

상악피개의치를 위한 임플란트의 위치에 따른 응력분포에 대한 유한요소분석

하현석 · 김창희 · 임영준 · 김명주

서울대학교 대학원 치의학과 치과보철학교실

임플란트 고정체의 표면처리 기술의 발달에 기인하여 골유착의 성공률이 좋아지고 있으며 임플란트를 이용하는 보철물의 형태와 임상 술식도 다양하게 발전되고 있다. 상악의 임플란트 피개의치는 아직 표준화된 치료법에 대한 의견이 분분하다. 본 연구는 상악 무치악의 치료를 위하여 해부학적인 요소와 생역학적인 요소를 고려하여 양측 견치부 또는 소구치부위에 2개의 임플란트를 식립할 때의 응력분포를 삼차원 유한요소분석을 이용하여 관찰하고자 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 임플란트를 양측 견치 부위에 식립한 모형에서 부하가 가해지는 우측의 임플란트의 원심면에 최대 응력이 집중되었다.
2. 임플란트를 양측 제2소구치 부위에 식립한 모형에서 임플란트 주위의 응력 분포는 부하지점의 거리와 상관없이 고르게 나타났다.
3. 치조골에 발생하는 응력 분포의 관찰 결과, 임플란트가 양측 제2소구치 부위에 식립된 모형이 양측 견치부위에 식립된 모형보다 고르게 나타났다.

이상의 결과로 볼 때, 상악 피개의치를 위한 임플란트 식립 위치는 견치 부위에서보다 제2소구치 부위가 구강점막, 주위 골과 임플란트에 전달되는 응력의 분포에 유리한 것으로 사료된다. (대한치과보철학회지 2008;46:193-200)

주요단어 : 상악 임플란트 피개의치, 임플란트 식립 위치, 응력, 유한요소법

서론

모든 연령대에서 무치악 환자의 비율은 감소되고 있으나 Douglass 등은 2020년까지 미국에서의 의치시장은 증가할 것이라는 보고를 하였다.¹ 이것은 베이비붐 세대로 인한 인구 증가의 결과라고 할 수 있다. Mojon 등은 유럽 (Finland, Sweden, UK)에서 의치시장은 감소하는 추세로, 특히 스웨덴에서는 지난 20년간 무치악 환자의 비율이 60% 감소하였다고 보고하였다. 인구 변화의 영향으로 유럽에서의 의치 시장은 증가하지 않을 것이다.² 한국의 국민구강건강실태조사에 따르면 2003년 노인 (65세~74세) 의치 필요자율은 42.5%였고, 2006년 조사에서는 35.3%로 나타났다. 가철성 보철치료의 필요성 변화와 함께 무치악 환자의 보철치료는 임플란트 치료가 보편화됨에 따라 다양한 치료방법이 시도되어왔으며, 그 중에서 2개의 임플란트를 식립한 하악피개의치는 최선의 표

준 치료법이라는 성명이 발표되었다.³

상악 무치악의 경우는 아직 표준화된 치료법에 대한 의견이 분분하다. 무치악의 치료를 위한 가철성 의치나 임플란트 보철치료는 잔존골, 주위의 근육, 결합조직과 상피로 이루어지는 점막 등에 의해 유지와 지지가 된다. 골조직은 무치악환자의 보철치료의 기초와 구조를 제공하며, 골에 부착된 근육조직은 의치 외연의 경계를 결정한다.⁴ 임플란트 식립 수술에서 골의 내적, 외적인 형태는 보철치료 결과에 영향을 주는 중요한 요소라고 할 수 있다. 무치악부위의 골소주 관찰에서 상악은 cortical palatal vault의 외측에 존재하고, 하악에서는 악골 전체의 피질 골판 내측에 존재하였다. 발치 부위는 trabecular bone으로 채워져 잔존치조제를 형성하며, 환자의 무치악 기간 동안 재형성을 거듭하여 점진적인 흡수성 변화를 지속한다. 잔존 치조제의 38%는 thin-knife edge로 관찰되었다. 상악의 골흡수 양상은 구심성으로 무치악 치조정은 두개

교신저자: 김창희

110-749 서울특별시 종로구 연건동 28 서울대학교 치과대학 치과보철학교실 02-2072-2661: e-mail, silk1@snu.ac.kr

