

유한요소법을 이용한 교합 하중 위치에 따른 임플란트 지지골의 응력분포 비교분석

이 명 곤, 김 영 직, 김 치 영
(부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과)

Abstract

A Comparative Analysis of Stress Distribution in the Implant Supporting Bone by Occlusal Loading location Utilizing the Finite Element Method

Myung-Kon Lee, Young-Jick Kim, Chi-Young Kim

Dept. of Dental Laboratory Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

The purpose of this study is to evaluate the effect of loading at three different occlusal surface position of the gold alloy crown on the stress distributions in surrounding bone, utilizing 3-dimensional finite element method. A three dimensional finite element model of an implant with simplified gold alloy crown and supporting bone was developed for this study. A oblique or vertical load of 100 N was applied at the following position at each FE model : 1) center of occlusal surface, 2) a point on the buccal side away from center of occlusal surface (COS) by 2.8mm, 3) a point on the lingual side away from COS by 2.8mm.

In the results, Minimum von Mises stresses under vertical load or oblique load of 100N were about 6MPa at the center of occlusal surface and about 40MPa at the point on the buccal side, respectively. From the results we could come to the conclusion that occlusive loading position could be an important factor for establishment of structural safety of supporting bone.

• Key word : implant, finite element method, occlusal loading position, supporting bone.

* 이 논문은 2005년도 부산가톨릭대학교 교내연구비로 연구되었음.

교신 ■ 성 명 : 이 명 곤 ■ 전 화 : 051-510-0591 ■ E-mail : mkleee@cup.ac.kr
저자 ■ 주 소 : 부산광역시 금정구 부곡3동 9번지 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

I. 서론

골유착성 치과용 임플란트가 Brånemark에 의해 도입된 이래 치과용 임플란트는 무치악 환자의 치과보철물 지지구조 활용에서 단일치 직접 회복에 이르기까지 그 임상 적용 범위가 확대되어 왔다(Brånemark 등, 1988 ; 신상완과 현기봉, 2001). 임플란트는 저작운동에 의한 반복 하중을 받게 되므로 장기간의 안정성이 보장되어야 하며, 이를 위해서는 임플란트 자체의 구조적 안정성과 고정체와 지지골간의 유착과 같은 주위 골조직의 안정성 등이 유지되어야 한다.

주위 골조직의 안정성이 파괴되는 사항으로는 하중 초기 부여, 지지조직의 감염 등의 기술 실패와 과도한 외부 교합하중으로 인한 고정체와 지지골 계면에서의 골유착 파괴를 들 수 있다(이재봉 등, 2000). 임플란트 상부구조물에 가해지는 하중의 대부분을 상부 피질골이 지지한다고 알려져 있는데, 과도한 교합 응력은 골 흡수를 유발하고 이러한 흡수는 고정체와 뼈 사이의 미세 운동을 유발하여 고정체와 골 접촉 계면과 주위 지지골의 파괴로 궁극적으로는 임플란트 기술의 실패를 가져오게 된다(Ishigaki 등, 2003 ; Himmlova 등, 2004). 그러므로 피질골의 퇴행은 임플란트 기술의 실패를 초래하는 중요한 원인 중의 하나가 될 수 있으며, 임플란트는 역학적으로 상부 피질골의 퇴행을 방지할 수 있는 응력 분포를 가지도록 고안되어야 한다(Rieger 등, 1990 ; Van & Schmitt, 1990 ; Clelland 등, 1991).

임플란트에 가해지는 외부 하중은 대부분 저

작운동에 의한 것이며 교합면을 통하여 전달된다. 임플란트 보철물 제작시 교합점 위치 설정은 고정체의 식립 위치와 방향, 교합관계, 인공치아 형태 등이 고려되어 결정된다. 교합점 위치 선정은 외부하중의 위치가 치조골의 구조적 안정성에 미칠 수 있는 생체역학적 영향을 고려하지 않을 경우 고정체와 골의 유착 파괴를 발생시킬 수 있는 과하중 교합 응력 발생으로 작용하여 성공적인 임플란트 시술에 악영향을 미칠 수 있다(Cochran, 2000 ; Ishigaki 등, 2003 ; Eskitascioglu 등, 2004).

