임플란트 고정체의 매식 경사에 따른 응력분석

조선대학교 치과대학 보철학교실

이태엽·강동완

Stress analysis according to the different angulation of the implant fixture

Tae-Yup Lee D.D.S., M.S.D., Dong-Wan Kang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University

Bending moments results from offset overloading of dental implant, which may cause stress concentrations to exceed the physiological capacity of cortical bone and lead to various kinds of mechanical failures. The purpose of this study was to compare the distributing pattern of stress on the finite element models with the different angulated placement of dental implant in mandibular posterior missing areas. The three kinds of finite element model, were designed according to 3 main configurations: Model 1(parallel typed placement of 2 fixtures), Model 2(15. distal angulated placement of one fixture on second molar area), Model 3(15. mesial angulated placement of one fixture on second molar area). The cemented crowns for mandibular first and second molars were made on the two fixtures (4mm 11.5). Three-dimensional finite element models by two fixtures were constructed with the components of the implant and surrounding bone. A 200N vertical static load were applied to the center of central fossa and the point 2mm apart from the center of central fossa on each model. The preprocessing, solving and postprocessing procedures were done by using FEM analysis software NISA/DISPLAY Ⅳ Version 10.0((Engineering Mechanics Research Corporation, USA). Von Mises stresses were evaluated and compared in the supporting bone, fixtures, and abutment. The results were as following : (1) Under the point loading at the central fossa, the direction of angulated fixture affected the stress pattern of implants. (2) Under the offset loading, the position of loading affected more on the stress concentration of implants compare to the angulated direction of implants. The results had a tendency to increase the stress on the supporting bone, fixture and screw under the offset loads when the placement angulation of implant fixture is placed toward mesial or distal direction. In designing of the occlusal scheme for angulated placement, placing the occlusal contacts axially during chewing appears to have advantages in a biomechanical viewpoint,

임플란트 고정체의 매식 경사에 따른 응력분석

조선대학교 치과대학 보철학교실

이태엽·강동완

Ⅰ. 서 론

임플란트 보철물의 성공 여부는 매식 후 골유착 단계에서 골유착에 영향을 미치는 요소와 보철물을 제작한 후 교합력이 작용되었을 때 임플란트 구성 성분과골조직 반응에 따른다. 따라서 골유착에 영향을 미치는 요소를 조절하고 골유착 후 저작중 발생하는 교합력이 치조골의 하중지지 능력의 한계 내에서 기능하도록 교합접촉이 고정체의 장축에 수직하도록 하고 가능하면 측방운동시 빗김하중에 의해 레버작용이 유발되지 않는 교합면을 설계하여야 한다.

이러한 점에서 임프란트 보철물의 교합면에 작용하는 하중방향에 따라 임플란트 구조물인 지대주, 고정체, 지대나사 및 지지골에 어떠한 응력을 미치게 되는 가에 대해 방사선 사진을 촬영하거나 임상적으로 치주 염증을 평가하여 치조골의 흡수가 발생할 경우 임플란트 실패의 전구적 증상으로 평가해 왔다[7,13~15]. 그러나 다양한 교합설계 조건에 따른 응력을 임상적으로 분석하기 어려워 유한요소법을 이용하여 임플란트 보철물과 지지조직에서 발생하는 구조물들의 항복한계 내에서 반응하는 탄성변형인 응력을 분석하여 왔다[1-5].

유한요소법에서 매우 복잡한 기하학적 구조를 설계하여 각 구성성분에 대한 물성치를 포함시킨다면 다양한 부하 조건에 따른 응력의 분포, 크기, 방향 및 변위를 평가할 수 있어 지금까지 임플란트 고정체의 나사 및 표면 설계. 골질의 상태, 나사유지형과 시멘트 유지형, 나사의 형태, 치관의 재질, 고정체와 지대주의 연결 형태, 경사도 변화, 캔티레버 보철물 등에 관해 연구해왔다[1-6,10,13,14,17]. 그러나 매식된 2개의 임플란트의 경사가 달라 경사진 지대주를 사용하여 유지형 치관을 제작한 후 고정체의 경사도 변화에 따른 임플란트 구성성분과 치조골에서의 변위와 응력 분산에 대해 2차원적 분석을 하였거나 이에 관한 연구는 미미한 상태이다[1,11]. 따라서 본 연구에서는 표준형 임플란트 고정체 2개를 매식한 후 시멘트 유지형교의치를 제작할 때 각 고정체의 경사가 다른 경우 여러 하중 조건하에서 발생되는 응력의 양상을 유한요소분석법을 이용하여 분석하고자 하였다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

