

폐쇄성 수면 무호흡 환자의 상하악 전방이동술 전후의 두부계측방사선 사진에서 산출한 기도직경, 상기도 공간의 기류저항과 호흡방해지수 변화와의 연관성

박광호 · Peter D. Waite*

연세대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, 미국 알라바마대학교 치과대학 구강악안면외과학교실*

Abstract

AWAKE CEPHALOMETRIC ANALYSIS OF POSTERIOR AIRWAY SPACE AND CALCULATED RESISTANCE RELATED TO RESPIRATORY DISTURBANCE INDEX BEFORE AND AFTER MAXILLOMANDIBULAR ADVANCEMENT FOR OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA

Kwang-Ho Park, Peter D. Waite*

*Department of Oral & Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Yonsei University, University of Alabama at Birmingham**

The purpose of this study cephalometrically evaluated changes in the posterior airway space for patients with obstructive sleep apnea syndrome(OSAS) before and after surgical advancement of the maxilla and mandible. The change in calculated airway resistance was correlated with the respiratory disturbance index(RDI).

Twenty cephalometric radiographs were traced before and after surgery to determine the posterior airway area and calculate resistance. Polysomnograms of each patient were obtained before and after surgery.

All patients had a decrease in calculated airflow resistance in the airway. The mean amount of resistance was 865.15 before surgery, decreasing to 192.65 after surgery ($p < 0.01$). Eighty-five percent of the patients experienced improvement in their RDI.

Reduction in the RDI appears to be due to an increase in the posterior airway space and decrease in flow resistance.

Key words : Airway resistance, Cephalometrics, Obstructive sleep apnea, Respiratory disturbance index

I. 서 론

숨을 들이쉬는 때 상기도 공간내의 음압에 대해 인두확장근이 보상작용을 나타내지 못하면, 기도 공간이 좁아져 있는 경우 수면 중에 인두의 폐쇄를 초래하게 된다¹⁾. 상기도 공간의 기류에 대한 임피던스(impedance)가 폐쇄성 수면 무호흡의 중요한 병인 요소로 제안되었듯이 폐쇄성 수면무호흡증 환자에서는 기도의 기류저항이 상승하게 된다^{2,3)}. 폐쇄성 수면 무호흡증은 수면동안의 간헐적이고 전체 또는 부분적인 상기도 폐쇄로 정의된다. 폐쇄성 수면 무호흡증과 관련되는 합병증으로는 두통, 기억상실, 피곤, 과도 수면, 코골이, 심폐기능부전의 증가 등과 같은 다양한 정신적, 신체적인 영향으로 나타나는데 이런 모든 것들은 환자들의

능률과 삶의 질을 감소시키게 된다⁴⁾. 또한 치료를 받지 않을 경우 뇌혈관과 심폐기능에 변화를 주어 생명을 위협하게 되며 이로 인한 사망률은 교통사고로 인한 사망률과 비슷하게 증가한다고 보고되고 있다^{4,6)}. 폐쇄성 수면 무호흡증이 있는 성인의 분포는 1~8%로 다양하다⁷⁾.

폐쇄성 수면 무호흡증의 치료는 자가 치료, 약물요법, 구강내 장치, 지속적 양압 치료(nasal continuous positive airway pressure, CPAP), 외과적 치료 등이다. 외과적 술식은 완치를 요구하는 환자들과 지속적 양압 치료가 불가능한 환자들에 대해 고려되며, 구개인두성형술(uvulo-palatao-pharyngoplasty, UPPP), 코와 혀에 대한 수술, 기관 절개술, 상하악 전방이동술(maxillomandibular advancement, MMA) 등이 포함된다^{8,10)}.

