

# 유한요소 분석을 이용한 하중 위치에 따른 구치부 임플란트 국소의치 지지골의 응력 분포 연구

손 성 식 · 김 영 직\* · 이 명 곤\*

(인제치과기공소, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과\*)

## Abstract

### Finite element analysis of stress distribution on supporting bone of posterior implant partial dentures by loading location

**Sung-Sik Son, Young-Jick Kim\*, Myung-Kon Lee\***

*Inje Dental Lab.*

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

The purpose of this study is to evaluate the effect of three different oblique mechanical loading to occlusal surfaces of posterior implant partial dentures on the stress distributions in surrounding bone, using 3-dimensional finite element method. A 3-dimensional finite element model of a posterior implant partial dentures composed of three unit implants, simplified 3 gold alloy crown and supporting bone was developed according to the design of AVANA self tapping implant for this study. Three kinds of surface distributed oblique loads(300 N) are applied to following occlusal surfaces in the three crowns; 1) All occlusal surfaces in the three crown(load of 300 N was shared to three crown), 2) Occlusal surface of centered crown (load of 300 N was applied to a centered crown), 3) Occlusal surface of proximal crown(load of 300 N was applied to a distal proximal crown). In the results, 141 MPa of maximum von Mises stress was calculated at third loading condition and 98 MPa of minimum von Mises stress was calculated at first loading condition. From the results, location and type of occlusive loading conditions are important for the safety of supporting bone.

• Key word : finite element analysis, implant, supporting bone.

## I. 서 론

골유착 개념이 도입된 후 골유착성 임플란트(osseointegrated implant)를 이용한 치과 보철물 수복은 매우 광범위하게 이용되어 왔다. 현재 골유착성 임플란트는 그 임상적 효율성이 입증됨에 따라 완전 무치악은 물론 부분 무치악, 단일치 수복에 이르기까지 이용이 증가되고 있으며, 악안면 보철, 교정치료 시 고정원(anchorage) 등 다양한 임상적 상황에도 적용되고 있다(신상완 등, 2001).

임플란트는 치조골 내에 식립되어 골조직과 결합되는 기전으로 치근 역할을 대신하여 교합 하중(load)를 복합적, 연속적으로 받게 되어 생체역학과 관련된 많은 문제점이 발생될 수 있는데 제시되고 있는 문제점으로는 임플란트 고정체와 결합 치조골간의 골유착 파괴, 임플란트 구조 부분 파절 및 변형, 임플란트와 보철물 연결부 손상, 상부 보철물 파절, 유지 금나사의 이완 및 파절, 치조골의 소실 등을 들 수 있다(이재봉 등, 2000).

이러한 문제점들 중 중시해야 할 사항은 임플란트의 고정체를 제거해야 하는 상황이 되는 고정체와 치조골 간의 골유착 파괴를 들 수 있다. 이는 1차 수술 후 조기 과하중 부여, 지지 주위 조직 감염 등의 시술 실패가 있을 수 있으나 자연치근의 완충역을 하는 치근막 구조가 없는 지지골과 고정체의 접촉 결합으로 교합 하중이 직접적으로 지지골에 전달되어 발생하는 경우가 많아 가해지는 하중의 분산, 흡수하는 고정체와 보철물의 효율적 설계가 필수적인 사항으로 요

구되고 있다(Clelland 등, 1991; Van & Schmitt, 1990; Rieger 등, 1990a; Rieger 등, 1990b).

임플란트 고정체 지지골의 응력 분석과 관계된 대부분의 연구는 생체역학적 연구 기법을 기반으로 하고 있는데 크게 두 가지의 연구방법이 이용되고 있다. 하나는 실제 임플란트 구조부분과 지지골의 물성이나 파괴강도 측정 등과 같은 기계적 실험 방법이고, 다른 하나는 실제 실험의 어려움 즉, 재료의 한정성과 생체를 이용한 실험의 제약성, 그리고 다양한 생체역학적 환경 구현의 애로점 등을 극복하기 위해 컴퓨터를 이용하여 가상공간에서 유한요소법으로 응력 분포 및 구조적 안정성 등을 연구하는 방법이다.