원고접수일: 2008년 3월 24일 / 원고최종수정일: 2008년 4월 14일 / 원고채택일: 2008년 4월 18일

저의 외측에 존재하고, 하악은 원심성 흡수 양상을 보이고 무치악 치조정은 전치부의 이융기 (mental protuberance)와 구치부의 mandibular base의 설측에 관찰된다.⁵ 상악골의 해부학적 형태에 따라 전치부에 임플란트를 식립하는 경우, 교합평면에 대하여 전방경사를 피할 수 없고 생역학적인 위험성이 더욱 증가하게 되며, 상악의 협측 피질골판은 교합하중을 견딜 만큼 충분히 두껍지 않다.⁶ 게다가 상악 전치부의 두꺼운 저작점막은 더욱 긴 abutment를 사용하게 하여 lever arm의 길이를 증가시킨다.⁷

구치부 임플란트 식립의 경우, 상악동의 모양에 따라 임플란트 길이의 제한을 받게 된다. 상악 임플란트 피개의치의 optimal design에 대한 논쟁은 계속되고 있으나, Meriscke-Stern 등은 상악동 거상술을 피하기 위해 대부분 소구치 전방부에 직경 4.1mm, 길이 10mm이상의 4개의 임플란트를 식립하고 bar로 연결하는 방법을 추천하였다. 또한 상악 임플란트 피개의치에서 ball anchor의 사용은 표준이 아니며, 장기사용 임시 수복물의 성격을 갖는다고 하였다. 이 경우에 구개부분의 완전 피개가 필요하

다고 하였다.⁸ 그러나, 해부학적인 제한이나 경제적인 제한에 의해 다수의 임플란트 수술을 할 수 없는 경우 시술될 수 있는 2개의 임플란트에 의해 유지되는 상악 임플란트 피개의치에 대한 기존의 연구는 많지 않으며, 그에 대한 의견도 다양하다.

이 연구의 목적은 상악 무치악 환자의 치료방법 중의 하나인 임플란트 피개의치에서, 해부학적인 요소와 생역학적인 요소를 고려하여 양측 견치부 또는 소구치부 위에 2개의 임플란트를 식립할 때의 응력분포를 삼차원 유한요소분석을 이용하여 관찰하고자 하는 것이다.

연구재료 및 방법

1. 유한요소모형의 설계

2개의 3차원 유한요소분석모형 (PAM-CRASH V2007, ESI Software, Paris, France)을 사용하였고, 각 모형은 상악골, 2개의 임플란트 고정체, ball attachment, 상악 총의치로 구성하였다.