폐쇄성 수면 무호흡증 환자에 대한 외과적 시술 후의 증상의 호전에 대한 평가는 수면다원검사 및 내시경을 통한 기능적인 평가뿐만 아니라, 기도 공간 변화에 대한 공간적인 평가도 이루어지고 있다¹¹⁻¹⁴⁾. 하지만 상하악 전방이동술 후에 기도 공간의 확장이 공기 저항을 감소시켜서 증상이 호전되었다는 보고는 거의 없다. 따라서 본 연구는 상하악 전방이동술을 이용한 폐쇄성 수면 무호흡증 환자의 평가시 기도 직경의 변화 이외에 공기의 흐

박 광 호

135-270 서울시 강남구 도곡동 146-92

영동세브란스병원 치과 구강악안면외과

Kwang-Ho Park

Dept. of OMFS, Yongdong Severance Hospital, Yonsei University

Youngdong P.O. Box 1217 Seoul 135-270, Korea

Tel : 82-2-3497-3563 Fax : 82-2-3463-4052

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

름이 기도공간에서 개선되는 것이 중요하다고 사료되어, 두부계 측방사선 사진에서 기도직경을 이용하여 기류저항을 구하고 산출된 기도 저항값의 변화량과 호흡방해지수의 변화량 및 이들의 상관 관계를 연구하여 공간적 개념의 치료 기준 자료로의 타당성을 알아보고자 하였다.

II. 연구 대상 및 방법

1997년 7월부터 1998년 8월까지 미국 알라바마 치과대학병원 구강악안면외과에 내원하여 폐쇄성 수면 무호흡증으로 진단받고, 같은 수술팀에 의해 상하악골 전방이동술을 시행받은 20명(남자 18명, 여자 2명, 평균 나이 42세(35세~64세))을 두부 계측방사선 사진을 이용하여 평가하였다. 수술시 상악은 titanium miniplate를 사용하였고, 하악은 titanium bicortical position screw를 사용했다. 모든 환자에게 적용된 수술 방법은 동일하였다¹⁴⁾. 두장의 측모 규격 두부 방사선사진을 술전(T1)과 술후 30일(T2)에 촬영하였다. 모든 방사선 사진은 해상도 0.2~0.5mm의 필름으로 표준 촬영 방법으로 같은 장비에서 얻었다. 수면 다원검사는 환자 각각의 호흡방해지수(RDI)를 측정하기 위해 술전과 술후에 각각 시행되었다.

각각의 방사선 사진은 28개의 기준점을 이용하여 투사지에 그려졌다. 수평기준선(X 축)은 sella(S 점)에서 Nasion(N 점)을 이은 선인 Sella-Nasion(SN)으로부터 7도 아래로 회전시킨 선으로, 수직기준선(Y 축)은 S 점에서 수평기준선에 대해 수직으로 그은 선을 사용하였다. 상악과 하악의 기준점(MX1과 MD1)은 각각의 전치부 절단점을 이용하였다(Fig. 1. 참조). 상하악의 전방 이동량은 MX1과 MD1에서 Y 축까지의 수직거리를 측정하여 계산하였다.

기도의 저항을 측정하기 위해서 상기도의 구조를 불규칙한 관과 같은 구조로 볼 때¹⁵⁾ 그 범위는 위로는 두개저에서 아래로는

윤상연골(cricoid cartilage)까지 이어진다. 측모두부 방사선 사진에서상기도의 상방 경계는 basion(Ba 점)과 익상털(ptyergoid fissure)의 최하방점인 F 점을 이은 선으로 잡았고, 하방 경계는 Y 축에 대해 설골의 최전상방점인 H 점과 제 4경추의 최전상방점인 C 점을 이은 선으로 하였다. 이 선에서 인두벽과의 접점을 서로 연결하여 O-L선을 그었다. 정의된 기도 공간은 상방에서 하방 경계까지 X 축에 평행하게 5mm 간격으로 나누었으며, 각각의 분절은 다음 식에 따라 평균 직경을 구하였다.

$$mean\ d = \frac{d1 + d2 + d3 \dots}{n}$$

d = diameter, n = total number of transverse measurements

기도에 대한 저항은 반지름이 r 이고, 길이가 l 인 관을 통과하는 유체의 저항을 구하는 다음 식을 이용하여 계산되었다¹⁶⁾.

$$R = \frac{lk}{r^4}$$

R = Resistance, l = length, k = constant = 8, r = radius

수면다원검사는 Nikon Kohden 4212 (Tokyo, Japan)를 이용하였으며, 측정은 알라바마 대학병원 수면장애클리닉에서 적용되는 기준을 따라 수술전과 수술 6주 이후에 측정되었다. 수면다원검사를 통해 호흡방해지수(RDI)를 구하였다.

