

유한요소법에 의한 하악제 1대구치의 Cervical Traction의 효과에 관한 역학적 연구

경희대학교 치과대학 교정학교실

안의영 · 정규림

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 연구방법
- III. 연구결과
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도

I. 서 론

Ⅲ급 부정교합 (Angle 씨 분류 제Ⅲ급 부정교합)은 그 발생원인에 따라 다양한 형태적 부조화가 나타나며,¹⁾ 생성요인에 따라 치성, 기능성, 골격성으로 분류될 수 있다.

Ⅲ급 부정 교합의 발생빈도는 서양인에서 1% -12.2%,²⁻⁵⁾ 한국인에서 대략 9.4%로 보고되고 있으며,^{6,7)} Ⅲ급 부정교합은 두개골 또는 상악에 대해 하악이 전방위에 있는 부정교합으로서⁸⁾ 주로 전치부 반대교합을 보인다.

Jacobson⁹⁾에 의하면 골격성 Ⅲ급 부정교합은 상악골은 정상이나 하악골이 과성장한 경우가 가장 많으며, 상악골 자체가 열성장인 경우는 약 25%에 해당한다고 하였다.

신체의 모든 부분처럼 하악골도 성장 rhythm이

존재하며, 하악골의 성장양상이 교합의 달성 및 안모의 형태에 미치는 영향이 크므로, 골격성 Ⅲ급 부정교합자의 치료에 있어 하악골 성숙에 맞춘 치료시기의 선택은 중요하다.¹⁰⁾

치성 및 기능성 Ⅲ급 부정교합은 교정치료에 의해 양호한 치료결과를 기대할 수 있으나, 골격성 Ⅲ급 부정교합은 환자가 사춘기성장 이전의 경우에는 상악골 급속확대,¹¹⁻¹⁵⁾ reverse pull traction,¹⁶⁻¹⁹⁾ chin cap 치료²⁰⁾ 등의 orthopedic treatment 를 적용하여 악골의 성장촉진 및 억제 를 유도할 수도 있으나, 사춘기성장을 지난 경우에는 외과적 교정치료를 시행하는 것이 바람직 하지만 그 양태가 심하지 않고 환자가 외과적 수술을 원치 않을 때에는 교정치료만으로써 교합관계를 개선할 수도 있다.

외과적 수술을 제외한 골격성 Ⅲ급 부정교합의 교정치료는 비발치와 발치 증례로 대별할 수 있다.²¹⁾

비발치 증례에서는 하악제 1대구치의 원심이동이 제 2, 3대구치 때문에 어렵고, 췌기효과의 증대로 인한 안면고경증가, 하악구치부위의 총생, 하악제 3대구치의 매복을 증가와 그에 따르는 합병증같은 문제점이 지적된다.

상하악구치와 전치부 교합을 개선하고 하악전치의 후방이동을 위해 발치가 요구될 경우 대개 소구치를 발거하여 왔으나, 이는 불필요한 치공크기 감소 및 형태변화를 일으키고 하악전치는 설측경사가 악화됨으로서 하악기저골과의 부조화를 갖게되며, 조기에 성장하는 혀와 주위 연조직과의 부조화도 초래되어 발치공간의 재발

기회가 증가되며, 치아접촉면 부위의 변화와 상하악에 서로 다른 소구치의 발거나 하악소구치만의 발거로 인한 교합의 부조화, anchorage preparation 의 곤란 등의 문제점이 야기되므로, 성장이 완료된 III급 부정교합에서 하악소구치 발거를 통한 하악전치의 원심이동만을 도모하는 치료계획은 적합하지 못하다.²²⁻²⁵⁾

III급 부정교합 치료시 비발치 혹은 소구치발치에 의한 여러가지 문제점을 해결하기 위해, Liddle,²²⁾ Quinn,²³⁾ Dacre²⁴⁾ 등은 하악제 3대구치의 형태, 크기, 맹출로가 정상적인 경우 III급 부정교합의 교정치료시에 하악제 2대구치의 발거를 주장하였으며, 이 경우 cervical traction 에 의한 제 1대구치의 원심이동에 의하여 구치부 원심교합 관계는 용이하게 개선되며 제 3대구치는 자발적인 근심이동에 의하여 제 2대구치의 대체치로 사용될 수 있다고 하였다.^{23,26,27)}

그러나 하악제 2대구치 발거후 하악제 1대구치의 후방견인에 의한 골격성 III급 부정교합의 교정치료에 관한 임상적 연구는 다수가 있었으나,^{16,25,28,29)} 하악제 1대구치에 가하여진 교정력이 하악골내로 분산되어 일어나는 변위와 응력의 분포상태에 관한 역학적 분석연구는 미흡하다.

이에 저자는 하악제 2대구치 발거후 하악제 1대구치의 원심 cervical traction 을 시행하였을 때, 가하여진 교정력이 하악골 각 부분에 미치는 응력과 변위를 비교 분석하여, 골격성 III급 부정교합자에 이상의 치료술식을 적용할 때, 그 치료기전을 역학적으로 규명하고 사춘기성장 이전의 환자에서 하악골 성장에 영향을 미칠 가능성 여부를 알아보고자 청년기에 해당하는 건조하악골을 이용하여 3차원 유한요소 분석법을 시도 하였으며, 그 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 연구방법

청년기에 해당하는 건조하악골을 재료로 하여 하악제 2대구치 발거후 하악제 1대구치에 band

를 제작하고 double buccal tube 를 납착한 뒤에 cervical pull headgear 를 적용시켰다고 가정하였다.

유한요소법 분석을 위해 건조하악골의 Menton 에서 하악과두정상까지 치근하부는 5 mm 간격으로 그 외 부분은 2 mm 간격으로 주사선이 교합 평면과 평행되게 하여 36매의 컴퓨터 단층사진을 촬영하였다. (Fig.1,2 참조)

건조하악골의 좌우측 및 정중선 전방에 0.045 inch orthodontic wire 를 서로 평행되게 부착하여 단층촬영된 사진마다 절점의 좌표계측을 위한 기준점으로 하였다. (Fig.3 참조)

단층사진 film 을 실제 크기로 확대 인화한 후, 응력분산과 변위에 관한 3차원분석을 하기 위한 좌표로, X축은 하악하연에 일치시켜 전후방의 응력과 변위를, Y축은 X축에 수직이 되며 상하방의 응력과 변위를, Z축은 X, Y축에 직각이 되며 협설방향의 응력과 변위를 분석할 수 있게 하였다. (Fig.4 참조)

교정력의 분산과 변위를 분석하기 위한 고정점은 두개저와 연결되는 관절와내의 하악과두상부에 두었으며, 이 점에서 하악골 전체가 고정되는 것으로 가정하였다.

