

유한요소법을 이용한 치과용 고정체와 치조골에서의 응력분포에 대한 생체 역학적 분석

정지광, 신정욱, 이성재, 김영곤, 김정성, 박정홍
인제대학교 보건대학 의용공학과,

A Biomechanical Analysis for the Stress Distribution of Dental Implant and Alveolar Bone Utilizing Finite Element Method

J. K. Jung, J. W. Shin, S. J. Lee, Y. K. Kim, J. S. Kim, J. H. Park
Dept. of Biomedical Engineering, College of Health, Inje Univ.

서론

ABSTRACT

The objective of this study is to propose a finite element based design of the dental implant replacing function and shape of natural teeth. For this, geometric factors were varied to investigate stress distribution of the alveolar bone around dental implant. In this study, the results were obtained based on the theory of linear elastic, with geometrically axisymmetric assumption. Geometric factors determining implant shape are ranged as 0.2mm-0.6mm, 0.04mm-0.1mm, 0.46mm-0.84mm for height of thread, radius of curvature of thread, and pitch, respectively.

The stresses in the alveolar bone caused by biting force play a major role in determining implant stability. Especially, the stress concentration in the cortical bone causes bone resorption and finally makes the implant unstable. Therefore, the stress distributions were investigated on the side of the alveolar bone focusing on the area of cortical bone.

The maximum von Mises stress was found to increase up to 6% as the height of thread increases, while its value was to decrease to 19% when the radius of curvature increase within the assigned ranges. For the variation of pitch, the larger size of pitch results in greater maximum von Mises stress when the length of the implant under consideration is fixed.

The existence of the neck below the shoulder did not affect the stress distribution in the region of alveolar bone. However, the stresses on the side of the implant near the neck were found to be different by 20% approximately. Therefore, the neck can provide the stability of the implant against continuing biting movement.

As a conclusion, the finite element based study shows a potential in designing the dental implant systematically

인공치아란 부분적 또는 전체적으로 자연치아를 상실한 환자의 정상적인 활동을 유지하기 위해서 구강 내에 삽입되어 자연치아의 기능과 형태를 대신하는 인공보조물이다. 정상적으로 작용할 수 없는 자연치아의 기능과 형태를 대신하고, 부분적 또는 전체적으로 자연치아를 손실한 경우를 위해서 1970년대 말부터 본격적으로 인공 치아를 사용하고 있다.¹⁾ 인공치아에 있어서 가장 중요한 조건은 부적절한 하중의 전달에 의한 문제점을 최소로 하여 장기적인 안정성을 보장하는 데 있는데, 이러한 인공치아는 특수한 환경인 구강 내에 위치하고 자연치아의 역할을 대신 하여 정하중과 동하중을 계속 복합적으로 받게되므로 생체역학과 관련한 문제점을 발생시킬 수 있다. 여기서 생체 역학적인 면, 즉 인공치아와 치조골에 분포하는 응력, 가해진 하중에 대한 변위정도 등은 인체에서 직접적인 실험에 의해 그 정도를 파악하기가 어렵다. 본 연구의 목적은 유한요소해석을 이용한 인공치아의 형태적인 변수들에 의한 응력해석방법에 의해 고정체와 치조골에서 골의 생리적인 모델링과 리모델링의 작용에 의한 골의 퇴행현상²⁾을 방지할 수 있는 응력분포를 실현하는 인공치아를 구현하는 데 있다.

연구 방법

치과용 고정체의 경우 가해지는 하중에 비해 변형의 정도가 무시할 정도로 작은 것이어서 미소 변형을 적용하며, 치조골과 고정체를 등방성이고 균질하며 선형인 물질로 가정하였다. 유한요소 분석은 유한요소해석 범용 프로그램인 ANSYS[®] Ver.5.3 (SWANSON ANALYSIS SYSTEM INC.)을 사용하였다. 요소는 4절점 축대칭 4각형 요소를 사용하였다. 응력분석에 사용된 고정체는 Screw-Type이다. 나사형 고정체를 둘러싸고 있는 치조골은 피질골의 밀도에 따라서 등급이 나누어진다. 피질골이 망상골에 비해 밀도가 현저하게 높은 경우는 주로 하악에서 나타나고 상악의 경우는 피질골의 비율이 하악에 비해서 낮게 나타난다. 현재 시술되고있는 나사형 고정체는 피질골의 밀도가 높은 부위에 주로 시술되고 있는데 피질골은 망상골에 비해 고정체를 지지하는