통계 분석은 SAS 통계 패키지(ver 6.04)를 이용하였으며, 술전과 술후 평균값의 차이에 대한 유의성 검정으로 위해, 정규분포를 하는 경우에는 paired t-test를 시행하였으며, 각 계측값들이 정규분포를 하지 않는 경우에는 윌콕슨 부호 순위 검정을 시행하였다. 두 변수 사이의 선형 상관관계를 보기 위해서 피어슨 상관계수를 구하였다.

III. 연구결과

상하악 전방이동술 전후의 상하악 이동량, 평균 기도 직경, 호흡방해지수, 계산된 기도의 저항값은 Table 1에 정리를 하였다. 최대 전방이동량은 상악이 15.5mm였고, 하악이 16.5mm였으며, 평균 이동량은 상악 8.05mm, 하악 9.85mm였다.

기도의 직경은 모든 경우에서 술후 유의성 있는 증가를 보였으며(p=0.001), 평균 증가량은 4.84mm였다. 95% 유의확률에서의 기도 직경 증가량의 신뢰구간은 3.78mm~5.89mm였다.

호흡방해지수는 85%의 환자에서 술후에 향상되었으며, 평균값은 술전에 44.11로써 술후에 13.93로 유의성있는 감소를 보였다(p=0.001). 95% 유의확률에서의 호흡방해지수 감소량의 신뢰구간은 18.53~41.84였다. 3명의 환자는 술후에 오히려 더 높은 호흡방해지수를 보였으나, 그 수치는 각각 1.0, 5.4, 12.0로 비교적 작은 수치를 보였으며, 산출된 기도의 저항값은 모두 감소하였다.

산출된 기도의 저항값은 모든 환자에서 감소하였으며(Fig. 2. 참조), 평균값은 술전에 865.15에서 술후에 192.67로 유의성있는 감소를 보였다(p=0.001).

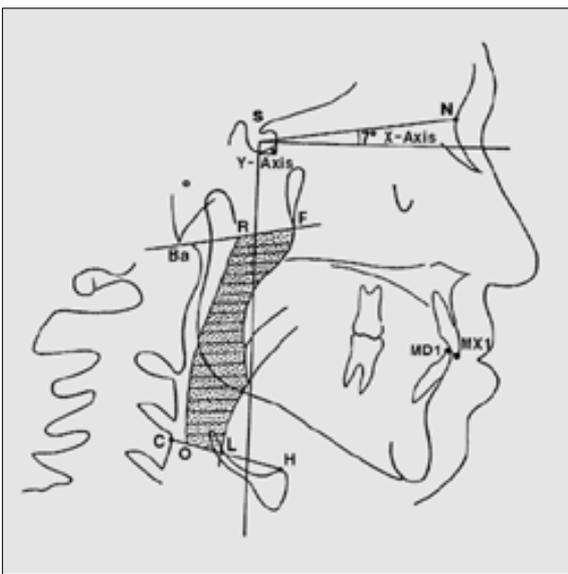


Fig. 1. Cephalometric landmarks and airway design for calculating airway space on lateral cephalometric x-rays of patients with obstructive sleep apnea syndrome.