유한요소해석(FEA: Finite Element Analysis)은 구조물 내의 무한개의 미지수 점들을 유한개의 이산화된 위치들의 절점과 이들 간의 유기적인 관계를 맺어주는 요소(element)로 나타내고, 절점들의 변위를 미지수로 하는 연립방정식의 계산을 통해 각 절점에서의 변위를 구하여 구조물 내의 임의의 점에서의 변위, 응력, 변형률 등의 값을 수치적인 근사화를 통해 얻어내는 것을 말한다(손창현 등, 1999). 유한요소법은 적절한 조건 설정과 정확한 계산과정이 이루어진다면 실험자가 의도하는 실험내용이 실험과 관련 없는 외적 요인에 영향 받지 않으면서 온전히 진행될 수 있는 장점이 있고, 복잡한 구조물의 해석에 있어 구조의 재현이 쉽고 모형의 변형이 간단하며 변형 전 후의 구조물 상태를 비교 할 수 있다. 또한 전체 구조물의 응력 분포와 측정이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

Branemark(1983)의 골유착성 임플란트 연구 이후 다양한 방법을 통해 새로운 임플란트를 개

발하고자 하는 많은 연구들이 진행되어 왔다. Papavasiliou 등(1996)은 골조직 상태, 보철물의 재료, 피질골의 유무, intramobile element의 종류, 하중 방향과 크기에 따른 임플란트 지지골의 3차원 유한요소 응력분포를 조사한 바 있다. 이재봉 등(2000)은 self tapping 임플란트와 double threaded(D/T) 임플란트의 기계적 안정성을 비교하기 위하여 유한요소법을 이용하여 압축력, 전단력에 의한 거동에 대한 비교를 하여 변위와 응력 값을 제시한 바 있으며, 이명곤(2003 ; 2004)은 단관 임플란트 모델의 고정체 길이와 직경에 따른 지지골의 응력 분포를 조사하였으며, 이명곤 등(2005)은 역시 단관 모델에서의 하중 위치에 따른 지지골의 응력 분포를 조사한 바 있다.

그러나, 이러한 많은 연구에도 불구하고 많은 임플란트 관련 연구들은 생역학적 분석의 방향이 임플란트 디자인과 표면 성질에 많이 편중되어 있으며 국소의치 형태의 치과 보철물에서 하중의 형태나 위치에 따른 지지골의 구조적 안정성에 대한 연구는 상대적으로 부족하였다.

본 연구에서는 현재 국내에서 생산되고 있는 AVANA self tapping 임플란트를 기본 모델로 하여 기본 모델 3개를 연결한 구치부 임플란트 국소의치 모델을 구현하여 임플란트 고정체와 주위 골조직간의 완전결합을 전제로 3가지 형태의 분포하중을 교합면에 적용하여 주위 지지골에서의 von Mises 응력 분포를 비교 분석하여 임플란트를 이용한 국소의치 치과 보철물 제작시 하중 분산의 효과를 파악하기 위한 역학적 기초 자료를 얻고자 실시하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 단관 임플란트 모델 제작

유한요소 프로그램으로는 ANSYS 10.0 (Swanson Analysis Inc. USA) 프로그램을 이용하였다. 단관 모델(crown model)의 임플란트 모델링은 AVANA 임플란트(오스템, Korea)의 설계도면을 이용하여 각 구조물의 중요 지점에 대한 3차원 위치정보를 입력하여 구현 하였다. 모델링 상부 구조물은 금실린더(esthetic gold cylinder), 실린더금나사(esthetic cylinder gold screw, slot type), 지대주(esthetic abutment, 2mm collar), 지대주나사(esthetic abutment screw)로 구성하였으며, 하부 고정체(US II fixture, external hexagon connection type)는 임상에서 가장 많이 사용되는 직경 3.75mm, 길이 13mm를 채택하였다.

