

# 整形力에 對한 下顎骨內的 應力分散과 變位에 關한 有限要素法的 分析

慶熙大學校 大學院 齒醫學科 矯正學專攻  
(指導教授 李 起 受)

趙 虎 九

## 一 目 次

- I. 緒 論
- II. 研究材料 및 研究方法
- III. 研究結果
- IV. 總括 및 考察
- V. 結 論
  - 參考文獻
  - 英文抄錄

## I. 緒 論

齒科矯正學의 歷史中에는 人爲的으로 顎骨의 成長을 促進 및 抑制시키기 위한 많은 矯正裝置가 使用되어온 記錄이 있으며 그중의 하나인 頤帽裝置(chin cup appliance)는 下顎骨의 前方成長을 抑制시키는 成長方向의 誘導를 目的으로 下顎骨에 抑制力을 加하는 裝置로서 오늘날까지도 下顎前突의 豫防 및 治療에 利用되어 오고 있다.

Mayans 같은 인디안은 顔面頭蓋骨의 美를 創造하기 위하여 乳兒의 鼻骨部位에 壓力을 加하여 顔面頭蓋骨의 形態를 變化시켰으며, 中國女人들은 足を 묶어서 小足を 만들기도 하였었다.<sup>1)</sup>

整形力(orthopedic force)의 使用은 近來의 새로운 方法이 아니며 Cellier(1802)와 Fox(1803)가 오늘날의 頤帽裝置와 비슷한 裝置를 考案하여 처음 使用한 以來, 1800年代 後半에 Farrar, Kingsley 및 Angle도 頤帽裝置를 利用하여 下顎骨에 整形力을 附與하였으나 初期에는 이 裝置에서 나오는 整形力이 너무 적어서 下顎骨의 成長機轉에 큰 影響을 주

지 못하였으며 또 治療時期도 顔面骨의 成長이 完全히 끝난후에 始作하였고 成長誘導에 關한 臨床的인 概念도 없었기 때문에 失敗率이 높았었다.<sup>2)</sup>

Graber와 Swain<sup>25)</sup>은 頤帽裝置 裝着時 整形力의 方向은 一般的으로 下顎骨 結合部로 부터 下顎顆頭로 向하게 하고 이를 上方牽引(high pull)이라 稱하였으며, 開咬가 隨伴된 境遇는 整形力의 方向을 보다 垂直되게 한다고 報告하였고(vertical pull), 整形力의 크기는 처음에는 100~200gm으로 徐徐히 適應시킨 後 400~800gm까지 增加시킨다고 하였으며, 松井<sup>6)</sup>은 400~1000gm 範圍의 整形力이 보다 適當하다고 報告하였다.

頭部計測X線 規格寫眞의 撮影法이 Broadbent<sup>19)</sup>에 依하여 紹介된 以後로 矯正治療 前後의 變化에 關한 研究가 可能 하여졌으며 이 方法을 利用하여 Foster<sup>22)</sup>와 Alexander<sup>14)</sup>는 灰白髓炎(poliomyelitis)과 脊椎彎曲症(scoliosis)을 治療하기 위하여 milwaukee brace가 使用되는 동안 下顎角의 減少 및 下顎骨의 成長方向의 變化를 觀察한 後 整形力이 下顎骨의 成長과 形態에 影響을 줄 수 있다고 報告하였다. Irie와 Nakamura<sup>27)</sup>은 頤帽裝置를 使用하여 下顎前突을 治療한 後 角ANB의 增加 및 下顎角의 減少를 報告하였으며, Graber<sup>23)</sup>는 下顎骨의 後方回轉과 下顎角 및 下顎顆頭 成長의 減少를 報告하였다.

Janzen과 Bluer<sup>28)</sup>는 원숭이의 下顎骨에 頤帽裝置를 裝着한 結果 下顎顆頭의 後面은 骨吸收로 扁平하게 되었고 前面은 骨沈着이 일어났으며, 副次的으로 整形力이 咬合을 通하여 上顔面部에 影響을 미친 結果로 鼻上顎骨 複合體에도 약간의 變化가 나타났었다고 報告하였으며, Monson과 Felts<sup>21)</sup>는

위의 上膊骨에 壓力을 加하여 永久的인 變形을 招來케 할 수 있었으나, 이때 骨의 總容積은 正常的인 限界內에 있었으며 단지 成長方向이 變化되어 貌樣의 變化가 일어났다고 報告하였다.

Epker와 Frost<sup>21)</sup>는 骨이 機械的으로 屈曲이 되면 變形된 骨 表面에는 電流가 發生되어 引張部에서는 陽電荷을, 壓縮部에서는 陰電荷을 띠며 陽電荷을 띤 骨表面은 骨의 吸收가, 陰電荷을 띤 骨表面은 骨沈着이 일어나 最終的으로 骨의 remodeling이 일어날 수 있다는 piezoelectric effect를 報告하였다. Storey<sup>25)</sup>는 骨을 屈曲시켰을때 膠原質, 膠原質과 水酸化燐灰石의 界面(interface) 및 基質의 粘液多糖類에서 電荷을 發生시키며 이것이 造骨細胞와 破骨細胞의 活性에 影響을 미쳐서 結果的으로 骨의 remodeling이 일어날 것이라고 報告하였다.

鈴木<sup>4)</sup>, 清村<sup>7)</sup>, Graber<sup>23)</sup>의 臨床的인 研究에 依하면 頤帽裝置를 裝着한 結果 下顎骨의 後方回轉에 의한 位置轉換(relocation)과 下顎體와 下顎枝의 成長遲延 및 下顎角의 減少에 의하여 下顎骨 實長의 減少가 일어났다고 報告하였으며, Baume<sup>15, 16)</sup>, Breitner<sup>17, 18)</sup>, Chalier<sup>20)</sup>은 動物實驗을 通하여 整形力이 下顎骨의 主要成長部位인 下顎顆頭 軟骨組織의 成長을 抑制시킬 수 있다고 報告하였다.

以上과 같이 頤帽裝置 裝着時 下顎骨에 關한 臨床 및 動物實驗 報告가 있었으나 整形力에 의하여 remodeling이 誘發될 수 있는 下顎骨內 屈曲效果(bending effect)에 關한 研究는 未洽한 것으로 思料되었다. 本 研究는 三次元 有限要素法을 利用하여 整形力의 方向에 따라 下顎骨內 各 部位에 分散되는 應力과 變位를 比較分析한 後 下顎骨內 屈曲效果를 究明하기 위하여 施行되었으며 多少의 知見을 얻었기에 이를 報告하는 바이다.

## II. 研究材料 및 研究方法

整形力에 對한 下顎骨內의 應力分散과 變位에 關한 特性을 觀察하기 위하여 操作의 便宜性 때문에 人體의 下顎骨과 類似한 下顎骨模型(大成實業社製)을 使用하였고, 左右가 同型이라는 假定下에서 偏側 下顎骨에 對한 三次元 有限要素모형을 製作하였다. 有限要素法이란 有限의 連續體를 有限個의 要素의 集合體로 生覺하고 各 要素들의 現象은 要素의 節點(nodal point)을 通하여 傳達된다고 假定하고 個個要素의 現象을 計算하여 이것을 連續시켜서 全體의 現象을 把握하는 方法이다.

本 研究에 있어서는 下顎骨을 1個의 要素가 8個의 切點을 갖는 總 216個의 六面體要素로 分割하였고, 이들은 總 496個의 切點을 가지고 있었다. 各 要素의 現象은 微細하게 分割할수록 正確性이 커진다는 이<sup>1)</sup>와 Zienkiewicz<sup>42)</sup>의 主張에 따라 齒牙, 齒槽骨, 齒根端部, 下顎顆頭 및 顎部는 보다 細密하게 分割하였으며, 各各의 要素와 切點에는 固有番號를 附與하였다. (Table 1, Fig. 1 參照)

應力分散과 變位에 關한 三次元分析을 하기 위하여 三次元座標를 構成하였으며, X軸은 下顎下緣에 一致되게하여 前後方의 應力과 變位를, Y軸은 X軸에 垂直이 되며 上下方의 應力과 變位를, Z軸은 X, Y軸에 直角이 되며 頰舌方向의 應力과 變位를 分析할 수 있게 하였다. (Fig. 2 參照)

整形力의 分散과 變位를 解析하기 위한 固定點(fixed point)은 頭蓋底와 連結되는 關節窩內의 下顎顆頭に 두었으며 이 點에서 下顎骨 全體가 固定되는 것으로 假定하였다.

頤帽裝置에 依한 整形力은 下顎骨 頤部の 表面에 加하여 지나 本 研究에서는 頤部의 一點인 gnathion

Table 1. Number of hexahedral elements and nodal points.