능력이 현저하게 높으나, 망상골은 나사형 고정체를 시술하기 위해서 골에 나사형 모양을 내는 경우 2차적인 손상을 초래할 확률이 상당히 높은 것으로 나타나고 있다.³⁾

Figure 1.은 골의 밀도에 따른 등급⁴⁾을 나눈 그림이다. D-I에서 D-IV로 등급이 증가할수록 망상골의 분포가 증가하는 것을 보이고 있다. 본 연구에서 적용되는 D-III형은 고정체를 둘러싸고 있는 치조골에 분포하는 피질골의 밀도가 망상골의 밀도보다 낮은 분포를 나타내고 있다. 고정체를 시술하고 상당한 기간이 경과하여 치조골의 성장에 의해 고정체와 치조골은 완전히 결합된 것으로 간주하였다. 고정체와 치조골의 물리적 성질은 아직 정확하게 그 값을 알 수가 없는 관계로 현재 치의로 분야에서 유한요소 분석시 가장 많이 적용되고 있는 값을 적용하였고 그 수치는 Table 1.에 나타내었다. Table 2.는 고정체를 둘러싸고 있는 치조골의 수치를 나타내고, Table 3.에서 고정체에 적용된 변수와 범위를 나타내고있다.

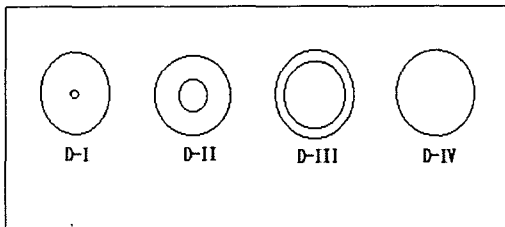


Figure 1. The four degrees of jaw bone quality (D-I :Dense compact, D-II:Porous compact D-III:Coarse trabecular, D-IV:Fine trabecular)

유한요소모델

나사형 고정체와 치조골을 축대칭으로 모델을 형성하여 축대칭해석을 하였다. 모델에 적용된 요소의 수는 변수에 따라 고정체의 형상이 변화하여 모델마다 절점과 요소의 수가 다르게 나타나지만 평균 요소의 수는 6950개이고 절점의 수는 6970개이다. Figure 2. 과 Figure 3.는 기본 모델로 설정한 치조골과 고정체의 유한요소모델이다.

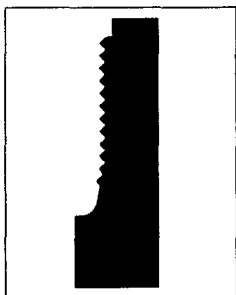


Figure 2. Finite element model of alveolar bone

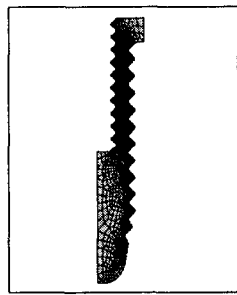


Figure 3. Finite element model of dental implant

하중조건 및 구속조건

가해지는 하중은 저작운동을 할 때 가해지는 100N의 하중을 응력으로 변환하여 적용하였다. 치조골에

서 하부피질골의 하단부분을 축방향에 대해 고정하였다. Figure 4.는 고정체의 shoulder에 가해지는 응력과 구속조건을 나타내고 있다.

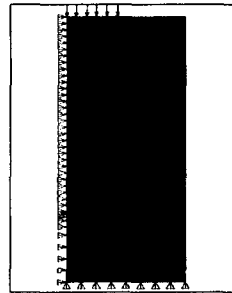


Figure 4. Loading and boundary conditions of FEM

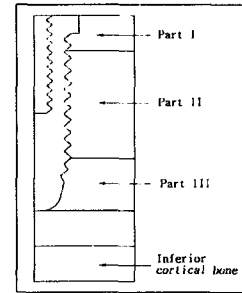


Figure 5. The schematic model and regions of analysis

해석방법 및 해석영역 설정

치조골에 분포하는 최대응력은 골에 생리적인 반응을 유도하여 부적절한 하중의 전달시 응력집중에 의한 골의 퇴행현상을 초래한다. 따라서 고정체와 접하고 있는 치조골의 영역에 분포하는 최대 von Mises 응력을 조사하였다. 저작운동에 의한 응력은 고정체의 상부 20%의 영역에 집중되므로 피질골 영역을 해석의 중심으로 설정하였다.