임플란트 고정체를 지지한 치조골의 형태는 해면골(cancellous bone)과 피질골(cortical bone)로 구성하여 지지골 구조 부분은 두께 1.5mm의 상부 피질골과 16.5mm의 해면골, 2.0mm의 하부 피질골로 구성하였다. 근원심폭과 협설폭은 모두 8mm로 하였으며 전체적으로 육면체 형태로 구성하였다. 상부 보철물 구조는 자연치의 소구치 근원심폭 7mm, 9~11mm의 근원심폭을 갖고 있는 제 1, 2대구치의 크기를 기준으로 보철물 제작시 자연치보다 교합면 크기를 축소 제작하는 경향을 고려하고, 국소의치 모델을 제작할 때 최후방 대합치(제 2대구치) 교합면의 중간까지 접촉될 수 있는 크기로 설정하여 교합면은 근원심폭경 8mm, 협설폭경 8mm의 4각 평면으로 구

성하였다.

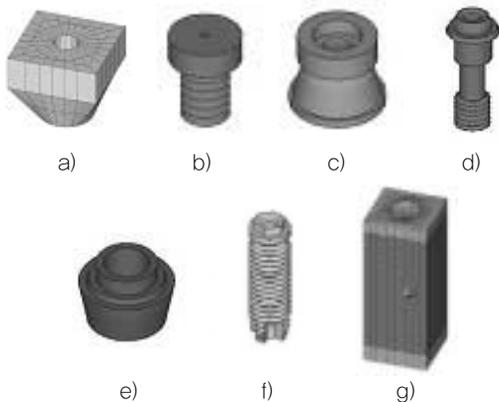
교합면은 평면으로 형성하였는데 이는 자연치의 교두 경사 형태는 결과 도출에 또 하나의 변수 상황이 되어 이에 따른 영향성을 배제할 수 있는 평면형으로 구성하였으며, 실제 보철물 제작 시에도 측방력을 피하기 위하여 교두 높이를 대폭 축소하므로 임상적 보철물 상황과 유사한 형태라고 판단하였다. 상부 보철물의 높이는 소구치부터 대구치까지 7~8.5mm의 자연치 높이보다 다소 낮은 7mm로 하였으며 이는 임플란트 보철물 제작시 대합치와 교합간 공격을 부여하는 형태를 고려한 것이며, 실제 지대주 높이를 포함

한 지지골 상부 노출 구조물의 총 높이는 9mm로 하였다.

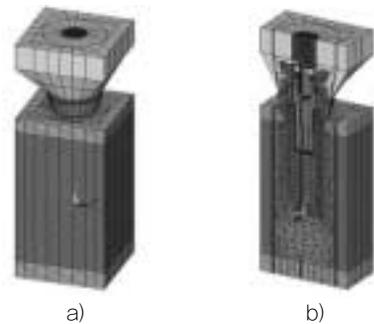
단관 모델은 3차원 육면체 요소를 사용하였으며 22,538개의 요소로 구성하였다. 인체의 피질골과 해면골을 포함한 모델의 모든 구조물은 등방성, 균질성, 선형 탄성 재료들로 가정하였으며, 각 재료들의 물성치는 문헌에 나와 있는 자료들을 이용하였으며 Table 1에 나타내었다. 모형을 이루는 각각의 부속 구조물들의 모형은 Figure 1에 나타내었으며 전체적인 모델의 모형은 Figure 2에 나타내었다.

〈Table 1〉 Material properties used in the model

Materials		Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio
cortical bone		13.7	0.3
cancellous bone		1.37	0.3
Ti alloy	fixture, abutment abutment screw	117	0.3
Gold alloy	crown	91	0.33
	cylinder cylinder screw	100	0.3
Acrylic resin		2.34	0.35



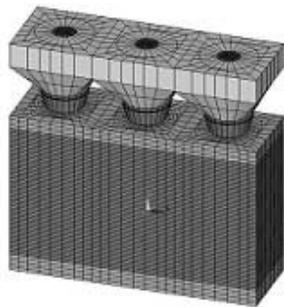
〈Figure 1〉 Parts of the model: a) crown, b) gold screw, c) gold cylinder, d) abutment screw, e) abutment, f) fixture, g) supporting bone.