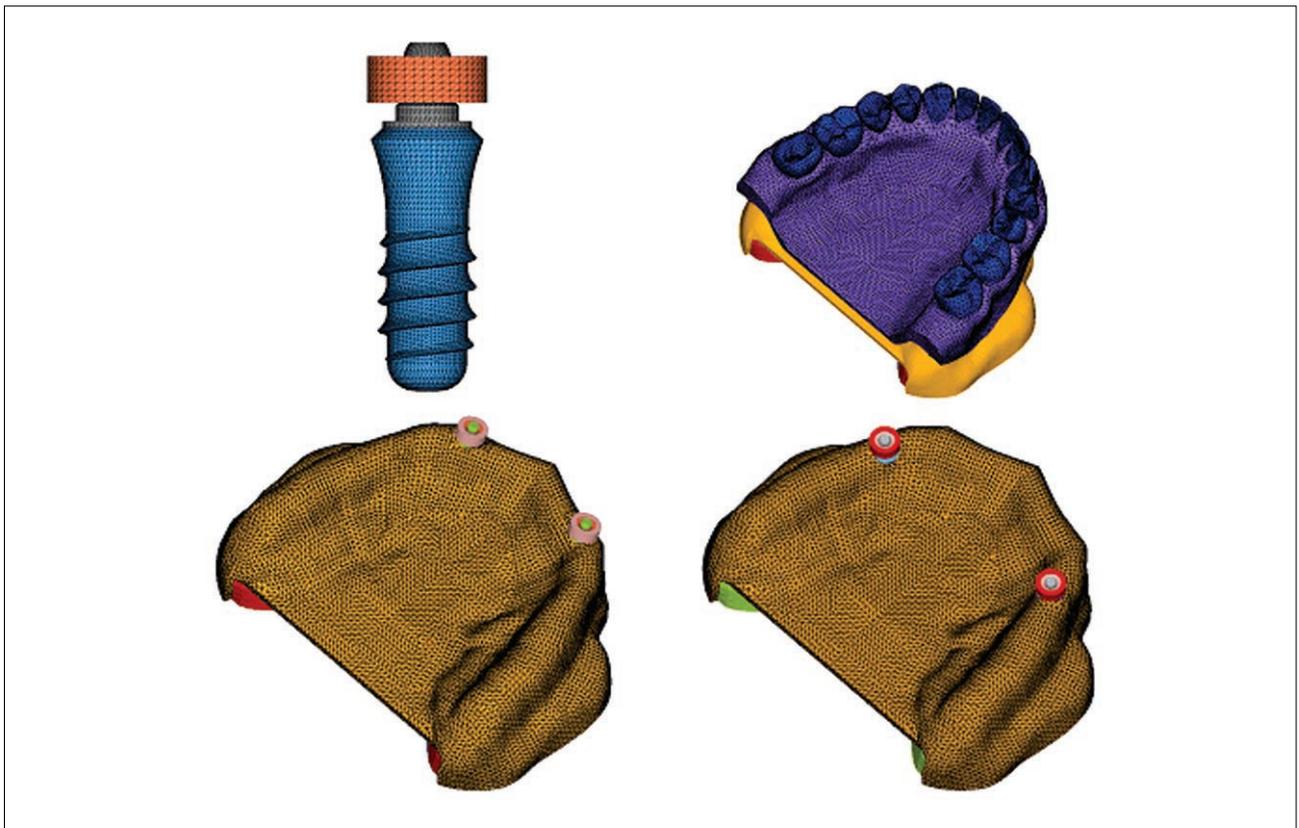


Fig. 1. Finite element 3-D model.

Table I. Material properties

	Density [kg/mm ³]	Young's modulus [Gpa]	Poission's ratio
Cortical bone	1.90E-06	14.0	0.3
Trabecular bone	1.00E-06	1.5	0.45
Mucosa	1.00E-06	0.003	0.45
Implant	4.50E-06	115.0	0.35
Abutment	4.50E-06	115.0	0.35
Abut. screw	4.50E-06	115.0	0.35
Overdenture	1.00E-06	2.0	0.35
O-ring retainer	7.90E-06	99.3	0.3
O-ring rubber	1.00E-04	0.014	0.49

Table II. The number of elements and nodes

Type	Nodes	Elements
N3	158,977	711,406
N5	155,278	689,624

1) 상악골 모형

피질골의 두께는 기저부, 치조정, 협, 설측 모두 1.5mm로 설정하였고, 상악골의 크기는 한국인 무치악의 평균치인 장경 49.19mm, 폭경 63.49mm로 설정하였다.⁹ 점막의 두께는 구개 중앙부위 1.5mm, 치조정 부위는 3.0mm로 설정하였다.¹⁰

2) 임플란트, ball attachment 모형과 상악 총의치

직경 4.1mm, 길이 8mm ITI (Straumann, AG, Basel, Switzerland) internal type의 임플란트 고정체를 양측 견치부와 제2소구치부에 각각 2개씩 식립하였고, ball attachment를 연결하였다. 견치 부위의 임플란트는 치조골의 외형에 따라 교합면에 대해 약 75도의 전방경사로 식립하였고, 제2소구치 부위의 임플란트는 교합평면에 대해 수직으로 식립하였다. 상악 총의치는 구개부 전체를 피개하는 형태로 제작하였다 (Fig. 1).

2. 모델링, 경계조건과 재료의 특성

상악골 및 임플란트, ball attachment의 모델링을 위해 HYPER-MESH (Altair Engineering Inc., Troy, MI, USA)를 사

용하였고, 상악골을 모사하여 만든 기하형상 데이터를 이용하였으며, 각 구성성분들의 탄성률과 Poisson's ratio 등은 선학들의 연구에서 사용한 물성치를 이용하였다 (Table I).¹¹⁻¹³

모델의 구성을 위하여 거의 동일한 수준의 mesh를 사용하여 mesh 크기에 의한 오차를 줄였으며, 4절점 4면체 (tetrahedron) element를 사용하였다 (Table II). 임플란트 주위의 element는 0.2mm 크기로 모델링하였고, 점막과 피개의치에 관련된 부분은 0.8mm 크기의 element를 사용하였으며, 골은 2mm 정도로 모델링하였다.

3. 하중조건

각 모형에서 좌측 제1대구치의 중심와에 해당하는 부위에 수직방향으로 100N의 동적 하중을 Sine형상으로 180 msec 동안 적용하였다.

4. 응력분석

본 연구에서 유한요소분석 프로그램인 PAM-CRASH 2G version 2007 (ESI Software, Paris, France)을 이용하여 하