유한요소법을 이용한 연구는 실험에 영향을 줄 수 있는 많은 인자들에 대한 영향을 직접 시뮬레이션 함으로써 다양한 인자들의 영향 정도를 미리 예측하여 실질적인 실험 기획을 용이하게 할 수 있으며, 시간과 경비를 절감할 수 있는 이점이 있다. 또한 발생하는 응력의 크기 및 분포를 전체적으로나 구성부분 개별적으로 파악할 수 있는 장점이 있어 여러 재료로 구성된 구조물의 경우에 각 구조물의 응력분포와 변화 양상, 변위량 등을 정성적으로 측정하는 데 있어 매우 효과적이다(Van Rossen 등, 1990).

최근 유한요소법을 이용한 구조적으로 안정된 임플란트 디자인에 대한 연구와 다양한 매식체의 길이와 직경 등이 주변 골조직의 응력분포에 미치는 영향성 등에 관한 연구와 저작운동 등의 외부하중 종류와 방향이 임플란트의 구조 및 치조골의 안정성에 미치는 영향에 관한 연구 등이 활발하게 보고 되고 있다(이화영 등, 1997 ; Iplikcioglu & Akca, 2002 ; Akca 등, 2003 ; Ishigaki 등, 2003 ; Himmlova 등, 2004).

본 연구에서는 현재 국내에서 생산되고 있는

AVANA self tapping 임플란트를 모델링하여, 임플란트 시술 후 임플란트와 주위 골조직간의 완전 결합을 전제로, 교합점 하중의 위치와 방향을 달리하여 적용한 수직하중과 경사하중의 위치에 따른 주위 골 조직의 구조적 안정성을 유한요소법으로 계산한 von Mises 응력 (이하 VMS)으로 비교 분석하여 임플란트를 이용한 치과보철물 제작시 치관의 교합점 설정 선택에 필요한 역학적 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

부 피질골로 구성하였다. 근원심폭과 협설폭은 모두 12mm로 하였으며 전체적으로 육면체형태로 구성하였다.

상부 보철물 구조는 하악 제 1 대구치를 가상의 형태로 모델링 하였다. 교합면은 근원심폭경 10mm, 협설폭경 8mm의 4 각 평면으로 구성하여 치아의 교두 형태에 따른 영향성을 배제 하였다. 금관 보철물의 높이는 자연치보다 다소 낮은 7mm로 하였으며 지대주 높이를 포함한 지지골 상부 노출 구조물의 총 높이는 9mm로 하였다. 모델은 3차원 육면체 요소를 사용하였으며, 22,538개의 요소로 구성하였다. 전체적인 모델의 모형은 <Fig. 1>에 나타내었다.

인체의 피질골과 해면골을 포함한 모든 모델 구조물은 등방성, 균질성, 선형탄성 재료들로 가정하였으며, 각 재료들의 물성치는 문헌에 나와 있는 자료들을 이용하였으며 <Table. 1>에 나타내었다(Kim 등, 1999 ; Patra 등, 1998 ; Stegaroiu 등, 1988 ; Papavasiliou 등, 1996). 또한 모델을 구성하는 각 구조의 접촉부분들은 완전 결합한 것으로 가정하였다.

II. 재료 및 방법

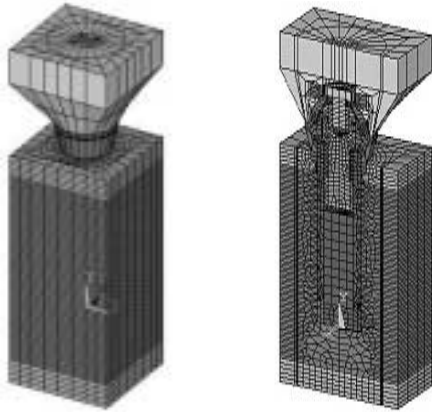
1. 유한요소모델

본 연구에서는 유한 요소 프로그램으로 ANSYS(Swanson Analysis Inc. USA)를 이용하였다. 임플란트 모델링은 AVANA self tapping 임플란트(주)오스템, Korea)의 설계도면을 이용하였으며 이는 기존 연구(이명곤, 2004)에서도 이용된 바 있다. 모델링 상부구조물은 금실린더(midicone gold cylinder), 금실린더나사(gold cylinder screw), 지대주(midicone abutment), 그리고 지대주나사(abutment screw)로 구성하였다. 하부 고정체는 임상에서 가장 많이 이용되는 것으로 알려진 직경 3.75mm 길이 13mm를 채택하였다.