해석 영역은 Figure 5.에 나타난 것과 같이 나사형 고정체와 접하고 있는 치조골에서 상부피질골영역을 Part I으로, 고정체의 형상이 변하는 tapping 영역을 기준으로 하여 윗부분을 Part II, 그리고 Tapping 영역을 Part III로 설정하였다.

Table 1. Material Properties of Alveolar Bone and Implant^{5,7)}

	Modulus of Elasticity(GPa)	Poisson's Ratio
Cortical Bone	13.7	0.32
Cancellous Bone	1.37	0.3
Implant	97	0.35

Table 2. Dimensions of Surrounding Bones for the Screw Type Implant

Bones		Height(mm)	Width(mm)
Cortical Bone	Superior	2	5
	Inferior	2	5
Cancellous Bone		11	5

변수의 종류

나사형 고정체에서 치조골과 접하고 있는 나사산을 결정하는 나사산의 높이, 나사산의 곡률 반경, 그리고 피치를 나사형 고정체의 기하학적인 변수로 설정하였다. 기하학적인 변수의 범위는 나사산의 높이는 0.2mm~0.6mm, 나사산의 곡률 반경은 0.04mm~0.1mm, 그리고 피치는 0.46mm~0.84mm, 여기서 피

치는 고정체의 길이가 고정되어 있는 상태에서 나사산의 개수를 나타내고 있다.

Table 3. Ranges of Screw Type Implant

Parameters	Height of thread	Radius of curvature of thread	No. of Pitch
Model I	0.2~0.6	0.07	13
Model II	0.4	0.04~0.1	13
Model III	0.4	0.07	10~18

결론

고정체와 치조골을 축대칭으로 선형 응력해석 하였다. 고정체의 형상을 결정하는 기하학적인 변수는 나사산의 높이, 나사산의 곡률 반경, 그리고 피치로 설정하였다. 각각의 설정된 변수에 대한 최대응력의 변화를 피질골의 영역에서 조사하였다.

설정된 변수에 대한 결과는 먼저 나사산의 높이에서 Figure 6.에서 보는 바와 같이 변수가 0.1mm로 증가함에 따라 평균 6%정도로 최대응력이 증가하였고, 가장 높은 최대응력값은 변수의 최대값에서 나타났고, 변수의 최소값에서 가장 낮은 최대응력값을 나타내었다.

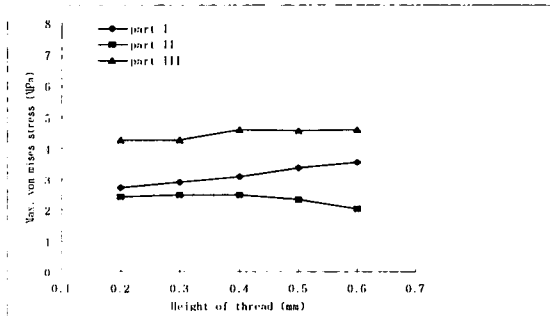


Figure 6. Maximum von Mises stress distributed at alveolar bone with variation of height of thread

Figure 7.에서 보는 것과 같이 나사산의 곡률 반경에서는 변수의 증가에 따른 응력의 변화가 현저한 차이를 나타내지는 않았지만 변수의 최소값에서 가장 큰 최대응력값을 나타내었고, 변수의 최대값에서 가장 작은 최대응력값을 나타내었다. Figure 8.에서 나사산의 피치는 변수의 최소값에서 최대값으로 변수가 증가했을 때 최대응력값이 19%정도 증가하였다. 위의 결과에서 고정체의 나사산의 형상을 결정하는 나사산의 높이가 커질수록 최대응력값은 증가하는 것으로 나타났고, 나사산의 곡률 반경은 증가할수록 최대응력값이 감소하였다. 그리고 나사산의 피치가 증가할수록 최대응력값은 증가하였다.

