

구강보호장치의 재료적인 특성이 하악골 충격 시 악골 및 두부에 미치는 영향에 관한 유한요소분석

강남현 · 김형섭 · 우이형 · 최대균

경희대학교 치과대학 치과보철학교실

연구목적: 본 연구의 목적은 하악골 충격 시 구강보호장치의 재료적 성질에 따른 악골과 두부에 미치는 영향을 조사하는 것이다.

연구재료 및 방법: 경질과 연질의 서로 다른 성질을 가지는 구강보호장치를 두부외상이나 뇌질환 병력이 없고 정상교합과 자연치열을 가진 한국 성인 여성에게 제작하고, CT를 이용하여 악골과 두부의 3차원 유한요소모델을 제작하였다. 이 유한요소모델은 두개골, 뇌, 상악골, 하악골, 관절원판, 치아와 구강보호장치를 포함하며 407,825개의 elements와 82,138개의 node로 구성되어 있다. 0.1초동안 하악골 3부위에서 800 N으로 사선 방향의 힘을 가하였을 때 두 가지 재료에 따른 상악 치아, 상악골 및 두개골의 응력분포를 평가하였고 동일한 조건하에서 두 재료에 따른 뇌의 변위량을 비교하였다.

결과: 이 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상악치아에서 유효응력 값을 비교하였을 때 연질의 구강보호장치가 경질의 구강보호 장치보다 응력값이 유의차 있게 작게 나타났다 ($P < .05$).
2. 상악골과 두개골에서 응력값을 비교하였을 때 연질의 구강보호장치가 경질의 구강보호장치보다 응력값이 유의차 있게 작게 나타났다 ($P < .05$).
3. 경질의 구강보호장치에서 연질의 구강보호장치보다 상악치아 및 상악골과 두개골에 더 많은 응력집중부위를 보였다.
4. 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호장치 간에 하악 충격 시 뇌의 변위량은 연질의 구강보호장치 쪽이 크게 나타났으나 유의차는 없었다.

본 연구를 통하여 악골 충격 시에 경질 및 연질 구강보호장치가 상악골과 두개골에서의 응력분포에 미치는 양상을 알 수 있었지만, 아직도 이의 상관관계를 모두 파악하기에는 불충분한 점이 많으리라 생각되며, 스포츠 외상에 따른 구강보호장치의 재료에 따른 상관관계에 대하여 보다 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. (대한치과보철학회지 2008;46:325-334)

주요단어: 유한요소분석, 구강보호장치, 유효응력, 뇌의 변위량

서론

최근 사회가 발전함에 따라 전문적 스포츠 활동의 증가와 이에 대한 관심이 증대되고 있으며 더 나아가 일반인의 스포츠 참여도 급속도로 증가하고 있고, 이에 비례하여 악안면 부위의 스포츠 외상 또한 증가하고 있는 추세이다.

악안면 영역에서 스포츠에 의한 외상은 입술, 협측 점막, 혀 등의 연조직과 치아, 악관절 및 악골 손상 순으로 발생하고 있으며 이로 인한 물리적 정신적 손상은 스포츠의 참여에 지장을 초래할 뿐 아니라 일상생활의 장애와 경제적인 손실로 이어지기도 한다.

악안면 부위에서 스포츠 외상을 방지하기 위해 가장 많이 사용하고 있는 것은 구강보호장치이다. 구강보호장치란 구강 내에 장착하는 탄성을 가진 장치로 구강내의 외상을 감소시키고 치아와 주위조직을 외상으로부터 보호하는 장치를 말한다.

구강보호 장치는 일반적으로 탄성을 가지는 재료를 주로 사용하고 있으나 이런 재료의 물성이 치아나 악골 및 두부에 미치는 영향에 대해 전반적으로 연구된 문헌은 드물며 통상적인 이용에 따라 사용되는 것이 현실이다.

본 연구는 연질과 경질의 두 가지 다른 성질을 가지는 구강보호장치가 하악골 충격 시에 치아 및 두개골 응력 분포에 미치는 영향과 뇌의 움직임을 대리모델의 한 가

교신저자: 최대균

130-701 서울 동대문구 회기동 1 경희대학교 치과대학 치과보철학교실 02-958-9340: e-mail, choi@khu.ac.kr

원고접수일: 2008년 2월 25일 / 원고최종수정일: 2008년 4월 30일 / 원고채택일: 2008년 8월 18일

지인 유한요소분석을 이용하여 연구해 본 결과 흥미 있는 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

연구재료 및 방법

1. 두부 및 악안면부 유한요소 모델

악안면 외상의 병력과 뇌질환의 병력이 없고 상하악 치아의 교합관계가 정상적인 한국 성인 (여, 26세)을 대상으로 연질의 구강보호장치를 통법에 따라 제작하여 장착한 후 두정부에서부터 경추까지 1.0 mm 간격으로 컴퓨터 단층 촬영 (Somatom Plus 4, Simens, New York, USA)을 시행하였다. 경질의 구강보호장치는 실험조건을 동일하게 하기위해 따로 제작하지 않고 연질 구강보호장치의 단층촬영을 이용, 물성을 대입하였다.

1.0 mm단위의 단층촬영영상을 조합하고 이를 연속적인 형태를 가지는 유한요소모형을 의료영상처리 소프트웨어인 Cantibio BIONIX/Body Builder (Cantibio Corp, Suwon, Korea)로 처리하여 제작하였다. 본 실험에 사용된 모델의 구성은 407,825개의 4-node tetrahedral element와 82,138개의 node로 구성되어 있다 (Table I).

