

인공치아에 있어 피질골의 두께 변화가 미치는 영향에 관한 연구

최재봉, 문항진, 최귀원
한국과학기술연구원 의과학연구소

A Numerical Study for the Variation of Cortical Bone Thickness with Several Dental Implants

J. B. Choi, H. J. Moon, K. Choi
Biomedical Research Center, Korea Institute of Science and Technology

ABSTRACT

Dental implant is increasingly used to recover the mastication function of tooth. Several types of implant were designed to give an optimal stress distribution in surrounding bony regions. In this study, six types of implant were investigated using finite element method and it was studied i) how the variation of cortical bone thickness affects the stress distribution in surrounding bony regions depending upon implant types, ii) which type gives the best characteristics in the sense of stress distribution and stability. The hybrid-type implant with cylinder and screw gave the optimum properties in view of stability and response to the variation of cortical bone thickness.

서론

뼈에 작용하는 응력은 골 재형성(Bone remodeling)에 중요한 역할을 한다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 뼈에 충분한 힘이 전달되지 못할 때는 용혈작용으로 뼈의 손실이 발생하며, 과도한 하중은 뼈의 이상발달을 일으키거나, 또는 Microdamage를 일으켜 국부적인 뼈의 손실을 가져오게 하며, 또한 뼈의 파손을 야기시킨다. 따라서, 인공대체물을 설계할 때 골 내성장을 통한 인공대체물과 골의 유합이 발생하도록 주변의 골 조직에 최적의 응력이 전달되게 하는 것이 중요하다. 다른 인공대체물과 마찬가지로 인공치아도 자연치아에 의해 존재했던 주변 골조직의 응력상태를 변화시킨다. 이러한 응력변화는 골의 용혈을 유도할 수도 있고 심할 경우 인공치아 기술의 실패를 초래하기도 한다. 뼈에 있어 생체역학적인 변화는 인공치아 재료나 충격 흡수재 [1], 인공치아 형태 [2,3], 표면처리, 인공치아와 조직의 경계면 [4]에 기인한다고 알려져 있으며, 많은 연

구자들이 병리적인 뼈의 용혈이나 뼈의 이상발달을 유도하는 불충분한 응력이나 과도한 응력을 발생시키지 않는 다양한 형태의 인공치아를 제안하였다. 그러나, 최근까지 여러 가지 형태의 인공치아들이 주변 골조직의 응력분포에 미치는 영향에 대해 만족스럽게 분석하지는 못하였다.

한편, 인공치아에 의해 야기되는 상당한 응력을 전달하는 피질골은 사람에 따라 평균치로부터 $\pm 1\text{mm}$ 의 차이를 보이며, 이는 특정 인공치아를 불안정하게 만들 수도 있다. 그러나, 인공치아의 시술시 이러한 피질골의 두께를 고려하지 않고 임상 의사에 따라 선호하는 형태의 인공치아를 사용하고 있으며 이에 대한 연구도 전혀 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 유한요소해석법(Finite Element Method)을 이용하여 6가지 형태의 인공치아에 대해 피질골의 두께변화가 주변 골조직의 응력분포에 미치는 영향과 어떤 형태의 인공치아가 응력분포와 초기 안정성이라는 측면에서 가장 바람직한 특성을 갖는지에 대한 해석이 수행되었다.

방법

본 연구에서는 원통형(Type I), 테이퍼진 원통형(Type II), 테이퍼형과 원통형의 혼합형(Type III), 나선형(Type IV), 테이퍼진 나선형(Type V), 테이퍼진 원통형과 테이퍼진 나선형의 혼합형(Type VI) 등 6개 Type의 인공치아 형태에 대하여 2차원 수치해석을 하였다. Type I, IV, V는 현재 실제 시술에 사용되고 있는 인공치아들이며, Type II, III, VI는 형태차이에 대한 비교를 위해 본 연구에서 고안된 인공치아들이다. Fig. 1은 하악 제 2 소구치 부위 및 Type I의 인공치아를 적용한 모델을 보여준다. 정상 피질골의 두께를 2.4mm로 하였으며, 피질골의 두께 변화에 대한 영향은 인공치아의 양쪽 피질골 모두를 변화시킨 것(대칭적 변화)과 인공치아에 대해 입술 쪽에 있는 피질골의 두께만 변화시킨 것(비대칭적 변화)의 두 경우를 고려해 보았다. 인공치아는

