⁴⁾. 김 등²⁾은 20대 남자의 평균호기류율을 130ml/sec, 20대 여자의 평균호기류율을 118ml/sec로 보고하였으나 본 연구에서는 남자전체 167.1ml/sec, 20대 남자 164.2ml/sec, 여자전체 129.6ml/sec, 20대 여자 134.1ml/sec로 위의 연구와는 차이가 있었다. Isshiki와 von Leden¹³⁾, Yanagihara와 von Leden¹⁸⁾, Hirano 등⁹⁾ 그리고 Yoshioka 등²⁰⁾의 외국인들은 김 등²⁾의 보고보다 더 작은 결과를 보고하였다. 임상적으로 성문부폐쇄부전이 있는 경우에는 평균호기류율이 현저히 증가하며, 연축성 구음장애(spasmodic dysphonia)의 경우에는 그 값이 떨어진다고 알려져 있다¹⁾. 본 연구에서 발성기류량은 다른 연구자와 유사한 결과를 보이면서 최대발성지속시간과 평균호기류율이 다른 연구자와 차이가 있는 것은 발성시에 발성량과 초당 기류량을 제한하였기 때문으로 생각된다.

성대의 내전에 의해서 폐쇄된 성문에 성문하로부터의 호기가 도달하면 성문하압(subglottal pressure, SPG)과 성대의 탄력(vocal cord elasticity) 및 베르누이효과(Bernoulli effect)가 서로 작용하여 성문은 수동적으로 개폐운동을 시작하게 되며 그 결과로 호기류는 단속되어서 소밀파(rarefaction and compression)인 후두원음(glottal sound)이 생성된다⁴⁾. 즉 성문하 호기류의 힘, 다시 말해 성문하압이 발성의 에너지원이 되는 것이다¹⁾. 본 연구에서는 남자가 평균 4.1cmH₂O였고 여자가 3.5cmH₂O였다. 국내에서 성문하압에 관한 자료는 보고된 바가 없으며 외국에서는 Isshiki¹²⁾, Kunze¹⁶⁾, Yano¹⁹⁾, Hiroto¹⁰⁾ 등이 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다.

음성에 대한 분석은 정상치의 확립도 중요하겠지만 병적 상태의 음성분석도 매우 중요하다. 즉, 비정상에 대한 분석이나 기준이 없다면 정상치 확립의 의의도 매우 감

소한다는 것이다. 따라서 향후 성대용종, 성대결절, 성대부종, 성대마비, 그리고 강직성 구음장애 등의 음성장애 환자들을 대상으로 치료전후에 공기역학적검사를 시행함으로써 지금까지 주관적으로만 판단하였던 치료의 효과를 객관적으로 판단하도록 하여야겠다.

본 연구에서의 결과들이 각 연령대별로 통계학적으로 유의성 있는 차이는 보이지 못하였으나, 음성이상의 상태판정이나 치료후 효과판정에 유용한 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다.

결 론

최근 음성장애에 관한 관심이 높아지면서 음성장애의 진단법과 치료법들이 새로이 개발되고 있으나, 음성이상을 객관적으로 평가할 수 있는 자료가 국내에는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 정상 한국인 남자 112명과 여자 122명을 대상으로 공기역학적 검사 중 최대발성지속시간(maximum phonation time), 평균호기류율(mean airflow rate) 및 성문하압(subglottal pressure)의 정상 한국인의 연령별 및 성별 평균치를 측정하여 이를 음성이상의 상태판정이나 치료후 효과판정에 이용할 기본자료를 마련하고자 하였다.

최대발성지속시간은 남자가 평균 20.8±6.4초였고 여자가 17.2±4.1초였다. 평균호기류율은 남자가 평균 167.1±61.4ml/sec였고 여자가 129.6±49.3ml/sec였다. 발성기류량은 남자가 평균 3184.5±646.0ml였고 여자가 2122.1±670.5ml였다. 성문하압은 남자가 평균 4.1±1.8cmH₂O였고 여자가 3.5±1.4cmH₂O였다.

