

포스트가 치근내 응력분산에 미치는 영향에 관한 삼차원 유한요소법적 연구

서울대학교 치과대학 치과보철학교실

이선형 · 최수영

I. 서 론

치료개념의 발달로 인하여 근단병소를 갖았거나 치관부 손상이 심한 치아들을 보존할 수 있게 됨에 따라 건강한 치근에 대한 임상적 중요성이 증가하고 있다¹⁻⁵⁾. 이러한 치아들의 회복을 위하여는 일반적으로 포스트 코어에 의한 치근부 보강과 함께 부분적인 치관부 재건이 선행되어야 한다⁶⁻⁹⁾. 이렇게하여 회복된 치아는 단관뿐만 아니라 고정성 가공의치나 가철성 의치의 지대치로 사용되는 경우가 적지 않다^{10,11)}. 그러나 이들에 대한 임상적 실패례가 많이 있어 자칫 포스트 코어에 의한 치관부 회복이 치아상실의 원인이 될 수도 있으므로 그 시술에 주의가 필요하다¹²⁾.

근관치료를 받은 치아에 관한 역학적 연구는 생체내에서 시행하기가 어려워 대부분의 연구가 생체외에서 행하여지는데 발거된 치아나 수지 모형(plastic analogue), 광탄성 분석법(photoelastic analysis), 유한 요소법(finite element analysis) 등으로 시행한다. 생체의 연구에 관한 여러방법이 제시되었지만 발거된 치아나 실험적 연구 모형에 직접적으로 가해지는 인장력(tensile force), 염전력(torque force), 전단력(shear force) 등이 생체내 환경을 재현하지 못한다는 점에서 결과에 대한 실용성이 의문시 된다. 발거된 치아는 표준화가 어렵고 치근막과 같은 주위 조직이 없어 하중에 대한

반응이 생체내와 동일하지 않고, 수지 모형은 발치과정 등에서 생기는 손상이 없어 표준화가 용이하지만 생체내의 상아질을 재현할 수 없다. 광탄성 분석법도 자주 사용되지만 구강조직의 탄성률에 맞는 모형을 만들기가 어렵다는 단점이 있다. 이에 비해 유한요소법에서는 구강내와 같이 여러 종류의 물질이 한 개체를 이루는 복잡한 경우에도 각 구조물의 물리적 성질을 부여하여 생체내의 환경을 비교적 정확히 재현해낼 수 있으며 정량적인 분석도 가능한 장점을 지닌다^{6,13-19)}.

근관치료가 된 치아에 관한 유한요소법적 연구로 Davy등²⁰⁾은 포스트로 수복한 치아의 상아질 내 응력이 감소함을 보고하였고, Ko등²¹⁾은 포스트의 보강작용(reinforcement effect)이 의문시 된다고 하였다. Peters등²²⁾은 길이가 길고 직경이 굵은 포스트에서 응력의 균일한 분산을 보였으나 길이의 변화는 응력 양상 변화에 큰 영향을 미치지 않는다고 하였고 Reinhardt등¹⁴⁾은 치조골 높이가 감소할수록 포스트 침부 주변에서 응력의 극적인 증가와 집중을 보인다고 하였다. 국내 연구로는 양 등²³⁾이 포스트의 길이가 짧으면 낮은 응력을 보이고 포스트의 형태보다 하중의 방향이 최대응력이나 변위에 대해 훨씬 큰 영향을 미친다고 하였다. 김 등²⁴⁾은 치관변연 상방에 치질이 많이 존재하는 경우에 응력의 집중이 적었다고 하였다. 이¹⁵⁾는 치관부에서부터 치근부까지 연장된 아

말감에 의한 수복(coronal-radicular amalgam restoration)이 Para-Post로 유지를 얻은 경우보다 치근 및 주위 조직에 대한 응력집중이 적었다고 하였다. 그러나 상기한 연구들은 2차원 유한요소법적 연구였기에 저자는 치관부가 상실된 상악 중절치의 치관부를 포스트 코아로 수복하고 이를 다시 도재외장관으로 회복한 3차원 유한요소모형을 제작하고 치아장축에 대하여 135°방향으로 치관에 힘을 가하였을 때의 치근내 응력분산을 관찰하여 해석한 결과 다소의 지견을 얻었기 이에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