Table 1. Raw data for 20 patients before and after surgical maxillomandibular advancement with amount of advancement, diameter, respiratory disturbance index, calculated airway resistance, and their corresponding differences, means, standard deviations, maximum and minimum values

Patient	Advance		Diameter			RDI			Resistance		
	Mx	Mn	Before	After	Diff	Before	After	Diff	Before	After	Diff
1	10.0	6.0	9.0	12.0	3.0	36.2	16.0	-20.2	1756.0	525.0	-1231.0
2	11.0	13.0	10.4	15.4	5.0	43.8	32.3	-11.5	985.0	216.0	-769.0
3	5.5	9.5	13.2	17.6	4.4	37.4	0.6	-36.8	358.0	113.0	-245.0
4	9.0	9.0	8.8	14.6	5.8	77.4	12.8	-64.6	1708.0	239.0	-1469.0
5	10.5	13.5	13.8	18.6	4.8	10.5	22.5	12.0	300.0	86.0	-214.0
6	3.5	7.0	9.2	11.4	2.2	39.7	29.1	-10.6	1876.0	644.0	-1232.0
7	5.5	9.5	11.2	19.4	8.2	76.9	13.0	-63.9	813.0	81.3	-731.7
8	1.0	7.5	9.4	17.4	8.0	94.6	4.8	-89.8	1558.0	105.0	-1453.0
9	7.0	13.5	9.8	13.4	3.6	11.6	4.9	-6.7	1388.0	397.0	-991.0
10	8.0	9.5	10.4	18.0	7.6	75.9	23.5	-52.4	930.0	104.0	-826.0
11	9.5	12.5	17.4	18.8	1.4	32.0	2.0	-30.0	133.0	92.2	-40.8
12	8.5	9.5	10.8	20.6	9.8	68.0	25.0	-43.0	847.0	60.4	-786.6
13	10.5	13.5	11.2	19.0	7.8	48.0	1.0	-47.0	691.0	83.5	-607.5
14	15.5	16.5	10.2	14.2	4.0	44.0	1.0	-43.0	946.0	252.0	-694.0
15	11.5	12.0	12.4	15.6	3.2	25.0	12.0	-13.0	433.0	173.0	-260.0
16	5.0	12.0	13.6	19.0	5.4	35.0	27.0	-8.0	337.0	88.4	-248.6
17	5.0	4.0	14.0	17.0	3.0	49.0	7.0	-42.0	283.0	130.0	-153.0
18	10.0	7.0	16.4	17.8	1.4	10.0	11.0	1.0	150.0	95.6	-54.4
19	11.0	8.0	9.4	14.4	5.0	19.0	24.4	5.4	1476.0	238.0	-1238.0
20	3.5	4.0	13.8	17.0	3.2	48.2	8.6	-39.6	335.0	130.0	-205.0
Mean	8.05	9.85	11.72	16.56	4.84	44.11	13.93	-30.19	865.15	192.67	-672.48
SD	3.49	3.40	2.49	2.57	2.39	24.14	10.39	26.60	581.31	158.59	478.83
Max	15.5	16.5	17.4	20.6	9.8	94.6	32.3	12.0	1876.0	644.0	-40.8
Min	1.0	4.0	8.8	11.4	1.4	10.0	0.6	-89.8	133.0	60.4	-1469.0

RDI: respiratory disturbance index, Mx: maxilla, Mn: mandible,
 Before: before surgery, After: after surgery,
 Diff: (value of post-op) - (value of pre-op), SD: standard deviation

Table 2. Pearson correlation coefficients among the differences of airway diameter, RDI and airway resistance

variables	correlation coefficient	p-value
Δ diameter - Δ RDI	-0.55773	0.0106
Δ diameter - Δ resistance	-0.37133	0.1070
Δ RDI - Δ resistance	0.31371	0.1780

Δ : difference between before and after surgery

기도직경, 호흡방해지수, 기도 저항의 술전과 술후 변화량들 사이의 관련성을 보았을 때, 기도 직경이 증가할수록 호흡방해지수는 유의미하게 감소하였다(p=0.01). 기도의 직경이 증가할수록, 호흡방해지수의 값이 감소할수록 산출된 기도 저항값은 증가하였으나, 통계학적인 유의성은 적었다(Table 2. 참조).

