

頸部固定 headgear 使用時 顔面頭蓋骨의 變位에 關한 張力計測法 및 有限要素法の 研究

서울대학교 齒科大學 矯正學 教室
金 顯 順 · 南 東 錫

A FINITE ELEMENT AND STRAIN GAUGE ANALYSIS ON THE DISPLACEMENT OF CRANIOFACIAL COMPLEX WITH CERVICAL HEADGEAR

Hyun-Soon Kim, D.D.S., M.S.D., Dong-Seok Nahm, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
Department of Orthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

—Abstract—

This paper was undertaken to observe the displacement of craniofacial complex with cervical headgear and to compare narrowing or widening effect of palate by use of contraction or expansion face-bow, respectively.

The 3-dimensional finite element method(FEM) was used for a mathematical model composed of 597 nodes and 790 elements and an electrical resistance strain gauge investigation was performed to validate the finite element model.

The outer bow of cervical headgear was adjusted to be placed below the occlusal plane by 25° and met the midsagittal plane by 40°, and was loaded 1kg on each right and left hook toward posterior direction.

The results were as follows

1. Generally, the maxillary teeth and facial bone were displaced in posterior, medial and downward direction.
2. It was the maxillary 2nd bicuspid that moved bodily.
3. The craniofacial complex rotated in a clockwise direction around the rotating axis which lay from the most posterior and lowest point connecting nasal crest of maxillary bone and vomer, progressively toward a more posterior, lateral and upward direction, anterior and upper area of pterygomaxillary fissure, base of medial pterygoid plate and laterally to the contact area of zygomatic arch with squamous part of temporal bone.
4. No contraction effect was observed by contraction face-bow when compared to the standard face-bow.
5. In case of expansion face-bow, the areas of maxillary 2nd bicuspid, molars and palate were expanded remarkably.

I. 緒 論

矯正治療에서 많이活用되고 있는 arch wire는 齒牙의 移動을 主目的으로 하는 矯正力(orthodontic force)을 發揮하지만, 抵抗源을 口腔外에서 얻는 headgear는 齒牙뿐만이 아니라 이를 埋植하고 있는 顎骨 및 그 隣接 顔面骨의 變位에 影響을 미치고 成長 樣相에도 變化를 招來하는 整形力(orthopedic force)을 發揮한다

上顎大白齒를 遠心으로 移動시키고자 하는 顎部固定 抵抗源 概念이 1936年 Oppenheim³¹⁾에 의해 主張된 以來로 Kloehn¹⁸⁻²¹⁾ Epstein⁴⁾ Blueher¹⁾ King¹⁶⁾ Klein¹⁷⁾ Moore²⁶⁾ Poulton^{32,33)}의 研究로 上顎骨의 前方 成長을 抑制 또는 後方 移動시킬 수 있다고 發表하였다

그러나, Hanes¹³⁾ Mays²³⁾ Newcomb²⁹⁾ Schudy³⁰⁾는 headgear 使用으로 上顎第一大白齒가 遠心으로 傾斜移動되면서 挺出(extrusion)되어 下顎骨이 後下方으로 回轉移動되고 B點이 더욱 後方으로 位置되므로 別로 滿足스럽지 못한 結果가 나타난다고 說明하였다.

그 以來로 Mays²³⁾ Ricketts³⁴⁾ Ringenberg와 Butts³⁶⁾ Sandusky³⁸⁾ Storey⁴¹⁾ Weislander⁴³⁾는 過度한 後方 牽引力에 依하여 上顎骨의 後下方 成長과 蝶形骨의 時計 方向 回轉을 誘導할 수 있다고 叙述하였으며, Chaconas, Caputo와 Davis⁹⁾는 光彈性法을 利用하여 蝶形骨에 미치는 影響에 對하여 言及하였다

Merrifield와 Cross²⁵⁾는 口腔外力으로 因하여 翼突上顎縫合에는 壓縮應力이, 頰骨上顎縫合에는 剪斷效果가, 前頭上顎縫合에는 引張應力이 發揮되어 上顎骨이 後下方으로 成長하므로 正常과는 다른 方向의 成長이 이루어진다고 報告하였다.

또한 headgear 使用에 對한 力學的 研究가 많이 施行되어 왔는데, outer bow의 길이와 角度를 調節하는 것이 主要點이라 볼 수 있다

Gould⁶⁾에 依하면 headgear 使用으로 항상 挺出力(extrusive force)이 發揮되고, 後方으로 牽引하는 hook의 位置가 높고 outer bow 길이와 角속 遠心移動시키는 힘보다는 挺出し키는 힘이 더욱 甚하여진다고 說明하였으며 Greenspan⁸⁾은 inner bow에 對한 outer bow의 길이 및 角度를 細分化하여 이들 사이의 相關關係에 對한 效果를 그림으로 表示하였고 上顎第一大白齒를 傾斜移動없이 平行移動시키려면 medium outer bow를 使用할 境遇에는 咬合平面의 上方으로, long outer bow는 下方으로 調節하여야 한다고 力說하였다.

Merrifield와 Cross²⁵⁾는 臨床 症例를 通하여 上顎第

一大白齒를 平行移動시키기 위하여서는 咬合平面 下方 25°~30°되게 outer bow를 調節하는 것이 有利하다고 言及하였고 Nanda²⁸⁾도 같은 意見을 나타내었다

그 外에, Haack과 Weinstein¹⁰⁾, Oosthuizen³⁰⁾, Worms⁴⁴⁾도 headgear 設計에 따른 效果를 叙述하였다.

齒牙에 加하여진 힘에 對한 反應은 세가지 側面에서 考察될 수 있는데, 첫째는 臨床的 側面으로서 疼痛反應, 齒牙의 動搖度, 齒牙 移動 速度, 齒槽骨의 變化, 齒根 吸收 등을 살펴보는 것이고, 둘째는 組織學的 側面으로서 組織 細胞의 變化를 觀察하는 것이며, 셋째는 應力—張力 側面으로서 齒根膜에서의 應力을 正確하게 알아 낼 수 있다면 이들 中에서 가장 좋은 方法이 되겠다 그러나, 應力 分散을 알아 내기 위하여 實際로 齒根膜에 strain gauge를 附着시킬 수는 없으므로 어떤 假定 下에 齒牙와 그 周圍 構造物에 對한 數理的 模型을 製作하여 齒牙에 加하여지는 數值的 應力을 理論적으로 概算해 내는 方法이 있을 수 있다²⁾ 여기에서의 數理的 模型은 假定 下에 이루어져 算述되는 것이므로 臨床이나 實驗 方法에 依하여 立證되어야 하는데, 이와 같이 應力 分析은 生力學的인 面을 考慮하여야 한다

應力 分析에 關한 工學的 實驗 方法으로서 strain gauge法, 光彈性法(photoelasticity), brittle coating method, moiré fringe method가 있고 그 外의 方法으로서 holography 法 및 컴퓨터를 利用하는 有限要素法(finite element method)이 있다⁴⁷⁾

이 中에서 有限要素法은 複雜한 形態를 지니고 均一하지 않은 物體의 構造物을 應力 分析하는 境遇에 특히 有用하게 쓰이며²²⁾ 全般的인 領域에 걸친 應力の 分布와 測定이 可能할 뿐만 아니라 各 部分에서의 變化가 三次元의 X, Y, Z軸中에서 어느 것에 依한 것인지 區分할 수 있고 變位 前後의 狀態를 同時에 比較하여 볼 수 있는 長點이 있다.

著者は 成長이 完了되지 않은 青年期에 該當하는 乾燥頭蓋骨에 顎部固定 headgear를 裝着하여 힘을 加하므로써 顔面頭蓋骨에 나타나는 變位の 크기를 觀察하고 回轉移動하는 顔面頭蓋骨의 回轉軸의 位置를 알아 내며 headgear 種類에 따른 效果를 究明하기 위하여 三次元 有限要素法을 施行하였으며 아울러 有限要素模型의 妥當性을 立證하기 위하여 張力計測法을 並行하여 多少의 知見을 얻었기에 報告하는 바이다.

II. 研究資料 및 研究方法

1. 研究資料

青年期에 該當하는 乾燥頭蓋骨의 頭蓋冠과 下顎骨을 除去하고 上顎第一大臼齒에 band를 製作하여 double buccal tube를 蟻着한 뒤에 頸部固定 headgear를 着用하였다.