이상의 결과들은 각 연령대별로 통계학적으로 유의성 있는 차이를 보이지는 못하였으나, 음성이상의 상태판정이나 치료후 효과판정에 많은 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- 1) 김광문, 김기령 : 음성검사의 실제. 대한이비인후과학회지. 1982 ; 25(2) : 345-350
- 2) 김기령, 김광문, 오혜경 등 : 한국인의 발성능력에 관한 검사. 한이인지. 1982 ; 25(2) : 341-344
- 3) 김영호 : 공기역학적 검사. 제 2 회 대한음성언어의학회 학술대회 심포지움. 음성검사법, 대한음성언

- 어의학회. 1994 : 5-10
- 4) 日本音聲言語醫學會 : 聲の 検査法. 醫齒出版社. 昭和 57年 : 안희영 역 : 음성검사법. 진수출판사, 서울, 1992 : 55-73
 - 5) 日本音聲言語醫學會 : 第二版 聲の 検査法. 醫齒出版社. 1994 : 안희영 역 : 음성검사법 임상편. 제 2 판, 군자출판사, 서울, 1996 : 65-120
 - 6) 최생이, 최홍식, 김영명 등 : 한국인의 사성에 대한 음성의학적 연구. 한이인지. 1981 ; 24(1) : 201-206
 - 7) 홍기환 : *Aerodynamics of speech using aerophone II : Aerophone II* 를 이용한 조음적 공기역학검사. 대한음성언어의학회지. 1995 ; 6(1) : 165-172
 - 8) Hirano M : Clinical examination of voice. In Arnold GE, Winckel F, Wyke BD : *Disorders of human communication 5*. Springer-Verlag Wien New York, Wien, 1981 : 85-98
 - 9) Hirano M, Koike Y, von Leden H : *Maximum phonation time and air usage during phonation*. *Folia Phoniatr*. 1968 ; 20 : 185-201
 - 10) Hiroto I : *Mechanism of phonation. Pathophysiological aspects of the larynx*. *Pract Otol(Kyoto)*. 1966 ; 39 : 229-291
 - 11) Isshiki N : *Phonosurgery. Theory and practice*. Springer-Verlag Wien, New York, 1989 : 42-48
 - 12) Isshiki N : *Regulatory mechanism of the pitch and volume of voice*. *Pract Otol(Kyoto)*. 1959 ; 52 : 1065-1094
 - 13) Isshiki N, von Leden H : *Hoarseness : Aerodynamic studies*. *Arch Otolaryngol*. 1964 ; 80 : 206-213
 - 14) Kim KM : *Clinical examination of the voice. The first phonosurgery workshop, Yonsei university, college of medicine, department of otorhinolaryngology*, 1993 : 29-41
 - 15) Kotby MN : *The accent method of voice therapy*. Singular Publishing Group Inc, San Diego, California, 1992 : 1-24
 - 16) Kunze LE : *Evaluation of methods of estimating subglottal air pressure*. *J Sp Hear Res*. 1964 ; 7 : 151-164
 - 17) Stemple JC, Glaze LE, Gerdeman BK : *Principles of voice science. A clinical voice lab practicum*. Institute for Voice Analysis and Rehabilitation, Dayton, Ohio, 1994
 - 18) Yanagihara N, von Leden H : *Phonation and respiration : Function study in normal subjects*. *Folia Phoniatr*. 1966 ; 18 : 323-340
 - 19) Yano T : *Studies on the air pressure in the vocal tract during phonation*. *Pract Otol(Kyoto)*. 1963 ; 56 : 531-561
 - 20) Yoshioka H, Sawashima M, Hirose H, et al : *Clinical evaluation of air usage during phonation*. *Jpn J Logoped Phoniat*. 1977 ; 18 : 87-93