

1

空氣力學的 檢査(Aero-dynamic Study)

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실
음성언어의학연구소

김 영 호

개 괄

- 발성의 공기역학적 측면은 다음 4가지의 인자에 의하여 특징지어진다.

- a. 성문하부압(Subglottal pressure)
- b. 성문상부압 (Supraglottal pressure)
- c. 성문저항(Glottal impedance)
- d. 성문부위의 공기 체적유속(Volume velocity of airflow at the glottis)

- 성대의 내전에 의해서 폐쇄된 성문에 성문하로부터의 呼氣가 도달하면 성문하압력과 성대의 탄력 및 Bernoulli effect가 서로 작용하여 성문이 수동적으로 개폐운동을 시작하며 그 결과로 호기류의 단속으로 말미암은 소밀파(疏密波)인 후두原音(glottal sound)이 생성된다.

$$P_{sub} - P_{sup} = MFR \times GR$$

P_{sub} : mean subglottal pressure

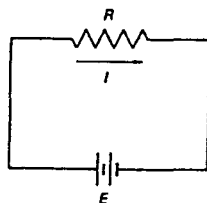
P_{sup} : mean supraglottal pressure

MFR : mean flow rate

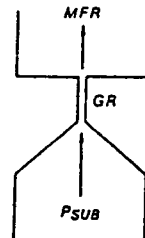
GR : glottal resistance

P_{sup} = atmospheric pressure with an open vocal tract

so, $P_{sub} = MFR \times GR$



$$E = I \times R$$



$$P_{sub} = MFR \times GR$$

Relationship between mean subglottal pressure(P_{sub}), mean flow rate(MFR) and mean glottal resistance(GR) is analogous to that between the voltage(E), current(I) and resistance(R)

최장 발성 지속시간(Maximum phonation time : MPT)

: 음성생성능력의 양적인 표현

- 편안한 자세에서 충분한 흡기후 편안한 발성(대개 /아/)을 가능한한 길게 지속하며 그 시간을 측정한다.

- 3회 반복 측정하여 가장 큰 값을 채택한다.

- 특별한 혹은 복잡한 기구의 도움없이 시행할 수 있는 간편한 검사이다.

- 성문폐쇄부전(glottic chink)(예를 들어 성대마비나 큰 폴립 등)에서는 현저히 감소한다.

* 정상치

남성 : 25~35초

여성 : 15~25초

	(sec)		
	Hirano(1968)	Yoshioka(1977)	Kim(1982)
Male	34.6	29.7	30.5
Female	25.7	20.3	19.1

*연장보다는 단축이 문제시 되므로 하한선이 필요함.

*Critical values(lower limit for norm)

	(sec)		
	Hirano(1968)	Yoshioka(1977)	Kim(1982)
Male	15.0	13.9	14.8
Female	14.3	9.0	12.1

- 임상적으로 MPT value가 10초 이하인 경우를 비정상적으로 간주한다(성대마비, 양측성 폴립, 결절, 유두종 등).

- MPT는 연령증가와 함께 증가한다.

* 문제점

- 폐활량(vital capacity)의 크기와 발성지속시간사이의 직접적인 연관성이 밝혀져 있으며, 폐활량이 발성지속시간을 예측할 수 있는 유일한 지표이다(Yanagihara, 1967).

* 예를 들어 5 liter의 폐활량을 가진 사람에서 15초의 MPT는 비록 정상범위내에 있다하더라도 300ml/sec 이상의 공기를 사용하는 것이므로 비정상적이라 할 수 있다.

* 따라서 Predicted maximum phonation time(PMPT)이 개개인의 차이를 고려한 측정방법이다(Bless, 1991).

: 연령과 신장을 토대로 예측한 폐활량을 MPT와 연관시켜 계산.

Predictive nomogram의 사용.

$$\text{Flow estimations} = \text{Predicted VC}(\text{VCp}) / \text{MPT}$$

$$\text{MPT estimation} = \text{VCp} / \text{flow estimations}$$

- 호기류율의 최저치(80ml/sec)와 최고치(200ml/sec)를 대입하여 환자의 연령과 신장이 고려된 PMPT치를 구할 수 있다.