모델의 구성은 두개골, 상악골, 하악골, 뇌, 뇌간, 치아, 관절 원판, 구강보호장치 등으로 이루어져 있다. 모델구성에서 연속성이 요구되고 있으나 형상 데이터 상에서 비연속성이 생기고 있어 이는 해부학적 자료를 참고로 연속성을 표현하였다. 또한 모델형성의 편리성과 해석을 용이하게 하기 위해 치아의 물성은 상아질로 통일하였으며 두부의 근육, 인대, 신경 등의 연조직은 모델형성 과정에서 제외하였다.

2. 구강보호장치 재료

본 연구에 사용된 두 가지 재료는 각 물성이 크게 차이가 나는 재료를 선택하였다.

두 가지 재료 중 탄성이 큰 연질의 구강보호장치로는 Bioplast® (Scheu-Dental, GmbH, Am Burgberg, Germany)를 이용하였고 탄성이 적고 단단한 경질의 구강보호장치로는 Duran® (Scheu-Dental, GmbH, Am Burgberg, Germany)을 선택하였다 (Table II).

3. 생체 역학적 물성

유한요소 분석에서 재료의 생체역학성을 나타내는 각 재료의 물성치와 구조적 특성을 나타내는 구속조건과

하중조건을 부여하는 전 처리 과정으로 Hypermesh (Altair Co, Santa Ana, USA)를 이용하여 처리하였다.

모형을 구성하는 골, 뇌, 치아, 관절원판 등의 각각 물성치는 선학들의 연구에 이용된 값들을 이용하여 실험하였다.²⁵ 구강보호장치의 물성은 제조사에서 제시한 물성을 입력하였고 감쇄계수 (Damping factor)는 Francois 등⁶이 보고한 값을 대입하였다 (Table III).

4. 구속조건

본 연구에 사용된 모델에서 각 부위의 연결과 구속조건을 다음과 같이 시행하였다. 경추의 모델링이 제외되었기 때문에 경추부위 운동을 운동한계범위에서 용수철의 탄성계수와 감쇄계수로 대체하여 경추의 운동을 표현하고자 하였다. 대후두공 부위 한점에서 고정이 되고 두부가 어떠한 방향으로도 움직일 수 있도록 표현하였다. 하중이 가해지면 고정점을 중심으로 두부가 회전 운동을 하게 되며 이는 용수철은 압축 신장운동으로 표현되게 하였다. 또한 상악 치아와 구강보호장치는 치열 전 면에서 모두 부착되어 있는 것으로 표현하였으며 하악 치아와의 연결은 구치부 각 치아당 두 점씩 교합이 되어 부착되는 것으로 하였다. 악관절의 구속은 관절 원판이 하악과두와 관절좌에 개재되어 부착되어 있는 것으로 하였고 근육이나 인대 등의 다른 부수적 연조직은 해석의 용이성을 위해 구속조건에서 배제하였다.

5. 하중조건

본 실험에서 하악의 충격 시 구강보호장치의 효과를 관찰하기 위해 하중의 위치를 하악골의 전방 이부 (F1), 하악 제1 대구치 하방의 하악체 한 점 (F2) 그리고 하악각 직전방인 하악체 끝 부위 한 점 (F3) -이하 이부 (F1), 하악체 (F2), 하악각 (F3)으로 합- 이상 세 점을 하중위치로 하였고 실험에서는 대칭적인 모델을 감안하여 하악의 좌측부에서 하중을 가하여 악골 및 두부의 영향을 관찰하였다.

하중방향은 수직방향과 수평방향의 특성을 동시에 볼 수 있도록 하악 세 부위 모두 수평면에서 45도 방향으로 주었다.

6. 응력분석 부위

본 연구에서는 하악골 세부위에서 800 N의 힘을 0.1초 동안 가하고 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호장

Table I. Number of nodes and elements used in the modeling

Anatomy	Node (number)	Element (number)
Skull/Maxillae	47540	206495
Brain	4819	20633
Dura	9801	31204
Mandible	13784	61763
Tooth	15798	52631
Articular disc	281	671
Mouth guard	9439	3442

Table II. Material properties for two mouth guard materials

Material	Properties	Young's Modulus (MPa)	Poisson's ratio (ν)	Mass Density (k/gm ³)	Damping factor (%)
Bioplast		15	0.49	960	23
Duran		2050	0.30	1270	1.0

Table III. Material properties for the structural elements

Material	Properties	Young's Modulus (MPa)	Poisson's ratio (ν)	Mass Density (k/gm ³)	Damping factor (%)
Skull/facial bone		4460	0.21	1410	0.2
Brain/CSF		0.0667	0.499	1040	10
Dura/Membrane		31.5	0.45	1133	10
Articular disc		44.1	0.40	1000	10
Tooth		13720	0.28	1900	0.2
Bioplast		15	0.49	960	23
Duran		2050	0.30	1270	1.0

치가 치아 및 악골에 미치는 영향과 뇌의 움직임에 미치는 영향 등을 살펴보기 위하여 다음과 같은 부위에서 응력을 분석, 비교하였다.

1) 상악치아에서의 응력분석

하악골 세 부위에서 하중이 가해졌을 때 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호 장치가 각각 상악 전치부와 구치부에 응력이 어떻게 집중되는지를 살펴보았다. 응력 비교 부위는 상악 좌, 우측 중절치, 상악 좌, 우측 측절치와 상악 좌, 우측 제1대구치에서 비교하였다. 각각의 계측점에서 하중이 가해진 직후부터 0.01초 단위로 응력을 0.21초까지 관찰하였다.