해부학적으로 정상형태의 발거된 상악 중절치²⁵⁾를 백아범광경계 1mm 상방에서 치관부를 제거하여 치근 중앙부에서 근단까지의 거리가 17mm이고 협측과 설측단에서는 13mm인 치근으로 만든 후 통법에 따라 근관을 형성하고 측방가압법으로 gutta percha충전을 하였다²⁶⁾. 포스트를 위한 근관형성은 #6 Peeso reamer (Produits Dentaires S.A. : 직경 1.7mm)를 사용하여 parallel-sided 포스트관을 형성하였고 협측과 설측에 #170바(직경 약 1mm)를 사용하여 keyway를 형성하였다^{27, 28)}. 포스트의 길이는 치근 중앙부에서 12mm이었으며 포스트의 첨단은 근침에서 5mm의 거리를 두었다. 통법에 따라 제3형 금합금 주조 포스트를 제작하고 다시 도재외장금관을 제작하여 인산아연

시멘트로 접착하였다.

제작된 상악 중절치 모형을 자가중합 레진에 매몰한 후 절단 연마하여 연속단층촬영법(serial photography technique)으로 15단면을 얻었다^{16, 29)}(그림1). 시멘트층은 상아질, 포스트, 도재외장관 사이에 50 μ m의 균일한 막으로^{24, 30)}, 치밀골은 0.5mm³¹⁾, 치근막은 0.25mm의 균일한 막으로³²⁾ 설계하였고, 치조골정은 백아범광경계 1mm 하방으로 설정하였다³³⁾. 이를 토대로 3669개의 절점(node)과 2876개의 요소(element)로 구성된 삼차원 유한요소 모형을 제작하였으며 사용된 요소의 형식은 8개의 절점으로 이루어진 육면체(#5 Brick 8-Node)였다. modelling이

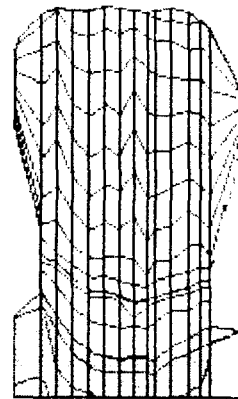


Fig. 1. Labial surface of incisor and approximate locations of planes for serial sectioning.

Table 1. Material properties in the finite element models

Material	Modulus of Elasticity (E, Mpa)	Poisson's Ratio (V)
Enamel	$8.25 * 10^4$	0.33
Dentin	$1.86 * 10^4$	0.31
Cortical bone	$1.37 * 10^4$	0.30
Cancellous bone	$1.37 * 10^3$	0.30
Porcelain	$6.90 * 10^4$	0.28
Type III gold alloy	$7.70 * 10^4$	0.33
ZPC(cement)	$2.20 * 10^4$	0.35
Periodontal ligament	68.9	0.45
Gutta percha	0.69	0.45

끝나는 치조골 상부는 모든 방향에 대한 자유도가 고정된 것으로 경계조건을 지정하였다.

본 연구에 사용된 유한요소 모형은 법랑질, 상아질, 치주인대, 치밀골, 해면골, 도재, 제3형 금합금, 인산 아연 시멘트, gutta percha로 구성되었으며 재료의 물리적 성질은 선학들의 보고를 참조하여(표1)과 같이 설정하였다^{14, 15, 21, 22, 34, 35}.

절단면에서 치근쪽으로 4mm 떨어진 설면에서 순측을 향하여 치아장축과 135° 방향으로 힘을 가한 경우의 von Mises 응력과 순설방향의 변위를 관찰하였으며 가해진 힘의 크기는 전치부 최대 교합력을 가정한 250N이었다³⁶(그림 2). 또한 중앙 절단면에서 치근내부 상아질의 26개 절점과 포스트 내부 13개 절점에서의 응력을, 포스트와 시멘트 계면 15개 절점에서의 변위를 정량분석하였다(그림 3).

컴퓨터는 80486 DX2-50 IBM 호환기종을 사용하였고 소프트웨어는 Algor Interactive System 사의 SuperSap 유한요소분석 프로그램을 사용하였다.

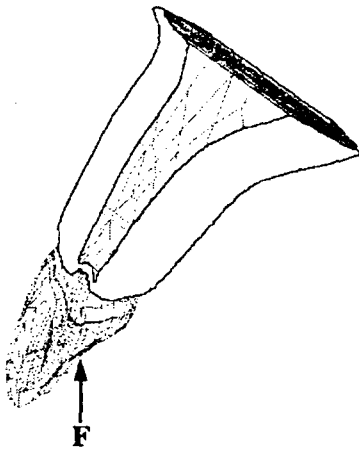


Fig. 2. The loading point.