Face-bow는 long outer bow로서 咬合平面 下方 25°, 正中矢狀面과 40°를 이루면서 後方으로 牽引되도록 調節하고 左右 各 各 1kg의 荷重을 附與하였다(그림 1과 그림 2)

2 研究方法

張力計測 實驗을 爲하여 다음에 列擧한 17部位에 strain gauge(KFC-1-D17-23과 KFC-2-D17-23, Kyowa Co)를 附着하여 multichannel system에 連結시키므로써 應力을 測定하였다

- 1) 上顎 前齒部の 脰側 齒槽骨
- 2) 上顎 大齒의 脰側 齒槽骨
- 3) 上顎 小臼齒 部位의 頰側 齒槽骨
- 4) 上顎 第一大臼齒의 頰側 齒槽骨
- 5) 上顎 第二大臼齒의 頰側 齒槽骨 (그림 3)
- 6) 上顎口蓋面의 前方部
- 7) 上顎口蓋面의 中間部分
- 8) 上顎 第一大臼齒의 舌側 齒槽骨
- 9) 上顎 第二大臼齒의 舌側 齒槽骨 (그림 4)
- 10) 翼狀突起內側板의 基底部
- 11) 翼狀突起內側板의 錐體突起 (그림 5)
- 12) 翼狀突起外側板의 基底部
- 13) 翼狀突起外側板의 錐體突起 (그림 6)
- 14) 頰骨弓中 頰骨側頭突起
- 15) 頰骨弓中 側頭頰骨突起
- 16) 鼻骨上顎縫合
- 17) 篩骨 眼窩板 (그림 7)

有限要素法 分析을 爲하여서는 實驗에 使用되었던 乾燥頭蓋骨의 上顎齒牙切斷面에서 부터 頭蓋骨의 切斷面에 이르기까지 2mm間隔으로 42每의 컴퓨터 斷層寫眞을 撮影하였는데, 乾燥頭蓋骨의 左右側 및 正中線前方에 0.9mm stainless steel wire를 서로 平行되게 附着하여 斷層 撮影된 寫眞마다 切點의 座標計測을 爲한 基準點이 나타나게 하였다 斷層寫眞 필름을 實際 크기로 擴大 印畫한 後, 側面에서 본 後頭骨의 最後方 正中線點에서 上方으로 向하여 頭蓋骨 切斷面의 斷層寫眞에서 나타나는 點을 原點으로 삼고 正中面에서부

터 左側으로 向하는 軸을 X軸, 原點에서 부터 前方으로 向하는 軸을 Y軸, 下方으로 向하는 軸을 Z軸으로 設定하였다(그림 8)

張力計測 實驗 裝置에 依據하여 拘束點은 後頭骨鱗部의 外面 一部와 foramen magnum으로 하였고, 乾燥頭蓋骨이 左右 對稱이라는 假定下에 片側만은 597個 切點과 790個 要素로 細分化하여 有限要素模型을 製作하였으며 實驗에 使用되었던 基準形 face-bow (A45-0000, Tomy Co)는 11個 切點과 11個 要素로 나누어서 總 608個 切點과 801個 要素(表 1)로 構成된 模型을 構造物 解析 software인 "ANSYS"에 入力하여 各 切點과 要素에서의 應力과 變位를 算出하였다

基準形 face-bow 以外에도 齒列弓 縮小用 face-bow(C-4500, Tomy Co)와 齒列弓 擴大用 face-bow(E-4500, Tomy Co)도 各 各 11個 切點과 11個 要素로 細分化하여(表 1) 基準形 face-bow와 같은 過程을 거쳐 그 結

表 1 切點數 및 要素의 形態와 數

Element types	Finite element model	Face-bow (STD, CONTR & EXPAN)
Triangular plate	716	—
Solid {	tetrahedron	—
	prism (6-node)	—
	hexahedron	—
Beam	—	11
Total No of element	790	11
No of node	597	11

STD, 基準形 face-bow
CONTR, 齒列弓縮小用 face-bow
EXPAN, 齒列弓擴大用face-bow

表 2 材料의 物質常數

Material	Young's modulus (E)	Poisson's ratio(ν)
Compact bone	1 407 × 10 ³ kg 증/mm ²	0.3
Cancellous bone	1 407 × 10 ¹	"
Molar enamel	4 714 × 10 ³	"
Molar root dentin	7 739 × 10 ²	"
Bicuspid enamel	4 784 × 10 ³	"
Bicuspid root dentin	9 146 × 10 ²	"
Cuspid enamel	4 855 × 10 ³	"
Cuspid root dentin	1 196 × 10 ³	"
Incisor enamel	4 784 × 10 ³	"
Incisor root dentin	9 850 × 10 ²	"
Stainless steel	1 970 × 10 ⁴	"

果를 算出하였다.

本 研究에서는 材料의 物理的 特性인 Young率(E)과 Poisson's ratio(ν)를 頭蓋骨에서는 緻密骨과 網狀骨로, 齒牙에서는 部位別로 珥瑯質과 齒根象牙質로, face-bow 는 stainless steel로 區分하였다(表 2).^{11,40,42,45,46)}

Ⅲ. 研究 結果

1 張力計測 實驗과 有限要素法에 依한 主應力의 比較 (表 3, 그림 9)

매우 類似한 傾向을 나타내는데, 翼狀突起外側板의 基部에서만이 最大 主應力 結果가 相異하여 實驗에서는 壓縮應力으로 有限要素法에서는 引張應力으로 나타났다.

2 上顎齒牙 및 上顎骨의 平均變位量 比較 (表 4, 그림 10)

1) 上顎 齒牙

全般的으로 齒牙에서는 Y軸 變位量, 즉 前齒에서는 舌側移動이 犬齒 및 小·大白齒에서는 遠心移動이 가장 顯著하게 이루어진다

前齒部에서 臼齒部로 갈수록 各 軸에 따른 變位量이 增加되므로 齒牙移動量이 커지는 것을 알 수 있고, 第二大臼齒에서만이 第一大臼齒에 比하여 적은 量의 移動이 나타난다

前齒部에서는 舌側移動, 挺出, 近心移動의 順으로 (舌側移動은 近心移動의 22~25倍), 犬齒부터 第二小臼齒에 이르기까지 遠心移動, 挺出, 舌側移動의 順으로, 第一·第二大臼齒에서는 遠心移動, 舌側移動, 挺出의 順으로 齒牙가 移動된다

注目할 만한 事項은 第二小臼齒가 平行移動되고(그림 11) 第一大臼齒에서 이루어지는 遠心및 舌側移動은 遠心面에서 보다 近心面에서 또한 齒根보다 齒冠에서 뚜렷하게 나타난다

挺出역시 頰側近心齒根에서 가장 많이 이루어지고 齒冠의 遠心面보다는 近心面에서 顯著하여 舌側遠心에서는 오히려 壓下(intrusion)된다

2) 上顎口蓋面

上顎齒牙와 더불어 後下內方(以下, 크기順)으로 移動되며, X軸과 Y軸 變位量은 第一小臼齒에서 이루어지는 크기와 近似하고 Z軸 變位量인 下方移動은 後方部에 比하여 前方部에서 많이 나타난다

3) 上顎骨의 前面과 後面

上顎齒牙 및 口蓋面에서 살펴 본 바와 같이 全般的으로 後下內方으로 移動되고 上部로 갈수록 後內方으

로의 變化가 減少되는 傾向이 있으며 口蓋面과 마찬가지로 上顎骨 後面에 比하여 前面에서 下方으로 더욱 많이 移動된다.

3. 側面에서 본 顏面頭蓋骨의 變化(表 5, 그림 12)

全般的으로 Y軸에 따라서 後方으로 移動되고 Z軸에 따라서는 前方部에 位置한 前頭蓋와 中頭蓋의 蝶形骨骨體를 除外한 部分이 下方으로 그 後方部에 있는 骨은 上方으로 移動되면서 時計方向의 回轉樣相을 보여준다

下方移動이 나타나는 部位 中에서 前方쪽에 位置할수록 그 變位量은 커지고 上方移動이 이루어지는 部位 中에서 後方쪽에 位置할수록 적은 量이 移動되는 傾向이 있다.

4. 水平面에서의 頭蓋骨의 變化 (그림 14)

Y軸을 따라 全般的으로 後方移動이 이루어지지만 X軸 變位量은 前·中·後頭蓋에서 各其 다른 樣相을 보여 前頭蓋와 後頭蓋에서는 正中面을 向하여 內側으로, 中頭蓋는 外側으로 移動된다.