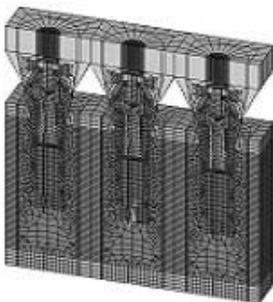
〈Figure 2〉 Crown implant model: a) Oblique view, b) Cross sectional view.

## 2. 구치부 임플란트 국소의치 모델 제작

구치부 임플란트 국소의치 모델은 임상에서 가장 많이 이용되는 구치부 고정성 국소의치를 대상으로, 제 2소구치부터 제 2대구치까지의 3 치관을 연결한 구치부 고정성 국소의치 형태의 임플란트 모델을 가정하고 기본 단관 모델 3개를 붙여 68,394개의 육면체 요소들로 구현 하였다. Figure 3에 전체 모델의 형태와 내부 단면 및 외부 전면의 모양을 나타내었다.



a)



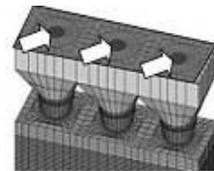
b)

〈Figure 3〉 Posterior implant partial dentures model: a) Oblique view, b) Cross sectional view.

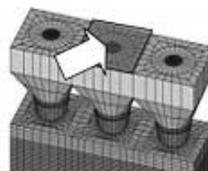
## 3. 하중 조건 및 구속 조건

본 연구에서는 Figure 4와 같이 3가지 형태의

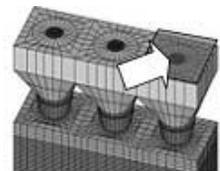
하중 조건을 가정하였다. 첫 번째는 300N의 하중을 설측에서 협측으로 향하는 45° 경사하중의 형태로 3개의 치관 교합면에 균일하게 분포하도록 적용하였다. 두 번째는 300N의 하중을 3개의 치관 중 가운데 위치한 치관의 교합면에만 균일하게 분포 하도록 하였다. 그리고 세 번째는 3개의 치관 중 원심부 치관의 교합면에만 균일하게 분포하도록 하였다. 결과적으로 첫 번째 하중 조건은 300N의 하중이 3개의 치관 교합면에 분산 되어 적용되도록 하였고 다른 두가지의 하중 조건은 각각 300N의 하중을 가운데 치관과 원심부 치관 하나에만 집중하도록 하였다. 구속 조건은 지지골의 윗면을 제외한 다른 외면에 존재하는 절점들의 6방향 자유도를 모두 구속시켜 이동 및 회전이 없도록 하였다. 각 하중 조건에 따른 지지골의 구조적 안정성은 von Mises 응력 분포를 분석하고 각 하중조건별로 비교하여 검증하였다.



a)



b)



c)

〈Figure 4〉 Types and locations of load: a) 300 N was shared to three crown occlusal surface, b) 300 N was applied to a occlusal surface of centered crown, c) 300 N was applied to a occlusal surface of distal proximal crown.

### Ⅲ. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서와 같이 유한요소 프로그램을 이용한 간편화된 모델 구현과 역학적 분석 결과는 실제 구강 내의 모든 역학적 조건과 생화학적 요건들을 포함하고 있지는 않다. 그러나 시뮬레이션을 통한 구조적 취약점이나 안정성 등을 미리 예견하여 구조체의 설계에 반영하는데 많은 도움을 줄 수 있을 뿐 아니라 실제 실험이 불가능한 경우에도 다양한 분석을 통해 결과를 예견하는데 도움이 될 수 있다고 판단된다.