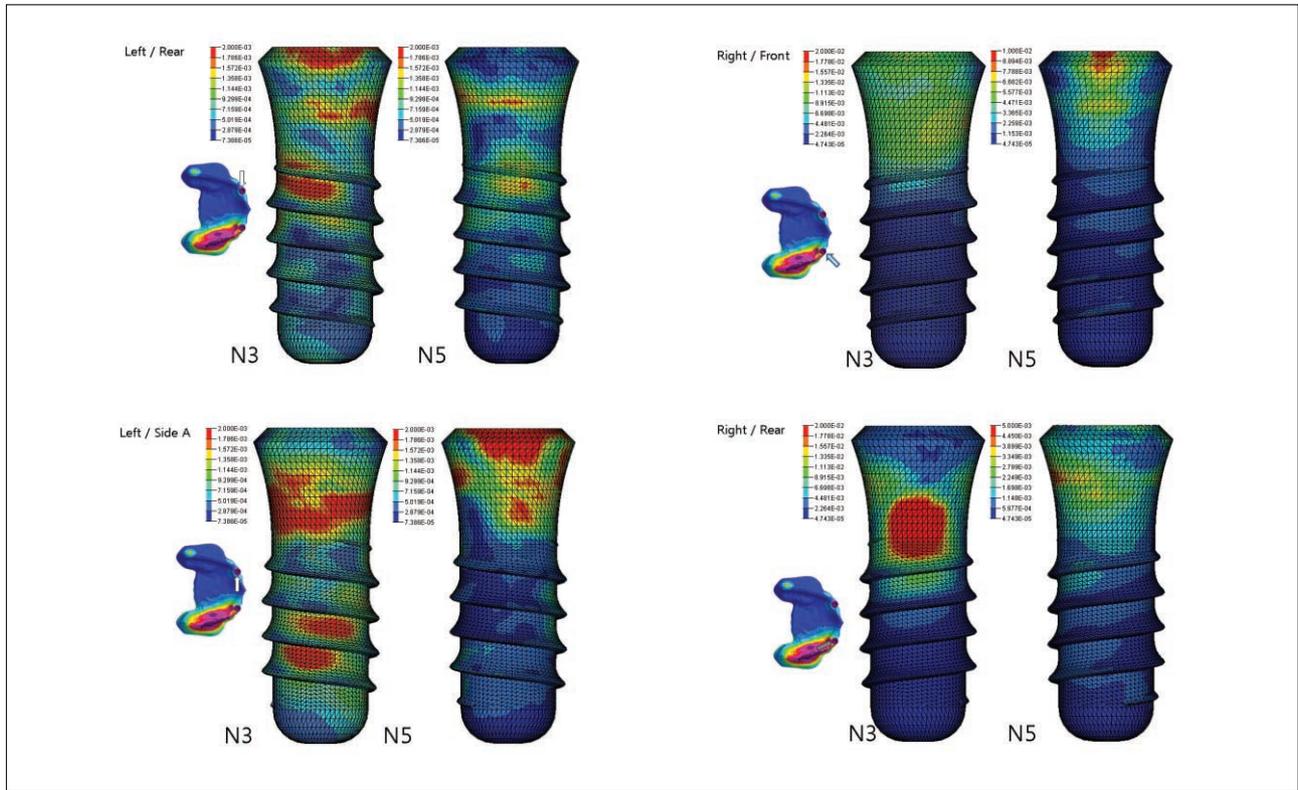


Fig. 2. Stress distribution of implants.