5 鼻腔 및 眼窩의 變化

鼻腔의 外側壁은 後下內方(以下, 크기順)으로 移動되어 鼻腔이 좁아지게 되고(表 6), 眼窩를 形成하는 上壁, 內·外側壁도 各 各 眼窩가 좁아지는 傾向으로 變位된다(表 7)

6 齒列弓 縮小用 face-bow와 齒列弓 擴大用 face-bow 使用에 依한 變化(表 8, 그림 15)

齒列弓 縮小用 face-bow를 使用하는 境遇는 基準形 face-bow 使用에 依한 結果와 同一한 變位量을 나타내었다.

齒列弓 擴大用 face-bow를 使用하면 基準形 face-bow에 比하여 上顎齒牙 및 上顎口蓋面이 全般的으로 擴張되고 特히 第二小臼齒와 그 後方 齒牙 및 口蓋面에서는 힘이 加하여지지 않은 原來 狀態보다 擴大되는 效果가 顯著하게 나타난다(그림 15-1).

Y軸에 따른 變位로서 後方移動量은 基準形 face-bow를 使用한 境遇와 매우 近似한 傾向을 보이고 Z軸 變位量인 挺出은 多少 크게 나타난다(그림 15-2)

齒列弓 擴大用 face-bow를 使用한 境遇에도 上顎第二小臼齒가 平行으로 移動되었다(그림 16)

Ⅵ. 總括 및 考按

張力計測法(strain gauge method)은 gauge가 附着된 表面의 한 部位에 對한 應力의 量과 方向을 가장 正確하게 알 수 있지만 gauge가 附着되지 않은 部位의 應

表 3. Strain gauge法과 FEM에 의한 應力 比較

(단위 kg 중/mm²)

Area		Strain gauge에 의한 principal stress		Finite element method에 의한 principal stress
12 labial alveolar bone		0 144 × 10 ⁻¹	maximum	0 120 × 10 ⁻²
		-0 836 × 10 ⁻²	minimum	-0 308 × 10 ⁻²
3 labial alveolar bone		0 153 × 10 ⁻¹	max	0 553 × 10 ⁻²
		-0 124 × 10 ⁻²	min	-0 104 × 10 ⁻²
45 buccal alveolar bone		0 627 × 10 ⁻¹	max	0 669 × 10 ⁻¹
		0 363 × 10 ⁻²	min	0 771 × 10 ⁻²
6 buccal alveolar bone		0 208 × 10 ⁻¹	max	0 217 × 10 ⁻¹
		-0 676 × 10 ⁻²	min	-0 671 × 10 ⁻³
7 buccal alveolar bone		0 587 × 10 ⁻²	max	0 241 × 10 ⁻²
		-0 989 × 10 ⁻²	min	-0 693 × 10 ⁻²
Palate	anterior portion	0 404 × 10 ⁻²	max	0 100 × 10 ⁻²
		-0 101 × 10 ⁻¹	min	-0 216 × 10 ⁻¹
	middle portion	0 826 × 10 ⁻²	max	0 430 × 10 ⁻²
		-0 123 × 10 ⁻¹	min	-0 102 × 10 ⁻¹
6 lingual alveolar bone		0 110 × 10 ⁻¹	max	0 104 × 10 ⁻¹
		-0 894 × 10 ⁻²	min	-0 343 × 10 ⁻²
7 lingual alveolar bone		-0 428 × 10 ⁻²	max	-0 205 × 10 ⁻³
		-0 979 × 10 ⁻²	min	-0 362 × 10 ⁻²
Medial pterygoid plate	base	-0 203 × 10 ⁻¹	max	-0 288 × 10 ⁻¹
		-0 460 × 10 ⁻¹	min	-0 349 × 10 ⁻¹
pyramidal process		0 781 × 10 ⁻²	max	0 499 × 10 ⁻³
		-0 259 × 10 ⁻¹	min	-0 140 × 10 ⁻¹
Lateral pterygoid plate	base	-0 207 × 10 ⁻¹	max	0 451 × 10 ⁻²
		-0 275 × 10 ⁻¹	min	-0 532 × 10 ⁻²
pyramidal process		0 188 × 10 ⁻¹	max	0 938 × 10 ⁻¹
		-0 550 × 10 ⁻¹	min	-0 114 × 10 ⁻¹
Zygomatic arch	temporal process of zygomatic bone	0 711 × 10 ⁻²	max	0 745 × 10 ⁻²
		0 495 × 10 ⁻²	min	0 734 × 10 ⁻³
zygomatic process of temporal bone		-0.468 × 10 ⁻²	max	-0 401 × 10 ⁻²
		-0 617 × 10 ⁻¹	min	-0 197 × 10 ⁻¹
Naso-maxillary suture		0 718 × 10 ⁻²	max	0 281 × 10 ⁻²
		-0.517 × 10 ⁻²	min	-0 384 × 10 ⁻²
Orbital plate of ethmoid bone		0 190 × 10 ⁻¹	max	0 736 × 10 ⁻²
		-0 230 × 10 ⁻¹	min	-0 141 × 10 ⁻²

(+ : tension)

(- : compression)

表 4 上顎齒牙와 上顎骨의 平均變位量

Area		X 軸變位量(mm)	Direction	Y 軸變位量(mm)	Direction	Z 軸變位量(mm)	Direction
1		-0.276×10^{-4}	mesial	-0.109×10^{-2}	palatal	0.485×10^{-3}	extrusion
2		-0.517×10^{-4}	mesial	-0.115×10^{-2}	palatal	0.528×10^{-3}	extrusion
3		-0.138×10^{-3}	palatal	-0.124×10^{-2}	distal	0.589×10^{-3}	extrusion
4		-0.190×10^{-3}	palatal	-0.129×10^{-2}	distal	0.666×10^{-3}	extrusion
5		-0.463×10^{-3}	palatal	-0.163×10^{-2}	distal	0.796×10^{-3}	extrusion
6		-0.562×10^{-3}	palatal	-0.180×10^{-2}	distal	0.466×10^{-3}	extrusion
6	MB	-0.701×10^{-3}	palatal	-0.218×10^{-2}	distal	0.763×10^{-3}	extrusion
	ML	-0.701×10^{-3}	palatal	-0.214×10^{-2}	distal	0.571×10^{-3}	extrusion
	DB	-0.612×10^{-3}	palatal	-0.187×10^{-2}	distal	0.167×10^{-3}	extrusion
	DL	-0.608×10^{-3}	palatal	-0.184×10^{-2}	distal	-0.148×10^{-5}	intrusion
Root	Lingual	-0.431×10^{-3}	palatal	-0.136×10^{-2}	distal	0.335×10^{-3}	extrusion
	MB	-0.419×10^{-3}	palatal	-0.172×10^{-2}	distal	0.845×10^{-3}	extrusion
	DB	-0.413×10^{-3}	palatal	-0.150×10^{-2}	distal	0.231×10^{-3}	extrusion
7		-0.406×10^{-3}	palatal	-0.150×10^{-2}	distal	0.906×10^{-4}	extrusion
7	Crown	-0.434×10^{-3}	palatal	-0.153×10^{-2}	distal	0.761×10^{-4}	extrusion
	Root	-0.325×10^{-3}	palatal	-0.141×10^{-2}	distal	0.133×10^{-3}	extrusion
Palate		-0.204×10^{-3}	medial	-0.134×10^{-2}	posterior	0.244×10^{-3}	downward
	anterior portion	-0.576×10^{-4}	medial	-0.143×10^{-2}	posterior	0.557×10^{-3}	downward
	posterior portion	-0.276×10^{-3}	medial	-0.118×10^{-2}	posterior	0.112×10^{-4}	downward
Maxillary bone	anterior surface	-0.153×10^{-3}	medial	-0.116×10^{-2}	posterior	0.575×10^{-3}	downward
	infratemporal surface	-0.196×10^{-3}	medial	-0.108×10^{-2}	posterior	0.304×10^{-3}	downward

力 分析이 不可能하다

光彈性法(photoelastic method)은 實驗 對象物이 均一하다는 假定 下에 模型을 製作하고 fringe에 依해 應力이 說明되므로 應力의 크기보다는 隣接된 部位에 對한 相對的인 應力의 差異를 理解하는 데에 有效하지만, 보고자 하는 한 平面(例, X-Y 平面)으로 자르고 나면 다른 平面(例, Y-Z 平面이나 X-Z 平面)에서의 應力 分布를 볼 수 없을 뿐만 아니라 應力이 加하여진 前後의 狀態를 同時에 觀察할 수 없는 短點이 있다