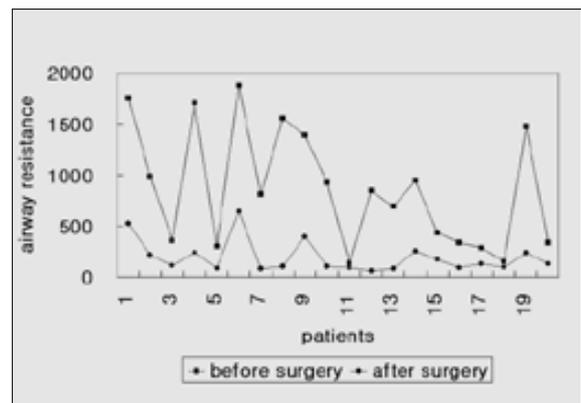


Fig. 2. Graphic representation of calculated airway resistance of twenty patients with obstructive sleep apnea syndrome, before and after surgery.

IV. 총괄 및 고찰

상하악 전방이동술은 폐쇄성 수면무호흡증 환자 중 가장 심한 경우 적용되는 치료의 하나이며, 치료 성적은 약 96%의 효과를 나타내고 있다^{10,14}. 측모두부 방사선사진을 이용한 국내외의 많은 연구들^{12,17-19}은 주로 정적인 개념의 기도 공간의 분석이었으며, 현재까지 상하악 전방이동술 전과 후의 기도를 통과하는 기류에 대한 저항의 변화에 대한 보고는 전무하다. 본 연구는 이차원적인 두부방사선계측을 통해 산출된 공간 개념의 기류 저항값과 상하악 전방이동량이나 호흡방해지수와 연관성 여부를 알아 보고자 하였으며, 기도 공간에 대한 거리나 면적을 분석했던 이전의 연구 방법보다는 더 자세한 변화를 분석하고자 하였다. 그러나, 기도의 측면이 좁아지거나 형태의 이상이 있는 경우는 평가할 수 없었는데, 상하악 전방이동술후의 자기공명영상을 이용한 기도 공간의 분석에서 환자의 일부에서만 기도 공간이 측면으로의 증가를 보였고²⁰, 인두의 모양이나 크기는 호흡 장애의 원인인지 명확하지 않으며 이것만으로는 원인이 되지 못하므로²¹ 일부 한계를 감안하고 측모 두부 규격 방사선 사진을 이용한 계측을 하였다. 수술 전후 기도 공간의 변화, 특히 연조직의 변화를 보다 정확히 조사하기 위해서는 자기공명영상, acoustic reflection, 전산화 단층 촬영, 압력 측정, 인두 내시경 검사 등이 시행되어야 하나 초기 연구에는 많은 어려움이 있다. 기도 직경의 변화도 환자의 기도 공간 중에서 비정상적으로 좁아진 부위를 평가하여 그 부위에 대한 수술전후의 기도 직경의 변화를 따로 측정하는 것이 적절한 방법이겠으나, 본 연구에서는 상하악을 동시 전방이동 시키는 수술을 시행한 환자를 대상으로 하였으므로 상 기도 공간 전체를 균일한 관으로 가정을 하여 평균 직경의 변화를 구하였다.

기도 공간의 산술적인 변화와 더불어 수술을 통해 기도 공간이 늘어난 환자의 기능을 평가하기 위해서 술전과 술후에 수면다원 검사를 시행하였다. 85%의 환자에서 술후 호흡방해지수가 감소하였으나, 3명의 환자에서는 오히려 호흡방해지수가 증가하였다. 이는 수면 다원검사가 술후 6주를 전후해서 시행되었던 것도 한 요인으로 작용했던 것 같다. 술후 보다 안정된 후에 검사를 시행하였다면 이 환자들도 호흡방해지수가 감소했을 것으로 추정된다. 수술후의 기도 직경의 변화량과 호흡방해지수의 변화량 사이에는 유의미한 상관관계를 보였다(Table 2. 참조). 즉, 기도의 직경이 증가하면 호흡방해지수가 감소하게 된다. 하지만, 아직은 개개 환자에 대해서 수술시 기도의 직경을 얼마만큼 증가시켜주어야 할 것인가에 대해서 자료가 부족한 형편이며, 이는 하악의 전방 이동량을 심미적인 면도 감안하지만 얼마 만큼의 양이 기능적 해소를 위해 필요한가를 생각하게 하는 의미를 갖는다.