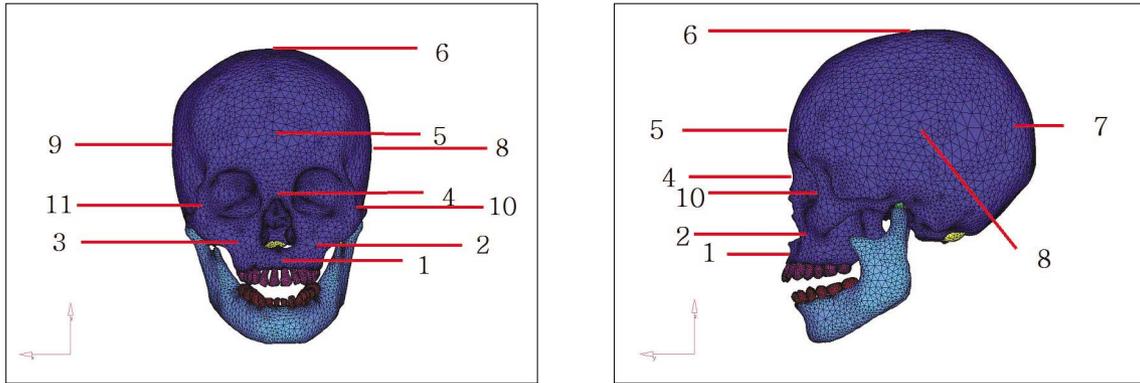
2) 상악골과 두개골에서의 응력분석

하악골 세 부위에서 하중이 가해졌을 때 상악골 3부위,

두개골 9부위, 총11부위에서 경질 구강보호장치와 연질 보호장치가 응력집중에 미치는 영향을 비교, 분석하였다 (Fig. 1). 하중이 가해진 뒤 0.01초 간격으로 두 재료 간에 11개 계측점에서 응력을 비교 관찰하였다.

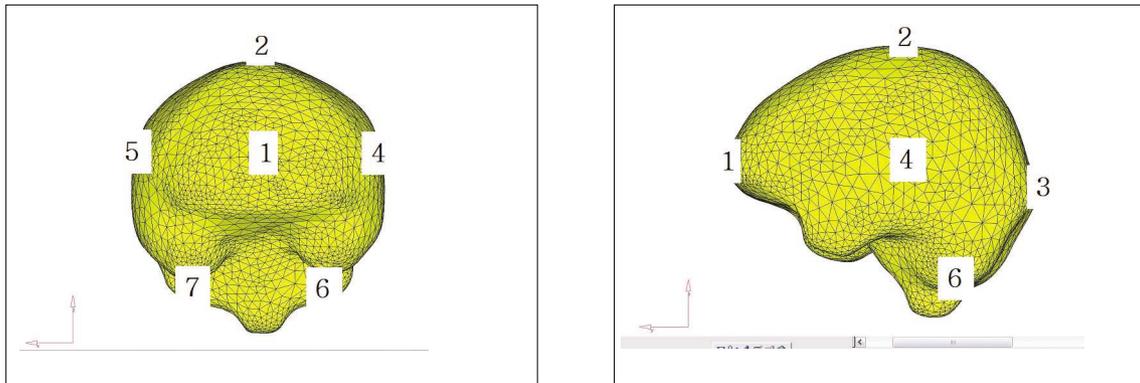
3) 상, 하악골 및 두개골에서의 응력분포 양상 비교

하악골 세 부위에서 하중이 가해질 때 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호장치가 상, 하악골 및 두개골에서 응력이 분포하는 양상을 하중이 가해진 후 0.01초와 0.05초 때의 응력분포양태 사진으로 비교 분석을 하였다. 하중이 가해질 때 하악골의 응력 분포와 응력들이 시간에 따라 상악골과 두개골에 분포되는 양상을 경질과 연질구강보호장치의 물성에 따라 어떻게 전달되는지 비교하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 통한 두개골 전방부 측방부 전체 사진을 통해 살펴보았다.



P1: A point, P2: Lt. canine pillar, P3: Rt. canine pillar, P4: nasion, P5: midpoint of frontal area of skull, P6: midpoints of superior area of skull, P7: midpoint of occipital area of skull, P8: Lt. midpoint of temporal area, P9: Rt. midpoint of temporal area, P10: midpoint of Lt. lateral orbital rim, P11: midpoint of Rt. lateral orbital rim

Fig. 1. 11 reference points on maxilla and skull for measuring von Mises stress.



P1: midpoint of frontal area of brain, P2: midpoint of superior area of brain, P3: midpoint of occipital area of brain, P4: midpoint of Lt. temporal area of brain, P5: midpoint of Rt. temporal area of brain, P6: midpoint of Lt. inferior area of brain, P7: midpoint of Rt. inferior area of brain

Fig. 2. 7 reference points on brain for measuring brain relative displacement.

4) 하중에 따른 두 재료 간 뇌의 변위량 비교

하악골 세 부위에 각각 하중이 가해질 때 경질과 연질의 구강보호장치가 뇌의 움직임에 미치는 영향을 분석하였다. 뇌의 7부위에서 하중이 가해질 때 시간에 따른 움직임 양을 측정하였다 (Fig. 2). 뇌의 각 계측점에서 접선과 수직선을 그어 만나는 두개골까지의 거리를 3차원적으로 계산하고 하중이 가해질 때 시간에 따른 뇌와 두개골까지의 거리의 변화를 계산하여 변위량을 측정하였다, 두 재료 간에 하중 후 뇌의 변위량을 비교하여 구강보

호장치의 물성에 따라 뇌의 움직임에 미치는 영향을 관찰하였다.