BrITTLE coating method는 主應力의 方向을 알 수 있지만 正確한 應力의 量을 알아내기 어렵고, moiré fringe method는 變形된 部分의 grid위에 變形 以前 狀態의 grid를 갖다대면 빛의 干涉 現象에 의하여 생기는 fringe로 判讀하는 方法으로서 다른 方法에 의해서 쉽게 알아 낼 수 없는 境遇에 有用하게 쓰일 뿐이며 廣範圍한 構造物에 對해서는 使用이 容易하지 않다

Holography法은 單色光이면서 같은 方向인 高周皮

數光源의 干涉 現象을 利用하는 것으로서 아주 짧은 時間差를 두어서 LASER를 發射하여 形成된 fringe 測定에 依하여 微細한 움직임도 알 수 있는 長點이 있지만 空氣 振動조차 없어야 하는 實驗室 條件이 까다롭고 表面에서 보이지 않는 骨 內部的 變化를 把握하지 못하는 어려움이 있다

有限要素法(finite element method)은 工學問題를 컴퓨터 利用으로 數值的으로 說明하는 매우 組織的인 方法으로서, 物體는 아주 작게 任意로 나뉘어진 要素(element)의 集合體이며 各 要素는 隣接된 切點(node)에 依하여 連結되었다고 生覺하여 힘이 加하여지면 切點에 依해 傳達된다는 概念이다¹⁵⁾ 有限要素法을 다른 近似 方法과 比較하는 觀點에서 그 特徵을 要約하여 보면 有限要素(finite element)라 불리우는 便宜上 나뉘어진 要素위에 定義된 特定性質의 基底函數(basis function)를 주어진 問題에 맞는 積分形의 原理에 使用하여 連續된 物體를 有限 次元問題로 數式化하는 近似的

表 5 側面에서 본 顔面頭蓋骨의 平均變位量

Area	X 軸變位量 (mm)	Direction	Y 軸變位量 (mm)	Direction	Z 軸變位量 (mm)	Direction	
Maxillary bone	-0.153 × 10 ⁻³	medial	-0.116 × 10 ⁻²	posterior	0.575 × 10 ⁻³	downward	
Frontozygomatic suture	-0.644 × 10 ⁻⁴	medial	-0.520 × 10 ⁻³	posterior	0.507 × 10 ⁻³	downward	
Lateral pterygoid plate	-0.531 × 10 ⁻⁴	medial	-0.638 × 10 ⁻³	posterior	0.602 × 10 ⁻⁴	downward	
Medial pterygoid plate	-0.560 × 10 ⁻⁴	medial	-0.853 × 10 ⁻³	posterior	-0.101 × 10 ⁻³	upward	
base	-0.850 × 10 ⁻⁵	medial	-0.745 × 10 ⁻³	posterior	-0.714 × 10 ⁻⁴	upward	
pyramidal process	-0.125 × 10 ⁻³	medial	-0.102 × 10 ⁻²	posterior	0.802 × 10 ⁻⁴	downward	
Zygo-matic arch	temporal process of zygomatic bone	-0.119 × 10 ⁻³	medial	-0.875 × 10 ⁻³	posterior	0.476 × 10 ⁻³	downward
	zygomatic process of temporal bone	0.291 × 10 ⁻⁴	lateral	-0.533 × 10 ⁻³	posterior	0.870 × 10 ⁻⁴	downward
Spheno-occipital synchondrosis	body of sphenoid bone	0.243 × 10 ⁻⁴	lateral	-0.657 × 10 ⁻³	posterior	-0.105 × 10 ⁻³	upward
	basilar part of occipital bone	0.171 × 10 ⁻⁴	lateral	-0.180 × 10 ⁻³	posterior	-0.424 × 10 ⁻⁴	upward
Squamous part of occipital bone	-0.861 × 10 ⁻⁵	medial	0	no	-0.167 × 10 ⁻⁴	upward	

表 6 鼻腔外側板의 平均變位量

X 軸變位量 (mm)	Direction	Y 軸變位量 (mm)	Direction	Z 軸變位量 (mm)	Direction
-0.550 × 10 ⁻⁴	medial	-0.996 × 10 ⁻³	posterior	0.347 × 10 ⁻³	downward

表 7 眼眶形成部分의 平均變位量

	X 軸變位量 (mm)	Direction	Y 軸變位量 (mm)	Direction	Z 軸變位量 (mm)	Direction
Roof	-0.337 × 10 ⁻⁶	medial	-0.428 × 10 ⁻³	posterior	0.318 × 10 ⁻³	downward
Medial wall	-0.455 × 10 ⁻⁶	medial	-0.636 × 10 ⁻³	posterior	0.378 × 10 ⁻³	downward
Lateral wall	-0.516 × 10 ⁻⁴	medial	-0.568 × 10 ⁻³	posterior	0.357 × 10 ⁻³	downward
Floor	-0.363 × 10 ⁻⁴	medial	-0.905 × 10 ⁻³	posterior	0.529 × 10 ⁻³	downward

方法이다⁴⁹⁾

本 研究에서 利用하였던 張力計測法의 應力—張力關係는 Hook法則에 依하여 說明된다. 荷重에 다른 電氣抵抗의 變化를 利用한 張力計測法은 荷重을 加한 뒤에 gauge wire를 測定하고 이와 比例 關係에 있는 張力을 알아낸다.

$$\epsilon(\text{張力}) = \frac{\Delta l}{l} \quad (l, \text{ 原來的 gauge wire 길이}) \\ (\Delta l, \text{ 變化된 gauge wire 길이})$$

物體의 彈性限界 範圍 內에서는 Hook 法則에 따르므로 $\sigma(\text{應力}) = \epsilon \cdot E$ 에서 보는 바와 같이 物體의 特定係數인 Young率(E)를 알고 있으면 應力을 計算해 낼 수 있다⁴⁹⁾

張力計測 實驗에 依하여 應力이 集中된 部位를 알게 되면 有限要素 模型 製作 過程에서 要素를 보다 작고 細密하게 製作할 수 있을 뿐만 아니라 有限要素 模型 製作이 正確한가를 알 수 있다.

本 研究에서 施行한 張力計測 實驗과 有限要素法에 依한 主應力을 比較하여 보면(表 3, 그림 9)서로 近似한 傾向을 나타내는데, 翼狀突起外側板의 基底部에서 나타나는 最大主應力만이 相異한 結果를 보여 實驗에서는 壓縮應力이 有限要素法에서는 引張應力으로 나타났다.

本 研究에서와 같은 方法을 利用하여 生體의 應力 分析을 한 다른 研究^{5,12,37)}에서도 部位에 따라 相異한 結果를 보이는데, 이에 對한 要因을 다음과 같이 生覺 하여 볼 수 있다.

첫째, 매우 複雜한 構造를 지닌 頭蓋骨 自體를 有限 要素模型으로 轉換한다는 點에서부터 不正確度는 不可 避할 수 뿐이 없다.