1. 유한요소 모델의 설계

본 연구는 하악골 우측 제1, 2 대구치 부분을 제거하고 임프란트를 식립하여 보철수복한 상황을 재현한 유한요소모델을 대상으로 하였다. 근원심 직경을 50mm로 설계한 골구조 중 외부의 상부는 1.5mm, 하부는 2mm의 두께를 갖는 치밀골, 내부는 모두 해면골로 재현하였다. 설계된 골구조에 직경 4.0mm, 길이 11.5mm 고정체 2개를 식립하고 그위에 연결되는 지대주, 금나사, 나사선 입구를 충전한 콤포지트 레진, 금관을 3차원 형상으로 제작하였다. 매식 깊이는 첫 번째 나사산이 상단 피질골과 해면골의 직하부에 위치하도록 하였고 고정체는 골과 완전히 유착된 것으로 가정하였다. 모형화에 사용된 고정체 및 지대주 나사의 나사산은 수직축에 대칭으로 처리하고 모든 모델에서 동일한 금나사를 사용하였다(Fig.1).

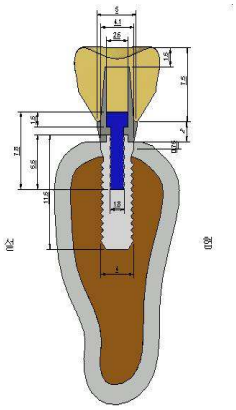


Fig. 1. The bucco-lingual section of model designed

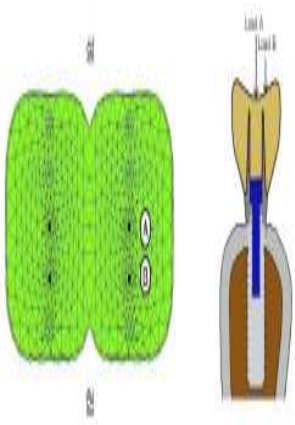


Fig. 3. Loading point A, B

2. 실험모형

본 연구에서 실험 모델 1은 제1대구치 고정체에 대해 제2대구치가 평행한 경우이고 모델 2는 제1대구치 고정체에 대해 제2대구치 고정체는 15。 원심경사되게 매식하였지만 치관부는 15。 경사진 지대주를 사용하여 제1대구치 치관과 평행하게 설계하였고, 모델 3은 제1대구치 고정체에 대해 제2대구치 고정체를 15。 근심경사되게 매식하고 치관부는 15。 경사진 지대주를 사용하여 제1대구치 치관과 평행하게 설계하였다(Fig.2).

3. 하중조건 및 경계조건

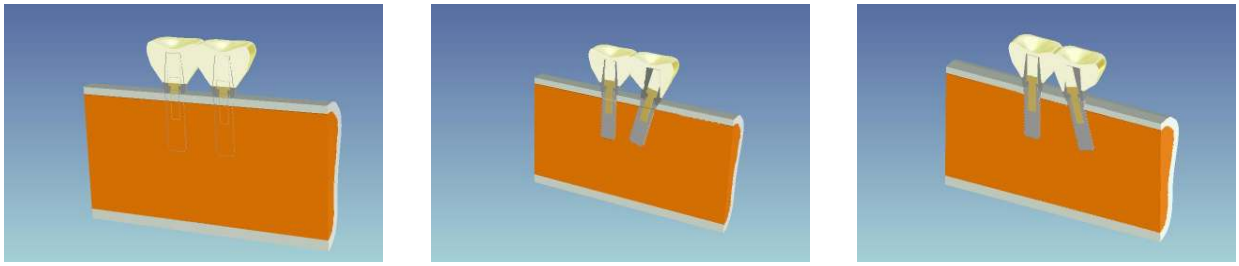
하중조건 A는 제1대구치 및 제 2대구치 치관 중심와에 200N의 수직 점하중이 각각 작용하도록 하였고, 하중조건 B는 치관 중심와로 부터 협측 2㎜ 부위에 200 N의 수직방향으로의 빗김하중이 작용하도록 하였다.(Fig.3). 경계조건으로는 하악골의 양쪽 모서리 부분의 절단면을 Ux, Uy, Uz 방향으로 모두 구속하였고, 임플란트 구성성분과 지지 골조직에서만 변형이 허용되도록 하였다.

4. 물성치

설계된 모형의 유한요소해석을 수행하는데 필요한 재료의 물성치인 탄성계수(Young's modulus; E)와 포와송의 비(Poisson's ratio; υ)는 선학들의 자료 1~5)를 참고하여 이용하였다.(Table 1).