7. 해석 방법

유한요소에 각각의 물성을 부여하고 이에 하중조건과 구속조건을 입력한 후 하악골에 하중을 가했을 때의 두부의 응답과 결과를 분석하기 위해 MSC/NASTRAN (MSC, software Co, Santa Ana, USA)과 Hypermesh를 이용

하였다. 하중이 가해진 후 0.01초 간격으로 응력값 및 변위량을 측정하였고 하중이 없어지는 0.1초를 지나 대부분의 응력이 사라지는 0.21초까지를 측정 범위로 하였다. 응력의 분포양태와 최대응력 집중부를 식별하기 위해 유효응력 (von Mises stress)을 이용하여 비교 분석하였다. 뇌의 움직임은 0.01초 간격으로 측정하였고 측정부위에서 접선방향의 두개골 내측 부위까지의 거리를 3차원적으로 측정하여 하중 전과 하중 후의 변위량을 비교 하였다. 상, 하악골 및 두개골에서 응력분포 양상을 비교하기 위한 두부 전체모델에서는 하중이 가해진 후 0.01초와 가장 응력이 집중되고 있는 시간인 하중 후 0.05초의 모델을 비교 하여 각각 재료간의 응력이 분산되는 양상을 비교하였다.

8. 통계 처리

각각의 연구 항목인 상악 치아와 상악골 및 두개골에서의 응력값과 뇌의 움직임에 대해 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호장치 간에 유의성을 통계적으로 검증하였다. 응력값은 하중이 가해진 후 0.03에서 0.12초 동안 응력값의 평균값으로 각 계측점에서 두 재료 사이에 유의성을 검사하였고 뇌의 움직임도 0.03초에서 0.12

초 동안의 평균 변위량을 비교하여 유의성 검사를 하였다. 본 통계에는 SAS 통계패키지의 Proc. GLM을 이용하여 One-Way ANOVA를 시행하여 두 재료 간에 유의성 검사를 하였다. 유의수준은 신뢰도 95% 수준이었다.

결과

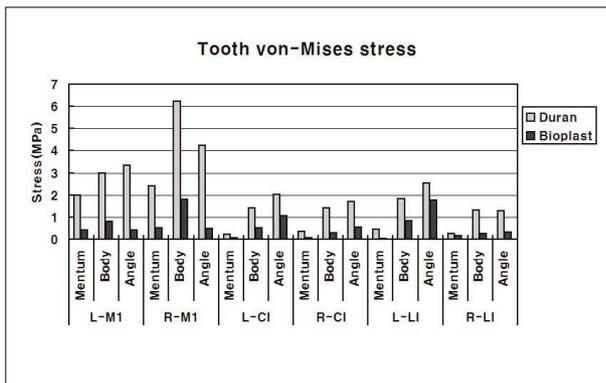
1. 치아에서의 응력분석

각 하중 부위 (F1, F2, F3) 별로 800 N의 하중을 0.1초간 가한 후 0.01초 간격으로 좌우 상악 중절치, 측절치 및 제 1대구치의 6개 치아 부위에서 각각의 응력값을 비교하였다.

모든 측정부위에서의 응력값은 하중을 가한 후 0.03초에서부터 급속히 증가하여 하중이 제거되는 0.11초에서 급격하게 감소되었으며, 응력의 증가가 지속, 유지되는 0.05초에서 두 재료간의 차이를 비교하였다.

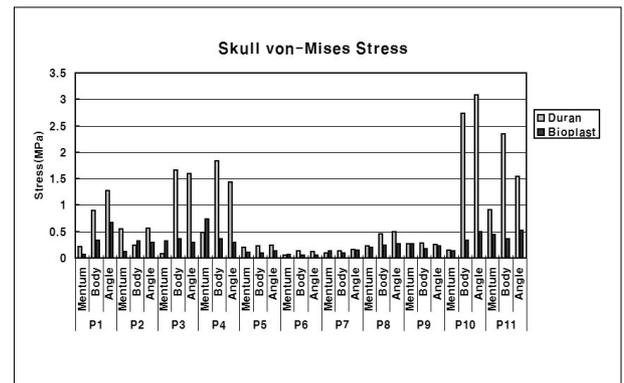
1) 이부 (F1) 충격 시의 비교

측정점 6개 치아부위 모두에서 경질 (Duran)의 구강보호장치가 연질 (Bioplast)의 구강보호장치보다 더 큰 응력값을 보였으며 전치부보다는 양측 구치부에서의 응력값



L: Left, R: Right, M1: maxillary 1st molar, CI: maxillary central incisal, LI: maxillary lateral incisal.

Fig. 3. Comparison of von Mises Stress on reference tooth point according to Duran and Bioplast mouth guard.



P1: A point, P2: Lt. canine pillar, P3: Rt. canine pillar, P4: nasion, P5: midpoint of frontal area of skull, P6: midpoints of superior area of skull, P7: midpoint of occipital area of skull, P8: Lt. midpoint of temporal area, P9: Rt. midpoint of temporal area, P10: midpoint of Lt. lateral orbital rim, P11: midpoint of Rt. lateral orbital rim.