Portions of the mandible	Tooth	Condyle head	Coronoid process	Mandibular body & ramus
Number of elements	53	24	27	112
Total number of nodal points	496			

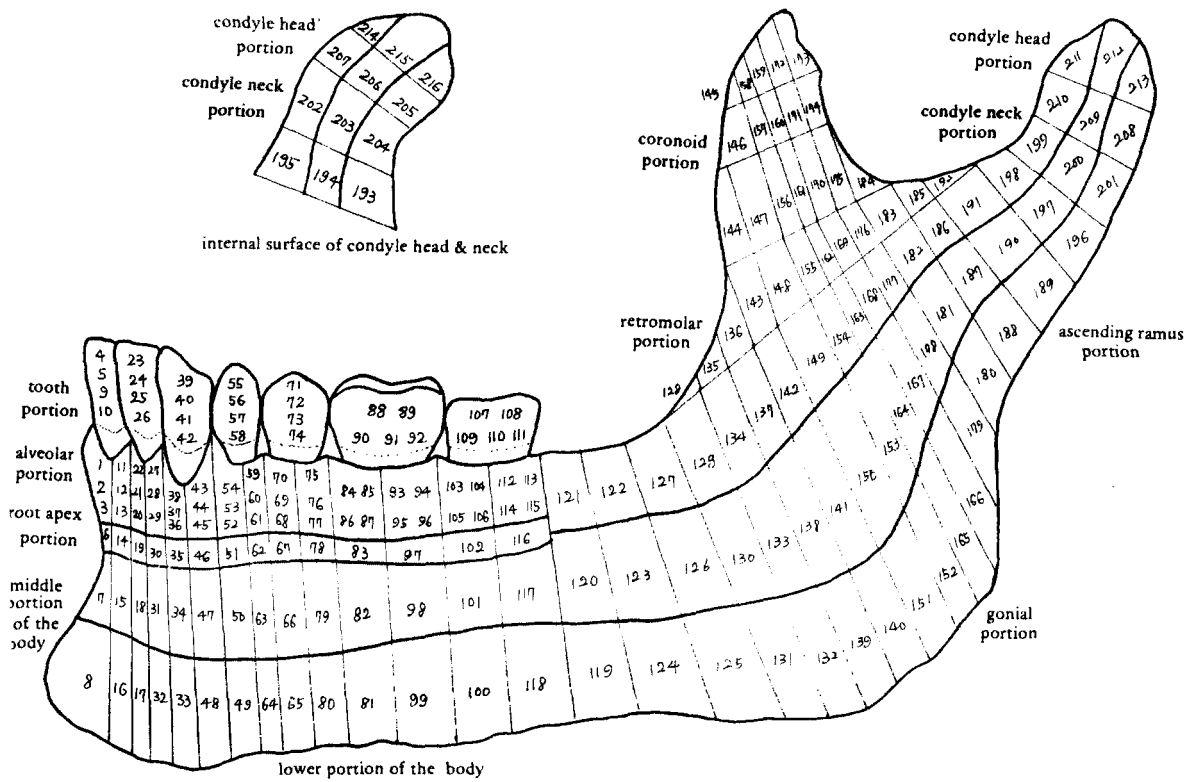


Fig. 1. A model with 216 hexahedral elements and 496 nodal points used in this study. (external surface)

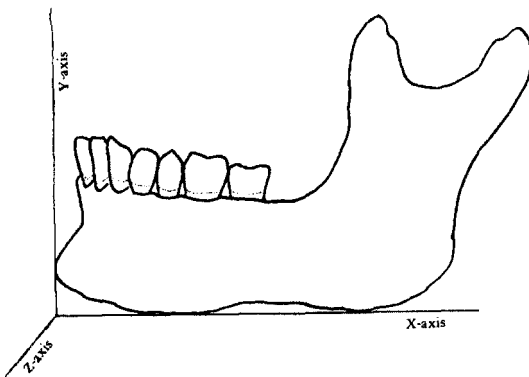


Fig. 2. Co-ordinates used for analyzing stresses and displacements.

에 加하여 진다고 假定하였으며 整形力의 方向에 따른 下顎骨內의 應力과 變位를 比較하기 爲하여 垂直牽引(vertical pull), 上方牽引(high pull), 中間牽引(medium pull)의 三種類의 方向을 다음과 같이 設定하였다. (Fig. 3 參照)

垂直牽引: gnathion에서 下顎枝 後緣의 接線에 平行한 方向

上方牽引: gnathion에서 下顎顆頭의 中央點을 連

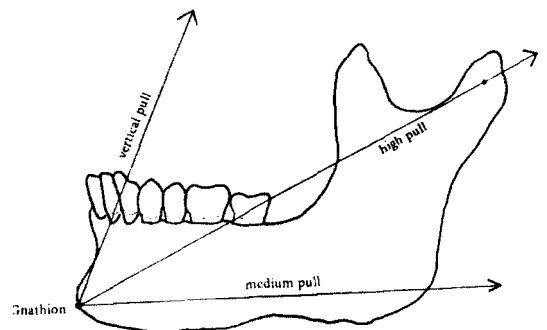


Fig. 3. Directions of the applied orthopedic force.

結한 方向

中間牽引: gnathion에서 下顎體 下緣의 接線에 平行한 方向

本 研究에 使用된 三次元 有限要素모델은 便宜上 珐瑯質, 象牙質, 緻密骨 및 海綿骨로 構成된다고 假定하였으며 上記 4 가지 材料의 力學的 性質인 Young's 係數(E)와 Poisson's 率( $\nu$ )은 Table 2와 같다<sup>40)</sup>

Table 2. Mechanical properties of each material.

Property Material	Young's Modulus(E) (Kg/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio (ν)
Enamel	4900	0.3
Dentin	1400	0.28
Compact bone	1200	0.33
Cancellous bone	18	0.45

以上과 같은 資料와 條件下에서 應力分散과 變位에 關한 三次元 解析program에 各 要素番號, 切點番號, 各 切點의 X, Y, Z座標 및 下顎骨의 Young's 係數와 Poisson's 率을 入力한<sup>4</sup> 後 500gm의 整形力을 下顎骨 最前下方點인 gnathion에서 上記 三種類의 方向으로 加한 다음 各各의 要素가 X, Y, Z 方向으로 일어나는 變位, 單位面積當 받는 主應力 (principal stress) 및 bending moment를 算出하여 相互 比較檢討하였다.

### Ⅲ. 研究 成績

本 研究에서는 有限要素法을 利用하여 下顎骨의 各 要素가 받는 主應力 및 變位를 計算하였으나 個 要素를 모두 觀察하기는 困難하므로 下顎骨을 切 齒部, 犬齒 및 小臼齒部, 第一大白齒部, 隅角部, 下 顎枝部, 冠狀突起部, 下顎顆頭 및 頸部로 나누어 觀察하였으며 齒牙部分은 整形力을 加할시 應力의 分散 및 變位가 나타났으나 下顎骨의 屈曲에 있어 서 큰 影響이 없을 것으로 思料되어 本 研究成績에 서는 除外하였다.

#### 1. 下顎骨內 主應力과 bending moment의 分布

上方牽引時에는 下顎體의 切齒部와 犬齒 및 小臼 齒部의 齒槽骨部, 臼齒後方部, 冠狀突起의 後緣部, 下顎顆頭 및 頸部의 前緣部에서 壓縮應力의 分布가 나타났으며, 他部位에서는 引張應力이 나타났다. (Fig.4 參照)

垂直牽引時에는 上方牽引時와 비슷한 樣相을 보 여 주었으며 (Fig.5 參照), 中間牽引時에는 上方 및 垂直牽引時와는 달리 下顎體의 切齒部, 犬齒 및 小 臼齒部와 第一大白齒部의 下緣, 下顎枝와 下顎顆頭

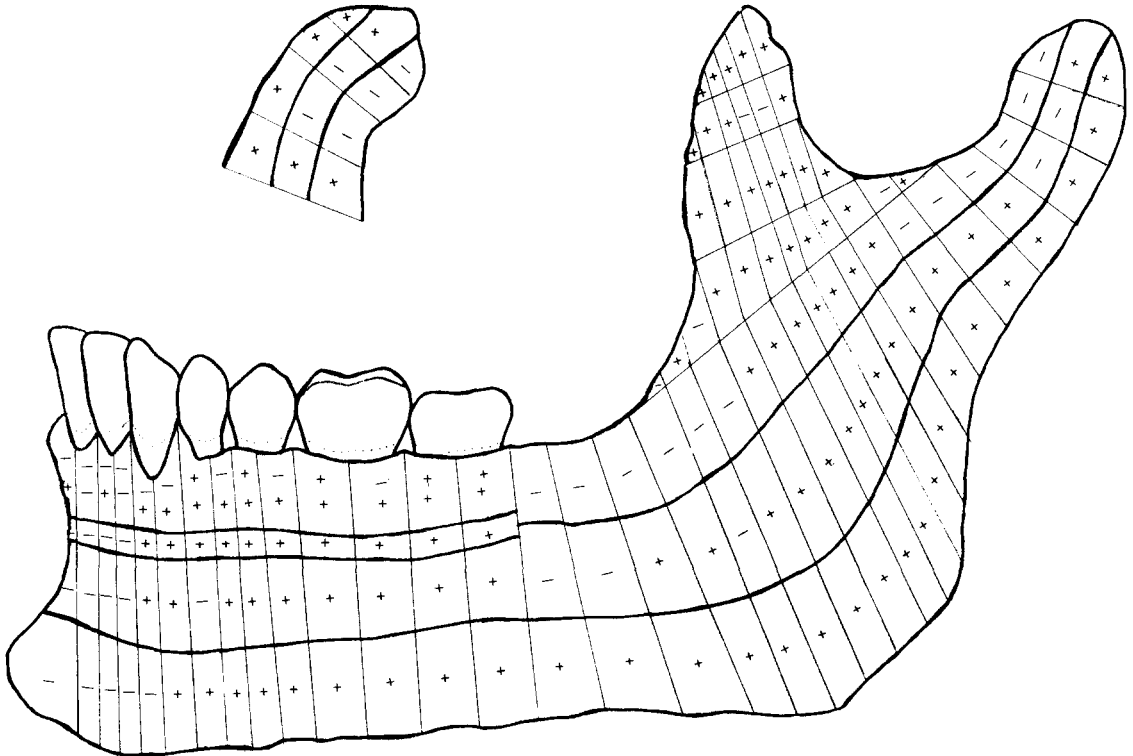


Fig. 4. Tension (+) and compression (-) in the mandible as applied high pull traction.