건조하악골의 좌우가 동형이라는 가정하에서 편측만을 594개 6면체 요소와 1019개 절점으로 세분화하여 유한요소 모델을 제작하였다.³⁰⁾ (Table 1, Fig.5,6 참조)

치근막은 재료계수의 값이 미미하므로 본 연구에서의 유한요소 모델은 치관법랑질, 치근상아질, 해면골, 치밀골로 구성된다고 가정하고, 각 구성재료의 물리적 특성인 Young's modulus 와 Poisson's ratio 에 관해서는 현재까지 많은 보고가 있지만 그 값이 일정하지 않으므로 본 연구에서는 선행들에 의해 주로 사용되어 온 수치를 적용하였다.³¹⁻³⁵⁾ (Table 2 참조)

하악제 1대구치의 견인방향은 교합면과 평행, 하방 7°, 하방 25°로 세분하고 정중시상면과는 40°를 이루면서 후방으로 견인되도록 하였고, 적용력은 편측당 450 gm의 하중이 치관부 중앙에 가해지도록 컴퓨터에 입력되었다.^{36,37)} (Fig.7 참조)

이상과 같은 재료와 조건하에서 입력자료들

을 컴퓨터 (CYBER 170-875) 의 구조물 해석 program 인 “ADINA(Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis)” 에 입력하여 각 절점과 요소에서의 변위와 주응력을 산출하였다.

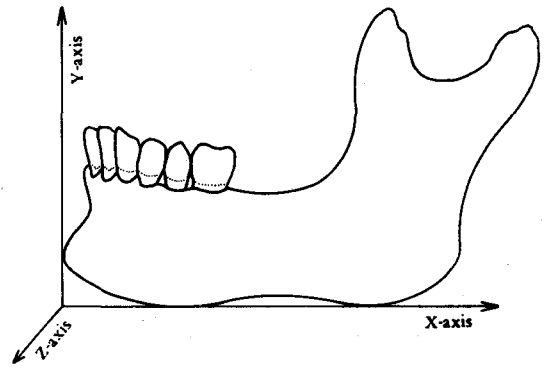


Fig. 4. Co-ordinates used for analyzing stresses and displacements.

Table 1. Number of elements and nodal points.

Portions of the mandible	Crown	Root	Cancellous bone	Compact bone
Number of element	12	13	238	331
Total number of element	594			
Total number of node	1019			

Table 2. Mechanical properties of each material.

Material \ Property	Young's Modulus (E) (Kg/mm ²)	Poisson's Ratio (ν)
Crown enamel	4900	0.30
Root dentin	1400	0.28
Cancellous bone	18	0.45
Compact bone	1200	0.33

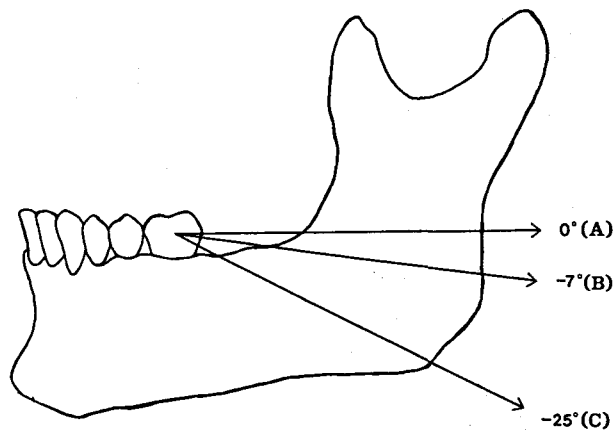


Fig. 7. Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

III. 연구결과

유한요소법을 이용하여 하악골의 모든 요소가 받는 변위와 주응력을 산출하였으나 개개요소 모두를 분석하기는 어려우므로, 하악골을 치아부, 치조골 및 하악체부, 하악지부, 관상돌기부, 하악과두 및 경부, 하악우각부로 나누어 분석하였다.

X, Y, Z축에서의 평균변위량(mm)을 분석할 때에는 X, Y, Z축의 각 (+)수치는 후, 상, 외방이동을, 각 (-)수치는 전, 하, 내방이동을 의미한다.(Fig.4 참조)

본 연구에서 주응력 (principal stress) 은 응력 수치가 크게 나타나고 주관심 부위인 하악과두경부와 하악제 1대구치에서는 인장응력(+)과 압축응력(-) 각각의 최대치를 제시하였으나, 여타 하악골 부위는 단순히 하악골 부위별 응력의 분포 상황만을 고찰하기 위해 인장응력과 압축응력 중 큰 수치 하나만 선택하여 절대값으로 표현하였다.

1. 하악치아부위의 응력과 변위 (Table.3)

전반적으로 치아에서는 Y축 변위량, 즉 하방이동이 가장 현저하게 이루어지며, 후방이동, 외방이동의 순으로 이동된다.

그리고 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 하, 후방이동은 증가하였으나, 외방이동은 감소하였다.

전치부에서 구치부로 갈수록 각 축에 따른 변위량이 증가됨으로 치아이동량이 많아지는 것을 알 수 있다.

주목할 만한 사항은 하악제 1대구치의 치근부가 치관부보다 X축 변위량, 즉 원심이동량이 더 뚜렷하게 나타난다는 점이다.

주응력의 양은 전치부에서 구치부로 갈수록 증대되었다.

그리고 견인방향에 따른 주응력의 분포는 주응력이 교합면과 평행일때 가장 컸으며, 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 감소되었다.

하악골 각 부위중에서 하악과두경부 다음으로 큰 응력이 작용되는 하악제 1대구치에서는, 치관부와 원심치근에는 압축응력이 그리고 근

심치근에는 인장응력이 현저하게 나타난다.

2. 하악치조골 및 하악체부의 응력과 변위 (Table.4)

하악치조골부위의 변위는 하악치아와 더불어 하후외방(이하 크기순)으로 이동되며, 전반적으로 응력은 작았으나 전치부에서 구치부로 갈수록 점증하였고, 견인방향에 따른 응력의 변위는 거의 없었다.