骨은 複雜하면서도 不規則한 構造物이며 緻密骨이 網狀骨로 移行되는 部分이 漸進的이므로 그 境界線을 明確하게 區分지을 수 없어서 有限要素 模型에 그대로

表 8 基準形, 齒列弓縮小用 및 擴大用 face-bow에 依한 上顎齒牙와 上顎口蓋面의 平均變位量

Area	X 軸變位量 (mm)		Y 軸變位量 (mm)		Z 軸變位量 (mm)		
	Standard & contraction face-bow	Expansion face-bow	Standard & contraction face-bow	Expansion face-bow	Standard & contraction face-bow	Expansion face-bow	
1	Crown	-0.361×10^{-4}	-0.332×10^{-5}	-0.109×10^{-2}	-0.175×10^{-2}	0.485×10^{-3}	0.928×10^{-3}
	Root	-0.285×10^{-4}	-0.151×10^{-5}				
2	Crown	-0.543×10^{-4}	-0.258×10^{-5}	-0.115×10^{-2}	-0.178×10^{-2}	0.528×10^{-3}	0.921×10^{-3}
	Root	-0.532×10^{-4}	0.825×10^{-5}				
3	Crown	-0.503×10^{-3}	-0.329×10^{-4}	-0.124×10^{-2}	-0.177×10^{-2}	0.589×10^{-3}	0.906×10^{-3}
	Root	-0.162×10^{-3}	0.253×10^{-4}				
4	Crown	-0.180×10^{-3}	-0.948×10^{-4}	-0.129×10^{-2}	-0.196×10^{-2}	0.666×10^{-3}	0.934×10^{-3}
	Root	-0.198×10^{-3}	-0.496×10^{-4}				
5	Crown	-0.463×10^{-3}	0.392×10^{-3}	-0.163×10^{-2}	-0.197×10^{-2}	0.796×10^{-3}	0.953×10^{-3}
	Root	-0.463×10^{-3}	0.392×10^{-3}				
6	MB	-0.701×10^{-3}	0.164×10^{-2}	-0.218×10^{-2}	-0.280×10^{-3}	0.763×10^{-3}	0.115×10^{-2}
	ML	-0.701×10^{-3}	0.158×10^{-2}	-0.214×10^{-2}	-0.258×10^{-2}	0.571×10^{-3}	0.140×10^{-2}
	DB	-0.612×10^{-3}	0.822×10^{-3}	-0.187×10^{-2}	-0.220×10^{-2}	0.167×10^{-3}	-0.577×10^{-4}
	DL	-0.608×10^{-3}	0.780×10^{-3}	-0.184×10^{-3}	-0.197×10^{-2}	-0.148×10^{-5}	0.257×10^{-3}
7	Lingual	-0.431×10^{-3}	0.369×10^{-3}	-0.136×10^{-2}	-0.104×10^{-2}	0.335×10^{-3}	0.108×10^{-2}
	MB	-0.419×10^{-3}	0.473×10^{-3}	-0.172×10^{-2}	-0.195×10^{-2}	0.845×10^{-3}	0.121×10^{-2}
	DB	-0.413×10^{-3}	0.266×10^{-3}	-0.150×10^{-2}	-0.174×10^{-2}	0.231×10^{-3}	-0.981×10^{-4}
7	Crown	-0.434×10^{-3}	0.467×10^{-3}	-0.153×10^{-2}	-0.139×10^{-2}	0.761×10^{-4}	0.324×10^{-3}
	Root	-0.325×10^{-3}	0.303×10^{-3}	-0.141×10^{-2}	-0.128×10^{-2}	0.133×10^{-3}	0.343×10^{-3}
Palate	-0.204×10^{-3}	0.210×10^{-3}	-0.134×10^{-2}	-0.126×10^{-2}	0.244×10^{-3}	0.469×10^{-3}	

再現시킬 수 없다²⁴⁾

둘째, 骨 自體는 均一하지 않고 異方性인 粘彈性體 이므로 各 部位마다 物質 特性에 對한 資料도 다르다

有限要素 模型에서는 各 要素마다 다른 物質 特性의 資料를 附與하지만, 하나의 要素 自體는 均一하며 等 方性인 것으로 看做하고 Hook 法則에 따르는 彈性體로 前提한다

現在까지 骨의 應力 分析에 있어서 가장 큰 問題點의 하나로 指摘되는 것이 物理的 特性에 對한 資料가 不足하며 實驗에 依하여 이를 알아내었다 하더라도 死體는 時間이 지남에 따라 變化되므로 그대로 適用시키 기에는 無理가 있다는 點이다

셋째, 有限要素法은 使用되어진 software의 種類 및 要素形態에 依하여 概算된 方法으로서 變位量은 切點을 通해 連結된 隣接 要素의 格子化와 補間函數에 의한 近似值로 表現된다

要素가운데 部分의 應力은 Gaussian point에 依한 外

插法으로 計算하는데 要素 自體의 形態가 不規則하면 더욱 誤差가 생기기 마련이다 前述하였듯이 頭蓋骨의 要素는 不規則하므로 實驗에 依한 結果와는 差異가 나 게 된다

넷째, gauge를 附着한 部分이 有限要素 模型에서의 要素와 正確하게 一致하는가 하는 點도 兩 結果의 近 似度에 影響을 미친다.

다섯째, 어떠한 實驗에서나 內在되어 있는 實驗 誤 差의 可能性으로 因하여서도 差異가 나타 날 수 있다

本 研究에서는 張力計測 實驗 結果와 有限要素 結果가 매우 近似한 傾向을 나타내므로 多様な 情報을 알 수 있는 有限要素法 結果에 依據하여 여러가지 事實을 觀察하는 것이 妥當하다 할 수 있다

1) 上顎 齒牙 및 上顎骨의 移動

1 上顎骨의 空間的 位置의 再排列 (表 4)

上顎骨 및 上顎口蓋面은 三次元 中에서 後方 移動이 가장 많으며 特히 口蓋面의 後方 移動이 顯著하여 顎

骨 間의 不調和 關係가 輕減된다.

上顎骨이 後方 移動되므로써 前方 成長이 抑制되는 것에 對하여서는 이미 여러 研究家에 依해 發表되었다. 1, 3, 4, 7, 9, 14, 16, 17, 25, 26, 27, 32, 33, 34, 38)

2 上顎 齒牙의 遠心 및 舌側 移動

(表 4, 그림 10과 17)

上顎 前齒는 舌側 變位量이 가장 顯著하므로 水平被 蓋度의 減少가 이루어지고 上顎 犬齒 및 小·大 臼齒는 遠心으로 많이 移動되어 對合齒와 正常的 臼齒 關係를 形成하는 데에 有利하다.

第二大臼齒의 遠心 移動은 第一大臼齒에 比하여 76% 程度가 이루어져 headgear 使用으로 第二大臼齒가 正常 位置로 萌出하지 못할 憂慮가 있으므로 이 點에 留意하여 觀察하여야 한다.

3 垂直關係의 改善 (表 4, 그림 10과 18)

上顎骨과 上顎口蓋面, 齒牙 모두가 下方으로 移動되는데 前方部에서는 齒牙에 比하여 口蓋面이 더욱 下方 移動되고 後方部로 갈수록 臼齒部의 挺出量이 增加되어 第一大臼齒의 頰側近心部分에서 가장 顯著하게 나타나는데 反하여 口蓋面의 下方 移動은 至極히 적다. 이로 因하여 過蓋咬合의 解消에 도움이 된다

headgear가 適用되는 上顎 第一大臼齒는 遠心面에 比하여 近心面에서 挺出이 甚하게 이루어지는 것으로 보아 時計方向으로 回轉되어 遠心傾斜移動되는 것을 알 수 있다

이러한 事實은 headgear를 後方으로 牽引하는 힘이 第一大臼齒의 무게中心 上部(齒冠部)를 通過한다고 類推할 수 있다

本 研究에서는 第二小臼齒가 平行으로 移動하는 것으로 나타났다(그림 11)

4 頰·舌面 關係 (表 4, 그림 10과 17)

上顎口蓋面의 內側 變位量은 第一小臼齒에서 나타나는 量과 近似하며 이 齒牙보다 後方에 位置한 第二小臼齒 및 第一·二大臼齒 部位에서는 口蓋面보다 더 많은 舌側 移動이 이루어진다.

Chaconas, Caputo와 Davis³⁾가 光彈性 實驗을 통하여 headgear使用에 依한 應力分析 結果를 考察하였는데 口蓋骨의 水平板에서 上顎口蓋縫合을 따라 外側으로 힘이 傳達되어 口蓋骨의 正中部가 離開되므로 headgear 使用으로 Angle氏 二級 不正咬合에서 正常的인 大臼齒關係로 移行될 때에 臼齒部 反對咬合이 防止된다고 說明하였다

이 實驗에서는 headgear 調節 方法에 對한 具體的인 言及이 없어서 本 研究에서 나타난 結果와 比較하는

것은 無理라고 生覺된다.

Ricketts³⁴⁾는 頸部固定 headgear 使用으로 鼻腔의 幅이 增加되고 上顎齒槽突起도 擴張된다고 叙述하였는데 앞에서 言及된 實驗에서와 같이 headgear 調節法에 對한 說明이 없었다

本 研究에서는 上顎口蓋面뿐만이 아니라 上顎骨 및 鼻腔의 側壁도 內側으로 移動되어 上顎弓과 鼻腔이 좁아지는 傾向으로 變化되었다

2) 顏面頭蓋骨의 時計方向 回轉移動과 回轉軸

(表 5, 그림 12)

顎骨 및 隣接 頭蓋骨이 어떤 部位를 中心으로 어떠한 樣相의 回轉移動이 이루어지는 가를 알기 爲하여서는 側面에서 보이는 頭蓋骨의 Y軸과 Z軸의 變位를 觀察하면 된다.