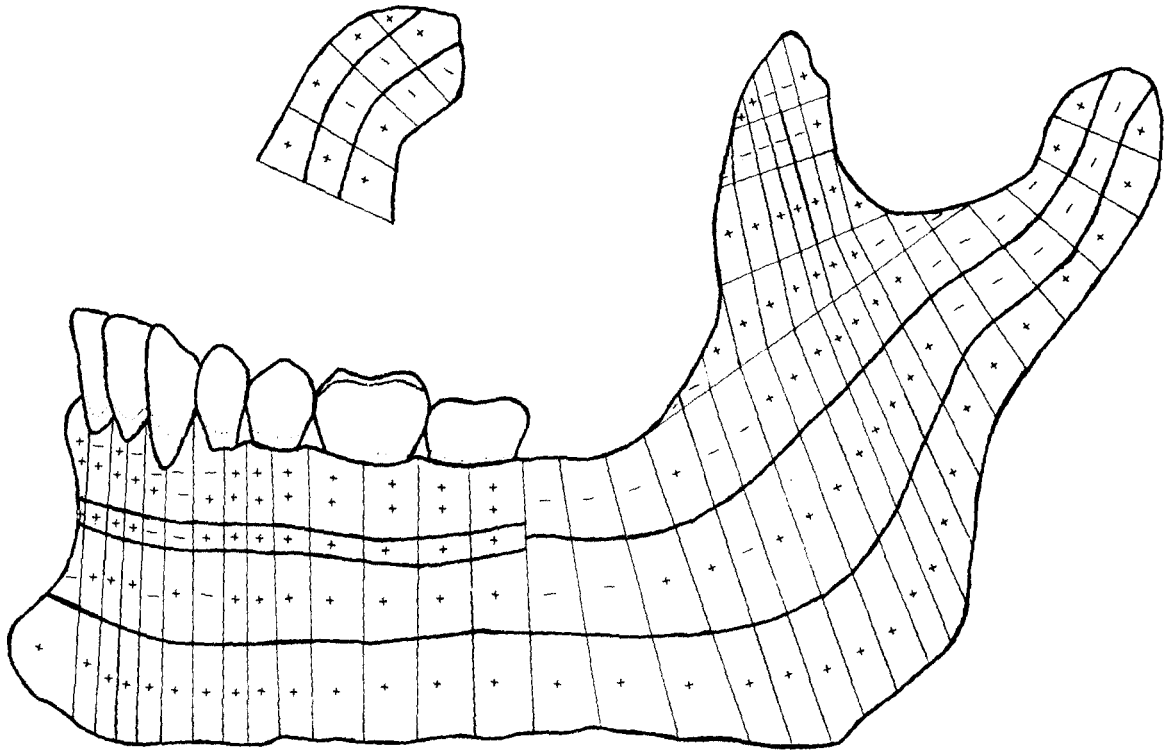


Fig. 5. Tension (+) and compression (-) in the mandible as applied vertical pull traction.

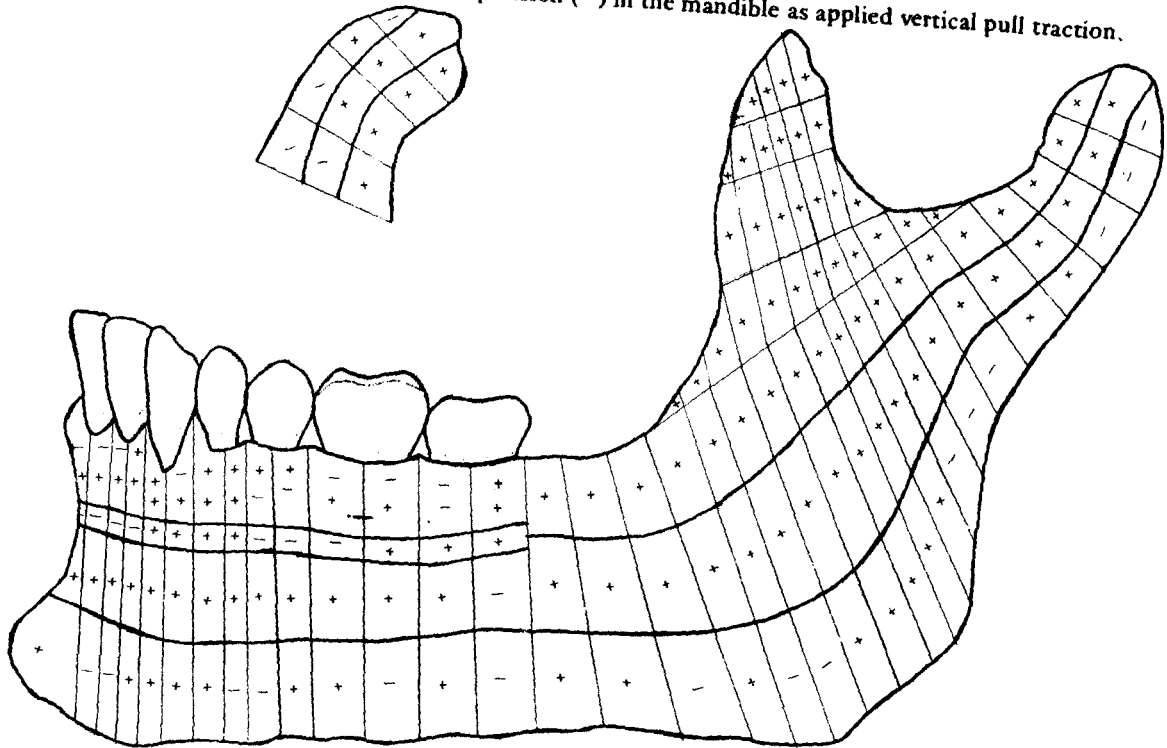


Fig. 6. Tension (+) and compression (-) in the mandible as applied medium pull traction.

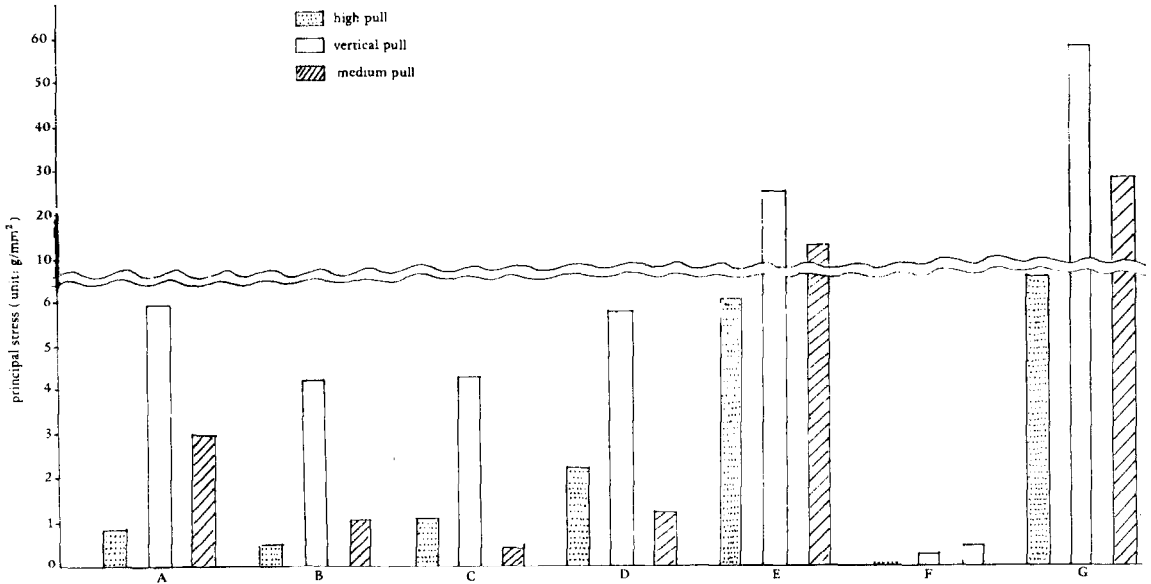


Fig. 7 Principal stresses in the incisor portion (A), cuspid and bicuspoid portion (B), 1st molar portion (C) of the mandibular body, gonial portion (D), ascending ramus portion (E), coronoid portion (F), condyle head and neck portion (G).