하악체부는 하후외방으로 이동되며 전치부에서 구치부로 갈수록 이동량은 점증하였고, 치조골과 하악체의 변위량을 비교할때 하악체부는 항상 더 작았다.

하악체 전방부에서 후방부로 갈수록 응력의 증가가 나타났으며, 견인방향에 따른 응력의 변화는 거의 없었다.

3. 하악지부위의 응력과 변위 (Table.5)

하악지부는 전반적으로 하후외방으로 이동되며 X, Y, Z축의 변위량은 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 뚜렷하게 증대되었다.

변위와 응력은 상방부가 하방부보다 항상 컸으며 하악지의 상부와 중간부는 원심견인 방향이 -7° , -25° 로 변함에 따라 교합면에 평행하게 원심견인 하였을 때보다 응력이 약 5배, 10배로 현저히 증가하였다.

4. 관상돌기부의 응력과 변위 (Table.6)

관상돌기부는 하전외방으로 이동되며, 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 하, 전방이동은 증가하였으나, 외방이동은 감소하였고 교합면 하방 25° 로 견인하였을 때는 내측으로의 변위발생이 관찰되었다.

관상돌기의 응력은 전반적으로 미미했으나 전후방 부분별 응력은 전방부에 비해 후방부에서 항상 컸으며, 후방부에서는 교합면과 평행하게 원심견인 하였을 때보다 교합면 하방 25° 로 견인하였을 경우에 응력이 현저하게 (약 8배) 증가하였다.

5. 하악과두 및 경부의 응력과 변위 (Table.7)

하악과두 및 경부는 하악골의 주요성장부위이고 형태적으로 내외방후경이 크므로 전, 후, 내측중앙, 외측중앙부로 나누어 관찰하였다.

하악과두경부의 전, 내측 중앙부는 하전내방이동을 보였으나 후, 외측 중앙부는 상전내방이동을 나타냈다.

주목할 만한 사항은, 하악골 모든부위 중에서 하악과두 경부에서 최대의 응력집중을 보였다는 점이다.

하악과두경부의 전방부에서는 인장응력이 내, 외측중앙부와 후방부에서는 압축응력이 현저히 크게 나타났다. 그리고 견인방향이 교합면에서

멀어질수록 응력의 증가가 현저하며 견인방향이 교합면과 평행할 때에 비해 교합면 하방 25°로 견인할 때에 하악과두 각부위 모두에서 2배 이상의 증가를 나타내었다.

6. 하악우각부위의 응력과 변위 (Table.8)

하악우각부는 전반적으로 하후외방이동을 보였으나, 후구치부는 하후외방이동순으로, 하악각부는 후외하방이동순으로 변위의 차이를 보였다. 그리고 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 X, Y, Z축의 변위량은 뚜렷하게 증가하였다.

하악각부보다 후구치부위에서의 응력이 현저히 크게 나타났다.

Table 3. Displacements and principal stresses in mandibular teeth by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)			
1	A	0.48 x 10 ⁻²	-0.73 x 10 ⁻²	0.26 x 10 ⁻⁵	1.12			
	B	0.64 x 10 ⁻²	-0.11 x 10 ⁻¹	0.20 x 10 ⁻⁵	0.53			
	C	0.99 x 10 ⁻²	-0.20 x 10 ⁻¹	0.56 x 10 ⁻⁶	0.51			
2	A	0.48 x 10 ⁻²	-0.74 x 10 ⁻²	0.40 x 10 ⁻⁴	0.99			
	B	0.73 x 10 ⁻²	-0.11 x 10 ⁻¹	0.32 x 10 ⁻⁴	0.69			
	C	0.12 x 10 ⁻¹	-0.22 x 10 ⁻¹	0.12 x 10 ⁻⁴	0.30			
3	A	0.49 x 10 ⁻²	-0.76 x 10 ⁻²	0.12 x 10 ⁻³	1.60			
	B	0.73 x 10 ⁻²	-0.12 x 10 ⁻¹	0.11 x 10 ⁻³	1.18			
	C	0.12 x 10 ⁻¹	-0.23 x 10 ⁻¹	0.11 x 10 ⁻³	0.83			
4	A	0.50 x 10 ⁻²	-0.77 x 10 ⁻²	0.27 x 10 ⁻³	3.03			
	B	0.75 x 10 ⁻²	-0.12 x 10 ⁻¹	0.27 x 10 ⁻³	2.08			
	C	0.13 x 10 ⁻¹	-0.24 x 10 ⁻¹	0.25 x 10 ⁻³	1.48			
5	A	0.51 x 10 ⁻²	-0.83 x 10 ⁻²	0.49 x 10 ⁻³	7.07			
	B	0.78 x 10 ⁻²	-0.13 x 10 ⁻¹	0.42 x 10 ⁻³	5.98			
	C	0.13 x 10 ⁻¹	-0.25 x 10 ⁻¹	0.39 x 10 ⁻³	4.85			
6	Crown	A	0.53 x 10 ⁻²	-0.87 x 10 ⁻²	0.18 x 10 ⁻²	+ 8.88	-13.73	
		B	0.79 x 10 ⁻²	-0.14 x 10 ⁻¹	0.17 x 10 ⁻²	+ 7.16	-13.57	
		C	0.13 x 10 ⁻¹	-0.25 x 10 ⁻¹	0.14 x 10 ⁻²	+ 4.25	-12.56	
	Root	M	A	0.54 x 10 ⁻²	-0.91 x 10 ⁻²	0.49 x 10 ⁻³	+25.16	-18.63
			B	0.80 x 10 ⁻²	-0.14 x 10 ⁻¹	0.47 x 10 ⁻³	+27.16	-14.02
			C	0.14 x 10 ⁻¹	-0.27 x 10 ⁻¹	0.41 x 10 ⁻³	+15.15	-12.79
		D	A	0.54 x 10 ⁻²	-0.92 x 10 ⁻²	0.61 x 10 ⁻³	+ 4.70	-19.33
			B	0.80 x 10 ⁻²	-0.15 x 10 ⁻¹	0.48 x 10 ⁻³	+ 4.47	-18.89
			C	0.14 x 10 ⁻¹	-0.29 x 10 ⁻¹	0.46 x 10 ⁻³	+ 3.87	-16.59