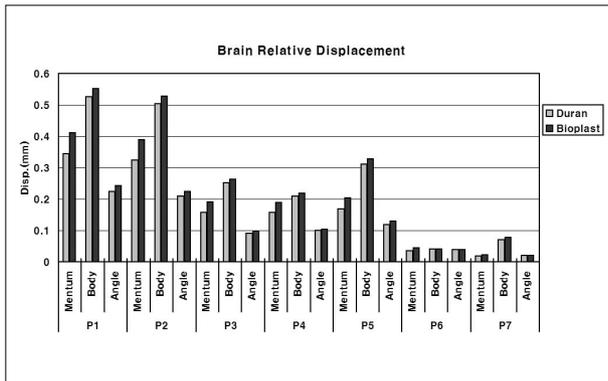
Fig. 4. Comparison of von Mises stress at 11 points on maxilla and skull according to Duran and Bioplast mouth guard.

이 상대적으로 더 크게 나타났으나 두 재료 간에는 유의차가 없었으며, 두 재료 모두에서 하악체 (F2)와 하악각 (F3)에 충격을 가했을 때보다는 응력값이 더 작게 나타났다 (Fig. 3).

2) 하악체 (F2) 및 하악각 (F3) 충격 시의 비교측정점 6개 치아부위 모두에서 경질 (Duran)의 구강보호장치가 연질 (Bioplast)의 구강보호장치보다 유의하게 더 큰 응력값을 보였고, 전치부보다는 양측 구치부에서의 응력값이 상대적으로 더 크게 나타났으며 하중이 가해지는 반대측에서 응력이 더 크게 집중됨을 보여주었다 (Fig. 3).

2. 상악골과 두개골에서의 응력분석

각 하중 부위 (F1, F2, F3) 별로 800 N의 하중을 0.1초간 가한 후, 0.01초 간격으로 상악골과 두개골의 11부위에서 응력값을 비교, 분석하였으며, 0.01초 간격으로 0.21초까지 측정하였다. 모든 측정부위에서의 응력값은 하중을 가한 후 0.03초에서부터 급속히 증가하여 하중이 제거되는 0.12초에서 급격하게 감소되었으며, 응력의 증가가 지속, 유지되는 0.05초에서 두 재료 간의 차이를 비교하였다 (Fig. 4).



P1: midpoint of frontal area of brain, P2: midpoint of superior area of brain, P3: midpoint of occipital area of brain, P4: midpoint of Lt. temporal area of brain, P5: midpoint of Rt. temporal area of brain, P6: midpoint of Lt. inferior area of brain, P7: midpoint of Rt. inferior area of brain

Fig. 5. Comparison of brain relative displacement at 7 points on brain according to Duran and Bioplast mouth protector.

1) 이부 (F1) 충격 시의 비교

상악골과 두개골에서의 측정점인 11개 부위를 분석한 결과, 3부위 (P3, P4, P7)의 측정점을 제외하고 나머지 8개 측정점에서 경질 (Duran)의 구강보호장치가 연질 (Bioplast)보다 더 큰 응력값을 보였으나, 두 재료 간 응력값에 유의차는 없었다.

치아부위에서 응력값에 비하여 상악골과 두개골에서 응력값은 최대값이 1/2로 크게 줄었으며 연질의 구강보호장치를 장착한 경우에는 거의 0.5 MPa에 밑도는 값을 보였다.

또한 치아부위에서의 응력값에 비하여 상악골과 두개골에서 응력값은 최대값이 1/2로 크게 줄어들었으며 연질의 구강보호장치를 장착한 경우에는 거의 0.5 MPa에 밑도는 값을 보였다.

2) 하악각 (F3) 충격 시의 비교

상악골과 두개골에서의 측정점인 11개 부위를 분석한 결과, 모든 측정점에서 경질 (Duran)의 구강보호장치가 연질 (Bioplast)보다 유의성있게 더 큰 응력값을 보였다 ($P < .05$). 그리고 치아부위에서의 응력값에 비하여 상악골과 두개골에서 응력값은 최대값이 1/2로 크게 줄어들었으며 연질의 구강보호장치를 장착한 경우에는 거의 0.5 MPa에 밑도는 값을 보였다.

3) 각 하중 부위 (F1, F2, F3)에 따른 비교

경질의 구강보호장치가 연질보다는 전반적으로 더 큰 응력값을 보였으나 그 차이는 하악체 (F2)와 하악각 (F3) 부에 하중이 가해질 때가 정중부인 이부 (F1)보다 더 크게 나타났다.

측정부위별로 살펴보면 전방부 측정점 (P1, P2, P3, P4, P10, P11)에서 응력값이 두개골의 측방이나 후방보다 연질, 경질 두 재료 모두에서 매우 큰 값을 보였으며 이런 부위별 차이는 연질의 구강보호장치보다는 경질의 구강보호장치에서 더 크게 나타났다. 연질의 구강보호장치에서도 두개의 전방부에 다소 큰 응력값을 보였으나 부위별로 차이가 크게 나타나지 않았고 하중의 부위에 따라서도 차이가 크지 않았다. 하지만 경질의 구강보호장치에서는 두개의 전방부와 후방부에서 응력값의 차이가 매우 크게 나타났으며 하중부위에서도 측방력으로 작용하는 F2와 F3에 하중이 가해질 때가 F1보다 더 큰 응력값을 보였다. 하중부위에 따른 두 재료 간 응력값은 이부 (F1)에 하중이 가해질 때 두 재료간 유의차가 없었으나, 나머지 두 부위에 하중이 가해지면 두 재료 간 응력값이 경질의 재료에서 유의성있게 크게 나타났다 ($P < .05$).