5. 응력분석

3차원 유한요소모형의 초기모델링은 모델링 전문 기구인 Iron CAD를 사용하여 표면작용을 하였고, 유한요소격자 작업과 선형적 구조해석을 위해



Model 1 Model 2 Model 3

Fig. 2. Different angulated design of fixture on Model 1, Model 2 and Model 3

Table 1. Mechanical properties of oral tissue and prosthetic materials in FEM analysis

	Young's Modulus ; E (GPa)	Poisson's Ratio ; υ
Cortical bone	14,700	0.327
Cancellous bone	4.900	0.30
Titanium (Implant)	105,000	0.30
Composite resin	16,300	0.35
Gold crown(Type III)	66,600	0.33
Gold screw	98.000	0.45

미국의 EMRC(Engineering Mechanics Research Corporation, USA)사의 NISA/DISPLAY Ⅳ Version 10.0 3차원 유한요소프로그램을 이용하여 해석과 후작업을 수행하였다. 응력분포 양상은 여러 하중조건 하에서 유효응력 (Von Mises stress)을 기준으로 응력의 크기에 따라 색도로 표시하고, 각 모형별로 주어진 하중조건에서 발생되는 최대 유효응력을 비교 분석하였다.

Ⅲ. 연구성적

1. 임프란트 전 구성성분에서의 응력 분포

하중조건 A에서 모델 1은 응력의 분포가 중심와 주위와 고정체 상부인 금관과 지대주 경계 부위에 응력이 분포하였다. 모델 2는 모델 1와 유사하나 상대적으로 원심 경사된 고정체의 근심에 응력분포가 넓었으며 모델 3은 근심 경사된 고정체의 지대주와 금관의 연결 부위 원심측에 응력이 집중하였다.

하중조건 B 에서는 모델 1, 2, 3에서 금관 협측 하방과 지대주와 고정체의 연결 부위, 고정체 상부 1/2에 하중방향에 따라 편향되게 응력이 분포하였다.

2. 지지골에서 응력

하중조건 A에서는 모델 1인 경우 응력이 치밀골 주위로 윤상으로 분포되는 양상을 보이며, 모델 2에서는 원심 경사된 고정체의 원심에 응력이 분포되고 근심은 원심 치밀골 부위에 비해 응력분포가 적었다. 모델 3에서는 상대적으로 근심 경사된 고정체의 근심 주위에 응력의 분포가 원심에 비해 더 넓게 분포하였다.

하중조건 B에서는 모델 1에 비해 원심경사된 모델 2에서 고정체 하부 치밀골에 응력의 분산이 보이지 않으나 모델 3에서는 모델 1과 유사한 양태의 응력이 분산된 반면 고정체의 원심경사는 동일한 하중에 비해 근심경사와 다른 응력 분포 양상을 나타냈다.

3. 고정체의 응력 분포

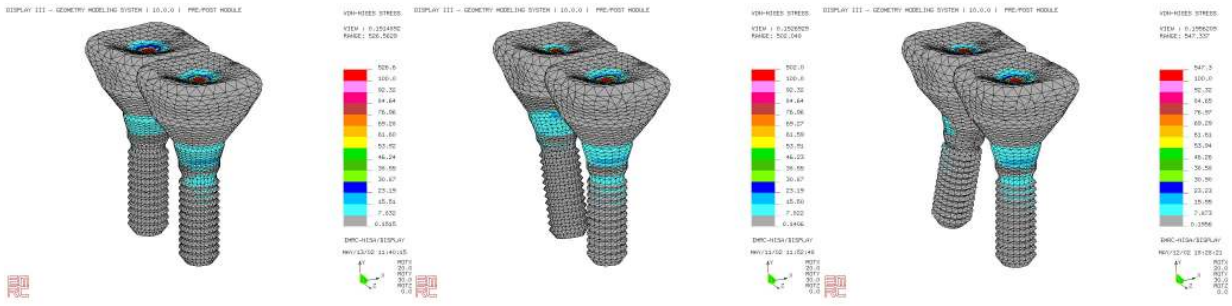
고정체에서의 응력양상은 하중조건 A에서 모델 1은 응력의 주 분포가 양 임플란트 상단 부위와 경부에 유사한 양상으로 분포되고, 모델 2는 원심경사된 임플란트 고정체의 상단과 헥스 부위의 근심에 응력이 집중되었다. 모델 3은 근심경사된 임프란트 고정체의 상단 원심에 응력이 집중되었다.

하중조건 B 에서는 모델 1이 고정체의 측 상단 협측과 경부에 고르게 응력이 분포하고 모델 2에서는 근심 경사된 임플란트의 측 고정체 상단 협측 상하 부위에 응력이 높게 나타났으며, 모델 3에서는 근심경사된 고정체 상단 원심부의 바깥쪽에 응력이 집중되었다.