산출된 기도 저항값은 비록 기도 직경을 이용해 그 값이 정해지지만 기도 직경의 변화량과 기도 저항의 변화량 사이에는 선형의 관련성은 부족하였다(Table 2. 참조). 이는 저항값이 기도 반경의 4제곱에 반비례하기 때문이다. Fig. 3은 기도의 길이와 상관없이 기도의 직경과 저항사이 관계를 도식적으로 표시하였다.

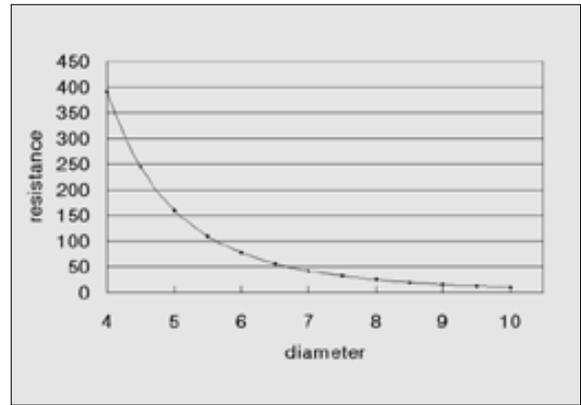


Fig. 3. Relation between diameter(r) and resistance(1/r⁴). Length was not included in this formula.

본 연구 조사 대상에서 술전과 술후 모든 조사 시점에서의 기도 직경이 8mm에서 21mm 사이였으므로 반경을 4에서 10으로 잡아서 그려본 그림이다. 그림에서 보듯이 반경이 증가할수록 저항은 누승으로 감소하므로, 기도의 직경이 어느 정도 이상이면 호흡방해를 일으키는 기계적인 장애는 줄어들 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 환자의 기도의 생리적인 상태와 기능, 적응 정도를 고려한다면 각 환자에 대한 호흡방해지수를 적정수준까지 줄일 수 있는 기도 공간의 증가량을 수술계획을 세울 때 적용시킬 수 있을 것으로 사료된다.

환자의 수면 장애를 기능적으로 평가할 수 있는 호흡방해지수의 변화량은 기도 저항값의 변화량과 선형 관련성이 부족하였다. 하지만, 모든 환자에서 기도의 저항값은 감소하였고, 호흡방해지수 또한 85%의 환자에서 호전을 보였다.

V. 결 론

폐쇄성 수면 무호흡환자를 대상으로 수술전과 수술후의 기도의 직경의 변화, 호흡방해지수의 변화, 기도의 저항값의 변화와 이들 값들 사이의 연관성을 조사한 본 연구에서 모든 환자의 술후 저항은 감소하였으며, 85% 환자가 술후에 호흡방해지수의 감소를 보였다. 하지만 호흡방해지수의 변화량과 기도 저항값의 변화량 사이에는 통계학적인 상관성이 없었으며, 상하악의 전방 이동량과 호흡방해지수, 기도 저항값의 변화량 사이에도 상관관계가 없었다. 하지만, 기도 직경의 변화량과 호흡방해지수의 변화량 사이에는 유의성 있는 상관 관계가 있었다.

따라서 단순한 두부방사선계측 사진을 이용하여 기도 직경의 변화 뿐만 아니라 공기의 흐름을 의미하는 기도 저항값을 구하는 공간적 개념의 도입이 수면다원검사와 같은 기능적 평가와 병행될 경우 폐쇄성 수면 무호흡환자의 진단 및 치료계획 수립에 도움이 되리라 사료된다.