임플란트 고정체를 지지한 치조골의 형태는 피질골(cortical bone)과 해면골(cancellous bone)로 구성하여 지지골 구조부분은 두께 1.5mm의 상부 피질골과 16.5mm의 해면골, 2.0mm의 하

<Table. 1> Mechanical properties of materials used in FEM

materials	Elastic modulus(GPa)	Poisson's ratio
Ti fixture	110	0.3
Ti abutment	110	0.3
Ti abutment screw	110	0.3
Gold cylinder screw	122	0.3
Gold crown	90	0.33
Gold cylinder	122	0.3
Cortical bone	13.7	0.3
Cancellous bone	1.37	0.3



a) Overall view image b) Cross-sectional view image

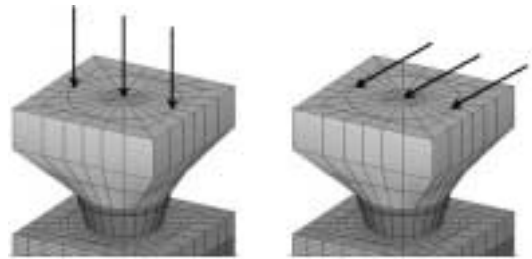
〈Fig. 1〉 Finite element model of implant with gold alloy crown and supporting bone.

2. 하중조건 및 구속조건

본 연구에서의 하중 형태는 하중위치에 따른 치조골의 VMS 분포를 분석하려는 목적에 충실하고자 집중 하중 형태의 수직하중과 설측에서 협측으로 향하는 45° 경사하중 두 가지로 단순화 하였으며 각 하중의 크기는 모두 100N으로 하였다. 구속조건으로는 골의 최하단부위의 모든 절점을 6방향의 자유도를 공히 구속시켜 이동 및 회전이 없도록 하였다. 교합점을 의미하는 하중위치는 교합면의 중앙과 중앙으로부터 설측과 협측으로 각각 2.8mm 이동한 지점으로 3 군데를 지정하였다. 임상에서 대부분의 경우 교합 위치가 중심에서 협측으로 치우쳐 있는 경우가 많으나 본 연구에서는 하중위치가 치조골에 미치는 영향을 강조하기 위해 정중앙 한 점과 설측, 협측에 다소 치우친 두 지점을 선택함으로써 각 하중위치에 따른 VMS 차이를 극대화 하고자 하였다. 하중 조건에 대한 그림은 〈Fig. 2〉에 나

타내었다.

가해진 하중으로 인하여 발생하는 임플란트 주위의 치조골 조직의 구조적 안정성은 VMS값을 이용하여 분석하였다. 각 모델과 하중 조건에 따른 최대 VMS의 크기와 위치를 분석하였으며 등간격으로 구분된 VMS 값의 분포를 색깔별로 나타내었다.



a) 3 positions of vertical loading b) 3 positions of oblique loading

〈Fig. 2〉 Positions and vertical and oblique direction of loading of 100 N.

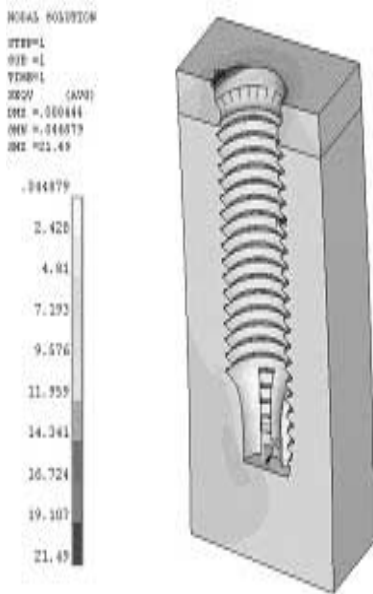
Ⅲ. 연구결과 및 고찰

본 연구는 유한요소를 이용하여 저작운동 등에 의해 발생하는 외부하중을 수직 하중과 경사 하중으로 가정하고 각 교합점을 의미하는 하중의 위치를 변화 시켜 교합점의 위치에 따른 임플란트 지지 골조직의 VMS 분포를 분석함으로써 교합점 선정에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 전술한 바와 같이 본 연구는 유한요소를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션이므로, 정량적인 분석보다 정성적인 분석, 즉 비교분석에 비중을 두

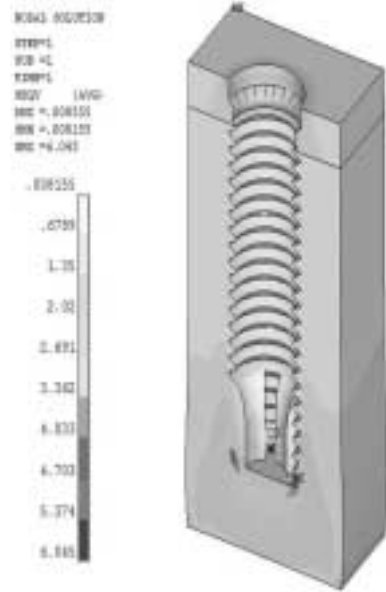
고 있다.