고정체의 나사산 부분과 shoulder부분을 연결시켜주는 neck의 영향력은 유한요소법을 이용한 응력분석에 의해서 그 중요성이 강조되고 있다.^{8,9)} Figure 9.는 neck의 유, 무에 따른 치조골의 영역과 고정체의 영역에서 나타나는 최대 von Mises 응력값을 나타내

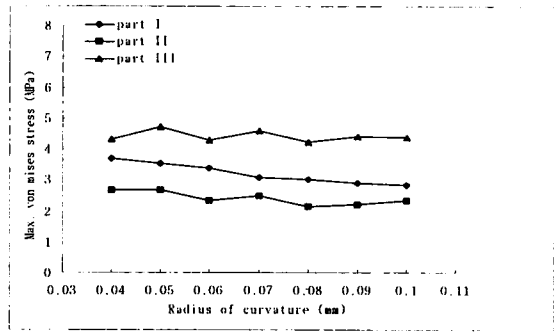


Figure 7. Maximum von Mises stress distributed at alveolar bone with the variation of radius of curvature

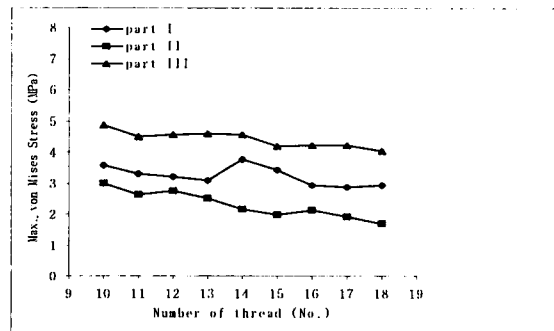


Figure 8. Maximum von mises stress distributed at alveolar bone with the variation of pitch

고 있다. 본 연구의 분석결과, 고정체에 수직으로 가해지는 하중의 경우 neck의 유, 무에 의한최대응력의 변화는 치조골로 전달되는 응력값의 변화에는 큰 역할을 하지 않았지만, neck이 존재함으로써 고정체에 분포하는 최대 von Mises 응력이 감소하는 것으로 나타났다.

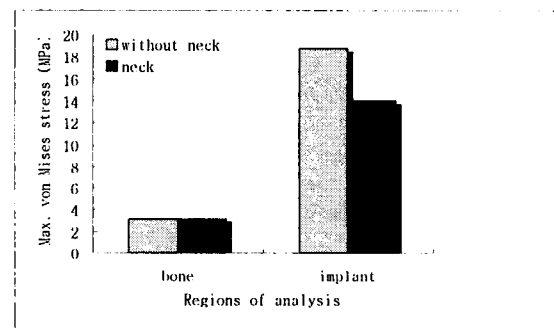


Figure 9. Max. von Mises stress according to the existence of neck

검토 및 토의

본 연구는 나사산 형상의 변화로 치조골에 분포하는 응력의 변화를 고찰하여 최적의 고정체를 구현하는 것이다. 일반적으로 부적절한 하중은 고정체와 접하고 있는 치조골에 높은 응력을 발생시켜 골의 병

리학적 퇴행현상을 초래하게 된다. 이러한 골의 퇴행 현상은 고정체와 치조골사이의 gap을 생성하고 고정체 mobility가 증가하여 failure를 일으키는 loosening을 야기하게 된다. 그리고, 고정체의 관점에서 고정체와 치조골의 끝부분에 분포하는 응력을 조사한 결과 고정체는 최대 응력이 6MPa이하로 나타났고, 치조골의 망상골 영역인 말단 부위는 골 영역에서 가장 높은 응력값을 나타내었다. 이것은 Papavasiliou et al.⁶⁾의 결과와 일치하며, 치조골 말단의 높은 응력은 유한요소 분석시 고정체와 치조골 하단의 구속조건에 의한 응력의 증가로 사료된다.