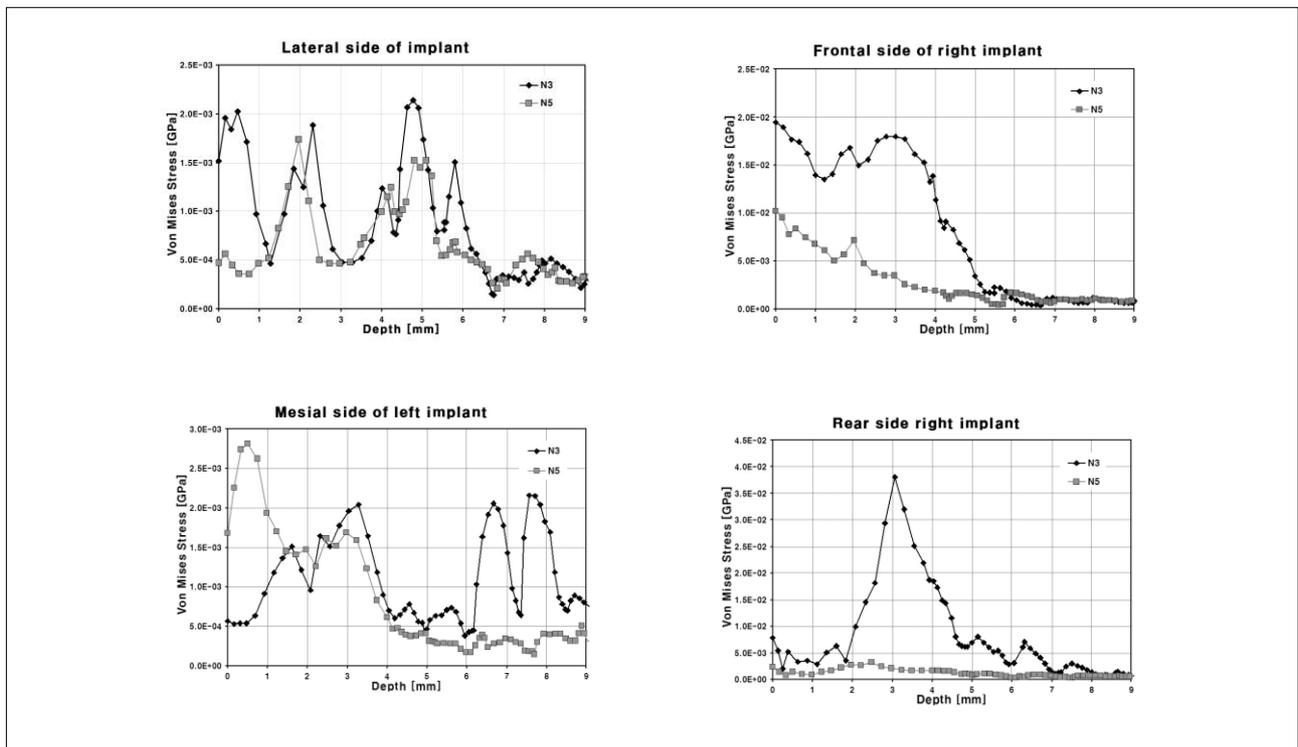


Fig. 3. Stress distribution in the longitudinal aspect of implants.

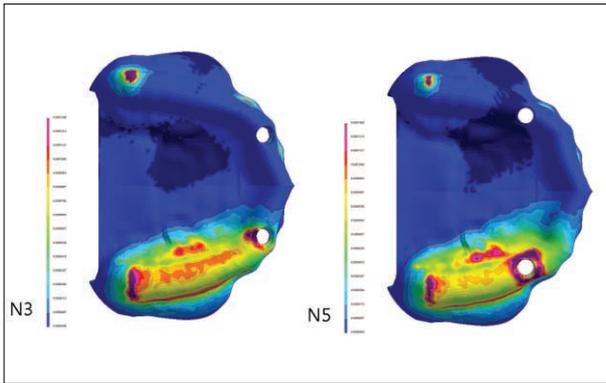


Fig. 4. Stress distribution of mucosa.

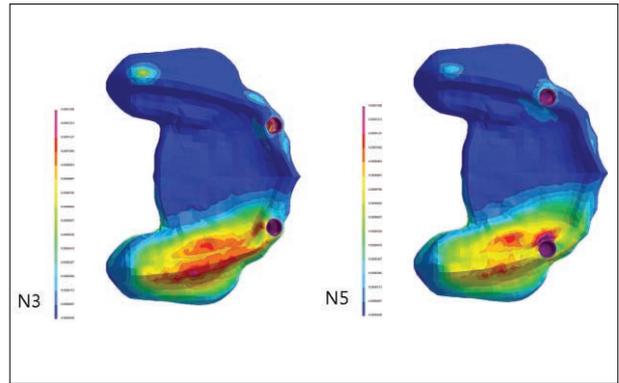


Fig. 5. Stress distribution of bone.

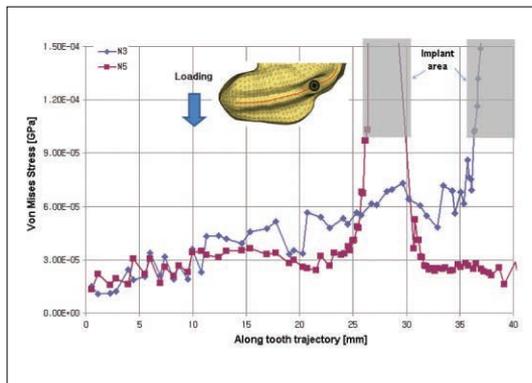


Fig. 6. Stress distribution along alveolar bone.

중을 부여한 경우에 각 모델의 구성요소별 최대 유효 응력 (Maximum equivalent stress)을 분석하였다. 치조골과 전단응력의 조합으로 나타나는 유효응력의 분포를 관찰하였다. 결과는 전체응력의 분포상태와 최대응력 집중부를 식별하기위해 등가응력을 기준으로 응력의 크기에 따라 색도로 표시하였다.