前下部에 位置한 上顎口蓋面과 上顎骨 前面, 前上部에 있는 前頭頰骨縫合部, 比較的 後方에 位置한 翼狀突起內·外側板, 頰骨弓, 蝶後頭骨軟骨聯合을 構成하는 蝶形骨骨體와 後頭骨의 基底部, 最後方部인 後頭骨鱗部에서의 Y軸 變位를 살펴 보면 全般的으로 後方으로 移動되고 後方部로 갈수록 그 變位量은 減少하는 傾向이 있다 Z軸에 따른 上方 또는 下方 移動은 部位 別로 달라 正中面 中心部에서 부터 側方으로 漸進的으로 옮겨 가며 考察하기로 한다 正中面에 가까운 內側部分에서는 한 構造物인 翼狀突起內側板의 基底部와 錐體突起를 區分으로 各 各 上方 移動과 下方 移動이 이루어져 相反된 樣相을 보이고 있다

특히, 翼狀突起內側板의 基底部 中에서 前方에 位置한 切點에서는 -10^{-5} mm 單位의 至極히 작은 變位量을 보여 바로 앞 部分에 回轉中心이 있다고 推測할 수 있다

正中面에서는 上顎骨의 鼻稜과 鋤骨이 連結되는 最後下方 切點에서 -0.927×10^{-5} mm 變位量을 보였고 보다 外側으로 나아가서는 翼突上顎裂의 前上方 切點에서 -0.123×10^{-4} mm되는 매우 적은 Z軸 變位量을 나타내었다 가장 外側 部分에서는 頰骨弓의 後半部를 形成하는 側頭骨의 頰骨突起에서 全般的으로 \oplus Z軸 變位量을 보여 下方으로 移動되지만 側頭骨 鱗部에 連結되는 二個의 切點에서 -0.361×10^{-5} mm, -0.293×10^{-5} mm Z軸變位量을 보여 上方 移動되고 그 後方部에서도 上方으로 移動된다.

以上の 結果를 보아 上顎骨 및 隣接 頭蓋骨은 正中面에 位置한 上顎骨의 鼻稜과 鋤骨이 連結되는 最後方點에서 부터 始作하여 後外上方으로 나아가면서 翼狀突起內側板의 基底部 前方 部分, 翼突上顎裂의 前上方 部分을 지나 外側으로는 頰骨弓이 側頭骨에 連結되는

部分에 이르기까지 一聯의 直線을 回轉軸으로 삼아 時計方向으로 回轉移動된다(그림 13)

이 回轉軸의 前方에 位置한 前頭蓋와 中頭蓋中 蝶形骨 骨體를 除外한 部分은 後下方移動되고 回轉軸의 後方に 있는 蝶形骨 骨體와 後頭蓋는 後上方으로 移動된다

回轉軸의 前方部에서는 前方에 位置할수록 下方移動이 많이 이루어지고 後方部에서는 後方に 位置할수록 上方 移動量이 減少하는 傾向이 있는데, 이는 foramen magnum과 後頭骨 鱗部의 一部를 拘束點으로 하였기 때문에 基因하는 것으로 思料된다

Chaconas, Caputo와 Davis³⁾의 光彈性 實驗 研究에서는 上顎口蓋面이 後下方으로 傾斜移動되고 翼狀板에서 높은 fringe가 나타나므로 顎顔面의 中間 部位인 鼻上顎骨이 回轉移動된다고 밝혔으며, Merrifield와 Cross²⁵⁾, Sandusky³⁸⁾ 등의 研究에서도 上顎骨이 時計方向으로 回轉移動되어 上顎骨의 前方 成長이 抑制되므로 Angle氏 二級 不正咬合의 治療에 有利하게 作用한다고 說明하였다

Ricketts³⁵⁾는 上顎骨 自體의 回轉 中心 位置가 翼狀上顎裂 上部이며 이 點을 中心으로 回轉 移動한다고 報告한 바가 있다

3) 水平面에서의 頭蓋骨의 變化 樣相 (그림 14)

前·中·後頭蓋骨의 水平面 上에서의 變化를 보려면 X軸과 Y軸 變位量을 考察하면 된다

Y軸에 따라 全般的으로 後方으로 移動되지만 X軸에 따른 變位量은 部位別로 달리 前頭蓋와 後頭蓋는 正中面으로 向하여 內側 移動, 中頭蓋는 外側으로 移動된다

특히 前頭蓋와 中頭蓋에서의 轉換 樣相은 한 構造物인 翼狀突起內·外側板이나 頰骨弓에서 볼 수 있다

兩 翼狀突起의 前方部에 位置한 切點에서는 內側으로 後上部인 基底部 切點에서는 外側으로 移動되며(그림 19), 頰骨弓에서도 前半部를 이루는 頰骨 側頭突起의 前方 要素가 內側으로 後半部를 構成하는 側頭骨頰骨突起의 後方 要素가 外側으로 移動되었다(그림 20)

4) 鼻腔 및 眼窩의 變化

1 鼻腔의 變化 (表 6)

外側壁이 全般的으로 後下內方으로 移動되는데 主目할 만한 것은 X軸 變位量이 正中面으로 向하는 內側移動이므로 鼻腔이 좁아지는 傾向으로 變化된다.

2 眼窩의 變化 (表 7)

眼窩를 形成하는 上·下壁, 內·外側壁으로 區分하여 變化되는 樣相을 살펴 보기로 한다

下壁에서 上壁으로 올라갈수록 後下方으로 移動되는 變位量이 減少되는 傾向이 있으나 그 差異는 매우 적다

X軸 變位量인 內·外側 移動은 內側壁 上部를 이루는 篩骨의 眼窩板이 眼窩로 向하는 外側으로 移動되고 下部를 構成하는 上顎骨의 眼窩板은 眼窩가 넓어지는 方向인 內側으로 移動되지만 外側壁은 內側壁에서 나타나는 變位量의 100倍 程度 크기의 內側 移動量을 보여 結果적으로 眼窩 空間이 좁아지는 傾向이 있다

5) 基準形, 齒列弓 縮小用 및 擴大用 face-bow 使用에 依한 變化 比較 (表 8, 그림 15)

齒列弓 縮小用 face-bow를 使用하면 基準形 face-bow를 使用하였을 境遇와 같은 變位量을 나타내어 上顎口蓋面의 別다른 縮小 效果가 이루어지지 않았다.

齒列弓 擴大用 face-bow를 使用한 境遇에는 前齒部와 第一小白齒 部位가 基準形 face-bow를 使用하였을 때 보다 齒牙 및 上顎口蓋面이 擴張되기는 하였으나 힘이 전혀 加하여지지 않은 原來의 狀態에 比하여 縮小되었으며 第二小白齒와 그 後方 齒牙 및 上顎口蓋面에서는 側方으로의 擴大 效果가 顯著하게 나타났다.

face-bow가 裝着된 第一大臼齒의 齒冠 部位는 基準形 face-bow의 使用으로 縮小되는 量의 180%에 該當되는 크기 만큼 擴張되고 齒根은 齒冠보다 多少 적은 量의 擴張이 이루어진다(그림 15-1).