및 顎部の 後緣部에서 壓縮應力の 分布가 나타났으며 他部位에서는 引張應力이 나타났다. (Fig. 6參照)

下顎骨內 各 部位에 分布되는 主應力을 相互比較하여 보면, 上方牽引時에는 下顎顎頭 및 顎部, 下顎枝部 및 隅角部에서 보다 크게 나타났으며, 下顎體의 切齒部, 犬齒 및 小白齒部, 第一大臼齒部 및 冠狀突起部에서는 보다 적게 나타났다. 垂直牽引時는 上方牽引時와 비슷한 樣相을 보이나 全 部分에서 應力이 크게 나타났으며, 中間牽引時에는 거의 全 部分에서 應力이 上方牽引時보다는 크고 垂直牽

引時 보다는 적게 나타났다. (Fig. 7 參照)

下顎骨內 各 部位에서 일어나는 bending moment는 Table 3과 같이 算出되었으며 bending moment가 크면 클수록 屈曲이 더 많이 일어난다. 下顎骨의 bending moment는 下顎骨 各 部位마다 큰 差異가 있으나 一般的으로 垂直牽引時 가장 크고, 上方牽引時 가장 적었다. 上方牽引時 bending moment는 隅角部에서 가장 크고 冠狀突起部, 下顎枝部, 下顎顎頭 및 顎部, 犬齒 및 小白齒部, 第一大臼齒部 順으로 나타났으며, 垂直牽引時에는 下顎顎頭 및

Table 3. Bending moments in each portion of the mandible.(unit: g x mm)

Portions of the mandible	Direction		
	Vertical pull	High pull	Medium pull
Incisor	50	20	30
Cuspid & bicuspoid	1,200	130	650
First molar	1,100	120	800
Mandibular angle	2,500	1,250	250
Ascending ramus	2,300	700	800
Coronoid process	2,500	750	700
Condyle head & neck	2,600	150	1,500

頸部, 冠狀突起部, 隅角部, 下顎枝部에서 共히 크게 나타났으며, 犬齒 및 小白齒部, 第一大臼齒部の 順이었으나 다른 牽引에 比하여 크게 나타났다. 中間牽引時에는 下顎頰頭 및 頸部에서 가장 크게 나타났으며, 下顎枝部, 冠狀突起部, 犬齒 및 小白齒部, 第一大臼齒部, 隅角部順으로 나타났으며, 切齒部는 各 牽引時 共히 가장 적게 나타났다.

## 2. 下顎骨의 屈曲效果

一般的으로 한개의 物體에 壓縮應力과 引張應力이 相反되게 發生하면 壓縮應力이 發生한 部分에서 引張應力이 發生한 部分으로 物體의 屈曲이 일어나는 物理的 現象이 나타난다.

下顎體의 切齒部에서의 屈曲效果는 上方牽引時에는 齒槽骨部, 中央部 및 下緣部는 後方과 下方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로는 齒槽骨部와 下緣部는 外方, 中央部는 內方으로의 屈曲을 나타냈다. 垂直牽引時에는 齒槽骨部, 中央部, 下緣部 모두 上方牽引時와 同一하게 後方 및 下方으로의 屈曲을 나타냈고, 側方으로는 齒槽骨部와 中央部는 外方, 下緣部는 內方으로 나타나 上方牽引時와 差異를 보였다. 中間牽引時에서 齒槽骨部, 中央部, 下緣部는 上方牽引 및 垂直牽引時와는 달리 前方과

上方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 同一하게 齒槽骨部와 下緣部는 外方, 中央部는 內方으로의 屈曲을 나타냈다. 이 部分에서의 屈曲效果는 垂直牽引時 가장 크고 그 方向은 主로 後方 및 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位의 量은 上下方으로 크게 나타났으며 內外方으로는 적게 나타났다. (Table 4 參照)

下顎體의 犬齒 및 小白齒部에서의 屈曲效果는 上方牽引時에는 齒槽骨部, 中央部 및 下緣部는 後方과 下方 및 外方으로의 屈曲이 나타났다. 그러나 垂直牽引時에는 모든 部分에서 上方牽引時와 同一하게 後方과 下方으로의 屈曲이 나타났으나, 側方으로의 屈曲은 齒槽骨部는 外方으로, 中央部와 下緣部는 上方牽引時와는 달리 內方으로의 屈曲이 나타났다. 中間牽引時에는 齒槽骨部, 中央部, 下緣部 모두 前方 및 上方으로의 屈曲이 나타나 上方牽引 및 垂直牽引時와는 反對方向으로의 屈曲을 나타냈으나, 側方으로는 上方牽引時와 同一하게 外方으로 屈曲되었다. 이 部分에서의 屈曲效果는 切齒部에서와 같이 垂直牽引時 가장 크고 그 方向은 主로 後方과 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 各 部分 共히 上下方으로 크게 나

Table 4. Displacements and principal stresses in the incisor portion of the mandible by pulling direction.

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions					
Alveolar portion	A	(mm) $-0.13 \times 10^{-1}$	(mm) $0.86 \times 10^{-1}$	(mm) $0.15 \times 10^{-4}$	( $g/mm^2$ ) 8.70
	B	$-0.11 \times 10^{-2}$	$0.12 \times 10^{-1}$	$0.15 \times 10^{-4}$	1.56
	C	$0.85 \times 10^{-2}$	$-0.46 \times 10^{-1}$	$0.15 \times 10^{-4}$	3.38
Middle portion of the body	A	$-0.16 \times 10^{-1}$	$0.89 \times 10^{-1}$	$0.18 \times 10^{-4}$	3.70
	B	$-0.14 \times 10^{-2}$	$0.12 \times 10^{-1}$	$-0.25 \times 10^{-5}$	0.40
	C	$0.98 \times 10^{-2}$	$-0.47 \times 10^{-1}$	$-0.13 \times 10^{-4}$	2.30
Lower portion of the body	A	$-0.35 \times 10^{-1}$	$0.90 \times 10^{-1}$	$-0.84 \times 10^{-4}$	5.50
	B	$-0.43 \times 10^{-2}$	$0.12 \times 10^{-1}$	$0.41 \times 10^{-4}$	0.30
	C	$0.20 \times 10^{-1}$	$-0.48 \times 10^{-1}$	$0.12 \times 10^{-3}$	2.55

Amount of the applied force was 500gm.  
Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

타났으며 内外方으로는 적게 나타났다. (Table 5 參照)

下顎體의 第一大臼齒部에서의 屈曲効果는 上方牽引時에는 齒槽骨部, 中央部 및 下緣部는 後方과 下方 및 外方으로의 屈曲을 나타냈다. 垂直牽引時에는 모든 部分에서 上方牽引時와 同一하게 後方과 下方으로의 屈曲이 나타났으나, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와는 달리 内方으로 나타났다. 中間牽引時에는 上方牽引 및 垂直牽引時와는 달리 齒槽骨部, 中央部, 下緣部 모두 前方과 上方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로는 上方牽引時와는 同一하나 垂直牽引時와는 反對로 모두 外方으로의 屈曲이 나타났다. 이 部分에서의 屈曲効果는 犬齒 및 小臼齒部에서와 같이 垂直牽引時 가장 크고 그 方向은 주로 後方과 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量 역시 各 部分 共히 上下方으로 크게 나타났으며 内外方으로는 적게 나타났다. (Table 6 參照)

下顎骨 隅角部에서의 屈曲効果는 第一大臼齒部와 同一하게 나타났다. 上方牽引時에는 臼齒後方部, 中央部, 下顎角部 모두 後方과 下方 및 外方으로의 屈曲을 나타냈다. 垂直牽引時에는 모든 部分에서 上

方牽引時와 同一하게 後方과 下方으로의 屈曲이 나타났으나, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 달리 内方으로 나타났으며, 中間牽引時에는 臼齒後方部, 中央部, 下顎角部 모두 前方과 上方으로의 屈曲을 나타내어 上方牽引 및 垂直牽引時와 反對結果를 보여주었으나, 側方으로는 上方牽引時와는 同一하나 垂直牽引時와는 反對로 外方으로의 屈曲이 나타났다. 이 部分에서의 屈曲効果는 第一大臼齒部에서와 同一하게 垂直牽引時 가장 크고 그 方向은 後方과 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 前後方과 上下方이 비슷하게 나타났으며, 内外方으로의 變位量은 相對적으로 적게 나타났다. (Table 7 參照)

下顎枝部에 있어서의 屈曲効果는 隅角部와 同一하였다. 上方牽引時에는 前緣部, 中央部, 後緣部 모두 後方과 下方 및 外方으로의 屈曲을 나타냈으며, 垂直牽引時에는 上方牽引時와 同一하게 모든 部分에서 後方과 下方으로의 屈曲이 나타났으나, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 달리 内方으로 나타났다. 中間牽引時에는 上方牽引 및 垂直牽引時와는 反對로 前方과 上方으로의 屈曲이 나타났으며, 側方으로는 上方牽引時와는 同一하나 垂直牽引時와는

Table 5. Displacements and principal stresses in the cuspid and bicuspid portion of the mandible by pulling direction.

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions					
Alveolar portion	A	(mm) $- 0.48 \times 10^{-2}$	(mm) $0.75 \times 10^{-1}$	(mm) $0.13 \times 10^{-4}$	(g/mm <sup>2</sup> ) 3.35
	B	$- 0.19 \times 10^{-1}$	$0.10 \times 10^{-1}$	$0.10 \times 10^{-3}$	0.65
	C	$0.36 \times 10^{-2}$	$- 0.40 \times 10^{-1}$	$0.16 \times 10^{-3}$	0.76
Middle portion of the body	A	$- 0.31 \times 10^{-1}$	$0.79 \times 10^{-1}$	$- 0.33 \times 10^{-3}$	4.45
	B	$- 0.39 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-1}$	$0.11 \times 10^{-3}$	0.25
	C	$0.17 \times 10^{-1}$	$- 0.42 \times 10^{-1}$	$0.44 \times 10^{-3}$	1.80
Lower portion of the body	A	$- 0.38 \times 10^{-1}$	$0.78 \times 10^{-1}$	$- 0.47 \times 10^{-3}$	5.05
	B	$- 0.49 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-1}$	$0.13 \times 10^{-3}$	0.35
	C	$0.21 \times 10^{-1}$	$- 0.41 \times 10^{-1}$	$0.58 \times 10^{-3}$	0.40

Amount of the applied force was 500gm.

Directions of applied force were vertical pull(A), high pull(B) and medium pull (C) from gnathion point.