Table IV. Result of ANOVA test between two mouth guard materials

	Loading point	significancy	significancy
von Mises stress on tooth	Mentum	-	*
	Mn. body	*	
	Mn. angle	*	
von Mises stress on skull	Mentum	-	*
	Mn. body	*	
	Mn. angle	*	
Relative displacement on brain	Mentum	-	-
	Mn. body	-	
	Mn. angle	-	

*: significance ($P < .05$), -: no significance ($P > .05$)

3. 상, 하악골 및 두개골에서의 응력분포 양상 비교

0.1초간 800 N의 하중을 주었을 때 하중이 주어진 직후인 0.01초와 응력이 최대값에 도달한 0.05초의 안면골 전방과 측방의 응력분포 사진을 비교하여 두 재료 간의 응력 분포 양상을 살펴보았다.

두 재료 모두 하중이 가해진 직후 0.01초 보다는 0.05초에서 응력이 더 많이 집중되었으며 연질의 구강보호장치가 경질보다 하악골에 응력이 넓게 분산되고 하악에 응력이 국한되는 모습을 보였고 상악 치아나 상악골과 두개골에 응력 집중부위가 경질의 구강보호장치 보다는 작게 나타났다. 반면경질의 구강보호장치는 하중이 가해지면 하중부에 근접한 상, 하악 치아에 많은 응력이 집중되었고 응력이 상악골과 두개골에 전달되어 응력 집중부위가 상악골과 두개골에서 연질의 구강보호장치 보다는 많이 나타났다.

4. 뇌의 변위량 비교

뇌의 7부위에서 각각 0.01초 단위로 뇌의 측정점과 접선에 수직인 두개골간의 거리를 3차원적으로 계산하여 변위량을 측정하였다. 뇌의 변위량이 증가하여 일정해지는 0.05초의 변위량을 비교하였다 (Fig. 5). 뇌의 전방부 (P1, P2)에서 변위량이 컸고 후두부 (P5), 측두부 (P3, P4) 순의 크기를 보였으며 뇌의 하부 (P6, P7)에서는 변위량이 가장 작게 나타났다. 이부 (F1)나 하악각 (F3)보다는 하악체 (F2)에 하중이 가해질 때 변위량이 상대적으로 더 크게 나타났으며 재료에 따른 변위량은 경질의 구강보호장치보다는 연질의 구강보호 장치가 더 큰 변위량을 보였으나 그 차이는 매우 작아 통계적으로 유의차가 없

었고 하중부위에 따른 뇌의 변위량에도 두 재료간 유의차가 없었다.

5. 통계처리

구강보호장치의 재료에 따른 상악치아와 상악골 및 두개골에서 응력값과 뇌의 움직임에 대한 유의성을 검사하였다 (Table IV).

상악치아, 상악골 및 두개골에서 응력값을 비교하였을 때 경질의 구강보호장치가 연질의 구강보호장치에 비해 유의성 있게 더 큰 값을 보였으며 ($P < .05$) 하중부위에 따라서는 이부 (F1)에 하중이 가해질 때 두 재료간 유의차가 없었으나 나머지 두 부위에 하중이 가해지면 경질의 구강보호장치에 유의성 있게 큰 응력값을 보였다 ($P < .05$).

하중 시 뇌의 움직임은 두 재료 간에 유의한 차이가 없었고 하중부위에 따라서도 유의한 차이가 없었다.

고찰

치과 영역에서 악안면 부위의 스포츠 외상을 방지 할 수 있는 가장 쉬운 방법으로 구강보호장치 (mouth guard) 를 개발하여 사용하고 있으나 국내에서는 치과 의사가 주체가 되어 장치를 제작 관리 하는 경우가 드물다. 또한 구강보호장치에 관한 연구 또한 많지 않은 것이 현실이다. 이전까지는 스포츠 외상에 대한 연구가 외상의 원인이나 외상의 종류 및 외상에 노출될 확률을 연구하거나 구강보호장치에 관한 연구도 보호장치의 물성, 제작형태에 따른 충격 흡수 정도 혹은 구강보호장치를 실제 사용함으로써 경기력 향상 정도나⁷ 외상에 대한 예방효과를 조사하는 수준이며 구강보호장치의 외력에 대한 응

력분산의 효과나, 치아의 파절, 악골의 골절 및 두부 등에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 편이었다.

구강보호장치는 일반적으로 탄성을 가지는 재료를 주로 이용하고 있으며 교합치료나 악관절 치료에 사용되는 교합장치는 일반적으로 탄성이 거의 없는 경질의 재료가 주로 이용되고 있다. 그러나 이런 재료의 물성이 치아나 악골 및 두부에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없이 통상적인 이용에 따라 사용되는 것이 현실이다.