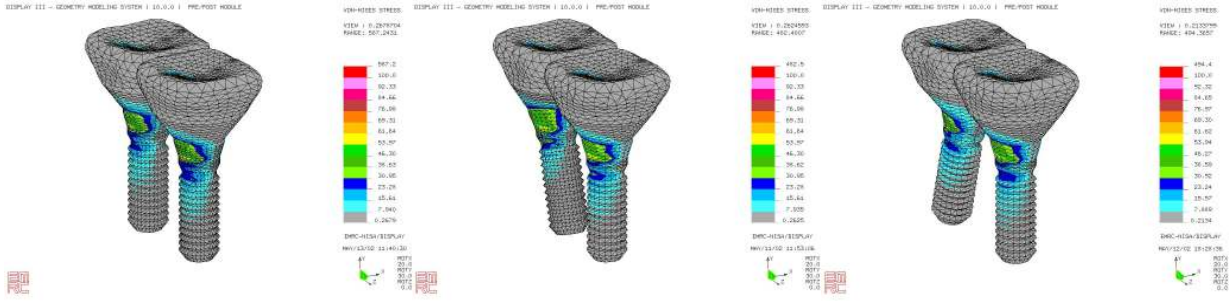
4. 지대주의 응력 분포

지대주의 응력 양상은 하중조건 A에서는 모델1의 지대주의 상단 부위에 응력이 집중되고 지대주와 고정체 연결부 바깥쪽 부위에서 응력이 다소 높았다. 모델 2에서는 응력의 최대치가 매우 높아지며 그 응력의 집중이 원심 경사한 임플란트의 지대주 근심 상방에 응력이 집중되고 상대적으로 모델 3에 비해 응력의 최대치가 높았다. 모델 3에서는 근심경사한 임플란트 지대주의 원심 상방에 최대응력이 분포하며 근심경사 반대측에 응력이 분포하였다.

하중조건 B 에서는 모델 1, 2, 3 모두 고르게 지대주의 하단부 협측에 응력이 주로 분포하고 응력의 최대치는 지대주와 고정체 연결부를 중심으로 협측에서 모두 나타났으며 응력의 최대치도 유사하였다. 그리고 지대주 상방 협측에 다소 높은 응력이 모델 1, 2, 3에 유사하게 나타나 경사의 영향보다는 하중 조건에 더욱 영향을 받은 것으로 나타났다.

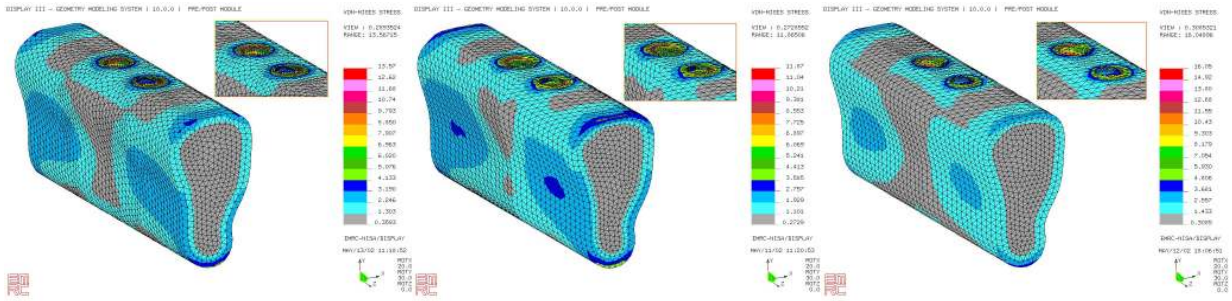


Model 1-Load A　　Model 2-Load A　　Model 3-Load A

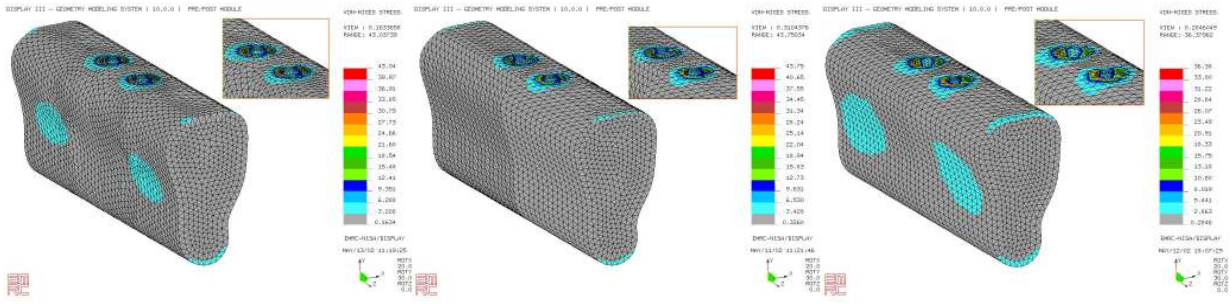


Model 1-Load B　　Model 2-Load B　　Model 3-Load B

Fig. 4. The Von Mises stress value on implants of Model 1, 2, 3 under loading point A, B