Amount of the applied force was 450 gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

Principal stress; () : 절대값, (+) : 최대인장응력, (-) : 최대압축응력

Table 4. Displacements and principal stresses in alveolar and body portion of the mandibular teeth by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)	
Alveolar portion	$\overline{1,2}$	A	0.60×10^{-2}	-0.89×10^{-2}	0.14×10^{-3}	0.48
		B	0.09×10^{-1}	-0.14×10^{-1}	0.13×10^{-3}	0.99
		C	0.16×10^{-1}	-0.28×10^{-1}	0.12×10^{-3}	2.30
	$\overline{3,4,5}$	A	0.63×10^{-2}	-0.90×10^{-2}	0.18×10^{-3}	3.39
		B	0.09×10^{-1}	-0.15×10^{-1}	0.25×10^{-3}	3.25
		C	0.17×10^{-1}	-0.29×10^{-1}	0.44×10^{-3}	2.91
	$\overline{6}$	A	0.65×10^{-2}	-0.94×10^{-2}	0.41×10^{-3}	6.46
		B	0.09×10^{-1}	-0.15×10^{-1}	0.43×10^{-3}	6.77
		C	0.17×10^{-1}	-0.30×10^{-1}	0.44×10^{-3}	5.78
Body portion	$\overline{1,2}$	A	0.50×10^{-2}	-0.76×10^{-2}	0.18×10^{-5}	1.05
		B	0.76×10^{-2}	-0.12×10^{-1}	0.08×10^{-5}	1.18
		C	0.13×10^{-1}	-0.23×10^{-1}	0.18×10^{-5}	1.19
	$\overline{3,4,5}$	A	0.53×10^{-2}	-0.79×10^{-2}	0.24×10^{-5}	1.10
		B	0.78×10^{-2}	-0.12×10^{-1}	0.11×10^{-5}	1.11
		C	0.13×10^{-1}	-0.23×10^{-1}	0.10×10^{-4}	1.15
	$\overline{6}$	A	0.59×10^{-2}	-0.85×10^{-2}	0.08×10^{-3}	1.61
		B	0.88×10^{-2}	-0.13×10^{-1}	0.10×10^{-3}	1.52
		C	0.15×10^{-1}	-0.26×10^{-1}	0.11×10^{-3}	1.51

Amount of the applied force was 450 gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

Table 5. Displacements and principal stresses in the ascending ramus by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)
Upper	A	0.19×10^{-3}	-0.25×10^{-3}	0.56×10^{-3}	2.54
	B	0.29×10^{-2}	-0.35×10^{-3}	0.71×10^{-3}	11.69
	C	0.52×10^{-2}	-0.59×10^{-3}	0.10×10^{-2}	32.04
Middle	A	0.30×10^{-2}	-0.31×10^{-3}	0.74×10^{-3}	0.58
	B	0.46×10^{-2}	-0.42×10^{-3}	0.94×10^{-3}	5.06
	C	0.83×10^{-2}	-0.67×10^{-3}	0.13×10^{-2}	11.27
Lower	A	0.41×10^{-2}	-0.37×10^{-3}	0.84×10^{-3}	0.32
	B	0.63×10^{-2}	-0.50×10^{-3}	0.10×10^{-2}	1.59
	C	0.11×10^{-1}	-0.80×10^{-3}	0.16×10^{-2}	4.48

Amount of the applied force was 450 gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

Table 6. Displacements and principal stresses in the coronoid process by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)
Anterior	A	-0.54×10^{-3}	-0.49×10^{-2}	0.28×10^{-3}	0.26
	B	-0.88×10^{-3}	-0.75×10^{-2}	0.17×10^{-3}	0.34
	C	-0.17×10^{-2}	-0.13×10^{-1}	-0.10×10^{-3}	0.57
Middle	A	-0.54×10^{-3}	-0.39×10^{-2}	0.29×10^{-3}	0.35
	B	-0.89×10^{-3}	-0.60×10^{-2}	0.19×10^{-3}	0.56
	C	-0.56×10^{-2}	-0.18×10^{-2}	-0.88×10^{-4}	1.73
Posterior	A	-0.53×10^{-3}	-0.26×10^{-2}	0.28×10^{-3}	1.32
	B	-0.89×10^{-3}	-0.39×10^{-2}	0.20×10^{-3}	2.95
	C	-0.17×10^{-2}	-0.72×10^{-2}	-0.30×10^{-4}	10.97

Amount of the applied force was 450 gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

Table 7. Displacements and principal stresses in the condyle head and neck by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)		
					(+)maximum	(-)maximum	
Anterior	A	-0.15×10^{-3}	-0.62×10^{-3}	-0.51×10^{-4}	+18.20	- 3.46	
	B	-0.26×10^{-3}	-0.94×10^{-3}	-0.97×10^{-5}	+27.84	- 6.83	
	C	-0.14×10^{-3}	-0.17×10^{-3}	-0.12×10^{-3}	+58.06	-12.34	
Middle	outer	A	-0.23×10^{-4}	0.16×10^{-4}	-0.15×10^{-4}	+10.26	-15.81
		B	-0.73×10^{-4}	0.13×10^{-4}	-0.53×10^{-4}	+14.87	-19.20
		C	-0.19×10^{-3}	0.45×10^{-5}	-0.14×10^{-3}	+29.83	-32.37
	inner	A	-0.13×10^{-3}	-0.20×10^{-3}	-0.24×10^{-4}	+ 7.58	-17.75
		B	-0.18×10^{-3}	-0.30×10^{-3}	-0.54×10^{-4}	+ 5.26	-23.79
		C	-0.28×10^{-3}	-0.54×10^{-3}	-0.12×10^{-3}	+19.00	-44.56
Posterior	A	-0.12×10^{-4}	0.17×10^{-4}	-0.98×10^{-5}	+ 7.51	-18.27	
	B	-0.19×10^{-4}	0.25×10^{-4}	-0.15×10^{-4}	+ 9.87	-27.22	
	C	-0.35×10^{-4}	0.44×10^{-4}	-0.27×10^{-4}	+18.69	-46.57	

Amount of the applied force was 450 gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B), and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

Principal stress; (+): tension, (-): compression.

Table 8. Displacements and principal stresses in the mandibular angle by pulling direction.