Table 6. Displacements and principal stresses in the first molar portion of the mandible by pulling direction.

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions		(mm)	(mm)	(mm)	(g/mm <sup>2</sup> )
Alveolar portion	A	$- 0.19 \times 10^{-1}$	$0.56 \times 10^{-1}$	$- 0.65 \times 10^{-3}$	4.77
	B	$- 0.21 \times 10^{-2}$	$0.79 \times 10^{-2}$	$0.25 \times 10^{-3}$	1.51
	C	$0.11 \times 10^{-1}$	$- 0.30 \times 10^{-1}$	$0.90 \times 10^{-3}$	0.46
Middle portion of the body	A	$- 0.18 \times 10^{-1}$	$0.56 \times 10^{-1}$	$- 0.63 \times 10^{-3}$	4.40
	B	$- 0.21 \times 10^{-2}$	$0.79 \times 10^{-2}$	$0.25 \times 10^{-3}$	0.90
	C	$0.10 \times 10^{-1}$	$- 0.30 \times 10^{-1}$	$0.88 \times 10^{-3}$	0.75
Lower portion of the body	A	$- 0.30 \times 10^{-1}$	$0.56 \times 10^{-1}$	$- 0.98 \times 10^{-3}$	3.75
	B	$- 0.39 \times 10^{-2}$	$0.79 \times 10^{-2}$	$0.24 \times 10^{-3}$	0.55
	C	$0.16 \times 10^{-1}$	$- 0.30 \times 10^{-1}$	$0.11 \times 10^{-2}$	0.30

Amount of the applied force was 500 gm.  
 Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

Table 7. Displacements and principal stresses in the mandibular angle portion by pulling direction.

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions		(mm)	(mm)	(mm)	(g/mm <sup>2</sup> )
Retromolar portion	A	$- 0.20 \times 10^{-1}$	$0.31 \times 10^{-1}$	$- 0.12 \times 10^{-2}$	4.46
	B	$- 0.25 \times 10^{-2}$	$0.43 \times 10^{-2}$	$0.44 \times 10^{-3}$	1.66
	C	$0.11 \times 10^{-1}$	$- 0.17 \times 10^{-1}$	$0.15 \times 10^{-2}$	7.53
Middle portion	A	$- 0.26 \times 10^{-1}$	$0.26 \times 10^{-1}$	$- 0.15 \times 10^{-2}$	1.96
	B	$- 0.34 \times 10^{-2}$	$0.35 \times 10^{-2}$	$0.46 \times 10^{-3}$	1.43
	C	$0.14 \times 10^{-1}$	$- 0.14 \times 10^{-1}$	$0.18 \times 10^{-2}$	2.06
Gonial portion	A	$- 0.37 \times 10^{-1}$	$0.26 \times 10^{-1}$	$- 0.20 \times 10^{-2}$	4.81
	B	$- 0.50 \times 10^{-2}$	$0.35 \times 10^{-2}$	$0.43 \times 10^{-3}$	2.16
	C	$0.20 \times 10^{-1}$	$- 0.14 \times 10^{-1}$	$0.22 \times 10^{-2}$	1.06

Amount of the applied force was 500 gm.  
 Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

**Table 8. Displacements and principal stresses in the ascending ramus portion by pulling direction.**

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions					
Upper portion	A	(mm) $- 0.13 \times 10^{-1}$	(mm) $0.69 \times 10^{-2}$	(mm) $- 0.92 \times 10^{-3}$	(g/mm <sup>2</sup> ) 17.88
	B	$- 0.73 \times 10^{-3}$	$0.14 \times 10^{-2}$	$0.40 \times 10^{-3}$	5.16
	C	$0.32 \times 10^{-2}$	$- 0.66 \times 10^{-2}$	$0.10 \times 10^{-2}$	22.86
Middle portion	A	$- 0.98 \times 10^{-2}$	$0.93 \times 10^{-2}$	$- 0.79 \times 10^{-3}$	19.11
	B	$- 0.12 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-2}$	$0.33 \times 10^{-3}$	4.75
	C	$0.54 \times 10^{-2}$	$- 0.52 \times 10^{-2}$	$0.10 \times 10^{-2}$	8.51
Lower portion	A	$- 0.57 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-1}$	$- 0.53 \times 10^{-3}$	42.68
	B	$- 0.16 \times 10^{-2}$	$0.85 \times 10^{-3}$	$0.29 \times 10^{-3}$	7.03
	C	$0.76 \times 10^{-2}$	$- 0.38 \times 10^{-2}$	$0.11 \times 10^{-2}$	4.08

Amount of the applied force was 500 gm.  
Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

**Table 9. Displacements and principal stresses in the coronoid portion by pulling direction.**

Axis & principal stress		X	Y	Z	Principal stress
Portions					
Anterior portion	A	(mm) $0.71 \times 10^{-2}$	(mm) $0.31 \times 10^{-1}$	(mm) $- 0.13 \times 10^{-3}$	(g/mm <sup>2</sup> ) 1.40
	B	$0.12 \times 10^{-2}$	$0.43 \times 10^{-2}$	$0.55 \times 10^{-3}$	0.20
	C	$- 0.34 \times 10^{-2}$	$- 0.17 \times 10^{-1}$	$0.92 \times 10^{-3}$	2.47
Middle portion	A	$0.85 \times 10^{-2}$	$0.26 \times 10^{-1}$	$0.48 \times 10^{-3}$	1.36
	B	$0.14 \times 10^{-2}$	$0.36 \times 10^{-2}$	$0.61 \times 10^{-3}$	0.16
	C	$- 0.42 \times 10^{-2}$	$- 0.14 \times 10^{-1}$	$0.90 \times 10^{-3}$	3.00
Posterior portion	A	$0.99 \times 10^{-2}$	$0.21 \times 10^{-1}$	$0.22 \times 10^{-3}$	1.65
	B	$0.16 \times 10^{-2}$	$0.29 \times 10^{-2}$	$0.66 \times 10^{-3}$	0.45
	C	$- 0.50 \times 10^{-2}$	$- 0.11 \times 10^{-1}$	$0.81 \times 10^{-3}$	4.42

Amount of the applied force was 500 gm.  
Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

反對로 外方으로 屈曲이 나타났다. 이 部分에서의 屈曲效果는 垂直牽引時 가장 크고 그 方向은 주로 後方과 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 前後方과 上下方으로 비슷하게 나타났으며, 内外方으로는 相對的으로 적게 나타났다. (Table 8 參照)

冠狀突起部에 있어서의 屈曲效果는 上方牽引時에는 前緣部, 中央部, 後緣部 모두 前方과 下方 및

外方으로의 屈曲을 나타냈으며, 垂直牽引時에는 모든 部分이 上方牽引時와 同一하게 前方과 下方으로의 屈曲이 나타났으나, 側方으로의 屈曲은 前緣部는 内方, 中央部와 後緣部는 外方으로 나타났다. 中間牽引時는 上方牽引 및 垂直牽引時와는 反對로 모든 部分에서 後方과 上方으로의 屈曲을 나타냈으나, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 同一하게 外方으로 나타났다. 이 部分에서의 屈曲效果역시 垂直牽

Table 10. Displacements and principal stresses in the condyle head and neck portion by pulling direction.

Axis & principal stress			X	Y	Z	Principal stress
Portions			(mm)	(mm)	(mm)	(g/mm <sup>2</sup> )
outer surface	Anterior portion	A	$-0.29 \times 10^{-4}$	$-0.15 \times 10^{-3}$	$0.54 \times 10^{-4}$	33.95
		B	$-0.19 \times 10^{-3}$	$0.21 \times 10^{-4}$	$0.60 \times 10^{-4}$	7.22
		C	$0.26 \times 10^{-3}$	$0.15 \times 10^{-3}$	$0.50 \times 10^{-4}$	31.75
	Middle portion	A	$-0.46 \times 10^{-3}$	$-0.49 \times 10^{-3}$	$-0.93 \times 10^{-4}$	22.87
		B	$-0.15 \times 10^{-3}$	$-0.85 \times 10^{-5}$	$0.30 \times 10^{-4}$	5.22
		C	$0.57 \times 10^{-3}$	$0.35 \times 10^{-3}$	$0.11 \times 10^{-3}$	31.57
	Posterior portion	A	$-0.14 \times 10^{-2}$	$-0.66 \times 10^{-3}$	$-0.35 \times 10^{-3}$	103.22
		B	$0.19 \times 10^{-3}$	$0.21 \times 10^{-4}$	$0.60 \times 10^{-4}$	10.02
		C	$0.11 \times 10^{-2}$	$0.45 \times 10^{-3}$	$0.24 \times 10^{-3}$	30.97
inner surface	Anterior portion	A	$-0.10 \times 10^{-3}$	$-0.46 \times 10^{-4}$	$0.16 \times 10^{-4}$	35.67
		B	$-0.31 \times 10^{-4}$	$0.91 \times 10^{-4}$	$-0.80 \times 10^{-5}$	4.42
		C	$0.43 \times 10^{-4}$	$0.87 \times 10^{-4}$	$-0.45 \times 10^{-5}$	36.80
	Middle portion	A	$0.84 \times 10^{-4}$	$0.13 \times 10^{-3}$	$-0.80 \times 10^{-4}$	35.65
		B	$-0.51 \times 10^{-5}$	$-0.64 \times 10^{-5}$	$0.10 \times 10^{-5}$	4.50
		C	$-0.70 \times 10^{-4}$	$-0.11 \times 10^{-3}$	$0.61 \times 10^{-4}$	18.17
	Posterior portion	A	$-0.20 \times 10^{-3}$	$0.46 \times 10^{-4}$	$0.33 \times 10^{-4}$	101.70
		B	$-0.53 \times 10^{-4}$	$-0.18 \times 10^{-4}$	$0.26 \times 10^{-4}$	12.12
		C	$0.75 \times 10^{-4}$	$-0.63 \times 10^{-4}$	$0.15 \times 10^{-4}$	10.80

Amount of the applied force was 500 gm.