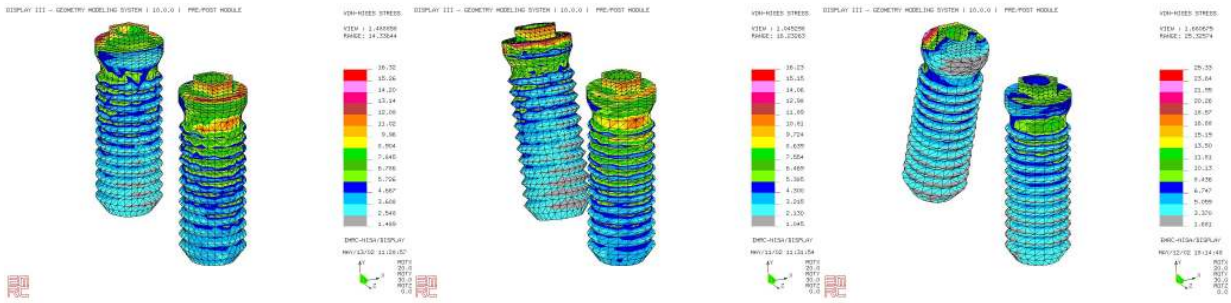


Model 1-Load A　　Model 2-Load A　　Model 3-Load A

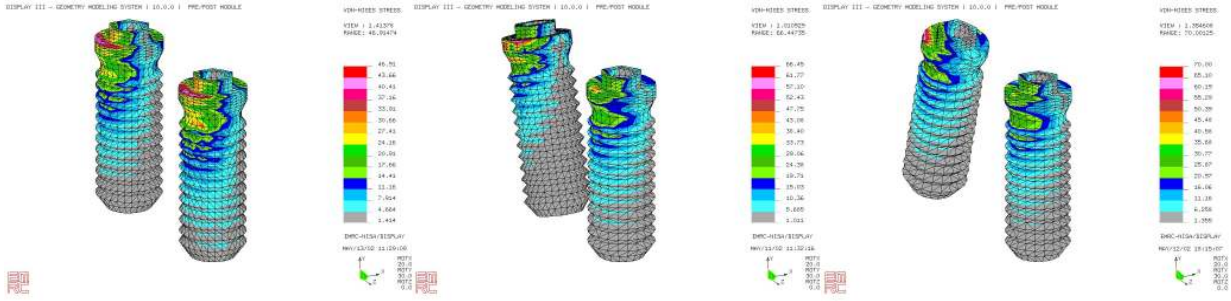


Model 1-Load B　　Model 2-Load B　　Model 3-Load B

Fig. 5. The Von Mises stress value on bone abutment of Model 1, 2, 3 under loading point A, B

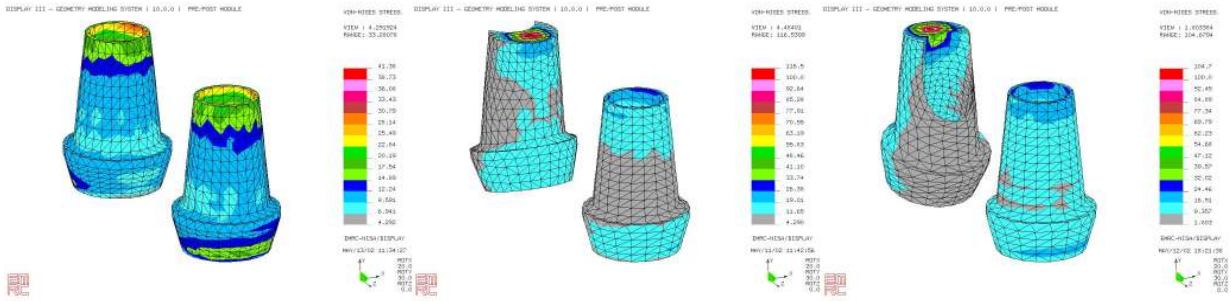


Model 1−Load A Model 2−Load A Model 3−Load A

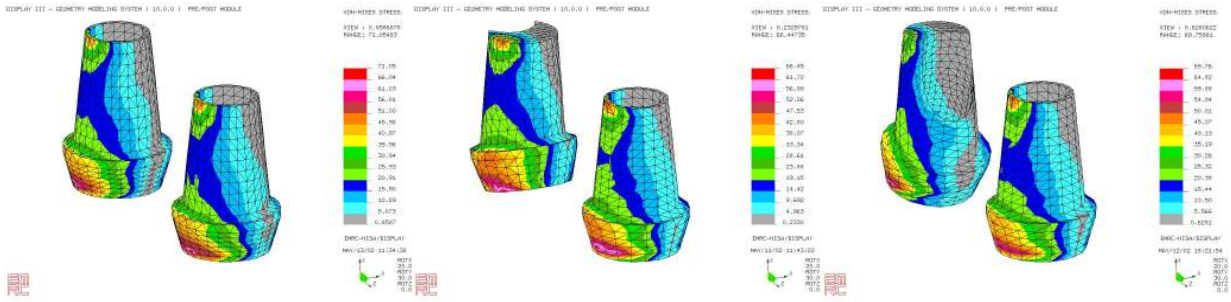


Model 1−Load B Model 2−Load B Model 3−Load B

Fig. 6. The Von Mises stress value on fixture of Model 1, 2, 3 under loading point A, B