1. 수직하중의 하중위치별 지지 골조직의 VMS 분포 및 영향성 분석

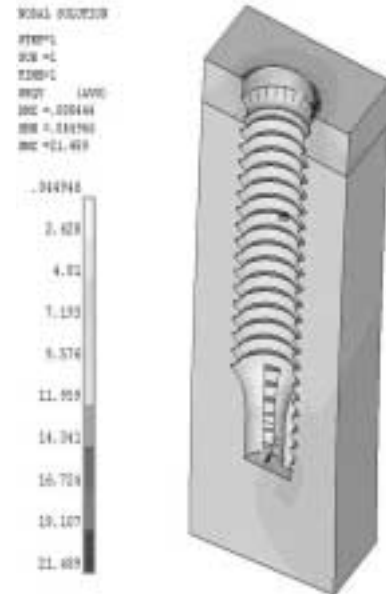
100 N의 수직 하중에 대한 하중 위치와 각 하중위치에 따른 치조골의 VMS 분포는 <Fig. 2>와 같으며 그림에서와 같이 중앙에 수직 하중을 주었을 경우에 VMS가 6MPa 정도로 가장 낮게 계산되었고 최대 VMS의 위치 또한 고정체 하단에 위치하고 있어 상부 피질골의 하중 부담이 낮은 것으로 분석되어 수직 하중에 대한 하중 위치로서 가장 좋은 것으로 판단된다. 그리고 중앙점으로부터 양쪽으로 2.8mm 이동한 협측 하중과 설측 하중에 대한 치조골의 VMS 분포는 양쪽이 대칭적으로 서로 비슷한 VMS 분포를 보였으며 최대 VMS는 21MPa 정도로 상부 피질골 부위에서 계산되었으나 정상적인 피질골의 항복강도



(a)



(b)



(b)

<Fig. 3> Results of distribution of von Mises stress of supporting bone induced by the vertical loadings.

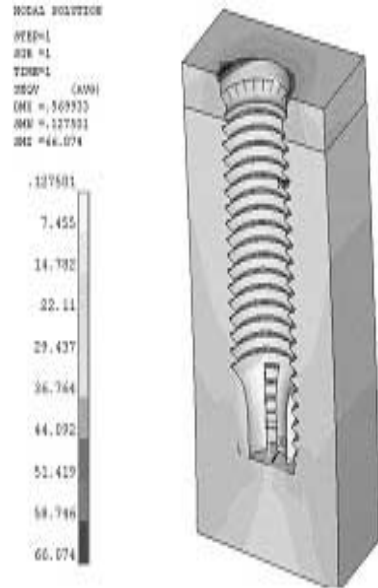
- (a) loading to buccal region of occlusal surface.
- (b) loading to center of occlusal surface.
- (c) loading to lingual region of occlusal surface.

인 227MPa보다 약 10%로 낮게 나타나 구조적인 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단되었다 <Fig. 3>. 하지만 중앙에 하중이 위치하는 경우에 비해서는 상대적으로 피질골의 3 배 이상 VMS가 높게 나타났다.