110GPa의 탄성계수를 가진 Titanium 합금으로 가정하였으며, 피질골과 망상골의 탄성계수는 각각 17GPa과 300MPa로 가정하였다. Poisson 비는 약간의 차이가 있지만 해석 결과에는 거의 영향을 끼치지 않을 정도이므로 전부 0.3으로 가정하였다. 인공치아의 상부에 100N의 압축력, 전단력, 그리고 저작힘을 나타내는 정점에서 입술쪽으로 11.3도 기운 외력이 가해지는 3가지 하중 조건을 부여하였으며, 약골의 하부에 고정된 경계 조건을 부여하였으며, Plane strain condition을 적용하였다. 모델의 정립 및 요소생성에는 HyperMesh pre-processor가 사용되었으며, 해석에는 NASTRAN code가 사용되었다. 인공치아와 피질골, 망상골과의 경계는 골 내성장의 정도에 따라 차이가 있겠지만 서로 완전히 유합되어 있는 것으로 가정되었다. 4 개의 절점을 가진 사각형 요소가 주로 사용되었으며, 각 모델에 대한 결과를 비교하기 위해 전 모델의 요소 수를 1000 ±50으로 유지하였다.

Type I, IV, V의 인공치아를 돼지의 하악골에 시술한 후 Instron 기기로 10kgf의 하중을 인공치아 Tip으로 가하는 단순 전단실험을 수행하였으며, 안정성이라는 관점에서 인공치아 Tip에서의 변위를 수치해석에 의한 결과와 비교하였다.

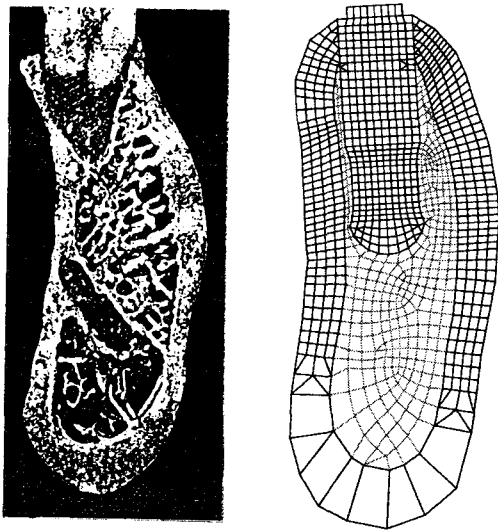


Fig. 1 Pre-molar mandible model used in this study and discretized model for cylinder type dental implant

결과 및 고찰

Fig. 2는 전단 외력하에서 인공치아 상부의 변위에 대한 수치해석 결과를 보여주며, 그래프에서 각 Type의 변위는 원통형 인공치아의 변위에 대한 상대치를 나타낸다. Instron을 이용한 Type I, IV, V 인공치아에 대한 전단실험 결과, Type I 인공치아의 Tip에서의 변위가 Type IV, V 인공치아에 대한 변위보다 적은 통계적으로 유의한 값을 주었는데 이는 Fig. 1에서 보여지는

수치해석에 의한 결과와도 일치한다. 그래프에서 나사형의 인공치아(Type IV, V, VI)는 인공치아 Tip에서의 변위와 인공치아와 피질골의 접촉점에서의 변위사이의 차이가 비나사형 인공치아(Type I, II, III)에 비해 크게 나타난다. 이는 나사형 인공치아의 경우 나사부에 접해있는 망상골에 응력이 크게 나타나는 것으로 비추어, 망상골의 국부적인 파손에 따른 피질골을 축으로 Rigid body rotation이 첨가된 것이라 생각할 수 있다. 한편으로는 물론 비나사형 인공치아들은 압착(Press fitting)에 의해 골에 고정되고, 나사형 인공치아들은 나사의 체결력으로 골에 고정되나, 수치해석의 모델정립시 이런 조건들이 고려되지 않고, 모든 인공치아들이 골과 유합되어 있는 것으로 가정한 영향으로도 볼 수 있다. 그러나, 이런 영향은 인공치아와 골 사이에 단순접촉 혹은 마찰을 고려한 경계요소를 첨가하여 해석함으로써 어느 정도 설명될 수 있다.

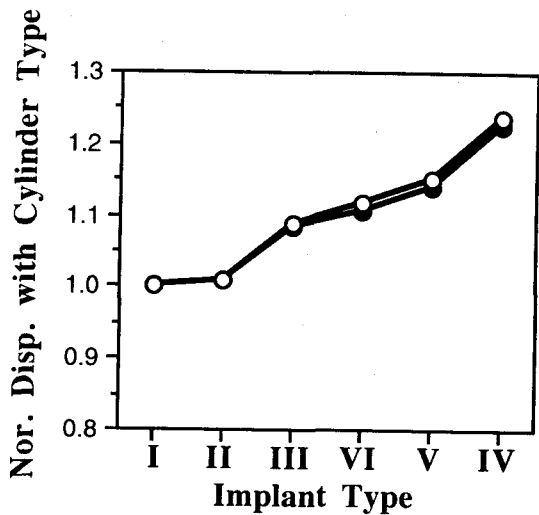


Fig. 2 Normalized displacement of each implant with that of cylinder type: solid symbol, at implant tip; open symbol, at contact point of implant and cortical bone