구강보호장치에서 가장 많이 사용되고 있는 재료는 Ethylene vinyl acetate-copolymer (EVA) 계열로 탄성을 가지는 재료를 주로 이용하고 있으며 대부분의 연구들도 이런 탄성 제품에 대한 것들이 대부분이다. 또한 여러 재료를 이용한 연구들도 단지 재료의 물성을 비교하거나⁸⁻¹⁰ 실험적인 충격흡수 정도 등을 비교하는데 그치고 있다.¹¹

본 연구에서는 각기 다른 물성을 가지는 구강보호장치가 치아, 악골 및 두부에 미치는 영향을 정밀히 파악하고자 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 유한요소분석에 의하여 구강보호장치의 물성에 따른 하악골 충격 시 악골과 두부에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

1. 연구 결과에 대한 고찰

1) 치아에서의 응력분석에 대하여

경질의 구강보호장치가 연질의 구강보호장치보다 더 큰 응력이 치아에 집중됨을 볼 수 있었고 통계적으로도 유의차가 있었다 ($P < .05$). 이는 탄성이 적은 경질의 구강보호장치가 하중을 받았을 때 구강보호장치에서 직접 응력을 흡수하거나 하악으로 다시 응력을 분산시키기 보다는 구강 보호장치와 접촉하고 있는 상악치아 쪽으로 응력을 전달하고 있다고 생각되며, 반대로 연질의 구강 보호장치는 탄성이 높기 때문에 응력을 연질재료 자체에서 흡수하면서 다시 하악 쪽으로 분산시키는 역할을 하여 경질의 재료에 비하여 치아에 응력 집중이 적었다고 해석되었다.

하중위치에 따른 비교에서는 정중부의 하중인 F1의 경우가 F2, F3에 비하여 상대적으로 응력값이 작았으며, 경질과 연질 간의 유의차도 없었다.

하악체부 (F2)와 하악각부 (F3)의 하중점인 경우의 구치부 응력은 하중이 가해지는 측의 구치부보다 반대측의 구치부에서 더 크게 나타났다. 이는 특히 하악체 (F2) 부위에서 더 두드러지게 나타나는데 이는 하중이 가해질 때 반대측으로 하악이 변위되면서 구강보호장치와의 접촉관계가 하중 측은 비작업측이 되고 반대 측은 작업측으로 유도되는 양상으로 되면서 상하악간의 접촉이

반대측에서 더 크게 일어난 결과라고 생각된다. 이러한 경향은 F3보다 F2에서 더 두드러지는 경향을 보였다.

이러한 결과로 유추해 볼 때 연질의 구강보호장치가 치아의 응력집중을 방지함에 있어서 보다 우수하다고 할 수 있겠다.

2) 상, 하악골 및 두개골에서의 응력분포 양상에 대하여

모든 측정점에서 경질의 구강보호장치가 연질에 비하여 더 큰 응력값을 나타내었다. 3가지 충격부위 (F1, F2, F3)의 각각의 계측점인 11부위 (총 33부위) 중, 이부 (F1) 충격 시의 측정점 중 3부위 (P3, P4, P7)의 측정점과 하악체 (F2) 충격 시의 측정점 (P2)을 제외하고 나머지 모든 경우에서 경질의 재료가 연질의 재료보다 더 큰 응력값을 보였으며 ($P < .05$), 응력값은 하악골에서 멀어질수록 더 작은 값을 보이고 있었다. 경질의 구강보호장치에서는 상악치아에서 최대 응력값이 7 MPa에 달하고 있지만 상악골에는 약 3 MPa 정도이며 두정부에서는 0.15 MPa 정도의 값을 가지면서 점차 응력값이 줄어들고 있었다.

이런 결과로 볼 때 연질의 구강보호장치는 상악골과 두개골에서 응력값이 작게 나타나며 계측부위 간에 차이도 크게 나타나지 않아 상악골과 두개골에 전반적으로 작은 응력값이 넓게 분산됨을 볼 수 있고 반면 경질의 구강보호장치는 두개의 전방부에 응력값이 매우 높게 나타났다. 하악골에 외력이 가해지면 상악골과 두개골의 보호를 위해서는 경질의 구강보호장치 보다는 연질의 구강보호장치가 악안면 외상의 예방에는 더 많은 도움이 될 것으로 보인다.

3) 뇌의 변위량에 대하여

뇌의 움직임은 7부위의 계측점에서 각각의 하중점 별로 비교 분석하였다. 각 계측점에서 연질의 구강보호장치를 장착한 경우가 경질의 구강보호장치를 장착한 경우보다 뇌의 움직임이 큰 것으로 나타났으나 그 차이는 아주 작았고 유의차도 없었다. 이는 뇌의 움직임에는 연질의 재료나 경질의 재료나 크게 차이가 없다는 것을 보여주고 있다.

이런 결과로 볼 때 뇌의 움직임을 고려하여 구강보호장치를 선택할 때에는 경질의 재료나 연질의 재료가 크게 차이가 없었다.

본 실험에서 4가지 연구 항목을 실험한 결과, 하악에 하중이 가해질 때 상악 치아 및 상악골과 두개골에서 응력의 집중 정도를 살펴보면 경질의 구강보호장치 보다는 연질의 구강보호장치가 외력에 의한 악안면 외상을

보호하는데 보다 우수하다고 볼 수 있으며 하악에 외력이 가해졌을 때 뇌의 변위에는 구강보호장치의 물성이 크게 영향을 미치지 않는다고 할 수 있겠다. 이를 통해 스포츠 외상 방지를 위해 구강보호장치를 제작 한다면 경질의 재료보다는 연질의 재료를 이용하여 제작하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

결론

하악골 3부위에서 하중이 가해질 때 구강보호장치의 물성에 따른 두부와 두개골에 미치는 영향을 유한요소분석을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악치아에서 응력값을 비교하였을 때 연질의 구강보호장치가 경질의 구강보호장치보다 응력값이 유의차 있게 작게 나타났다 ($P < .05$).
2. 상악골과 두개골에서 응력값을 비교하였을 때 연질의 구강보호장치가 경질의 구강보호장치보다 응력값이 유의차 있게 작게 나타났다 ($P < .05$).
3. 경질의 구강보호장치에서 연질의 구강보호장치보다 상악 치아 및 상악골과 두개 골에 더 많은 응력 집중부위를 보였다.
4. 경질의 구강보호장치와 연질의 구강보호장치 간에 하악 충격 시 뇌의 변위량은 연질의 구강보호장치 쪽이 크게 나타났으나 유의차는 없었다.