Directions of applied force were vertical pull (A), high pull (B) and medium pull (C) from gnathion point.

引時 가장 크고 그方向은 주로 前方과 下方이었으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 上下方으로 비교적 크게 나타났으며, 内外方으로는 相對적으로 적게 나타났다. (Table 9 參照)

下顎顎頭 및 顎部는 下顎骨의 主要成長部位일 뿐만 아니라 形態의으로도 内外方 厚徑이 크므로 矢狀面方向으로 二等分하여 外側部와 內側部로 分離하여 觀察하였다.

外側部에 있어서의 屈曲效果는 上方牽引時에는 前緣部는 後方과 下方, 中央部는 後方과 上方, 後緣部는 前方과 下方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 前緣部, 中央部 및 後緣部 모두 外方으로 나타났다. 垂直牽引時에는 前緣部, 中央部, 後緣部 모두 後方과 上方으로의 屈曲을 나타냈고, 側方으로의 屈曲은 前緣部는 外方, 中央部와 後緣部는 內方으로 나타났으며, 中間牽引時에는 前緣部, 中央部, 後緣部 모두 牽直牽引時와는 反對로 前方과 下方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 同一하게 모든 部分이 外方으로 나타났다. 이 部分에 있어서의 屈曲效果는 垂直牽引과 中間牽引時 비슷하게 나타났으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 前後方으로 크게 나타났으며, 上下方과 内外方으로는 比較的 적게 나타났다.

內側部에 있어서의 屈曲效果는 上方牽引時에는 前緣部는 後方과 下方, 中央部와 後緣部는 後方과 上方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 前緣部는 內方, 中央部와 後緣部는 外方으로 나타났다. 垂直牽引時에는 前緣部는 後方과 上方, 中央部는 前方과 下方, 後緣部는 後方과 下方으로의 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 前緣部와 後緣部는 外方, 中央部는 內方으로의 屈曲을 나타냈다. 中間牽引時에는 中央部는 上方牽引時와 同一하게 後方과 上方으로 屈曲을 나타냈으나, 前緣部는 前方과 下方, 後緣部는 前方과 上方으로서 屈曲을 나타냈으며, 側方으로의 屈曲은 上方牽引時와 同一하게 前緣部는 內方, 中央部 및 後緣部는 外方으로 나타났다. 이 部分에 있어서의 屈曲效果는 外側部와 同一하게 垂直牽引 및 中間牽引時 비슷하게 나타났으며, 上方牽引時 가장 적게 나타났다. 變位量은 前後方과 上下方이 비슷하게 나타났으며, 内外方으로는 比較的 적게 나타났다. (Table 10 參照)

#### IV. 總括 및 考察

下顎骨에 裝着된 頤帽裝置의 治療效果에 依한 下顎骨 變化는 많은 學者들에 依하여 臨床的인 研究가 되어왔으며 下顎骨 自體의 組織學的 및 解剖學的인 觀察은 人間을 對象으로한 實驗은 困難하여 動物實驗을 通하여 이루어져 왔다. 그러나 頤帽裝置 裝着時 加하는 整形力이 下顎骨內로 分散되는 力學的 問題에 關한 研究는 未洽하였으므로 整形力이 下顎骨內 各 部分에 미치는 屈曲效果(bending effect)를 比較分析하여 引張과 壓縮에 依한 下顎骨의 remodeling의 可能部位를 研究하고자 本 研究方法이 試圖되었다.

從來 齒醫學 領域에서는 應力을 計測하기 위한 方法으로서 strain gauge法<sup>38)</sup>, holography法<sup>31)</sup>, 光彈性 分析法(photoelastic method)等<sup>9-12, 36)</sup>이 使用되어 왔고, 最近에는 有限要素法<sup>2, 3, 6, 26, 30, 41)</sup>이 他 計測方法보다 많은 長點을 지니고 있기 때문에 構造力學 分野에서 많이 使用되어 왔으며, 齒醫學 分野에서도 이 方法의 應用이 試圖되고 있다.

이들 方法들中 strain gauge法은 生體 및 模型에 直接 受壓裝置를 附着시켜 簡單히 應力을 測定하고 把握할 수 있는 長點이 있는 反面에 受壓裝置의 小形化에 限界가 있으며 特히 境界部位에서는 測定이 困難하고 또 內部的 應力測定은 不可能할뿐만 아니라 實驗操作이 複雜하여 簡單한 試片에서의 測定을 除外하고는 널리 使用되지 않고 있다.

Holography法은 立體形狀物體의 全體의인 變形이 한장의 寫眞에 나타나며 固定點의 設置問題를 解消할 수 있고 干涉計測이기 때문에 物體의 表面이 粗面이라도 計測이 可能한 長點이 있으나 振動 및 空氣의 흔들림이 없어야 하고 大出力의 레이저를 放出할 수 있는 裝置가 카메라內에 附着되어 있어야 하는 問題가 있어 使用이 制限되고 있다.

光彈性 分析法은 偏光器(polariscope)를 使用하여 物體內의 應力分散을 分析하는 方法으로서 境界部位뿐만 아니라 內部的 應力分布도 計測이 可能하기 때문에 齒醫學 分野에서 오래전부터 使用되어 왔으나 人體와 同一한 模型製作의 어려움과 內部應力의 觀察을 위한 模型切斷時 또 다른 應力이 介入될 수 있다는 缺點이 있어 이 方法의 使用이 制限되어 왔다.

이에 比하여 有限要素法은 固定點 設置의 難點이 있으나 模型의 形態 및 크기를 實物과 쉽게 一致시

킬 수 있고 構成材料의 材料定數인 Young's 係數 (E)와 Poisson's 率( $\nu$ )을 彈性領域에서는 쉽게 一致 시킬 수 있으며 複雜한 境界模樣, 異方形 또는 非線形 材質이라 할지라도 比較的 容易하게 計測할 수 있고 内部應力의 正確한 計測이 可能하다는 長點이 있다.

本 研究에 있어서는 上記와 같은 方法들중 보다 正確한 方法으로 紹介된 有限要素法을 利用하여 整形力의 方向에 따라 下顎骨內에 分散되는 應力과 變位를 測定하였다.

頤帽裝置 裝着時 整形力의 方向에 關하여 先學者들간에 많은 論難이 있었다. Graber<sup>24</sup>, Graber와 Swain<sup>25</sup>은 一般的으로 下顎前突을 治療하기 위한 整形力의 方向은 下顎結合部로 부터 下顎顆頭로 向하게 하고(上方牽引), 開咬가 隨伴될시는 整形力의 方向을 이보다 더 垂直되게 한다고 하였다(垂直牽引). Sassouni<sup>24</sup>는 牽引을 위한 固定源(anchorage source)에 따라 頸部, 後頭 및 前頭固定으로 區分하였으며 頸部牽引의 一次의인 効果는 下顎骨의 成長을 減少시키는 것이 아니라 下顎骨의 下方回轉에 依한 前突度를 減少시키는 것이며, 後頭牽引時는 整形力의 方向이 下顎顆頭로 지나가며 이때의 壓力은 下顎顆頭的 成長을 抑制시킬 수 있다고 하였고, 前頭牽引은 下顎骨의 上方回轉에 依하여 開咬를 隨伴한 下顎前突을 治療하는 方法으로서 現在 이 方法을 研究하고 있다고 報告하였다.

頤帽裝置에 依한 整形力은 下顎骨 帽部의 表面에 加하여지나, 本 研究에서는 帽部의 表面에 加할 수 없으므로 頤部의 一點인 gnathion에 整形力을 加하였으며, 整形力의 方向을 定하기 위하여 下顎骨內 計測點을 考慮한 結果 gnathion에서 下顎枝의 後緣에 平行한 方向은 開咬를 隨伴한 下顎前突을 治療할시 使用하는 方法과 類似하여 垂直牽引이라 하였고, gnathion과 下顎顆頭的 中央點을 連結한 方向은 Graber와 Swain<sup>25</sup>의 報告에 따라 上方牽引으로 하였으며, gnathion에서 下顎骨 下緣에 平行한 方向은 固定源이 後頭骨 或은 그 直下方이 되므로 Sassouni<sup>24</sup>의 報告에 따라 便宜上 中間牽引으로 定하였다.

頤帽裝置 裝着時 整形力의 크기에 關하여도 많은 論難이 되어왔으며, Graber와 Swain<sup>25</sup>은 처음에는 100~200gm으로 徐徐히 適應시킨후 400~800gm 程度가 되게하며 1300~1800gm까지의 整形力도 加하여진 境遇가 있었다고 報告하였고, 松井<sup>8</sup>은 400~1000gm 範圍의 整形力이 適當하다고 報告하였다.

本 研究에서는 500gm가 800gm의 整形力을 下顎骨에 加하여 本 結果 下顎骨內의 應力分散은 거의 比例關係를 나타내므로 Graber와 Swain<sup>25</sup> 및 松井<sup>8</sup>이 適當하다고한 整形力의 範圍內에 있는 500gm을 選擇하였다.