피질골 양쪽의 두께가 일정하게 변하는 대칭적인 두께 변화는 Type IV를 제외한 다른 인공치아들에 의한 응력분포(von-Mises)에는 크게 영향을 끼치지 않고, 일반적으로 두께의 증가는 망상골 및 피질골의 응력을 감소시킨다. 피질골의 두께가 2.4mm 이상일 때 Type IV의 인공치아의 경우 상당한 응력의 증가를 초래하는데 (Fig. 3), 이는 Type IV 인공치아의 나사부가 피질골에 접하기 때문인 것으로 사료된다. 입술쪽에 있는 피질골의 두께만 변하는 비대칭적인 두께 변화는 인공치아의 입술쪽에 인접한 피질골에 국부적인 응력집중을 야기시키며, 이러한 결과는 Type IV, V 인공치아들에서 현저하게 나타났다. 비대칭적 변화에 의해 피질골에 나타나는 최대 von-Mises 응력은 대칭적변화에 기인한 것과는 사한 경향을 보인다 (Fig. 4).

인공치아에 있어 피질골의 두께 변화가 미치는 영향에 관한 연구

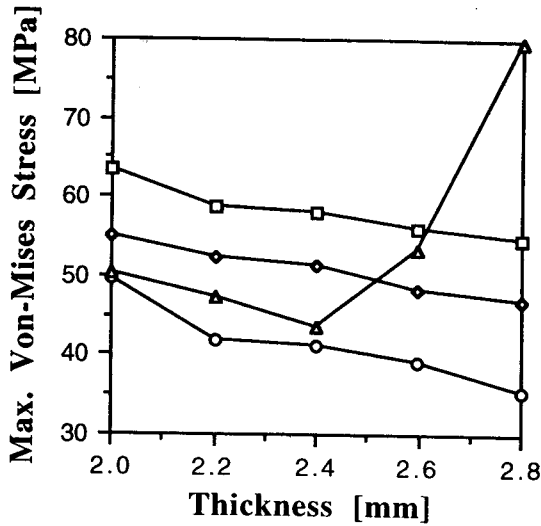


Fig. 3 Maximum von-Mises stress occurred at cortical bone under oblique load in case of symmetric variation of cortical bone: triangle, type IV; square, type II; diamond, type V; circle, type I

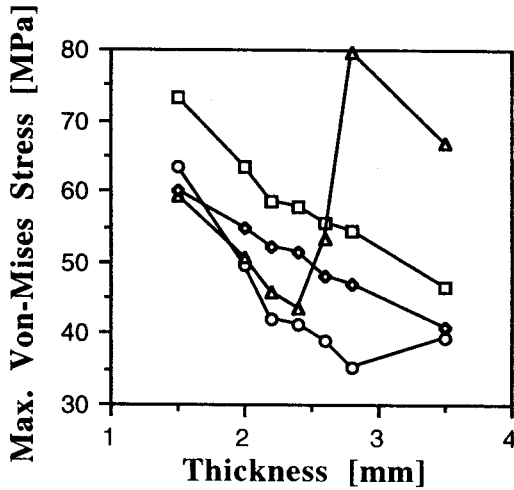


Fig. 4 Maximum von-Mises stress occurred at cortical bone under oblique load in case of asymmetric variation of cortical bone: triangle, type IV; square, type II; diamond, type V; circle, type I

Fig. 5, 6, 7은 각각 압축력, 전단력, 기울린 힘하에서 각 Type의 인공치아에 의해 피질골에서 발생하는 응력을 보여주며, 각 값은 원통형 인공치아 (Type I)에 대한 상대치를 나타낸다. 압축력하에서 Type I, II, III, VI 인공치아들은 Type IV, V 인공치아들에 비해 작은 응력을 야기시키고, 응력을 분산시키며, 이런 현상은 망상골에서 두드러지게 나타난다. 그러나, 전술한 바와 같이 비나사형 인공치아들은 압착조건이 고려

되지 않았기 때문에, 응력상태가 다소 과소평가된 영향에 기인할 수도 있다. 같은 이유로 Type IV, V 나사형 인공치아들은 전단력이나 기울린 외력하에서 다른 형태의 인공치아에 비해 좋은 특성을 가진다.