임플란트를 이용한 치과보철물 수복에 있어 가장 많이 시술되고 있는 것은 국소의치 구조의 보철 시술이다. 홍성재 등(2002)의 10년간의 임플란트 보철 시술에 조사 연구에서 국소의치 보철이 70%로 나타난 보고와 이재봉 등(2000)의 AVANA 시술에 조사에서도 80.1%, 김영석과 이동근(2002)의 골유착성 치과 임플란트 성공률의 임상적 연구에서도 국소의치 보철이 전체 임플란트 보철에서 79.1%로 나타나 여타 보철물보다 가장 많은 시술이 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 가장 많은 시술예를 보이고 있는 구치부 임플란트 국소의치 모델을 유한요소 프로그램을 통해 구현하고 구강 내에서 나타날 수 있는 3가지 형태의 교합 하중 위치에 따른 지지골에서의 구조적 안정성을 von Mises 응력 분포를 통해 고찰하였다.

본 연구에서는 저작 운동에 의한 외부하중으로 경사하중을 선택하였다. 문헌에서는 수직하중과 수평하중, 경사하중 등이 다양하게 이용되

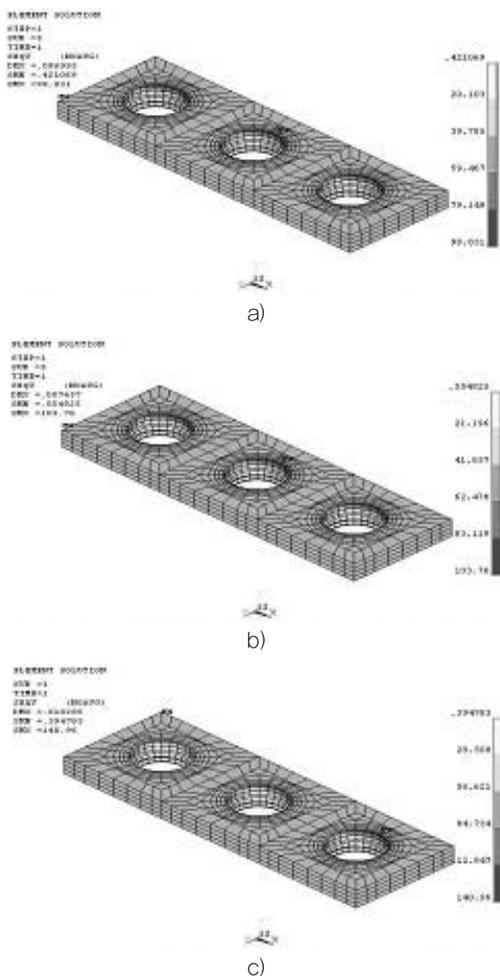
었는데 이는 치아의 경사도와 교합면 형태, 하악 골 운동 등이 복합적으로 작용하여 저작시 하중 경사에 대한 일정한 경향을 찾기 어렵기 때문으로 사료된다. 본 연구에서는 여러 문헌(Holmgren 등, 1998; Geng 등, 2004)들과 Ishigaki 등(2003)이 발표한 내용을 바탕으로 설측에서 협측으로의 45° 경사하중을 적용하였다.

하중의 크기도 역시 임상적 교합하중의 크기에 대한 명확한 정의가 없으며 선행연구에서도 1개 치관당 1~300N까지 다양하게 이용되고 있으나, 본 연구에서는 여러 문헌(윤승현 등, 1997; Eraslan 등, 2005)에서 가장 많이 이용되고 있는 1 치관당 100N을 사용하였다.

구치부 임플란트 국소의치 모델에서의 하중 위치에 따른 지지골에서의 von Mises 응력 분포 결과는 Figure 5에 제시하였다. 300N의 하중을 3 치관의 모든 교합면에 고르게 분포하도록 한 하중 조건에서는 지지골에서 가장 낮은 98.83MPa의 von Mises 응력값을 보였으며, 중간 1 치관의 교합면에 300N의 집중경사하중을 적용한 경우에는 103.76MPa로 나타나 3 치관 분산하중과 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 원심부 치관의 교합면에 300N의 집중하중을 분포 시켰을 경우에는 3 치관 분산하중과 중간 1 치관 집중하중 시보다 약 40%정도 높은 140.96MPa의 가장 많은 von Mises 응력값을 보였다.