第一大臼齒의 齒冠 內에서도 遠心面에 比하여 近心面에서의 挺出이 뚜렷하고 基準形 face-bow에서와는 달리 頰面보다 舌面이 더욱 挺出되어 頰側遠心部分에서는 오히려 壓下가 일어나는 것으로 보아 基準形이나 齒列弓 縮小用 face-bow를 使用한 境遇에서 보다 遠心 및 頰側 傾斜 移動이 顯著하다는 것을 알 수 있다(그림 15-2)

齒列弓 擴大用 face-bow를 使用하였을 때에도 第二小白齒가 平行으로 移動되는 것으로 보아(그림 16), 어떠한 種類의 頸部固定 headgear를 使用하더라도 本 研究에서와 같이 outer bow를 調節하면 上顎第二小白齒가 平行移動된다

V. 結 論

青年期에 該當하는 乾燥頭蓋骨에 頸部固定 headgear를 裝着하여 face-bow의 outer bow가 咬合平面 下方 25°, 正中矢狀面과 40°를 이루면서 後方으로 牽引되도록 調節하고 左右 各各 1kg의 荷重을 附與한 뒤에 張力計測法과 有限要素法에 依하여 上顎 齒牙와 上顎骨 및 隣接頭蓋骨의 變位를 觀察하며 齒列弓 縮小用과 齒列弓 擴大用 face-bow의 效果를 比較하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 上顎 齒牙와 顏面骨은 全般的으로 後, 內, 下方으로 移動하였다

2 本 研究에서는 上顎 第二小白齒만이 平行 移動되었다

3. 顏面頭蓋骨의 回轉軸은 正中面에 位置한 上顎骨 鼻稜과 鋤骨이 連結되는 最後方點에서 始作하여 後外上方으로 나아가 翼突上顎裂의 前上方部와 翼狀突起內 側板의 基底部를 지나 外側으로는 頰骨弓이 側頭骨에 連結되는 部分에 이르는 一聯의 直線으로서, 顏面頭蓋骨은 時計方向으로 回轉하였다

4 本 研究에서 齒列弓 縮小用 face-bow는 基準形 face-bow와 같은 效果를 나타내어 上顎口蓋面의 縮小는 이루어지지 않았다

5 齒列弓 擴大用 face-bow의 擴大 效果는 上顎 第二小白齒와 그 後方 齒牙 및 上顎口蓋面 部位에서 顯著하였다

참 고 문 헌

- 1 Blueher, W A Cephalometric analysis of treatment with cervical anchorage, Angle Orthod 29 45-53, 1959
2. Burstone, C Application of bioengineering to clinical orthodontics—Current orthodontic concepts and techniques—, edited by Graber and Swain, vol 1, p 232
- 3 Chaconas, S J, Caputo, A A, and Davis, J C The effect of orthopedic forces on the craniofacial complex utilizing cervical and HG appliances, Am J Orthod 69 527-539, 1976,
- 4 Epstein, W N Analysis of changes in molar relationship by means of extraoral anchorage (headcap) in treatment of malocclusion, Angle Orthod 18 63-69, 1948
- 5 Farah, J W, Craig, R G, and Sikarskie, D L Photoelastic and finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar, J Biomech 6 511-520, 1973
- 6 Gould, I E Mechanical principles in extraoral anchorage, Am J Orthod 43 319-333, 1957
7. Graber, T M · Extraoral force—facts and fallacies, Am J Orthod 41·490-505, 1955
- 8 Greenspan, R A Reference charts for controlled extraoral force, Am J Orthod 58·486-491,

1970

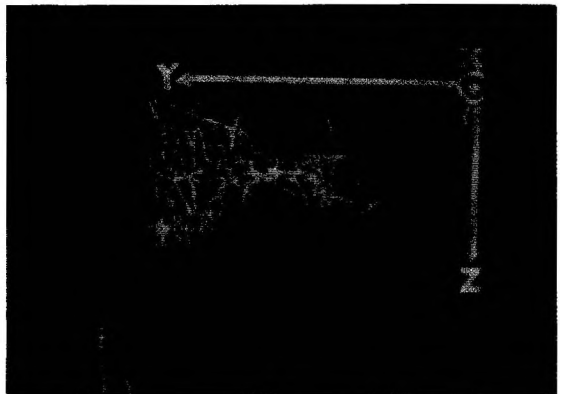
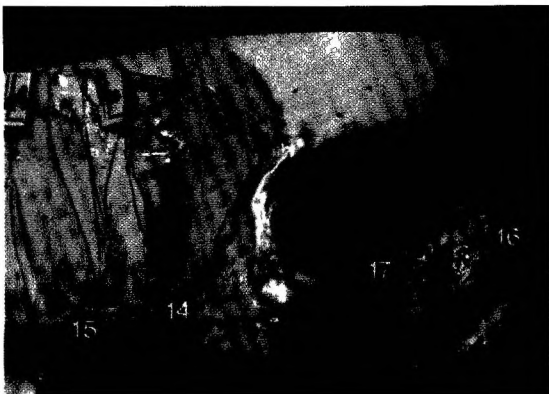
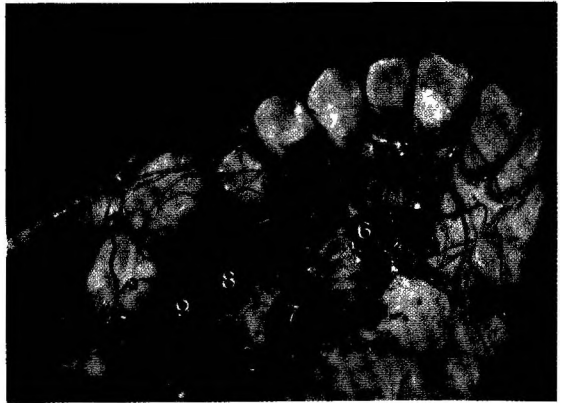
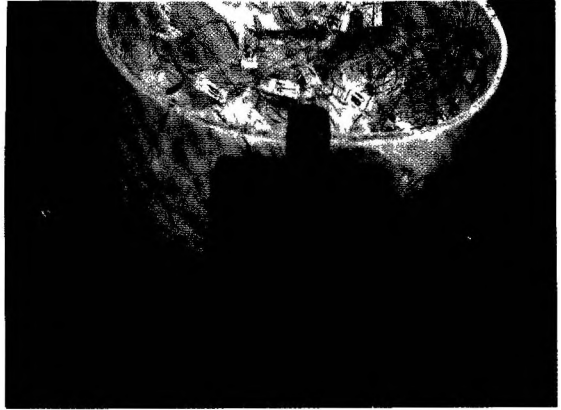
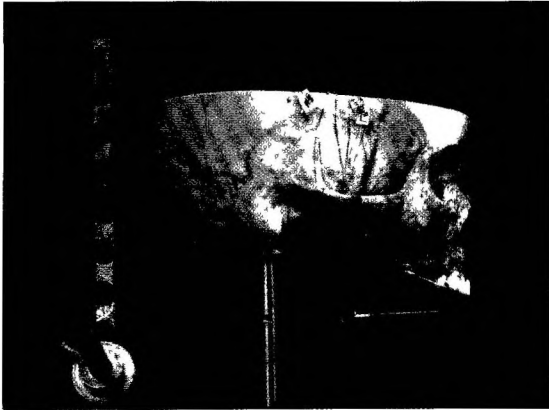
- 9 Gregorak, W Eruption path of permanent maxillary molars in Class II division 1 malocclusion using HG, Am J Orthod 48 367-381, 1962.
- 10 Haack, D D, and Weinstein, S The mechanics of centric and eccentric cervical traction, Am J Orthod 44 346-357, 1958
- 11 Haines, D J Physical properties of human tooth enamel and enamel sheath material under load, J Biomech 1·117-125, 1968
- 12 Hakim, N S, and King, A I A three dimensional finite element dynamic response analysis of a vertebra with experimental verification, J Biomech. 12·277-292, 1979
- 13 Hanes, R A Bony profile changes resulting from cervical traction compared with those resulting intermaxillary elastics, Am J Orthod 45.353-364, 1959
- 14 Henricksen, G J, and Storey, E The effect of force on bone and bones, Angle Orthod 38·155-165, 1968
- 15 Huebner, K H The finite element method for engineering, John Wiley & Sons, 1975
16. King, E W Cervical anchorage in Class II division 1 treatment, a cephalometric appraisal, Angle Orthod 27 98-104, 1957.
- 17 Klein, P L An evaluation of cervical traction on the maxilla and the upper 1st permanent molar, Angle Orthod 27.61-68, 1957
- 18 Kloehn, S G Guiding alveolar growth eruption of teeth to reduce treatment time and produce a more balanced denture and face, Angle Orthod 17·10-33, 1947
19. Kloehn, S G A new approach to analysis and treatment in the mixed dentition, Am J Orthod 39 161-186, 1953
- 20 Kloehn, S G Orthodontics—force or persuasion, Angle Orthod 23 56-65, 1953.
- 21 Kloehn, S G Evaluation of cervical anchorage force in treatment, Angle Orthod 31 91-104, 1961
- 22 Knoell, A C A mathematical model of an in vitro human mandible, J Biomech 10 159-166, 1977