Area		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Principal stress (g/mm ²)
Retromolar	A	0.27×10^{-2}	-0.52×10^{-2}	0.50×10^{-3}	5.82
	B	0.40×10^{-2}	-0.80×10^{-2}	0.55×10^{-3}	4.14
	C	0.71×10^{-2}	-0.14×10^{-1}	0.63×10^{-3}	6.00
Middle	A	0.47×10^{-2}	-0.36×10^{-2}	0.67×10^{-3}	0.09
	B	0.71×10^{-2}	-0.55×10^{-2}	0.86×10^{-3}	0.09
	C	0.13×10^{-1}	-0.99×10^{-2}	0.12×10^{-2}	0.12
Gonial	A	0.52×10^{-2}	-0.59×10^{-3}	0.88×10^{-3}	0.60
	B	0.79×10^{-2}	-0.83×10^{-3}	0.11×10^{-2}	1.23
	C	0.14×10^{-1}	-0.14×10^{-2}	0.18×10^{-2}	1.24

Amount of the applied force was 450gm.

Directions of applied force were parallel (A), -7° (B) and -25° (C) to occlusal plane from first molar.

IV. 총괄 및 고찰

악골과 치아에 가해진 교정력에 대한 반응은 임상적, 조직학적, 역학적 관점에서 살펴볼 수 있다.

역학적 응력을 해석하기 위한 방법으로는 장력계측법 (strain guage method),^{38,39} holography 법,^{40,41} 광탄성법 (photoelastic method),⁴²⁻⁴³ 유한요소법이^{30-35, 38, 44-47} 있다.

장력계측법은 응력과 변위의 동시계측이 가능하며 생체 및 모형에 수압장치를 직접 부착시켜 정확하고 간단히 측정, 파악할 수 있다는 장점이 있으나, 수압장치의 소형화에 문제가 있으며 경계조건 변경은 용이하지만 경계부위에서의 측정이 어렵고 또한 내부응력의 측정이 불가능하며 실험조작이 복잡하다는 단점이 있다.

Holography 법은 입체형상물체의 전반적인 변위가 사진 한장에 나타나며 적용된 힘에 대한 반응을 3차원으로 나타낼 수 있으며 고정점의 설치문제를 해소할 수 있고, 간섭계측이기 때문에 물체의 표면이 조면이라도 계측이 가능하며, 극단의 시간차를 두고 LASER 를 발사하여 형성된 fringe 측정에 의하여 미세한 움직임도 알 수 있다는 장점이 있지만, 실험조건이 까다

롭고 골 내부변화 파악이 어려운 단점이 있다.

광탄성분석법은 편광기를 사용하여 물체내 응력분산 측정이 가능하나, 변위와 응력의 동시측정이 불가능하고 경계조건 변경을 할 수가 없으며, 모델 제작과 실험조작이 어렵다.

유한요소법은 고정점 설치가 어려우나 모델의 크기와 형태를 실물과 일치시키기가 용이하며, 역학적 특성이 다른 이질재료로 구성된 탄성 복합체의 모델화로 구성재료의 재료정수인 Young's 계수(E)와 Poisson's 을(v)을 탄성영역에서 용이하게 일치시킬 수 있으며, 복잡한 경계모양, 이방형 또는 비선형 재질도 쉽게 계측할 수 있으며, 세밀히 알고 싶은 부분은 미세하게 분할하면 정밀한 내부응력 계측도 가능하고, 경계조건과 실험조작 등은 컴퓨터를 이용하므로 program 이 완성되면 모델 재작성이나 경계조건, 하중조건 변경도 용이하다는 장점이 있으며, 최근 다양한 software 의 개발로 인해 구조역학분야에서 뿐만아니라 치의학 분야에서도 활발한 응용이 시도되고 있다.

본 연구에서는 상기의 방법중 보다 정확하고 장점이 두드러진 유한요소법을 이용하여 교정력의 방향에 따라 하악골내에 분포되는 응력과 변위를 측정하였으며, 종래의 연구와 비교시 요

소수 및 절점수를 증가시키고 6면체요소를 사용하여 응력균배의 연속성을 고양시켰다.

악외견인의 사용이라면 먼저 상악치열에의 적용을 연상할 정도로 주로 Angle 씨 II급 부정교합의 치료에 폭넓게 사용되어져 왔으나, 하악치열에 headgear 를 직접 적용하는 것에 대해서는 별로 보고된 바가 없다.

혼합치열에서 space regaining 을 위해 headgear 로 하악제 1 대구치를 원심견인시켰을 경우에 환자의 불편감, 교정력의 크기 조절과 적용방향 설정의 어려움 등을 이유로 비판적인 성향이 있으나, 무엇보다 하악치열에의 악외견인력 적용에 대해 아는 바가 적다라는 점이 더 크게 작용하고 있다고 사료된다.

III급 부정교합 치료를 위해 하악제 2대구치 발치후 하악제 1대구치를 원심이동시키는 방법은 다음과 같이 3가지로 대별할 수 있다.

상악치아를 anchorage 로 이용하여 하악제 1대구치 전방에 open coil spring 과 sliding hook(jig) 를 장착하여 Class III elastic 을 걸어주는 방법, lip bumper 와 같은 하순의 근육력을 이용하는 방법, 전치부 arch wire 에 J-hook 을 적용하거나 하악제 1대구치에 직접 cervical traction 을 가하는 악외견인 방법이 있다.

Haas⁴⁸⁾ 은 Class III elastic에 대한 anchorage 를 제공하기 위해 상악에 cervical traction 을 가하는 tandem mechanic으로 하악제 1대구치를 원심견인시켰는데, 하악제 1대구치는 치관부가 원심이동되고 치근부는 거의 변화를 보이지 않는 경사이동 양상을 보였다고 하였으며, Bergersen⁴⁹⁾ 은 labial bumper 를 사용하여 하악제 1대구치의 유사한 원심이동을 시켰다고 보고하였다.

본 연구에서는 cervical traction 에 의한 후방견인력을 하악제 1대구치에 직접 가하였는데, 변위는 중절치를 포함한 제 1대구치까지의 전치아에서 나타났으며 그 이동량은 후방으로 갈수록 증가하였고, 이동방향은 후방, 하방, 외방으로 나타났다.(Table.3)

이러한 결과는 제 2대구치 발거후 제 1대구치에 가하여지는 cervical traction 의 교정력은 제 1대구치를 포함한 전치아의 후방이동과 intrusion 및 외측이동을 유도할 수 있다는 것을 추정하게

하며 그 크기는 견인방향이 교합면과 평행일 때가 가장 강하였으므로 실제 임상에서 하악제 1대구치에 cervical traction 을 적용할 때에는 face bow 의 outer bow 와 inner bow 에 대한 조절을 통하여 치료목적에 부합하는 견인방향의 설정이 요구됨을 지적한다.