Model 1−Load A Model 2−Load A Model 3−Load A



Model 1−Load B Model 2−Load B Model 3−Load B

Fig. 7. The Von Mises stress value on abutment of Model 1, 2, 3 under loading point A, B

Table 2. Maximum Von Mises Stress in the component of Model(unit: MPa)

Load point	Type	All components	Fixture	Abutment	Bone
Load A	Model 1	526.6	16.32	41.38	13.57
	Model 2	502.0	16.23	116.5	11.87
	Model 3	547.3	25.33	104.7	16.05
Load B	Model 1	587.2	46.91	71.05	43.04
	Model 2	482.5	66.45	66.45	43.75
	Model 3	494.4	70.00	69.76	36.38

5. 각 구성부의 최대 응력

전구성성분, 지지골, 고정체, 지대주에 걸리는 Von Mises stress의 최대치는 Table 2와 같다.

Ⅳ. 총괄 및 고안

임플란트 역학 분석에 있어 부하가 작용되었을 때 고정체와 지대주간의 접촉 면, 고정체와 골간 접촉면에서 응력이 주로 발생하므로 Misch[18]는 치조골능과 임플란트면상 힘을 감소시키는 교합설계로 임플란트 보호 교합이론을 제안하여 힘의 방향, 빗김하중이나 레버작용과 같은 힘의 확대 요소, 임플란트의 위치 및 임플란트체의 표면형태에 따른 임플란트 생역학을 보고하였다.

따라서 골유착 후 임플랜트 보철물에 영향을 미치는 역학적 구조는 교합면 설계시 가해지는 교합력의 방향과 량을 어떻게 조절하느냐에 달려있다. 그러나 임상적으로 골 내에 고정체 매식후 여러가지 매식 각도가 부여되었을 때 부하의 방향과 양에 따라 평가하기 어려워 수학적 방법의 하나로서 유한 요소법을 이용해 왔다.

본 연구에서는 임상적으로 재현하기 어려운 상황을 시뮬레이션하여 응력과 변위를 분석하는 유한요소법을 이용하여 평행하게 매식한 임플란트를 대조군으로 하여 하나의 고정체가 근심으로 경사진 모델과 원심으로 경사진 모델을 실험군으로 하여 여러 점하중 조건하에서 응력을 분석하였다.

하중조건으로 3가지의 하중방향을 설정하였는데 하중조건 A는 금관중심와에 200N의 수직점하중, 하중조건 B는 중심와에서 2mm 협측으로 위치한 곳에 200N 수직 방향의 점하중이 위치하게 하였다.

본 연구의 관점은 부하가 적용되었을 때 고정체의 경사도에 따른 임플란트-골표면과 고정체와 지대주에서의 연결부, 그리고 지지골에서 발생되는 응력의 양태를 평가하는 것이다. 본 연구에서 수직하중이 중심와에 가해진 경우는 모델 1에서는 양측 고정체의 바깥 방향으로 응력이 분산되는 양상을 보이나, 모델 2와 3에서는 고정체의 경사 방향에 따라 원심경사의 경우 고정체 근심에 근심경사의 경우 고정체의 원심에 스트레스가 집중되어 나타났다. 2 mm 의 빗김하중이 가해진 경우에서는 중심와 가해진 경우에 비해 보다 최대응력은 근심경사된 고정체의 원심 platform 에 응력이 나타났으나 경부에서의 응력 집중 양상은 근심경사에 비해 평행매식된 모델1이나 원심경사된 모델에서 나타났다. 중심와에서 벗어나 하중이 가해질 때 경사방향 보다는 하중이 가해지는 쪽 임플란트- 지대주 연결부를 중심으로 응력이 증가되어 나타났으나 경사의 위치와 관계없이 고정체의 경우 최상방면과 경부에 응력이 매우 집중되어 나타났다. 이러한 점은 응력은 고정체의 경사방향 보다 더 빗김하중에 더욱 영향을 받는다는 것을 의미한다.

Clelland 등[10]은 0。, 15。, 20。를 지닌 지대치 경사에 광탄성 연구를 통하여 경사도의 차이가 응력의 차이를 나타내기는 하지만 모두 경사가 생리적 범위에 있다고 하였고 Celletti 등[9]도 사이노몰구스 원숭이에 나선형 임플란트를 25。및 35。 각도로 매식후 1년 후 조직 표본상의 분석에서 직선형과 경사진 지대주는 주위골에 위해한 영향을 미치

지 않았으나 금관의 상실은 고정체에 지대주 연결하는데 사용된 나사의 기계적 실패에 따른다고 하였다. 따라서 유한요소 분석을 통하여 얻어진 본 연구에서 경사방향에 따라 응력의 분포 양상이 다르게 보이지만 그러한 응력 분포 양상이 골파괴를 유도하는지에 대해서는 임상적 연구가 동반되어야 할 것으로 사료되었다.