결과

1. 임플란트의 최대 응력

부하지점과 임플란트의 거리가 먼 견치부위에 식립된 모형 (N3)이 제2소구치 부위에 임플란트가 식립된 모형 (N5)보다 최대응력이 더욱 집중되어 관찰되었다 (Fig. 2, 3). 부하측의 견치 부위에 식립된 임플란트의 원심면에 최대 응력이 관찰되었다. 부하지점의 반대편 임플란트

는 두 모형 모두 비슷한 양상의 응력 분포가 관찰되었으며, 제2소구치 부위에 식립된 임플란트는 좌우측 모두에서 비슷한 양상의 응력 분포를 관찰할 수 있었다.

2. 주위 조직의 응력 분포

피개의치 하방의 점막면에서의 응력분포는 두 모형에서 비슷한 양상으로 관찰되었다. 임플란트가 양측 제2소구치에 식립된 모형에서는 임플란트 주위 점막에 응력이 집중되는 것이 관찰되었다 (Fig. 4). 그러나, 피질골 표면에서의 최대 응력은 양측 견치부에 임플란트가 식립된 모형에서 더욱 뚜렷하게 관찰되었다 (Fig. 5).

치조골의 상부의 응력 분포에 대한 관찰 결과, 임플란트가 견치부에 식립된 모형 (N3)에서는 부하지점에서 거리가 멀어질수록 응력이 점진적으로 증가하였으나, 임플란트가 제2소구치 부위에 식립된 모형 (N5)에서는 응력의 크기 변화가 크지 않았다 (Fig. 6).

고찰

임플란트의 표면처리 기술의 발전으로 골유착 성공률이 높아지면서 임플란트를 이용한 보철치료 방법이 다양하게 개발되었고, 상악 임플란트 피개의치의 제작에 필요한 임플란트 개수와 사용하는 어태치먼트 종류에 대한 생각도 많은 변화가 예상된다. 과거에 상악 임플란트 피개의치에서 나타나는 높은 실패율은 길이가 짧거나 표면처리를 하지 않은 임플란트의 사용 때문이라고 할 수 있다. 반면에, 표면처리된 임플란트는 골질이 나쁜 골에서도 골-임플란트 접촉을 증가시키는 것으로 증명되었다.¹⁴

이와 같은 골유착 임플란트 보철물이 성공하기 위해서는 생역학적인 요인이 간과될 수 없는데, 하악 임플란트 피개의치의 경우, 치료 후 발생하는 합병증은 골유착 술식보다는 하악 피개의치의 보철술식과 제작기술에 보다 많이 관련되며, 임플란트 식립위치, 생역학적인 고려, 교합 등과 같은 보철적 요인이 강조되었다.¹⁵ 상악 임플란트 피개의치에서도 응력의 분포는 임플란트의 수명과 예후에 직접적인 영향을 준다고 할 수 있다.

임플란트의 응력 동적 분석은 광탄성 응력분석법, 스트레인 게이지법, 유한요소분석법을 이용하여 수행되어 왔다.¹⁶ 광탄성 응력분석법은 응력의 위치와 분포에 대한 양질의 정보를 제공하지만 양적인 정보에는 제한이 있다. 스트레인 게이지 법은 게이지가 있는 곳의 변형만을 제공하며, 게이지 크기에 의한 영향은 미정인 상태이다. 유한요소분석법은 컴퓨터를 이용하여 가상모형을 구성하고, 이 모형을 작은 요소들로 분할하여, 전체 모형의 응력, 변형, 변위 등을 계산하는 수치해법의 일종이다. 이 방법은 몇몇의 실험 조건을 변화시키기가 용이한 장점이 있고, 임상적으로 실험하기 어려운 임의 지점에서 임플란트 주위의 응력분포를 측정할 수 있게 한다.¹⁷ 하지만, 정량적으로 완벽하게 평가할 수 없는 한계를 갖는다.

본 연구에서 상악골의 모형은 김과 신⁹의 연구를 바탕으로 하여 한국인에게 가장 많은 분포를 보이는 U형(65%)으로 평균치 무치악 장경은 49.19mm, 폭경은 63.49mm로 제작하였다. 임플란트의 식립위치는 무치악 상태에서 피질골이 많이 존재하는 견치 용기 부위와 상악동 하벽의 피질골 두께가 가장 두꺼운 부위인 제2소구치 부위로 선택하였다. 상악동 하벽은 약 0.5mm 두께의 치밀골로 둘러싸여 있는 것으로 알려져 있는데, 치근첨 부위의 관찰 결과 제1소구치 부위에서 가장 얇았고 제2소구치부위에서 0.55mm로 가장 두꺼운 경향을 보였으며 뒤쪽의 제1대구치, 제2대구치 부위로 갈수록 치밀골의 두께는 다시 얇아지는 양상이었으며, 치근분지부의 관찰결과도 비슷한 양상이라고 하였다.¹⁸ 치밀골의 두께는 임플란트 식립 수술에서 고정체의 초기고정에 중요한 역할을 한다.¹⁹ 또한, 상악 Kennedy Class II 국소의치에서 지대치의 위치에 따른 응력 분포에 대한 유한요소분석 연구에서 유리단 부위의 레스트가 제2소구치에 위치 한 모형에서 점막에 분포되는 최대 응력이 최소로 나타났다. 이것은 다른 금속구조물에 비해 제2소구치에 레스트가 있는 금속구조물에서 수직변위가 적은 것과 일치하는 결과이다. 상악 Kennedy Class II 국소의치에서는 다른 부위에 비해 상대적으로 제2소구치 부위 클래스프의 교합면 레스트가 변형 저항성이 좋은 것으로 보인다