Ludwig⁵⁰⁾ 는 Class III mechanic 사용의 문제점은 상악구치부와 하악전치부의 정출에 기인된 교합평면의 원치않는 변화라고 하였다.

Kuhn²⁸⁾ 은 안면고경의 증가가 금기이고 오히려 압하가 요구되는 maximum anchorage 증례에서 하악대구치에 cervical headgear 사용을 제안하였으며, outer bow 의 위치에 따라 변화하는 효과를 분류했는데, 교합평면보다 outer bow 가 높은 경우에는 하악구치에 압하, 원심이동 그리고 치관부의 강한 원심회전 moment 가 발생하며, 교합평면보다 outerbow 가 낮은 즉 견인력이 저항중심점을 통과할 경우는 치체이동이 발생하며 outer bow 가 교합평면보다 낮은 경우는 하악의 개폐위치에 따라 미약한 압하 혹은 정출력이 발생하며 치근의 강한 원심회전 moment 가 발생한다고 하였다.

본 연구에서 하악제 1대구치는 견인방향에 무관하게 치관부보다 치근부가 약간 더 후방이동을 보여 치체이동 양상을 나타냈으므로 cervical traction 에 의한 하악제 1대구치에의 직접 원심견인은 Class III elastic 적용시 나타나는 상악구치의 정출유발과 이로 인한 하악의 하후방회전과 안면고경의 증가라는 문제점이 없이 하악치아를 하후방으로 이동시키는 술식이라고 사료된다.(Table.3 참조)

따라서 이러한 연구결과는 하악치열에 cervical traction 을 시행하여 중등도이하의 III급 부정교합 치료에 관해 연구한 Orton²⁹⁾ 의 결과에서 지적된 바와 같이 제 1소구치 발거나 비발치에 의해 치료하는 것보다는 제 2대구치 발치 증례가 치료기간이 단축되며 보다 좋은 치료결과를 유도할 수 있다는 사실을 역학적으로 뒷받침한다고 할 수 있다.

Cozzani¹⁶⁾ 는 악외견인과 III급 부정교합치료에 관한 연구에서 상악골은 정상이나 하악골이 과성장한 증례와 상악골 열성장과 하악골 과

성장을 지닌 증례에서 하악치열의 악외견인을 사용하였고, 하악제 1대구치에 Kloeohn type의 facebow를 사용하는 방법과 전치부에 J-hook를 사용하는 방법을 소개하였으며, 악외견인시 기대되는 효과로서 하악골의 후방재위치, 치아의 교정적 후방이동, 안면고경 조절의 용이, 하악골 성장과 발육에의 영향등을 보고하였으나, 하악치아에 직접 적용된 악외견인력이 하악측두관절부에 위해한지 여부에 확답을 주는 문헌은 매우 적다.⁵¹⁾

Janzen⁵²⁾은 rhesus monkey의 하악체에 연속적인 후방력과 상방력을 가하였을 때 하악과두의 성장이 정지 혹은 지연되었고 하악지 고경과 하악체 장경의 정상적인 증가가 줄었으며 하악과두의 단소와 비후가 관찰되었으나 하악측두관절부에 염증성 또는 퇴행성 변화의 증후는 없었고 하악과두와 관절와 후연의 remodeling 있었다고 보고함으로써, 하악과두에 직접 가하여지는 교정력은 하악과두 및 관절와에 변화를 유도할 수 있음을 제시하고 있다.

본 연구에서 일관되게 하후외방의 변위를 보인 하악골의 여타 부위와는 달리, 관상돌기부는 하전외방이동을, 하악과두경부의 전,내측중앙부는 하전내방이동을 후, 외측중앙부는 상전내방이동을 보였는데, 이는 하악골의 고정점을 관절와의 하악과두상부에 두었기 때문이라고 추정되며 그리고 하악과두경부의 전방부에서는 인장응력이 중앙부와 후방부에서는 압축응력이 현저하게 작용되고 있음을 고려할 때 상기추정의 타당성이 인정된다고 사료된다.

본 연구에서 하악과두경부는 모든 하악골 부위 중에서 최대의 응력 집중을 보였음이 특징이다. (Table. 7)

이는 하악제 1대구치에 적용된 후방견인력이 하악골의 여러 부분 중에서도 특히 하악과두경부에 집중적인 응력과 변위를 나타낸다는 것이다.

그러나 Janzen의 연구결과와 똑같은 변화가 하악과두경부에서 일어날 것이라고는 볼 수 없으나, 응력의 집중이 하악골 중에서 과두경부에서 발생하였다는 것은 chin cap의 적용력을 유한요소법적으로 분석한 조³¹⁾의 연구결과와 유사한 것이며, 하악과두 및 관절와에 변화를 유도할 수

있다는 흥미로운 결과인 까닭에 장차 동물실험을 통하여 cervical traction에 의한 효과가 파악된다면, 사춘기성장 이전의 골격성 III급 부정교합자의 제 1대구치에 가하여진 악외견인력이 하악치아의 교정적 후방이동뿐만 아니라 하악골 성장과 발육에 미치는 영향이 보다 밝혀질 것으로 사료된다.

V. 결 론

청년기에 해당하는 건조하악골에 제 2대구치를 발거한 후, 제 1대구치에 cervical traction을 적용할 때 나타나는 변위와 응력을 3차원 유한요소법으로 분석하였다.

견인력의 방향은 정중시상면과 40°를 이루면서 교합면과 평행, 하방 7°, 하방 25°의 3방향으로 나누고 편측당 450 gm의 하중을 주어 원심견인 하였다고 가정하였으며, 치아와 하악골 각 부위에서 발생하는 변위량과 주응력을 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하악치아는 하방이동이 가장 현저하게 이루어지고 후방이동, 외방이동의 순으로 이동하였으며, 교합면과 평행하게 후방견인 하였을 때 주응력이 가장 크게 나타났다.

2. 하악제 1대구치는 치체이동되었다.