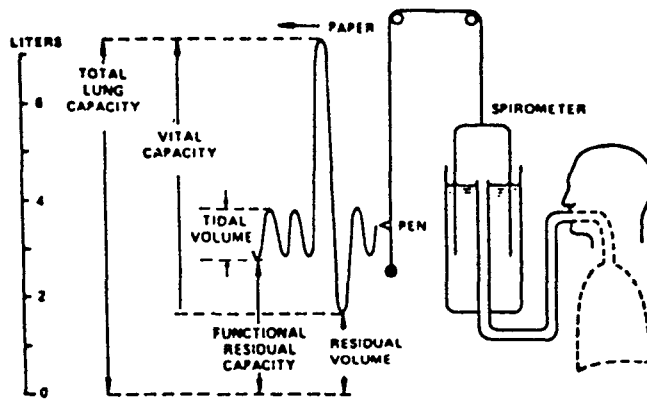
호기류율(Airflow Rate)

1. 호기류 측정 도구

1) Spirometer

: 1967년 Isshiki에 의하여 음성검사실에서 사용이 처음 제안됨.

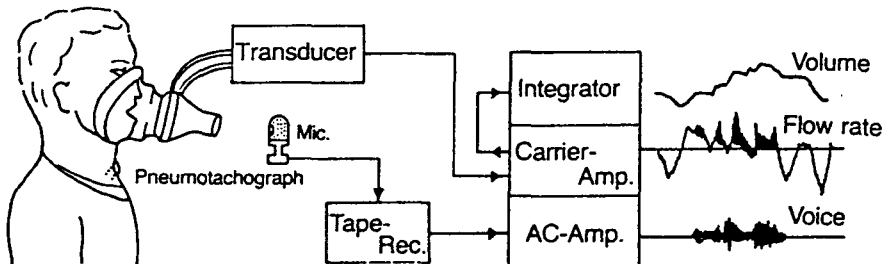
염가장비이나 신호(signal)가 동시에 display되지 않으며, 주파수반응(frequency response)이 나쁘다.



2) Pneumotachograph

: Laminar air resistor, a differential pressure transducer, an amplifying and recording system으로 구성됨.

- 주파수반응이 체적속도의 빠른 변화를 감당할만큼 민감하지 못하다(보통 직류 50Hz range에서 무반응).



3) Hot wire anemometer

: 기류가 열선에 닿을때 냉각되어 나타나는 전기저항의 변화를 측정하여 기류류율을 구함.

- 반응시간이 늦고 냉각된 열선을 가열하는데 시간이 많이 걸린다.

- 기류의 방향성을 측정할 수 없으며 유속이 매우 늦고, 보정이 어려운 단점이 있다.

- Constant gas flow를 삽입함으로써 단점을 다소 보완.

2. 평균호기류율(Mean flow rate ; MFR)

: 지속적인 모음발성(대개 /아/)시의 MFR이 발성기능을 평가하는데 실용적으로 사용됨.

$$MFR = \frac{\text{Total volume of air used during phonation}}{\text{Duration of phonation}}$$

$$= \frac{\text{Phonation volume}}{M P T}$$

- 피검자를 자신 고유의 음높이와 강도로 발성하게 하고 코를 clamp로 막은 상태에서 mask나 mouth piece를 물고 발성을 하게 한다.

- Mouth piece는 spirometer나 pneumotachograph 등에 연결시킨다.

* 정상치

	(ml/sec)			
	Hirano(1968)	Isshiki(1967)	Yoshioka(1977)	Kim(1982)
Male	101	123.1	96	130
Female	92	133.0	97	118

- 단축보다는 연장이 문제시 되므로 상한선이 필요함.

* Critical value(upper limit for norm)

	Isshiki(1967)	Kim(1982)
Male	182	195
Female	172	153

a. 평상 발성(Habitual phonation) 시

: 89~141ml/sec (약 70~200ml/sec)

성별간의 큰 차이는 없음.

200ml/sec 이상이거나 40ml/sec 이하는 비정상적으로 간주

성인의 표준치를 소아에도 적용할 수 있음.

b. 음강도(intensity)의 변화와의 관계

: MFR은 저주파보다는 고주파에서 음강도에 보다 밀접한 연관이 있다.