하였다.²⁰ 이러한 연구 결과를 참조하여 상악 임플란트 피개의치에서도 제2소구치 부위가 응력의 분포에 좋은 결과를 나타낼 것이라고 예측하였다. 실험 결과에서 임플란트가 제2소구치 부위에 식립된 모형은 견치 부위에 식립된 모형보다 부하지점과의 거리가 짧아 모멘트가 적 으며, 응력 분포에 유리하다.

임플란트의 위치는 주위 점막과 골에 분포하는 응력의 감소에 영향을 미칠 수 있다. 점막과 골에 응력이 감소되면 응력은 임플란트와 골 사이의 계면에 더욱 크게 발생하는데, 이것은 완압 (stress-breaking) 어태치먼트로 조절할 수 있다. 사용하는 어태치먼트의 완압 재료의 탄성계수가 감소하면 전달되는 응력도 감소한다. 2개의 임플란트를 식립하고 상악 피개의치를 제작하는 경우 사용되는 어태치먼트는 탄성계수가 15~400 MPa인 경우 1mm의 두께를, 탄성계수가 15~700 MPa인 경우 3mm의 두께를 갖는 재료가 추천된다.¹⁷

Bar를 이용하여 임플란트의 연결고정을 하지 않는 경우 여러 가지 임상적인 장점이 있다. 임플란트와 어태치먼트가 의치의 치아배열을 방해하지 않아서 심미성을 증가시킬 수 있고, 구개부 부피감의 감소로 발음이 좋아질 수 있고, 의치의 제작비용이 감소되며, 어태치먼트의 장착이 쉬워진다. 또한, open tray를 이용하는 힘든 인상 채득 과정이 필요 없고, 어태치먼트의 크기가 작아서 레진 의치상의 충분한 두께 확보가 가능하여 의치의 내구성이 증가된다. 유지관리와 수리가 용이해지고, 임플란트의 실패가 발생해도 보철물을 계속 유지할 수 있다. 구강위생 관리가 용이하며, 충의치 장착시 발생하는 점진적인 골소실 과정은 임플란트의 식립으로 골 흡수의 진행속도를 감소시킨다.²¹

결론

본 연구는 2개의 임플란트를 식립한 상악 피개의치에서 임플란트의 위치에 따른 응력분포를 3차원 유한요소법을 이용하여 조사하였고, 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 임플란트를 양측 견치 부위에 식립한 모형에서 부하가 가해지는 우측의 임플란트의 원심면에 최대 응력이 집중되었다.
2. 임플란트를 양측 제2소구치 부위에 식립한 모형에서 임플란트 주위의 응력 분포는 부하지점의 거리와 상관없이 고르게 나타났다.
3. 치조골에 발생하는 응력 분포의 관찰 결과, 임플란트가 양측 제2소구치 부위에 식립된 모형이 양측 견치 부위에 식립된 모형보다 고르게 나타났다.