그러나 본 연구에서 골질을 등방성으로 간주하여 평가하였으나 O'Mahony등[19]의 연구에 의하며 골질을 이방성과 등방성으로 나누어 유한요소법을 이용하여 분석한 결과 등방성의 결과는 이방성으로 분석한 것에 해 치밀골에서는 약 20 ~ 30% 정도 증가하고, 해면골에서 3-4배 증가된다는 연구 결과로 보아 등방성으로 평가한 유한 요소의 결과를 구강과 동일한 사항으로 간주되어서는 안될 것으로 사료되었다.

지지골에서의 응력양상은 하중조건 및 고정체의 경사 조건에 관계없이 지지골 상부 즉 임플란트 고정체 상부와 골 접촉부인 치밀골에 응력이 집중되는 양상을 보이며 경부 하부로 분산되기는 하지만 그리 큰 응력이 걸리지 않고 있었다. Lekholm 등[14]의 연구에 따르면 매식된 285개의 임플란트중 107개에 여러 가지 형태의 골흡수가 나타났고 이중 8개는 5번째 나사산 까지도 흡수되었다고 보고하여 임플란트의 실패는 골 흡수와 관련이 있다고 하였다. 또한 Quirynen등[20], Lindquist 등[16], Ahlqvist 등[7]의 연구에서도 임플란트 주위 골소실은 세균감염과 생체 역학적 원인으로 치조골 능 부위에 주로 나타난다고 하였다. Patra등[21]은 대부분의 과부하는 치조골 골소실을 유도한 후 더 약한 소주 골조직으로 직접 전달되기 때문에 임플란트 설계시 부하를 임플란트에 균일하게 전달하여 골의 피료를 감소시키는 것이 바람직하다고 하였다. 또한 Leung 등[15]은 교합력은 우선적으로 치조정골에서 분산된다 하였고, Clelland 등[10]은 피질골의 두께를 달리하여 제작한 모델의 2차원적 유한요소 분석에서 최대응력이 피질골 치조정에 집중되나 피질골 층이 두꺼울수록 응력이 감소된다고 하였다. Abu-hammed등[6]은 임플란트 고정체 치경부에 부착한 HRP 는 임프란트 경부 주위 골과 잘 유착되고 임플란트 경부의 압축력을 감소시킨다 하여 경부의 힘을 감소시키기 위한 방법을 제안하기도 하였다.

지대주의 경우 중심와에 하중이 가해졌을 때는 고정체가 경사됨에 따라 최대응력은 증가되는 양상을 보이나 빗김 하중이 작용된 경우 경사의 방향에 관계 없이 유사한 응력 분포를 나타내고 있었다. 이러한 점에서 치관의 외면에 힘이 가해졌을 때 많은 량의 응력이 지대주를 통하여 분산되고 있음을 나타냈다.

응력의 분산을 위한 방법으로 Meijer 등[17]은 응력의 분석에 대한 영향 평가에서 임플란트의 길이보다는 치조골의 량과 질이 더욱 중요하다고 하였으며, Akca 등[8]은 비축성 과부하에서오는 굽힘력은 치밀골의 생리적 지지능력을 초과하는 스트레스 집중을 유발시킨다 하여 엇갈린 배열과 직선배열을 비교한 유한요소 분석에서 넓은 폭을 지닌 고정체의 직선 배열이 엇갈린 배열에 비해 굽힘력을 감소시킨다고 보고하였다.

본 연구의 결과를 고찰해 볼 때 가능하다면 교합력의 부여시 고정체의 장축과 수직이 되도록 교합접촉을 설정하여 임플란트 구성성분의 응력집중에 의한 기계적 실패를 감소시켜야 할 것이다. 또한 고정체의 매식각도에 따라 지지골, 고정체 지대주에 빗김하중이 작용하였을 때 응력의 증가가 나타났던 바 매식각도가 존재할 때는 빗김 응력이 작용하지 않거나 직경이 큰 고정체를 사용하여 응력을 감소시켜야 할 것으로 사료되었다 .

Ⅴ. 결 론

임플란트 고정체의 근원심 매식 각도가 하중에 어떠한 영향을 받게되는 가를 분석하기 위하여 200N의 점하중을 수직으로 부여한 후 3차원 유한요소분석을 통하여 임플란트 구성성분에 작용하는 응력을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 금관 중심와의 중심에 점하중이 가해질 경우에는 고정체의 경사 방향은 임플란트의 응력분포에 영향을 미친다.
2. 빗김하중이 가해질 때 임플란트 응력 분포는 고정체의 경사보다는 교합면에서의 하중의 위치에 더욱 영향을 받은 것으로 나타났다.