- 23 Mays, R A A cephalometric comparison of 2 types of extraoral appliances used with the edgewise mechanism (unpublished thesis), Am J Orthod 55:195-196 (abstr), 1969
- 24 McElhaney, J.H., Fogle, J L., Melvin, J W., Haynes, R R., Roberts, V L., & Alem, N M Mechanical properties of cranial bone, J Biomech 3 495-511, 1970.
- 25 Merrifield, L L, and Cross, J J Directional forces, Am J Orthod 57:435-464, 1970
26. Moore, A W Observations on facial growth and its clinical significance, Am J Orthod 45:399-423, 1959
- 27 Moore, A W Orthodontic treatment factors in Class II malocclusion, Am J Orthod 45:323-352, 1959
- 28 Nanda, S K Extraoral therapy-published in Dept of Orthodontics of University of Michigan
- 29 Newcomb, M R Some observations on extraoral treatment, Angle Orthod 28 131-148, 1958
- 30 Oosthuizen, L, Dijkman, J F P, and Evans, W G A mechanical appraisal of the Kloehn extraoral assembly, Angle Orthod 43:221-232, 1973
- 31 Oppenheim, A Biologic orthodontic therapy and reality, Angle Orthod 6 153, 1936
- 32 Poulton, D R A 3-yr survey of Class II malocclusion with and without headgear therapy, Angle Orthod 34:181-193, 1964
- 33 Poulton, D R The influence of extraoral traction, Am J Orthod 53:8-18, 1967.
- 34 Ricketts, R M The influence of orthodontic treatment on facial growth and development, Angle Orthod 30:103-131, 1960
- 35 Ricketts, R M Bioprogressive therapy, Chapt 5 Orthopedics in bioprogressive therapy p 71-92
- 36 Ringenberg, Q M, and Butts, W C A controlled cephalometric evaluation of single-arch cervical traction therapy, Am J Orthod 57 179-185, 1970
- 37 Rohlmann, A, Mössner, U, and Bergmann, G Finite-element analysis and experimental investigation in a femur with hip endoprosthesis, J Biomech 16:727-742, 1983
- 38 Sandusky, W C Cephalometric evaluation of the effects of Kloehn type of cervical traction used as an auxiliary with the edgewise mechanism following Tweed's principle for correction of Cl II div. I malocclusion, Am J Orthod 51:262-287, 1965.
- 39 Schudy, F F The rotation of the mandible resulting from growth, Its implication in orthodontic treatment, Angle Orthod 35:36-50, 1965.
- 40 Stanford, J.W Weigel, K V, Paffenbarger, G C, & Sweeny, W T Compressive properties of hard tooth tissues and some restorative materials, J Am Dent Assoc 60:746-756, 1960
- 41 Storey, E Tissue response to the movement of bones, Am J Orthod 64:229-247, 1973.
- 42 Thresher, R W, and Saito, G E The stress analysis of human teeth, J Biomech 6:443-449, 1973
- 43 Weislander, L The effect of orthodontic treatment on the concurrent development of the craniofacial complex, Am J Orthod 49:15-27, 1963
- 44 Worms, F W, Isaacson, R J, & Spidel, T.M A concept and classification of centers of rotation and extraoral force systems, Angle Orthod 43:384-401, 1973.
- 45 Wright, K W J, Mech, M I E, & Yettram, A L Reactive force distributions for teeth when loaded singly and when used as fixed partial denture abutments, J Prosthet Dent 42 411-416, 1979
- 46 Yettram, A L, Wright, W J & Pickard, H M Finite element stress analysis of the crowns of normal and restored teeth, J Dent Res 55:1004-1011, 1976
- 47 Photolastic Inc Introduction to stress analysis, Technical bulletin TDG-1, 1974.
- 48 Kyowa Co Introduction to strain gauge(manual)
- 49 任尚夔, 郭柄晚, 李柱成 共著, 有限要素法入门, 東明社

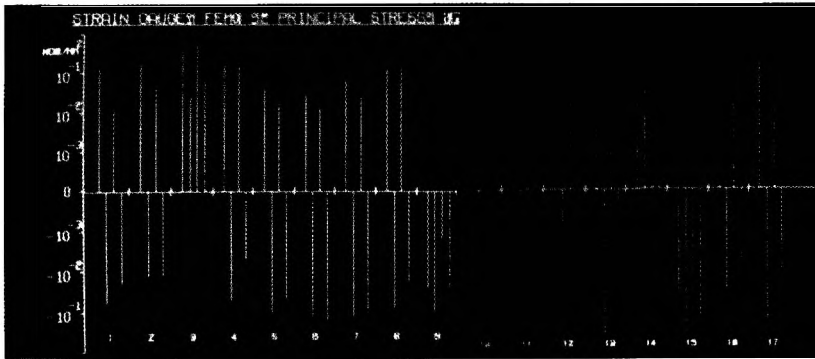
寫眞附圖說明

- 그림 1. 咬合平面 下方 25° 調節된 face-bow
- 그림 2. 正中矢狀面과 45°이루면서 後方 牽引되는 face-bow
- 그림 3. 上顎 頰側 齒槽骨에 附着된 strain gauge
- 그림 4. 上顎 口蓋面에 附着된 strain gauge
- 그림 5. 翼狀突起內側板에 附着된 strain gauge
- 그림 6. 翼狀突起外側板에 附着된 strain gauge
- 그림 7. 頰骨弓 및 鼻骨上顎縫合, 篩骨 眼窩板에 附着된 strain gauge
- 그림 8. 三次元 座標軸
- 그림 9. Strain gauge法과 FEM에 依한 主應力の 比較
green; Stain gauge法の maximum과 minimum principal stress +; tension
red ; FEM의 maximum과 minimum principal stress -; compression
- 그림 10. 上顎齒牙 및 上顎口蓋面の 平均變位量 比較
UX; X軸變位量(-), **UY**; Y軸變位量(-), **UZ**; Z軸變位量(+)
- 그림 11. 基準形 face-bow에 依한 上顎 第二小白齒의 平行移動
blue ; 原來의 位置
yellow ; 基準形 face-bow 使用後의 位置
- 그림 12. 側面에서 본 顏面頭蓋骨의 變位
- 그림 13. 顏面頭蓋骨의 回轉軸
- 그림 14. 水平面에서의 頭蓋骨의 變位
- 그림 15-1. 基準形, 齒列弓 縮小用 및 擴大用 face-bow使用에 依한 X軸 變位量 比較
- 그림 15-2. 基準形, 齒列弓 縮小用 및 擴大用 face-bow使用에 依한 Y, Z軸 變位量
ST, 基準形 face-bow, **CONT**; 齒列弓 縮小用 face-bow, **EXP**; 齒列弓 擴大用 face-bow
- 그림 16. 基準形, 齒列弓 縮小用 및 擴大用 face-bow使用에 依한 上顎第二小白齒의 平行移動
blue ; 原來의 位置
yellow; 基準形 face-bow 使用後의 位置
green; 齒列弓 擴大用 face-bow 使用後의 位置
- 그림 17. X-Y 平面에서 본 上顎齒牙의 變位
- 그림 18. Y-Z 平面에서 본 上顎口蓋面과 上顎齒牙 變位
blue, 原來의 位置, **yellow**, 基準形 face-bow 使用後의 位置
- 그림 19. X-Y 平面에서 본 翼狀突起 內·外側板의 變位
- 그림 20. X-Y 平面에서 본 頰骨弓의 變位
blue, 原來의 位置, **yellow**, 基準形 face-bow 使用後의 位置

논문 사진부도 ①



논문 사진부도 ②



- 1 上顎 前齒齦의 側側 齒槽骨
- 2 上顎 犬齒의 側側 齒槽骨
- 3 上顎 小白齒 部分의 側側 齒槽骨
- 4 上顎 第一大臼齒의 側側 齒槽骨
- 5 上顎 第二大臼齒의 側側 齒槽骨
- 6 上顎 口蓋面의 前方部
- 7 上顎 口蓋面의 中間部分
- 8 上顎 第一大臼齒의 舌側 齒槽骨
- 9 上顎 第一大臼齒의 舌側 齒槽骨
- 10 翼狀突起內側板의 基底部
- 11 翼狀突起內側板의 翼體突起
- 12 翼狀突起外側板의 基底部
- 13 翼狀突起外側板의 錐體突起
- 14 頰骨 中央 頰骨 側頭突起
- 15 頰骨 中央 側頭 齒骨 突起
- 16 鼻骨 上頰縫合
- 17 口唇 唇凸板