응력 분포 형태는 3 치관 분산하중을 적용한 모델에서는 하중 방향인 협측 치경부 치밀골에서 3 치관 모두 유사한 크기의 최대 응력값이 나타났다. 중간 1 치관에 300N의 집중하중을 부여한 모델에서도 역시 3개 치관 협측 치경부 치

밀골에 고른 분포를 보이고 있어 하중의 분산 효과가 뚜렷하게 나타났으나, 원심부 1 치관 집중 하중에서는 하중이 적용된 치관 협측 치경부 치밀골에서만 집중된 응력 형태를 보이고 있었으며 하중 위치에서 멀어지는 치관 순으로 응력이 급속하게 낮아지는 형태의 응력 분포를 보이고 있었다.



〈Figure 5〉 von Mises stress distribution in supporting bone: a) 300 N load was shared to three crown occlusal surface, b) 300 N load was applied to a occlusal surface of centered crown, c) 300 N load was applied to a occlusal surface of distal proximal crown.

골유착성 임플란트는 건강한 인접 자연치를 손상시키지 않으며, 고정성 보철물을 제작할 수 있는 장점 등으로 많은 시술이 이루어지고 있으며 그 성공률도 계속된 연구 개발과 경험 축적으로 매우 높아져 이제는 일반적인 결손치 대체 시술 방식으로 이용되고 있다.

그러나 치근막의 응력 분산 효과를 가지는 자연치에 비하여 지지골과 직접 결합하는 구조로 인하여 교합 하중과 충격 하중 등의 응력 분산 흡수능이 매우 약한 문제점을 가지고 있어 보철물 제작시 이의 보완 설계 제작이 필요하다고 할 수 있다.

이를 획득하기 위하여 교합면의 제작에 있어 측방압을 발생시킬 수 있는 교두부를 낮게 제작하고 대합치와의 교합간격도 설정하여 교합 하중을 최소화 할 수 있도록 노력하고 있으나 경도가 높은 음식물이나 섬유질이 많이 포함된 질긴 음식의 섭취시 발생할 수 있는 측방압의 발생을 완전히 제어하기 힘든 실정이라고 할 수 있다.

본 연구에서 나타난 바와 같이 3 치관 분산 하중과 중간 1 치관 집중 하중에서는 응력 분포가 3개 임플란트로 분산되어 지지골에 가해지는 응력을 분산 감소시킬 수 있으나 원심부 1 치관에 가해지는 집중하중에서는 상대적으로 매우 높은 응력 부담의 결과를 보이고 있었다. 근심부 치관에 접촉 인접치가 있다면 원심부 치관 집중하중보다는 다소 낮은 결과를 보일 수 있다고 예상되나 그 응력의 분산 효과는 충분한 정도를 얻기 어려울 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 결과에서 나타난 바와 같이 구치부 임플란트 국소의치 보철물 제작시 교합 하중에 의한 지지골의 응력 분산을 가장 효율적

으로 얻을 수 있는 3 치관 분산 형태를 얻도록 노력하여야 하며, 집중하중에서도 원심부 치관에는 집중 하중이 발생하지 않도록 제작하여야만 지지골의 응력 집중에 따른 골조직 손실이나 파괴를 피할 수 있다고 사료된다.

## IV. 결 론

본 연구에서는 3차원 유한요소해석 방법을 이용하여 구강 내 저작운동 등에 의해 발생하는 외부 하중을 교합면에 경사 하중으로 구현하고, 지지골에서의 구조적 안정성을 von Mises 응력 분포를 통해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구치부 임플란트 국소의치의 제작에 있어서 3개의 치관 교합면 모두에 하중을 균등하게 분포하도록 하는 것이 지지골의 구조적 안정성을 확보 하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 구치부 임플란트 국소의치에 있어서 원심부 치관의 집중 하중이 발생할 수 있는 상황은 해당 치관 지지골에 과도한 응력 부담 상황을 줄 수 있어 보철물 설계 제작에 있어 이를 충분히 고려해야 한다.