下顎骨과 齒牙를 構成하고 있는 材料의 力學的 性質인 Young's 係數와 Poisson's 率은 學者들간에 많은 差異가 나기 때문에 Wright들<sup>10</sup>의 報告를 引用하였으며, 齒髓 및 齒根膜은 그 값이 微微하고 齒牙에서 차지하는 比重이 적기 때문에 珐瑯質, 象牙質, 緻密骨 및 海綿骨만 考慮하였으며 白堊質은 珐瑯質에 包含시켰다.

Breitner<sup>12, 16</sup>는 윈송이의 上下顎 齒牙에 三級 elastic을 裝着시킨후 顎關節에서 일어나는 變化를 研究하여 下顎顆頭的 後緣部에서는 骨吸收, 前緣部에서는 骨沈着을 觀察하였으며 組織學的으로 關節 高뿐만 아니라 下顎顆頭部, 下顎枝部 및 隅角部에서도 remodeling이 일어났다고 報告하였으며, Charlier들<sup>20</sup>은 下顎骨에 hyper-propulsion裝置를 裝着한 후 前軟骨帶(prechondrocytic zone)에서 應力의 크기와 細胞의 增殖사이에는 直接的인 關係가 存在한다고 報告하고, 따라서 만약 頤帽裝置에 의하여 下顎骨에 整形力이 加하여 진다면 造軟骨細胞 或은 軟骨細胞로 되는 未分化 中胚葉細胞의 成熟을 妨害할 것이라고 報告하였다. Baume<sup>15, 16</sup>는 下顎骨과 骨端板에 機械的인 刺戟을 加한 結果 下顎顆頭에 있는 軟骨은 敏感한 反應을 보였으나 骨端板에 있는 軟骨은 反應을 하지 않았으며 對象이 젊을수록 보다 크고 빠른 反應을 보여주었다고 報告하였다. 以上과 같은 結果들은 整形力이 下顎顆頭的 成長을 抑制할 수 있다는 研究報告들이다.

Alba들<sup>9-12</sup>은 光彈性모델에 頤帽裝置를 裝着시킨 후 500gm과 700gm의 整形力을 頤部에서 下顎枝의 長軸에 平行하게 加한후 下顎骨의 各部分에 分布되는 應力을 分析한 結果 下顎顆頭的 前緣部와 頰舌側 및 後臼齒部의 上方에 보다 큰 應力의 分布가 있었으며, 隅角部는 應力의 分布가 적었다고 報告하였다.

本 研究에 있어서 下顎顆頭 및 頸部는 모든 整形力의 方向에서 他部分보다 큰 主應力의 分布가 나타났으며 內側部보다는 外側部, 前緣部보다는 後緣部에서 더 크게 나타났다. 特히 整形力의 方向이 垂直牽引일때 가장 큰 主應力의 分布가 있었으며 오히려 上方牽引時 가장 적은 分布가 나타났다는 事實은 特記할만 하였다. 이는 整形力을 垂直方向

으로 가할때 下顎顎頭 및 頸部に 미치는 影響이 가장 클 것으로 思料되며 이 部分에서 bending moment가 가장 크므로 下顎顎頭の 成長抑制와 下顎骨의 上方回轉 및 下顎骨 自體의 remodeling에 依하여 開咬를 隨伴한 下顎前突을 治療하기 위한 垂直牽引의 妥當性을 認定한다고 思料되었다.

鈴木<sup>4</sup>, 清村<sup>7</sup>, Graber<sup>23</sup>, Irie와 Nakamura<sup>27</sup>는 混合齒列期의 兒童에 頤帽裝置 裝着後 그 結果를 頭部計測X線 規格寫眞으로 分析한후 下顎枝의 成長遲延 및 下顎角의 減少가 있었으며 下顎骨 結合部는 別影響이 없었다고 報告하였다.

本 研究에 있어서 上方 및 垂直牽引時 隅角部는 他部分에 比하여 bending moment가 크고 後方 및 下方으로의 屈曲이 나타나므로 下顎角의 減少 및 下顎骨의 remodeling이 일어날 것으로 推定 되었으며, 中間牽引時에는 隅角部의 bending moment가 他部分에 比하여 적었고 前方 및 上方으로의 屈曲이 나타나 下顎角의 減少에 影響이 別로 없을 것으로 思料되었다.

Epker와 Frost<sup>24</sup>, Storey<sup>35</sup>는 骨에 加하는 物理的인 荷重에 依하여 骨의 屈曲이 發生할 境遇 凸面은 陽電荷을 띠고 骨의 吸收가 일어나며, 凹面은 陰電荷을 띠며 骨의 形成이 일어나 最終的으로 骨의 remodeling과 位置轉換이 일어날 것이라는 piezoelectric effect를 報告하였다.

本 研究에서 下顎骨內 屈曲이 容易하게 일어날 수 있는 部位는 下顎顎頭 및 頸部, 隅角部, 犬齒 및 小臼齒部等이며, 上方牽引時 下顎體와 下顎枝는 後方과 下方 및 外方으로의 屈曲을 나타냈으며, 垂直牽引時에는 下顎體와 下顎枝는 後方과 下方 및 內方으로의 屈曲을 나타내어서 이 piezoelectric effect가 妥當하다면 頤帽裝置 裝着時 下顎骨 實長이 減少할 可能性을 보여주었으며, 中間牽引時에는 下顎體와 下顎枝가 前方과 上方 및 外方으로의 屈曲을 나타내어서 頤帽裝置의 裝着에 依한 下顎前突 治療時 큰 效果를 期待할 수 없을것으로 思料되었다.

Joho<sup>29</sup>는 윈송이의 下顎骨에 下方牽引力을 加한 實驗에서 下顎骨의 減少가 일어났으나 治療後 relapse가 거의 없는것은 이 部分에 있는 咀嚼筋이 支持骨格의 變化에 迅速히 適應하였기 때문이라고 報告하였다. 本 研究에서는 이러한 점을 充分히 考慮할 수가 없었으나 下顎骨 各 部位에 附着된 各種의 筋肉들이 相互作用하여 應力의 分散 및 變位에 어느程度 影響을 미칠것으로 推定되며, 또 上下顎 咬

合時 나타나는 咬合力도 影響이 있을것으로 思料되었다.

下顎前突을 治療하기 위한 頤帽裝置의 裝着時期도 많은 論難이 되어 왔으며 Sakamoto<sup>33</sup>는 年齡이 적을수록 治療效果가 크다고 하였고, Storey<sup>35</sup>는 骨의 remodeling 潛在力은 年齡이 增加하면 減少한다고 報告하였다. 本 研究에서는 治療時期에 關한 研究는 없었으나 骨의 屈曲效果에 依한 remodeling을 考慮한다면 成長이 旺盛한 時期가 더 妥當할 것으로 思料되었다.

頤帽裝置의 臨床的인 治療效果를 總括하면, 下顎顎頭軟骨의 成長抑制, 下顎骨의 成長方向의 變化 및 位置轉換, 下顎骨의 remodeling 및 下顎骨 成長에 關한 筋肉의 影響과 遺傳的 潛在力等의 많은 要因들이 複合的으로 作用하여 實在的인 治療效果를 일으키는 것으로 思料되며, 以上の 要因들중에서 下顎骨의 成長方向의 變化와 remodeling이 piezoelectric effect의 假說에 따라 影響을 받을 것으로 考慮되었다.

本 研究는 piezoelectric effect에 立脚한 下顎骨의 屈曲效果에 關한 研究이므로 이 piezoelectric effect가 妥當하다면 本 研究에서 얻은 結果가 下顎骨의 remodeling이 일어날 수 있는 部位와 程度를 指摘하고 있으나, 實在的으로는 많은 要因들에 依하여 影響을 받고 있기 때문에 이러한 結果는 動物實驗을 通하여 立證되어야 할 것으로 思料되었다.

## V. 結 論

整形力에 對한 下顎骨內의 應力分散과 屈曲效果를 研究하고 整形力을 加하는 方向에 따른 屈曲效果의 差異를 究明하기 위하여 500gm의 整形力으로 下顎骨을 上方牽引, 垂直牽引 및 中間牽引한 後 三次元 有限要素法을 利用하여 下顎骨內 各 部分에서 的主應力과 bending moment 및 變位量을 計算하고 相互 比較檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 下顎骨內 各 部位의 bending moment는 垂直牽引時가 上方牽引 및 中間牽引時보다 顯著하게 크게 나타났다. 垂直牽引時에는 下顎顎頭頸部, 隅角部, 冠狀突起部 및 下顎枝部에서 가장 크고, 犬齒 및 小臼齒部와 第一大臼齒部에서도 比較的 크게 나타났다. 上方牽引時에는 隅角部에서 가장 크고 冠狀突起部, 下顎枝部, 下顎顎頭頸部, 犬齒 및 小臼齒部順으로 나타났고, 中間

- 牽引時에는 下顎頭頸部에서 가장 크고 第一大白齒部, 下顎枝部, 冠狀突起部, 犬齒 및 小白齒部順으로 나타났다.
2. 上方牽引 및 垂直牽引時의 屈曲效果는 下顎體는 下方, 下顎枝는 後方으로 주로 나타났고, 中間牽引時에는 下顎體는 上方, 下顎枝는 前方으로 주로 나타났다.
  3. 上方牽引 및 中間牽引時의 屈曲效果는 外方으로, 垂直牽引時에는 内方으로 주로 나타났다.
  4. 下顎體와 下顎枝의 上下方과 前後方 屈曲效果는 内外方의 屈曲效果보다 크게 나타났다.
  5. 頤帽裝置에 依하여 下顎前突의 治療效果를 期待하고자 할 때는 中間牽引보다는 上方牽引 및 垂直牽引이 더 效果的일 것으로 思料되었다.