- 강도의 증가에 수반되는 MFR의 증가는 무거운 혹은 보통 음성보다는 가성(false-tto)에서 현저하다.

c. 성역(vocal register)의 변화와의 관계

: MFR은 좁은 성역에서보다 가성(falsetto)에서 크다.

* 질환시의 MFR

a. 반회신경마비 : 정상보다 크다.

- 마비성대가 측방에 위치하면 할수록 MFR이 크다.

- 반회신경마비시의 발성기능 및 치료효과의 좋은 지표이다.
- b. 성대구중(Sulcus vocalis) : 69%에서 정상보다 크다(Shigemori, 1977).
- c. 후두염 : 정상범위의 절반 이상
- d. 결절, 폴립, 라인케씨부종 :
 - 정상을 초과하나 반회신경마비처럼 현저하지는 않음.
 - Lesion size에 정비례한다.
 - 병변을 제거하면 주파수가 감소한다.
- e. 종양 : 항상 정상을 초과한다.
- f. 경련성 발성장애(Spastic dysphonia) : 정상보다 감소

PHONATION QUOTIENT

1. 정 의

$$\text{Phonation quotient(PQ)} = \frac{\text{Vital capacity(VC)}}{\text{Maximum phonation time(MPT)}}$$

* 계산에 쓰이는 VC는 spirometer로 3회 측정하여 최대치를 선택.

2. PQ and MFR

: 최장발성시 사용하는 총공기량인 phonation volume은 보통 폐활량(vital capacity)보다 작으므로 PQ는 보통 MFR보다 큰 값을 가지며 호기류를 측정할 수 있는 장비가 없을 시에는 PQ를 MFR 대신 합리적으로 대체 사용할 수 있다.

3. 정상치

	(ml/sec)		
	Hirano(1968)	Yoshioka(1977)	Kim(1982)
Male	145	130	149
Female	137	126	133

* 단축보다는 연장이 문제되므로 상한선이 필요함.

* Critical value(upper limit for norm)

	Hirano(1968)	Sawajima	Kim(1982)
Male	307	222	216
Female	241	222	177

보통 120~190ml/sec(상한 200~300)의 값을 갖는다.

4. 질환시의 PQ

- a. 반회신경마비 : 매우 증가
- b. 종물성 병변(mass lesions) : 증가

성문하압(Subglottal Pressure)

1. 측정 방법

- a. 기관내 침삽입법(Tracheal puncture)
- b. 경성문 도자법(Transglottal catheter)
- c. 기관절개공을 통한 측정법(Measurement via a tracheostoma)
- d. 경식도법(Esophageal balloon)
- e. Use of transducer of ultraminiature type

2. 정상치

1) 정상발성시 : 5~10cm H₂O(약 5,000~10,000dyne/cm²)

2) 음강도변화시

- 성문하압은 음의 강도와 정비례한다.

* 음의 강도는 성문하압의 4제곱에 비례한다.

$$I \propto (P_{sub})^4 \quad (\text{van den Berg, 1956})$$

* Isshiki(1964)

$$I \propto (P_{sub})^{3.3} \quad : \text{저주파 발성시}$$

$$I \propto (P_{sub})^{3.3 \pm 0.7} \quad : \text{중주파 발성시}$$

$$I \propto (P_{sub})^4 \text{ or } 3.3 \quad : \text{고주파 발성시}$$

3. 질환시의 성문하압

- a. 후두암 : 정상보다 상당히 증가
- b. 반회신경마비, 후두계실 : 증가
- c. 기능적 음성장애 : 매우 증가

성문 저항(Glottal Resistance)

: 성문하압을 평균호기류율로 나눈 값으로 계산

$$P_{sub} = MFR \times GR \text{ 에서}$$

$$G R = P_{sub} / MFR$$

P_{sub} : mean subglottal pressure

MFR : mean flow rate

G R : glottal resistance

* 20~100 dyne · sec/cm⁵ (중저주파)

150 dyne · sec/cm⁵ (고주파)

- 성문저항은 중, 저주파에서는 음의 강도와 비례하지만, 고주파에서는 특별히 변화하지 않음.