이상의 실험 결과로 보아 뇌의 변위량에서는 구강보호장치의 물성에 크게 관련이 없었으며 상악치아, 상악골 및 두개골에서의 응력값은 경질의 구강보호장치 장착이 연질의 구강보호장치 장착 시 보다 매우 크게 나타났다. 이런 일련의 결과로 보아 경질의 구강보호장치보다는 연질의 구강보호장치가 악안면 외상 예방에 있어서 우수한 것으로 생각된다.

앞으로 더 정확한 인체의 모델링이 이루어진다면 생체에서 직접하기 힘든 충격실험 등을 더 객관적으로 정확하게 할 수 있을 것이며 관찰하기 힘든 해부학적 구조물들이 영향들도 정확하게 파악할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Keiichi I, Tomotaka T, Tatsuya I. Dentistry in japan 2002;38:195-202.
2. Kumaresan S, Radhakrishnan S. Importance of partitioning membranes of the brain and the influence of the neck in head injury modelling. Med Biol Eng Comput 1996;34:27-32.
3. Iwata T, Watase J, Kuroda T, Tsutsumi S, Maruyama T. Studies of mechanical effects of occlusal force on mandible and temporomandibular joint. J Osaka Univ Dent Sch 1981;21:207-15.
4. Tanaka E, Tanne K, Sakuda M. A three-dimensional finite element model of the mandible including the TMJ and its application to stress analysis in the TMJ during clenching. Med Eng Phys 1994;16:316-22.
5. Miyazaki M, Inage H, Onose H. Use of an ultrasonic device for the determination of elastic modulus of dentin. J Oral Sci 2002;44:19-26.
6. de Wet FA, Heyns M, Pretorius J. Shock absorption potential of different mouth guard materials. J Prosthet Dent 1999;82:301-6.
7. An SJ, Lee SB. The effect on appendage muscle strength due to increase in occlusal vertical dimension. Korea J Stomato Func Occl 2001;17:222-44.
8. Craig RG, Godwin WC. Properties of athletic mouth protectors and materials. J oral rehabilitation 2002;29:146-50.
9. Going RE, Loehman RE, Chan MS. Mouthguard materials: their physical and mechanical properties. J Am Dent Assoc 1974;89:132-8.
10. Jagger R, Milward P, Waters M. Properties of an Experimental mouthguard material Int J Prosthodont 2000;13:416-9.
11. de Wet FA, Heyns M, Pretorius J. Shock absorption potential of mouth guard materials. J Prosthet Dent 1999;82:301-6.

FEM Analysis of the Effects of Mouth guard material properties on the Head and Brain under Mandibular Impact

Nam-Hyun Kang, DMD, MSD, Hyung-Sub Kim, DMD, MSD, PhD,

Yi-Hyung Woo, DMD, MSD, PhD, Dae-Gyun Choi, DMD, DDS

Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Graduate School, Kyung Hee University

Statement of problem & Purpose: The purpose of this study was to investigate the effect of a mouth guard material properties on the skull and brain when they were under impact loads on mandible. **Material and methods:** Two customized mouth protectors having different material properties each other were made for a female Korean who had no history of brain trauma, no cerebral diseases, normal occlusion and natural dentition. The 3D finite element model of human skull and brain scanned by means of computed tomography was constructed. The FEM model of head was composed of 407,825 elements and 82,138 nodes, including skull, brain, maxilla, mandible, articular disc, teeth and mouth guard. The stress concentrations on maxillary teeth, maxilla and skull with two mouth guards were evaluated under oblique impact load of 800N onto mandibular 3 loading points for 0.1sec. And the brain relative displacement was compared in two different mouth guard materials under same condition. **Result and Conclusion:** The results were as follows; 1. In comparison of von Mises stress on maxillary teeth, a soft mouth guard material had significantly lower stress values on measuring point than a hard mouth protector materials ($P < .05$). 2. In comparison of von Mises stress on maxilla and skull, A soft mouth protector material had significantly lower stress values on measuring point than a hard mouth protector materials ($P < .05$). 3. For impact loads on mandible, there were more stress concentrated area on maxilla and skull with hard mouth guard than soft with mouth protector. 4. For impact loads on mandible, brain relative displacement had little relation with mouth guard material properties. In results of this study, soft mouth guard materials were superior to hard mouth guard materials for mandible impact loads for prevention of sports injuries. Although the results of this study were not enough to figure out the roles of needed mouth guard material properties for a human head, we got some knowledge of the pattern about stress concentration and distribution on maxilla and skull for impact loads with soft or hard mouth protector. More studies are needed to substantiate the relationship between the mouth guard materials and sports injuries.

Key words: FEM analysis, Mouth guard, von Mises stress, Relative displacement

Corresponding Author: Dae-Gyun Choi

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyung-Hee University

#1, Hoegi-Dong, Dongdaemun-Gu, Seoul, 130-701, Korea

+82 2 958 9340: e-mail, choi@khu.ac.kr

Received February 25, 2008; Last Revision April 30, 2008; Accepted August 18, 2008.