3. 본 연구의 결과들은 구치부 국소의치 제작 시 필요한 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 이후의 다양한 역학적 조건 및 디자인 변경 그리고 임플란트 위치 변화 등에 따른 구조적 안정성 연구의 기본 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 김영석, 이동근. 골유착성 치과 임플란트의 성공률에 대한 임상적 연구. 원광치의학, 11(1), 163-180, 2002.
- 손창현, 이규민, 박장원 등. ANSYS를 이용한 유한요소해석 입문. 3판. 도서출판 계림, 31-40, 1999.
- 신상완, 현기봉. 골유착성 임플란트의 성공 기준. 치과임상, 24(1), 854-858, 2001.
- 윤승현, 신종현, 정재현. 임플란트 조임 나사의 종류에 따른 임플란트 보철의 유한요소법적 응력 분석. Oral Biology Research, 21(1), 125-148, 1997.
- 이명곤. 삼차원 유한요소법을 이용한 치과 임플란트 고정체 길이에 따른 지지골의 응력 분포 분석. 부산가톨릭대학교 논문집. 3집, 233-248, 2003.
- 이명곤. 골유착성 치과 임플란트 고정체 직경에 따른 지지골의 응력분포에 관한 삼차원 유한요소법 분석적 연구. 대한치과기공학회지. 26(1), 69-76, 2004.
- 이명곤, 김영직, 김치영. 유한요소법을 이용한 교합 하중 위치에 따른 임플란트 지지골의 응력분포 비교분석. 대한치과기공학회지. 27(1), 105-113, 2005.
- 이재봉, 왕영수, 신광호 등. 국산 AVANA implant의 임상결과에 관한 연구. 대한치과의사협회지, 38(6), 558-566, 2000.
- 이재봉, 황병남, 유승현 등. 3차원 유한요소해석에 의한 국산 self tapping fixture와

- double threaded fixture 의 기계적 안정성 비교연구. 대한가정치의학회지, 1 (1), 73-81, 1999.
- 홍성재, 백정원, 김창성 등. 임플란트 환자의 유형 및 분포에 대한 연구. 대한치주과학회지, 32(3), 539-554, 2002.
- Branemark PI, Osseointegration and its experimental background. J Prosthet Dent, 50(3), 399-410, 1983.
- Clelland NL, Ismail YH, Zachi HS, et al. Three-dimensional finite element stress analysis in and around the screw-vent implant. Int J Oral Maxillofac Implants, 6(4), 391-398, 1991.
- Eraslan O, Sevimay M, Usumez A, et al. Effects of cantilever design in stress distribution in fixed partial dentures: a finite element analysis. J Oral Rehabil, 32, 273-278, 2005.
- Geng JP, Ma QS, Xu W, et al. Finite element analysis of four thread-form configurations in a stepped screw implant. J Oral Rehabil, 31, 233-239, 2004.
- Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, et al. Evaluating parameters of osseointegrated dental implant using finite element analysis - a two dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. J Oral Implantol, 24(2), 80-88, 1998.
- Ishigaki S, Nakano T, Yamada S, et al. Biomechanical stress in bone surrounding an implant under simulated chewing. Clin Oral Implants Res, 14, 97-102, 2003.
- Papavasiliou G, Kamposiora P, Bayne SC, et al. 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.
- Rieger MR, Mayberry M, Brose MO. Finite element analysis of six endosseous implants. J Prosthet Dent, 63(2), 671-676, 1990a.
- Rieger MR, Adams WK, Kinzel GL. A finite element survey of eleven endosseous implants. J Prosthet Dent, 63(4), 457-465, 1990b.
- Van GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: The Toronto study, Part II: The prosthetic results. J Prosthet Dent, 64(1), 53-61, 1990.