참고문헌

1. Guilleminault C, Stoohs R, Clerk A, Cetel M, Maistros P : A cause of

- excessive daytime sleepiness. The upper airway resistance syndrome. *Chest* 104: 781-7, 1993.
2. Anch AM, Rimmers JE, Bunce H : Supraglottic airway resistance in normal subjects and patients with occlusive sleep apnea. *J Appl Physiol*. 53:1158-63, 1982.
 3. Stauffer JL, Zwillich CW, Cadieux RJ, Bixler EO, Kales A, Varano LA, White DP : Pharyngeal size and resistance in obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 136:623-7, 1987.
 4. Redline S, Young T : Epidemiology and natural history of obstructive sleep apnea. *Ear Nose Throat J* 72:20-1, 24-6, 1993.
 5. Findley LJ, Unverzagt ME, Suratt PM : Automobile accidents involving patients with obstructive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 138:337-40, 1988.
 6. Minemura H, Akashiba T, Yamamoto H, Suzuki R, Itoh D, Kurashina K, Yoshizawa T, Horie T : Traffic accidents in obstructive sleep apnea patients and effect of nasal CPAP treatment. *Nihon Kyobu Shikkan Gakkai Zasshi. Japanese Journal of Thoracic Diseases* 31: 1103-8, 1993.
 7. Partinen M, Telakivi T: Epidemiology of obstructive sleep apnea syndrome. *Sleep* 15:S1-4, 1992.
 8. Fairbanks DN, Fairbanks DW : Obstructive sleep apnea; therapeutic alternative (Review). *Am J Otolaryngol* 13:265-70, 1992.
 9. Kales A, Cadieux RJ, Bixler EO, Soldatos CR, Vela-Bueno A, Misoul CA, Locke TW : Severe obstructive sleep apnea - I : Onset, clinical course and characteristics. *J Chronic Dis* 38:419-25, 1985.
 10. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C : Maxillary, mandibular, and hyoid advancement for treatment of obstructive sleep apnea: A review of 40 patients. *J Oral Maxillofac Surg* 48:20-6, 1990.
 11. Farole A, Mundenaar MJ, Braitman LE : Posterior airway changes associated with mandibular advancement surgery: Implications for patients with obstructive sleep apnea. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 5:255-8, 1990.
 12. Greco JM, Froberg U, Van Sickels JE : Cephalometric analysis of long-term airway space changes with maxillary osteotomies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 70: 552-4, 1990.
 13. Metes A, Hoffstein V, Direnfeld V, Chapnik JS, Zamel N : Three-dimensional CT reconstruction and volume measurements of the pharyngeal airway before and after maxillofacial surgery in obstructive sleep apnea. *J Otolaryngol* 22:261-4, 1993.
 14. Waite PD, Wooten V, Lachner J, Guyette RF : Maxillomandibular advancement surgery in 23 patients with obstructive sleep apnea syndrome. *J Oral Maxillofac Surg* 47:1256-61, 1989.
 15. Berkovitz BKB, Moxham BJ, Brown MW, McMinn RMH : A Textbook of Head and Neck Anatomy, Chicago Year Book Medical Publishers. Wolfe 1988: 332.
 16. Chemical Rubber Company : Handbook of Chemistry and Physics, 50th Ed. CRC Ed. Boca Raton, FL, Chemical Rubber Pub. Co., Cleveland, OH 1969: F-99.
 17. Hochban W, Brandenburg U : Morphology of the viscerocranium in obstructive sleep apnoea syndrome - cephalometric evaluation of 400 patients. *J Craniomaxillofac Surg* 22:205-13, 1994.
 18. Riley RW, Guilleminault C, Herran J, Powell NB : Cephalometric analysis and flow-volume loops in obstructive sleep apnea patients. *Sleep* 6:303-11, 1983.
 19. 최진영, Engelke W : 폐쇄성 수면 무호흡증 환자에 있어서 두부방사선 계측 분석 및 인후 내시경적 연구. 대한악안면성형재건외과학회지. 21:149-65, 1999.
 20. Schwab RJ, Gupta KB, Gefter WB, Metzger LJ, Hoffman EA, Pack AI : Upper airway and soft tissue anatomy in normal subjects and patients with sleep-disordered breathing. Significance of the lateral pharyngeal walls. *Am J Respir Crit Care Med*. 152:1673-89, 1995.
 21. Leiter JC : Upper airway shape. Is it important in the pathogenesis of OSA? *Am J Respir Crit Care Med*. 153:894-8, 1996.