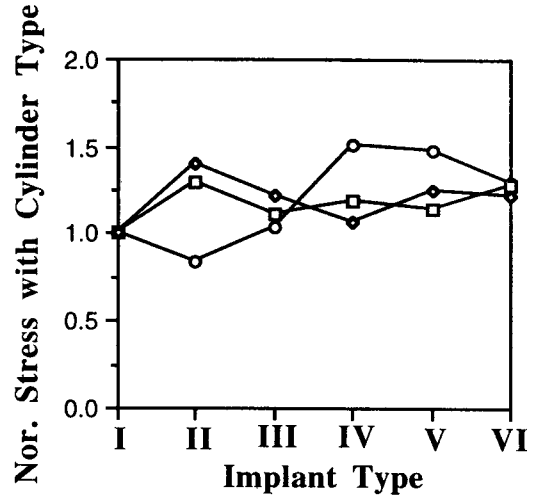


Fig. 5 Normalized stress occurred at cortical bone by each implant with that of cylinder type under oblique load: circle, maximum principal stress; square, minimum principal stress; diamond, maximum von-Mises stress

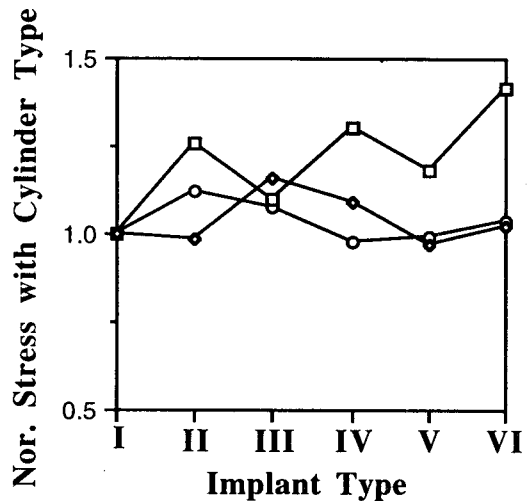
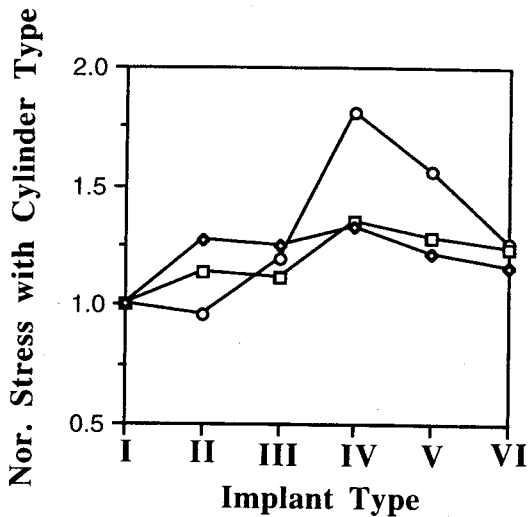


Fig. 6 Normalized stress occurred at cortical bone by each implant with that of cylinder type under shear load: circle, maximum principal stress; square, minimum principal stress; diamond, maximum von-Mises stress



(4) M. R. Rieger, W. K. Adams, G. L. Kinzel, M. O. Brose, Finite element analysis of bone-adapted and bone-bonded endosseous implants, Journal of Prosthetic Dentistry 1989; 62: 4: 436

Fig. 7 Normalized stress occurred at cortical bone by each implant with that of cylinder type under compression: circle, maximum principal stress; square, minimum principal stress; diamond, maximum von-Mises stress

결론

피질골 두께 변화에 따른 영향에 관한 본 2차원 수치해석 연구로부터 다음과 같은 결론이 기대된다. 전단력에 대한 인공치아의 안정성이라는 관점에서 Type I, II, III와 같은 압착형의 인공치아가 나사형 인공치아에 비해 안정성이 더 높지만, 응력의 세기 및 분포측면에서는 전단력이나 기울어진 외력에서 나사형이 더 좋은 특성을 가진다. 인공치아로 인해 변화된 골부 응력을 고려해 볼 때, 피질골 두께가 대칭적으로 변화하든지 혹은 비대칭적으로 변화하든지 압착형의 인공치아가 나사형에 비해 적게 영향을 받는다. 따라서, Type VI와 같은 혼합형의 인공치아가 상기한 환경하에서 가장 좋은 특성을 가질 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) J. B. Brunski, Biomaterials and biomechanics in dental implant design, International Journal of Oral & Maxillofacial Implants 1988; 3: 2: 85
- (2) D. Siegele, U. Soltesz, Numerical investigations of the influence of implant shape on stress distribution in the jaw bone, International Journal of Oral & Maxillofacial Implants 1989; 4: 4: 333
- (3) M. R. Rieger, M. Mayberry, M. O. Brose, Finite element analysis of six endosseous implants, Journal of Prosthetic Dentistry 1990; 63: 6: 671