3. 하악치조골, 하악체, 하악지, 하악우각부는 전반적으로 하, 후, 외방으로 이동하였으나, 관상돌기부는 하, 전, 외방으로 하악과두 및 경부의 전, 내측중앙부는 하, 전, 내방으로 하악과두 및 경부의 후, 외측중앙부는 상, 전, 내방으로 이동되었다.

4. 모든 하악골 부위중에서 하악과두 및 경부에 최대의 응력집중을 보였으며, 견인방향이 교합면에서 멀어질수록 그 응력은 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Coben, S.E.: The integration of facial skeletal variants, Am. J. Orthod., 41: 407-433, 1955.
2. Altemus, L.A.: Frequency of the incidence

- of malocclusion in American Negro children aged 12 to 16, *Angle Orthod.*, 29: 189, 1959.
3. Ast, D.B., et al.: The prevalence and characteristics of malocclusion among senior high school students in upstate New York, *Am. J. Orthod.*, 51: 437-445, 1965.
 4. Huber, R.E., et al.: A dentofacial study of male students at the Univ. of Michigan in the physical hardening program, *Am. J. Orthod.*, 32: 1-21, 1936.
 5. Massler, M., et al.: Prevalence of malocclusion in children aged 14-18 years, *Am. J. orthod.*, 37: 751-768, 1951.
 6. 서정훈 : 부정교합 환자의 내원 상황에 관한 연구, *대한치과의사협회지*, 19:1027-1030, 1981.
 7. 유영규, 김남일, 이효경 : 연세대학생 2,378명을 대상으로 한 부정교합빈도에 관한 연
 8. 이기수 : 하악전돌증에 관한 방사선 두부계측학적 연구, *대한치과교정학회지*, 9:85-98, 1979.
 9. Jacobson, A. et al.: Mandibular prognathism, *Am. J. Orthod.*, 66: 140-171, 1974.
 10. 정규림 : 측면적 계측에 의한 하악골 성장에 관한 연구, *대한치과교정학회지*, 17:215-221, 1987.
 11. Biederman, W.: Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion, *Am. J. Orthod.*, 63: 47-55, 1973.
 12. Haas, A.J.: Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture, *Angle Orthod.*, 31: 73-90, 1961.
 13. Harverson, V.A.: Midpalatal suture opening during functional posterior cross-bite correction, *Am. J. Orthod.*, 74: 310-313, 1978.
 14. Issacson, R.J., et al.: Forces produced by rapid maxillary expansion, *Angle Orthod.*, 24: 256-267, 1969.
 15. Timms, D.J.: A study of basal movement with rapid maxillary expansion, *Am. J. Orthod.*, 77: 500-507, 1980.
 16. Cozzani, G.: Extraoral traction and Class III treatment, *Am. J. Orthod.*, 80: 638-650, 1981.
 17. Dellinger, E.L.: A preliminary study of anterior maxillary displacement, *Am. J. Orthod.*, 63: 509-516, 1973.
 18. Irie, M., et al.: Orthopedic approach to severe skeletal Class III malocclusion, *Am. J. Orthod.*, 67: 377-392, 1975.
 19. Simonsen, R.,: The effect of face mask therapy, *Am. J. Orthod.*, 82: 439, 1982.
 20. Hideo, M., et al.: Chin cap forces to a growing mandible, *Angle Orthod.*, 54: 93-122, 1984.
 21. Graber, T.M., et al.: *Current orthodontic concept and technique*, 2nd ed., W.B. Saunders Co., 1-100, 1975
 22. Liddle, D.W.: Second molar extraction in orthodontic treatment, *Am. J. Orthod.*, 72: 599-616, 1977.
 23. Quinn, G.W.: Extraction of four second molars, *Angle Orthod.*, 58-69, 1985.
 24. Dacre, J.T.: The criteria for lower second molar extraction, *Brit. J. Orthod.*, 14: 109, 1987.
 25. 정현수 : 하악제 2대구치 발거를 시행한 앵글 제 3급 부정교합의 치험예, *대한치과교정학회지*, 24:59-71, 1986.
 26. Richardson, M.E.: The effect of lower second molar extraction on late lower arch crowding, *Angle Orthod.*, 53: 25-28, 1983.
 27. Rindler, A.: Effects on lower third molars after extraction of second molars, *Angle Orthod.*, 47: 55-58, 1977.
 28. Kuhn, R.: Control of anterior vertical dimension and proper selection of extraoral anchorage, *Angle Orthod.*, 38: 340-349, 1968.
 29. Orton, H.S.: The management of Class III and Class III tendency occlusions using headgear to the mandibular dentition, *Brit. J. Orthod.*, 10:2 - 12, 1983.
 30. Knoell, A.C.: A mathematical model of an in vitro human mandible, *J. Biomechanics*, 10 : 159-166, 1977.
 31. 조호구 : 정형력에 대한 하악골내의 응력분산과 변위에 관한 유한요소법적 분석, *대한치과교정학회지*, 14:75-92, 1984.
 32. 한무현 : 유한요소법에 의한 telescopic crown과 지대치 및 지지조직의 역학적 반응에 관한 연구, *경희치대논문집*, 4:241-258, 1982.