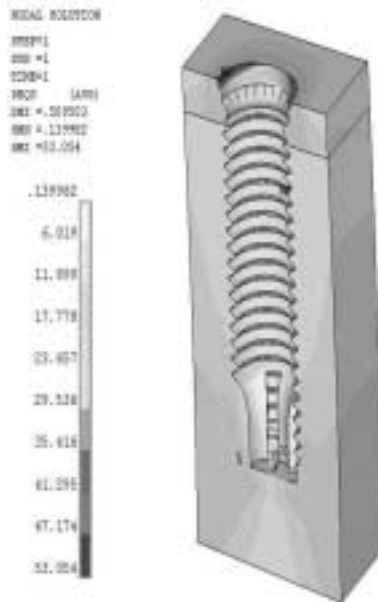
2. 경사하중의 하중위치별 지지 골조직의 VMS 분포 및 영향성 분석

각 하중 위치에서 수직 성분과 협측으로 향하는 수평성분에 각각 N의 힘을 가하여 두 수직 성분의 벡터 합이 100N이 되도록 하는 방법으로 경사하중을 가하였으며 100N의 경사 하중을 부과한 하중 위치와 각 하중위치에 따른 치조골의 VMS 분포는 <Fig. 3>과 같으며 그림에서와 같이 설측에 경사하중을 주었을 경우에 VMS가 약 40MPa 정도로 가장 낮게 계산되었고 고정체의 하부 해면골에 최대 VMS 값이 위치하였다 그러나 협측에 경사하중을 가한 경우에는 가장 높은 약 66MPa 정도의 최대 VMS가 상부 피질골 부위에서 계산 되었다. 이것은 경사하중의 경우 하중의 위치에 따라 VMS의 위치가 다르게 나타날 수 있음을 뜻하고 하중의 위치를 조절하여 상부 피질골에 VMS가 발생하는 것을 방지 할 수도 있다는 것을 의미한다. 100N의 경사 하중에 대한 VMS값은 모두 수직하중과 마찬가지로 피질골의 항복값을 넘지 않아 일반적인 정상환자의 경우 구조적 안정성에는 문제가 없다고 판단된다 <Fig. 4>.

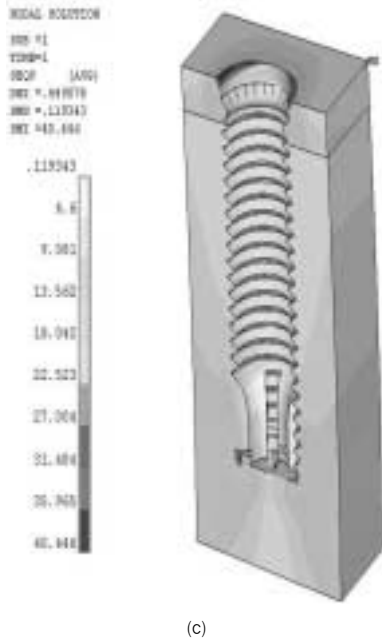
그러나 상대적으로 설측에 비해 협측에 경사하중을 주었을 때 상부 피지골 부위의 VMS값이 높게 나타났고 수직 하중에 비해서도 3배정도



(a)



(b)



(c)
 <Fig. 4> Results of distribution of von Mises stress of supporting bone induced by the oblique loadings to occlusal surface.
 (a) loading to buccal region of occlusal surface.
 (b) loading to center of occlusal surface.
 (c) loading to lingual region of occlusal surface.

높게 계산되어 상대적으로 상부 치밀골의 구조적 안정성이 다른 형태의 하중조건이나 하중 위치에 비해 낮은 것으로 나타나 골밀도가 현저히 떨어진 골다공증 환자 또는 골밀도가 낮은 노인들에 있어서는 문제가 발생할 가능성도 있으므로 골밀도의 변화에 따른 지지골 구조의 안정성에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다. 본 연구의 하중위치에 따른 VMS의 변화양상은 Eskitascioglu 등(2004)이 발표한 교합점을 협측에 하나만 두는 것보다 상대적으로 중심쪽으로 이동된 지점에 새로운 교합점을 더 만들었을 때 VMS가 낮아진다는 결과와 같은 양상을 보였는데 이러한 결과는 Eskitascioglu 등(2004)이

발표한 결과가 교합점의 수가 증가하여 VMS가 낮아진게 아니라 새로운 교합점들을 최초의 교합점에 비해 중심쪽으로 위치하게 선택하였고 이로 인한 하중의 중심위치가 상대적으로 중심쪽으로 이동하게 되어 나타난 결과로 사료되며 이러한 결과의 유사성은 본 연구의 모델과 분석이 타당하다는 근거가 된다고 판단된다.

본 연구의 결과로부터 임플란트 교합면의 교합점의 위치는 구조물의 안정성 확보에 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있었으며 교합면 디자인에 있어서도 중요하게 고려되어야 할 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구의 하중형태에 따른 최대 VMS 값의 비교에서는 경사하중이 하중위치에 상관없이 수직 하중에 비해 높은 VMS값을 보였다. 이것은 임플란트를 지지하는 치조골의 구조적 안정성 평가를 위해서는 수직하중에 대한 고찰 보다는 경사하중에 대한 고찰이 더 중요할 수 있음을 보여준다고 판단된다.