이상의 결과에서 상악 피개의치를 위한 임플란트 식립 위치는 견치 부위에서보다 제2소구치 부위가 구강점막, 주위 골과 임플란트에 전달되는 응력의 분포에 유리한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Douglass CW, Shih A, Ostry L. Will there be a need for complete dentures in the United States in 2020. *J Prosthet Dent* 2002;87:5-8.
2. Mojon P, Thomason JM, Walls AW. The impact of falling rates of edentulism. *Int J Prosthodont* 2004;17:434-40.
3. The McGill consensus statement on overdentures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2002;17:601-2.
4. Carr AB, McGiveny GP, Brown DT:Support for the distal extension denture base, in McCracken's Removable Partial Prosthodontics (ed 11). St. Louis, MO, Mosby, 2005;287-99.
5. Pietrokovski J, Starinsky R, Arensburg B, Kaffe I. Morphologic Characteristics of bony edentulous jaws. *J Prosthodont* 2007;16:141-7.
6. Rodriguez AM, Orenstein IH, Morris HF, Ochi S. Survival of various implant-supported prosthesis designs following 36 months of clinical function. *Ann Periodont* 2000;5:101-8.
7. Bergendal T, Engquist B. Implant-supported overdentures: a longitudinal prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:253-62.
8. Meriske-Stern RD, Taylor TD, Belser U. Management of the edentulous patient. *Clin Oral Impl Res* 2000;11:108-25.
9. Kim HS, Shin SW. Three-dimensional analysis of the normal dentition and edentulous maxilla of Koreans. *J Korean Acad Prosthodont* 2005;43:191-203.
10. Kydd WL, Daly CH, Wheeler JB 3rd. The thickness measurement of masticatory mucosa in vivo. *Int Dent J*. 1971;21:430-41.
11. Eskitascioglu G, Usumez A, Sevimay M, Soykan E, Unsal E. The influence of occlusal loading location on stresses transferred to implant-supported prostheses and supporting bone: A three-dimensional finite element study. *J Prosthet Dent* 2004;91:144-50.
12. Akça K, İplikçioglu H. Finite element stress analysis of the effect of short implant usage in place of cantilever extensions in mandibular posterior edentulism. *J Oral Rehabil* 2002;29:350-6.
13. O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 3rd ed. Carol Stream, 2002, Quintessence Publishing. pp 326-31.
14. Lazzara RJ, Testori T, Trisi P, Porter S, Weinstein RL. Analysis of Osseotite and machined surfaces using implants with two opposing surfaces. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1999;19:117-29.
15. Naert I, De Clerc M, Theuniers G, Schepers E. Overdentures supported by osseointegrated fixtures for edentulous mandible: A 2.5-years report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1988;3:191-6.
16. Clelland NL, Lee JK, Bimbenet OC, Brantly WA, A three-dimensional finite element stress analysis of angled abutments for an implant place in the anterior maxilla. *J Prosthodont* 1995;4:98-100.
17. Tanino F, Hayakawa I, Hirano S, Minakuchi S. Finite element analysis of stress-breaking attachments on maxillary implant-retained overdentures. *Int J Prosthodont* 2007;20:193-8.
18. Kwak HH, Yoon HR, Hu KS, Kang MK, Park HD, Koh KS et al. Topography of the inferior wall of the maxillary sinus in Koreans. *Korean J Phys Anthropol* 2001;14:137-49.
19. Miyamoto I, Tsuboi Y, Wada E, Suwa H, Iizuka T. Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at the time of surgery-clinical, prospective, biomechanical, and imaging study. *Bone*. 2005;37:776-80.
20. Wada S, Wakabayashi N, Tanaka T, Ohyama T. Influence of abutment selection in maxillary Kennedy Class II RPD on elastic stress distribution in oral mucosa: an FEM study. *J Prosthodont*. 2006;15:89-94.
21. Cavallaro JS Jr, Tamow DP. Unsplinted implants retaining maxillary overdentures with partial palatal coverage: report of 5 consecutive cases. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007;22:808-14.

FINITE ELEMENT STRESS ANALYSIS OF MAXILLARY TWO IMPLANTS-RETAINED OVERDENTURE ACCORDING TO POSITION OF IMPLANT FIXTURES

Heon-Seok Ha, DDS, MSD, **Chang-Whe Kim**, DDS, MSD, PhD,
Young-Jun Lim, DDS, MSD, PhD, **Myung-Joo Kim**, BS, DDS, MSD, PhD
Department of Prosthodontics, Graduate School, Seoul National University

Statement of problem: There have been a few studies about unsplinted implant retained maxillary overdenture. **Purpose:** The purpose of this study was to examine the effect of different position of implant for 2 implants-retained maxillary overdenture. **Materials and methods:** Three-dimensional finite element models were used to reproduce an edentulous human maxilla with an implant-retained overdenture. Two implants in the canine tooth positions on both side and in the second premolar tooth positions on both side models were examined. Axial loads of 100 N were applied to the occlusal surface at the right first molar tooth positions. Maximum stress at the implant-bone interface and stress at the cortical bone surface just under the loading point were observed. **Results and conclusion:** Within the limits of this study, maximum stresses were concentrated around implant of canine position at loading side. The second premolar area was thought to be more favorable to distribution of stress on mucosa, alveolar bone and implants than canine area for maxillary overdenture.

Key words: Maxillary unsplinted implant overdenture, Three-dimensional finite element analysis, Stress distribution

Corresponding Author: Chang-Whe Kim

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University 28-1 Yeongun-Dong, Chongno-Gu, Seoul, 110-749, Korea

+82 2 2072 2661: e-mail, silk1@snu.ac.kr

Received March 24, 2008: Last Revision April 14, 2008: Accepted April 18, 2008.