33. 大曲孝治 : 下類 FEM モデルにおける咬合力の應力分布に關する研究, 日本補綴齒科學會雜誌, 22:574-579, 1978.
34. 新井泉 : 咬合力の齒牙・齒周組織に及ぼす應力に關する力學的 研究, 日本補綴齒科學會雜誌, 22:865-875, 1978.
35. Wright, K.W.J., et al.: Reactive force distributions for teeth when loaded singly and when used as fixed partial denture abutments, *J. Prosth. Dent.*, 42: 411-416, 1979.
36. Berman, M.: Directional forces, *Brit. J. Orthod.*, 3: 131-137, 1976.
37. Merrifield, L.L., et al.: Directional forces, *Am. J. Orthod.*, 57: 435-464, 1970.
38. 김현순 : 경부고정 heagear 사용시 안면 두개골의 변위에 관한 장력계측법 및 유한요소법적 연구, 대한치과교정학회지, 17: 185-198, 1987.
39. Weijs, W.A., et al.: Strain in mandibular alveolar bone during mastication in the rabbit, *Arch. Oral Biol.*, 22: 667-675, 1977.
40. 김충배 : laser holography 를 이용한 상악 headgear 견인에 따른 안면두개골의 초기반응에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 16:31-39, 1986.
41. Kragt, G., et al.: The initial reaction of a macerated human skull caused by orthodontic cervical traction determined by laser metrology, *Am. J. Orthod.*, 81: 49-59, 1982.
42. 김광호 : 각종의 headgear 를 사용한 정형력이 두개안면골에 미치는 영향에 대한 광탄성적 연구, 대한치과교정학회지, 16:71-85, 1986.
43. de Alba, J.A., et al.: Effect of orthodontic intermaxillary Class III mechanics on craniofacial structures (part 1 : photoelastic analysis), *Angle Orthod.*, 49: 21-28, 1979.
44. 堤定美 : 有限要素法の 基礎, 國際齒科ジャーナル, 5:231-241, 1977.
45. 田中眞理子 : 有限要素法による應力解析の基本的な例, 九州齒科大學進學課程研究紀要, 10:11-18, 1979.
46. 김항욱 : 유한요소법의 기본이론과 응용(I), 대한기계학회지, 16:339-344, 1976.
47. 이증홍 : 유한요소법, 대한기계학회지, 13: 203-208, 299-302, 1973.
48. Haas, G.H.: An assessment of tandem mechanics, *Angle Orthod.*, 40: 234-248, 1970.
49. Bergersen, E.O.: A cephalometric study of the clinical use of the mandibular labial bumper, *Am. J. Orthod.*, 61: 578-602, 1972.
50. Ludwig, M.K.: Auxiliary application of the Kloehn type face bow, *Angle Orthod.*, 36: 94-98, 1966.
51. Gianelly, A.: Mandibular cervical traction in the treatment of Class I malocclusions, *Am. J. Orthod.*, 60: 257-263, 1971.
52. Janzen, E.K., et al.: The cephalometric, anatomic, and histologic changes in *Macaca mulatta* after application of a continuous-acting retraction force on the mandible, *Am. J. Orthod.*, 51: 823-855, 1965.

- ABSTRACT -

A FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE DISPLACEMENT AND STRESS DISTRIBUTION OF HUMAN DRY MANDIBLE DURING THE MANDIBULAR FIRST MOLAR CERVICAL TRACTION

Eui-Young Ahn, D.D.S., M.S.D., Kyu-Rhim Chung, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Orthodontics, College of Dentistry,
Kyung Hee University.*

This study was undertaken to analyze the displacement and stress distribution in the mandible according to the pulling directions during mandibular first molar cervical traction after mandibular second molar extraction.

The 3-dimensional finite element method(FEM) was used for a mathematical model composed of 594 elements and 1019 nodes.

An orthodontic force, 450 gm, was applied to the each mandibular first molar in parallel, and below the occlusal plane by 7° and 25° and meet the midsagittal plane by 40° toward posterior direction.

The results were as follows:

1. Mandibular teeth were displaced in more downward, posterior and lateral direction. Especially high stress was noted in case of parallel pull than in case of below the occlusal plane by 7° and 25° .
2. Mandibular first molar was moved bodily.
3. Generally, alveolar bone, mandibular body, ascending ramus and mandibular angle portion were displaced in downward, posterior and lateral direction. But coronoid process was displaced in downward, forward and lateral direction, and anterior and inner middle portion of condyle head and neck were displaced in downward, forward and medial direction, and posterior and outer middle portion of condyle head and neck were displaced in upward, forward and medial direction.
4. Maximum stress was observed at the condyle head and neck portion. With steeper direction of force, condyle head and neck showed more stress than parallel relation to the occlusal plane.

논문사진부도



Fig.1. 측면에서 본 건조두개골과 하악골

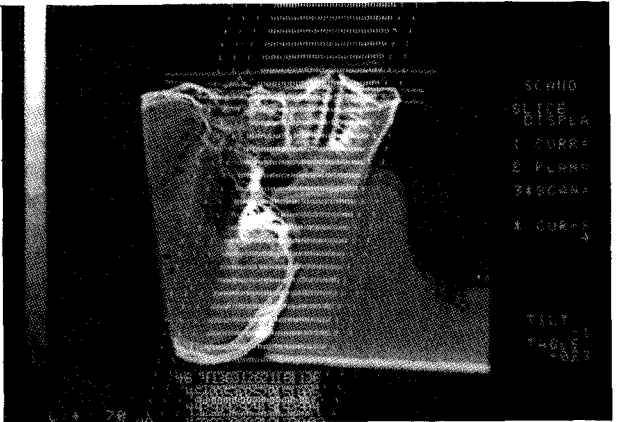


Fig.2. 컴퓨터 단층사진 70매 촬영 (하악골 .36매)



Fig.3. 하악치아의 치관부 정상이 표현된 컴퓨터 단층사진

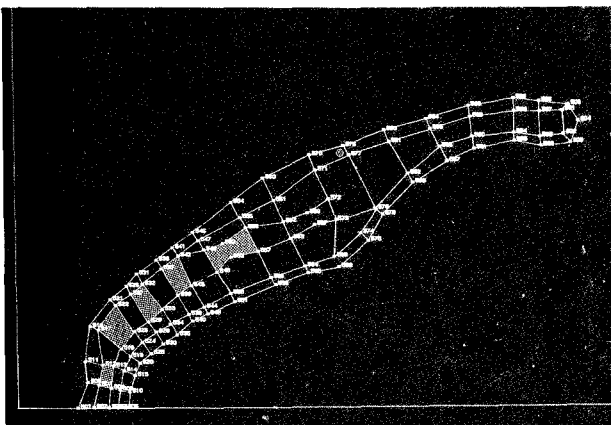


Fig.5. Fig.3의 편측만을 이용하여 제작된 유한요소 모델

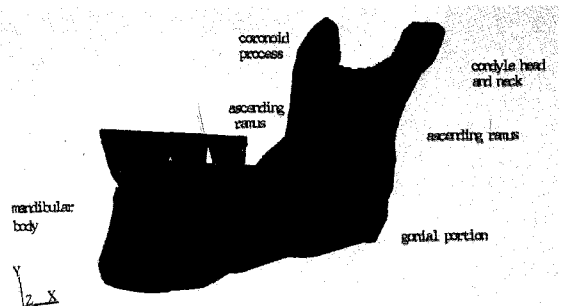


Fig.6. 측면에서 본 유한요소 모델