### 參 考 文 獻

1. 이중홍: 유한요소법. 大韓機械學會誌, 13: 203-208, 299-302, 1973.
2. 韓武鉉: 有限要素法에 依한 Telescopic crown과 支台齒 및 支枝組織의 力學的 反應에 關한 研究. 慶熙齒大論文集, 4: 241-258, 1982.
3. 宮川 修, 塩川延洋: 有限要素法について(補綴物と支枝組織의 力學的 問題 への應用のために). 齒界展望, 44: 903-910, 1974.
4. 鈴木信夫: 頭部X線規格寫眞による chin cap의 效果する 臨牀的觀察. 日矯齒誌, 31: 64-74, 1974.
5. 大江通暢, 中村進治, 山木 繁, 藤井英信, 和田義彦: chin cap의 作用機序에 關する考察. 日矯齒誌, 31: 75-86, 1972.
6. 福間正泰, 提 定美, 宮川千市, 井田一夫: 鑄型의 熱變形에 關する 有限要素解析. 日本齒科材料器械學雜誌, 36: 209-217, 1979.
7. 清村 寬, 丹羽 金一郎, 日比野 琢也, 福住隆善, 薄木弘久: 後頭, 頤部 固定裝置による 下顎前突의 治療效果. 日矯齒誌, 29: 195-205, 1970.
8. 松井泰生: 顎外固定法(頤帽裝置)가 成長發育中의 下顎骨에 及ぼす影響에 關する 研究. 日矯齒誌, 24: 165-181, 1965.
9. de Alba, J.A., Chaconas, S.J., Caputo, and A.A., Emison, W.: Stress distribution under highpull extraoral chin cup traction (A photoelastic study). Angle Orthod., 52:69-78, 1982.
10. de Alba, J.A., Chaconas, S.J., and Caputo, A.A.: Orthopedic effect of the extraoral chin cup appliance on the mandible. Am. J. Orthod., 69:29-41, 1976.
11. de Alba, J.A., Caputo, A.A., and Chaconas, S.J.: Effects of orthodontic intermaxillary class III mechanics on craniofacial structures (part 1: photoelastic analysis). Angle Orthod., 49:21-28, 1979.
12. de Alba, J.A., Caputo, A.A., and Chaconas, S.J.: Effects of orthodontic intermaxillary class III mechanics on craniofacial structures (part 2: computerized cephalometrics). Angle Orthod., 49:29-36, 1979.
13. Armstrong, M.M.: Controlling the magnitude, direction, and duration of extraoral force. Am. J. Orthod., 59:217-243, 1971.
14. Alexander, R.G.: The effects on tooth position and maxillofacial vertical growth during treatment of Scoliosis with the Milwaukee brace. Am. J. Orthod., 52:161-189, 1966.
15. Baume, L.J., and Derichsweiler, H.: Is the condyler growth center responsive to orthodontic therapy? Triple J., 14:347-362, 1961.
16. Baume, L.T.: Principles of cephalofacial development revealed by experimental biology. Am. J. Orthod., 47:881-901, 1961.
17. Breitner, C.: Bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. Am. J. Orthod. and Oral Surg., 26:521-547, 1940.
18. Breitner, C.: Further investigations of bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. Am. J. Orthod. and Oral Surg., 27:605-632, 1941.
19. Broadbent, B.H.: A new X-ray technique and its application to orthodontia. Angle Orthod., 1:45-66, 1931.

20. Chaliar, J.P., Petrovic, A., and Hermannstutzmann, J.: Effects of mandibular hyperpropulsion on the pre-chondroblastic zone of young rat condyle. *Am. J. Orthod.*, 55:71-74, 1969.
21. Epker, B.N., and Frost, H.M.: Correlation of bone resorption and formation with the physical behavior of loaded bone. *J. Dent. Res.*, 44:33-41, 1965.
22. Foster, F.: Malocclusion associated with Poliomyelitis. *Am. J. Orthod.*, 51:595-603, 1965.
23. Graber, L.W.: Chin cup therapy for mandibular prognathism. *Am. J. Orthod.*, 72: 23-41, 1977.
24. Graber, T.M.: *Orthodontics-principles and practice*. 2nd ed., Philadelphia, W.B. Saunders Co., pp. 40-78, 1968.
25. Graber, T.M., and Swain, B.F.: *Current orthodontic concepts and techniques*. 2nd ed., Philadelphia, W.B. Saunders Co., pp. 365-415, 1975.
26. Hakim, N.S., and King, A.I.: A three dimensional finite element dynamic responsive analysis of a vertebra with experimental verification. *J. Biomechanics*, 12:277-292, 1979.
27. Irie, M., and Nakamura, S.: Orthopedic approach to severe skeletal class III malocclusion. *Am. J. Orthod.*, 67:377-392, 1975.
28. Janzen, E.K., and Blucher, J.A.: 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.
29. Joho, J.P.: The effects of extraoral low pull traction to the mandibular dentition of *Macaca Mulatta*. *Am. J. Orthod.*, 64:555-577, 1973.
30. Knoell, A.C.: A mathematical model of an in vitro human mandible. *J. Biomechanics*, 10:159-166, 1977.
31. Kragt, G., Duterloo, H.S., and ten Bosch, J.J.: The initial reaction of a macerated human skull caused by orthodontic cervical traction determined by laser metrology. *Am. J. Orthod.*, 81:49-59, 1982.
32. Monson, J.W., and Felts, W.J.: Transplantation studies of factors in skeletal organogenesis. *Phys. Anthropol.*, 19:63-77, 1961.
33. Sakamoto, T.: Effective timing for the application of orthopedic force in the skeletal class III malocclusion. *Am. J. Orthod.*, 80:411-416, 1981.
34. Sassouni, V.: Dentofacial orthopedics; A critical review. *Am. J. Orthod.*, 61:255-269, 1972.
35. Storey, S.: Form-function relationships of bone in Orthodontics. edited by Barrer. Pennsylvania, University of Philadelphia press., pp. 145-157, 1981.
36. Standlee, J.P., Caputo, A.A., and Ralph, J.P.: Stress trajectories within the mandible under occlusal loads. *J. Dent. Res.*, 56: 1297-1302, 1977.
37. Takahashi, N.: Thermal conductive analysis of restored teeth by finite element method. *J. Oral Rehabilitation*, 9:83-88, 1982.
38. Wejs, W.A., and Dejongh, H.T.: Strain in mandibular alveolar bone during mastication in the rabbit. *Arch. Oral Biol.*, 22:667-675, 1977.
39. Weinberger, B.W.: *Orthodontics; An historical review of its origin and evolution*. St. Louis, C.V. Mosby Co., 1926.
40. Wright, K.M.T., Mich, M.I., and Yettram. A.L.: Reactive force distribution for teeth when loaded singly and when used as fixed partial denture abutments. *J. Prosth. Dent.*,



» Abstract «

## **A FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE STRESS DISTRIBUTION AND DISPLACEMENT OF an in-vitro HUMAN MANDIBLE TO THE ORTHOPEDIC FORCE**

Ho Koo Choue, D.D.S., M.S.D.

*Dept. of Orthodontics, Division of Dentistry, Graduate School,*

*Kyung Hee University*

*(Supervised by Assistant Prof. Ki Soo Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)*

This study attempted to analyze the distribution of stress, to examine the bending effect in the mandible according to the pulling directions and determine on which pulling directions are adequate when an orthopedic force was applied to the mandible.

An orthopedic force, 500gm, was applied to the gnathion, one point of the chin area, in three directions. The three directions were; high pull, from gnathion to the center of condyle head, and vertical pull, from gnathion to a parallel line with the posterior border of the ramus, and medium pull, from the gnathion to a parallel line with the lower border of mandible.

The distribution of principal stress, bending moment and amount of displacement within the mandible was analyzed by a 3-dimensional finite element method and that of the various portions of mandible were computed and compared according to the pulling directions.

The results were as follows:

1. The bending moment of each part of a mandible has been found to be markedly larger in case of vertical pull than in case of either high pull or medium pull. In vertical pull the bending moment turned out to largest at the condyle head and neck portion, the gonial angle portion, the coronoid portion and the ascending ramus portion, respectively, while comparatively large at the cuspid and bicuspoid portion and the first molar portion. In case of high pull it was largest at the gonial angle portion and becoming smaller at the coronoid portion, the ascending ramus portion, the condyle head and neck portion, and the cuspid and bicuspoid portion, in that order. In case of medium pull, however, the bending moment was largest at the condyle head and neck portion, becoming smaller at the first molar portion, the ascending ramus portion, the coronoid portion, the cuspid and bicuspoid portion, and gonial angle portion, in that order.

2. As for the bending effect it was calculated to be mostly oriented downward at the mandibular body and backward at the mandibular ramus in both high pull and vertical pull. In case of medium pull it was oriented upward at the mandibular body and forward at the mandibular ramus.
3. The bending effect also turned out to be mostly oriented outward in case of high pull and medium pull, and inward in vertical pull.
4. At the mandibular body and ramus, the bending effect in the upward-downward direction and that in the forward-backward direction were found to be larger than in the inward-outward direction.
5. If and when we expect any correcting effect on the mandibular protrusion by means of the chin cup appliance, we can say sure as conclusion that high pull and vertical pull are more effective than medium pull.