2. 경사하중에서 하중위치가 설측에 위치할 때 VMS가 가장 낮게 계산 되었고 협측으로 갈수록 높게 나타났다. 이것은 현재 임상에서 교합점의 위치를 협측에 두고 있는 것이 치조골의 구조적

안정성에는 오히려 악 영향을 줄 수 있음을 보여 주고 있다고 판단된다.

3. 교합면에서의 하중 위치는 치조골의 최대 VMS값의 변화뿐만 아니라 최대 VMS의 위치도 변화 시킬 수 있으며 이러한 결과로부터 상부 피질골의 구조적 안정을 위해 교합점의 위치 선정이 중요한 인자가 될 수 있다고 판단된다.

참고 문헌

신상완, 현기봉. 골유착성 임플란트의 성공 기준. 치과임상, 241, 854-858, 2001.

이명곤. 골유착성 치과 임플란트 고정체 직경에 따른 지지골의 응력분포에 관한 삼차원 유한요소 분석적 연구. 대한치과기공학회지, 26(1), 69-76, 2004.

이재봉, 왕영수, 신광호, 황병남. 국산 AVANA implant의 임상결과에 관한 연구. 대한치과의사협회지, 38(6), 558-566, 2000.

이화영, 이정우, 오상천, 조혜원. 단일치아 implant보철물에서 하중 조건에 따른 유한 요소법적 응력 분석. J Wonkwang Dent Res Ins, 7(1), 277-301, 1997.

Akca K, Cehreli MC, Iplikcioglu H. Evaluation of the mechanical characteristics of the implant abutment complex of a reduced-diameter morse-taper implant. Clin Oral Implants Res, 14(4), 444-454, 2003.

Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T. Tissue-integrated prosthesis : osseointegration in clinical dentistry. Chicago Quintessence Pub, Co, 117-128, 187-198, 1988

Clelland NL, Ismail YH, Zachi HS, Pipko D. Three dimensional finite element stress analysis in and around the screw-vent implant. Int J Oral Maxillofac Implants, 6(4), 391-398, 1991.

Cochran DL. The scientific basis for an clinical experiences with Straumann implants including the ITI Dental Implant System : a consensus report. Clin Oral Implants Res, 11(suppl. 1), 33-58, 2000.

Eskitascioglu G, Usumez A, Sevimay M, Soykan E, Unsal E. The influence of occlusal loading location on stress transferred to implant-supported prostheses and supporting bone : A three-dimensional finite element study. J Prosthet Dent, 91(2), 144-150, 2004.

Himmlöva L, Dostalova T, Kacovsky A, Konvickova S. Influence of implant length and diameter on stress distribution : A finite element analysis. J Prosthet Dent, 91(1), 20-25, 2004.

Iplikcioglu H, Akca K. Comparative evaluation of the effect of diameter,

- length and number of implants supporting three-unit fixed partial prosthesis on stress distribution in the bone. *J Dent*, 30(1), 41-46, 2002.
- Ishigaki S, Nakano T, Yamade S, Nakamura T, Fumio Takashima F. Biomechanical stress in bone surrounding an implant under chewing. *Clin Oral Impl, Res*, 14(1), 97-102, 2003.
- Kim WD, Jacobson Z, Nathanason D. In vitro stress analysis of dental implants supporting screw-retained and cement-retained prosthesis. *Implant Dent*, 8(2), 141-151, 1999.
- Papavasiliou G, Kamposiora P, Bayne SC, Felton DA. Three-dimensional finite element analysis of stress-distribution around single tooth implants as a function of bony support, prosthesis type, and loading during function. *J Prosthet Dent*, 76(6), 633-640, 1996.
- Patra AK, DePaolo JM, D'Souza KS, DeTolla D, Meenaghan MA. Guidelines for analysis and redesign of dental implants. *Implant Dent*, 7(4), 355-368, 1998.
- Rieger MR, Adams WK, Kinzel GL. A finite element survey of eleven endosseous implants. *J Prosthet Dent*, 63(4), 457-465, 1990.
- Stegaroiu R, Kusakari H, Nishiyama S, Miyakawa O. Influence of prosthesis material on stress distribution in bone and implant : A 3-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 13(6), 781-790, 1998.
- Van GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants : The Tronto study, Part II : The prosthetic results. *J Prosthet Dent*, 64(1), 53-61, 1990.
- Van Rossen IP, Braak LH, De Putter C, De Groot K. Stress-absorbing elements in dental implants. *J Prosthet Dent*, 64(2), 198-205, 1990.