결론적으로 지지골, 고정체, 지대주에 걸리는 응

력은 고정체의 경사방향보다는 하중방향이 더욱 영향을 미치는 것으로 보아 임플란트 구성체에 하중을 고르게 분포하기 위해서는 임플란트의 교합면 설계시 교합접촉을 고정체의 장축 방향에 가깝게 설정하는 것이 바람직할 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 고현, 우이형, 박남수. 고정성 보철치료에서 골유착성 임플란트의 경사도 변화에 따른 변위와 응력에 관한 유한요소법적 연구, {대한치과보철학회지}, 31: 580-610, 1993.
2. 이주희, 김창희, 김영수. 임프란트 상부보철물의 고정방식에 따른 힘의 분포에 관한 연구, 나사유지형 및 시멘트 유지형, {대한치과보철학회지,} 39: 125-145, 2001.
3. 조철, 신상완, 권종진. 임플란트로 지지된 하악 캔티레버 보철물의 3차원 유한요소 분석, {대한치과보철학회지}, 38: 724-743, 2000.
4. 최창환, 오종석, 방몽숙. 수복재료와 임플랜트 종류에 따른 임플랜트 및 지지조직의 응력분포, {대한치과보철학회지}, 38: 53-67, 2000.
5. 현기봉, 이선형, 장익태등. 저작압이 임플란트 주이골내 응력 분포에 미치는 영향에 관한 연구, {대한치과보철학회지}, 39: 391-409, 2001.
6. Abu-Hammad, OA, Harrison, A, Williams, D.. The effect of a hydroxyapatite-reinforced polyethylene stress distributor in a dental implant on compressive stress levels in surrounding bone. Int. J Oral Maxillofac Implants 15:559-564, 2000.
7. Ahlqvist, J., Brog K, Gunne, J., Nilson, H., Olsson, M., Astrand, P.. Osseointegrated implants in edentulous jaws: A 2 -year longitudinal study. Int.J. Oral Maxillofac Implants, 5: 155-163, 1990.
8. Akca, K., Iplikcioglu, H.. Finite element stress analysis of the influence of staggered Versus straight placement of dental implant, Int.J. Oral Maxillofac Implants, 16: 722-730, 2001.
9. Celletti, R., Pameijer, C.H., Bracchetti, G., et al.. Histologic evaluation of osseointegrated implant restored in nonaxial functional occlusion with preangled abutments, Int.J. Perio. Resto. Dent., 15: 563-573, 1995.
10. Clelland NL, Lee JK, Bimbenet OC, Gilat A.. Use of an axisymmetric finite element method to compare maxillary bone variables for a loaded implant. J Prosthodont 2:183-189, 1993.
11. Clelland NL, Gilat, A., McGlumphy,EA, Brantley WA.. A photoelastic and strain gauge analysis of angled abutments for an implant system, Int.J. Oral Maxillofac Implants, 8: 541-548, 1993.
12. Haack, J.M. Sakaguchi, R.L., Sun, T., Coffey, C.P.. Elongation and preload stress in dental implant abutment screw, Int.J. Oral Maxillofac Implants, 10: 529-535, 1995.
13. Kallus, T. Henry, P. Jemt, T. Jorneus, L.. Clinical evaluation of angulated abutments for the Br nemark system: A pilot study, Int.J. Oral Maxillofac Implants, 5: 39-45, 1990.
14. Lekholm, U., Sennerby, L. Roos, J., Becker, W.. Soft tissue and marginal bone condition at osseointegrated implants that have exposed threads: A 5-year retrospective study. Int.J. Oral Maxillofac Implants, 11: 599-604, 1996.
15. Leung Katherine C.M., Chow, T.W., Wat, Peter. Y., Comfort Margaret, B.. Peri-implant bone loss: management of a patient, Int.J. Oral Maxillofac Implants, 16: 273-277, 2001.
16. Lindquist, L.W., Carlsson, G.E.. Bone resorption around fixture in edentulous patients treated with mandibular fixed tissue- intergrated protheses, J. Prosthet. Dent., 59: 59-63, 1988.
17. Meijer,H.J., Kuiper,J.H., Starmans,F.J., Bosman,F.. Stress distribution around dental implants ; Influence of superstructure, length of implants, and height of mandible, J. Prosthet. Dent., 68: 96-102 1992.
18. Misch CE, Bides MW., Implant-Protected occlusion, Int. J Dent Symp 2: 32-37, 1994.
19. O'Mahony,A.M., Williams,J.L., Spencer,P.. Anisotropic elasticity of cortical and cancellous bone in the posterior mandible increases peri-implant stress and strain under oblique loading, Clin Oral Implants Res., 12: 648-657, 2001.
20. Quirynen, M. Naert,I., Van Steenberghe, D.. Fixture design and overload influence marginal bone loss and fixture success in the Br nemark system, Clin Oral Implant Res. 3: 104-111, 1992.
21. Patra, A.K., DePaolo, J.M., D Souza, K.S., DeTolla, D., Meenaghan, M.A.. Guidelines for analysis and redesign of dental implants. Implant Dent. 7: 355-368, 1998.