각 변수에 따른 최대 응력의 변화를 고찰하면 먼저, 나사산의 높이의 증가에 따라 최대응력은 증가하였다. 변수의 최소값인 0.1mm에서 최대응력값은 2.71MPa이었고, 변수의 최대값인 0.6mm에서 3.51MPa이었다. 고정체를 지지하는 치조골은 피질골과 망상골이 함께 분포하는데 나사산의 높이의 증가로 고정체에 응력의 집중을 유발하게 된다. 곡률 반경을 변수로 한 경우 기본모델을 기준으로 변수의 증가에 의한 응력의 변화보다 변수의 감소에서 나타나는 최대 von Mises 응력의 변화가 2배 정도로 크게 나타났다. 나사산 곡률 반경의 감소로 나사산의 끝에서 응력의 집중에 의한 골의 퇴행현상을 초래할 것으로 사료된다. 피치는 기본 모델로 설정된 변수값에서 변수가 감소할 때 응력의 증가량보다 변수의 증가시에 나타나는 응력값의 증가가 크게 나타났다. 따라서 나사형 고정체의 경우 나사산의 pitch는 작을수록 응력을 낮추는 역할을 한다.

나사형 고정체를 둘러싸고 있는 치조골은 계속적으로 가해지는 하중으로 골의 모델링과 리모델링을 반복한다. 골의 생리학적인 반응은 응력과 관련이 있으며, 분포하는 응력의 크기에 따라 골의 흡수, 골의 과대성장, 골의 병적인 퇴행등이 나타난다.

고정체의 shoulder와 나사산을 연결시켜주는 neck은 치조골의 영역에서 피질골과 접하고 있다. 저작운동에 의해 발생하는 응력은 고정체의 상부영역에 분포하게 되고 neck영역에도 높은 응력값이 분포하게 된다. neck과 접촉하는 골에서 최대응력의 변화를 알아본 결과 neck의 유, 무에 따른 응력의 차이는 거의 나타나지 않았지만 수직응력을 받는 동안 고정체에는 neck이 없을 때보다 26%정도 증가하였다. 따라서, neck은 고정체 자체의 안정성을 결정하는 것으로 사료된다.

결론적으로 나사형 고정체는 나사산부위에서 기하학적인 형상의 변화로 치조골에 응력의 집중을 야기시킨다. 여기서 본 연구는 나사산의 형상을 조절하여 나사산의 높이는 낮을수록, 곡률 반경은 증가할수록, 그리고 피치는 작을수록 최대응력이 감소하여 응력의 집중을 해소할 수 있었다. neck이 존재함으로써 고정체 자체에 분포하는 응력의 증가를 초래하여 고정체의 실패를 일으킬 가능성을 높게한다.

REFERENCE

1. Carl E. Misch, "Contemporary Implant Dentistry", Mosby, ISBN, pp. 3,1993
2. M.R. Rieger, M. Mayberry, M.O. Brose, "Finite element analysis of six endosseous implants", J. PROSTHET. DENT., vol63, pp. 671-676,1990

3. Carl E. Misch, "Contemporary Implant Dentistry", Mosby, ISBN, pp. 469-485,1993
4. Robert A. jaffin, Charles L. Berman, "The Excessive Loss of Branemark Fixtures in Type IV Bone: A 5-Tear Analysis", J. Periodontol., vol.62, pp. 2-4,1991
5. David C. Holmes, Ana M. Diaz-Arnold, James M.Leary, "Influence of post dimension on stress distribution in dentin", J. PROSTHET. DENT., vol.75(2), pp. 140-117,1996
6. George Papavasiliou, Aris Petros D. Tripodakis, "Finite Element Analysis of Ceramic Abutment-Restoration Combination for Osseointegrated Implants", The International Journal of Prosthodontics, vol.19(3), pp. 254-260,1996
7. Ming-Hsun Ho, Shyh-yuan Lee, Hsiang-Ho-Chen, "Three-dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin", J. PROSTHET. DENT., vol.72(4) pp. 367-372,1994
8. M.R. Rieger, W.K. Adams, G.L. Kinzel, "A finite element surgery of eleven endosseous implants", J. PROSTHET. DENT., vol.63(4), pp. 457-465,1990
9. Susan J. Hoshaw, John B. Brunski, George V.B. Cochran, "Mechanical Loading of Branemark Implants Affects Interfacial Bone Modeling and Remodeling", Int. J. Oral Maxillofac. Implants, vol.9(3), pp. 345-359,1994