F represented the masticatory force and 135 degrees lingual to the long axis of the tooth. Bite forces were assumed to be 250N.

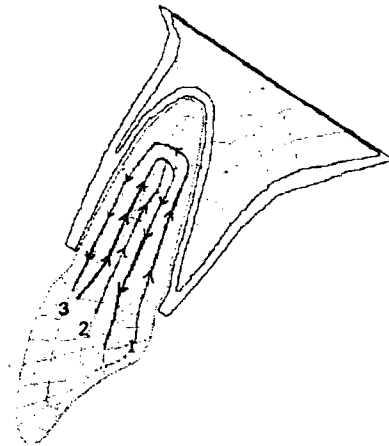


Fig. 3. von Mises stresses and displacement were examined along the presented lines on midsagittal section of the tooth.

- 1 : von Mises stresses of dentin(node numbers : 26)
- 2 : von Mises stresses of post(node numbers : 13)
- 3 : displacement of post-cement interface(node numbers : 15)

III. 연구성적

중앙 단면에서의 von Mises 응력분포는 포스트 내부, 특히 근단측 하반에서 가장 많은 응력집중을 보였고, 포스트의 순측 상아질, 그리고 포스트 첨부 주위 상아질에 응력이 분포됨을 보였다.

치근내부 상아질의 von Mises 응력 분포는(표2)와(그림4)에 나타난 바와 같다. 설측부 상아질보다 순측부 상아질에 더 많은 응력집중을 보였다. 포스트 중간부위의 순측 상아질에서 가장 높은 응력집중을 보였고(36.6 MPa), 설측 치경부 상아질에서 가장 적은 응력집중을 보였다(6.42MPa). 모든 부위에서 상아질의 비례한계인 125MPa보다 훨씬 낮은 응력을 보였다.

포스트 내부의 von Mises 응력 분포는(표3)

Table 2. von Mises stress of dentin on mid-sagittal section(MPa)

node	stress
1	6.42E+00
2	1.38E+01
3	1.71E+01
4	1.95E+01
5	1.97E+01
6	2.14E+01
7	2.09E+01
8	1.78E+01
9	1.69E+01
10	1.35E+01
11	1.39E+01
12	2.25E+01
13	1.84E+01
14	3.20E+01
15	3.10E+01
16	2.77E+01
17	2.67E+01
18	2.64E+01
19	2.69E+01
20	2.94E+01
21	3.36E+01
22	3.66E+01
23	3.60E+01
24	3.41E+01
25	2.75E+01
26	2.13E+01

Table 3. von Mises stress of post on mid-sagittal section(Mpa)

node	stress
1	2.96E+01
2	3.41E+01
3	3.36E+01
4	4.05E+01
5	4.58E+01
6	5.87E+01
7	5.37E+01
8	7.41E+01
9	6.84E+01
10	8.80E+01
11	8.73E+01
12	1.15E+02
13	4.48E+01

과 (그림5)에 나타난 바와 같다. 응력은 포스트의 침부로 갈수록 증가하다가 다른 재질(인산아연 시멘트)과 만나는 포스트 침단은 응력의 감소를 보였다. 최대 응력량은 제 3형 금합금의 항복강도인 241MP보다 낮은 115MPa를 보였다.

변위는 절단면 순측에서 가장 컸다. 포스트와 시멘트 계면에서의 변위는 (표4)와 (그림6)에 나타난 바와 같다. 포스트 침부에서는 설측 계면이 순측 계면에서보다 많은 변위를 보였으나 치경부로 갈수록 순측 계면의 변위가 많

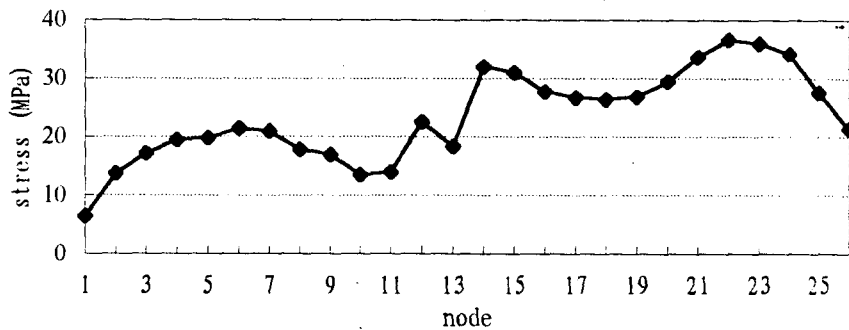


Fig. 4. von Mises stress of dentin on mid-sagittal section of the tooth.

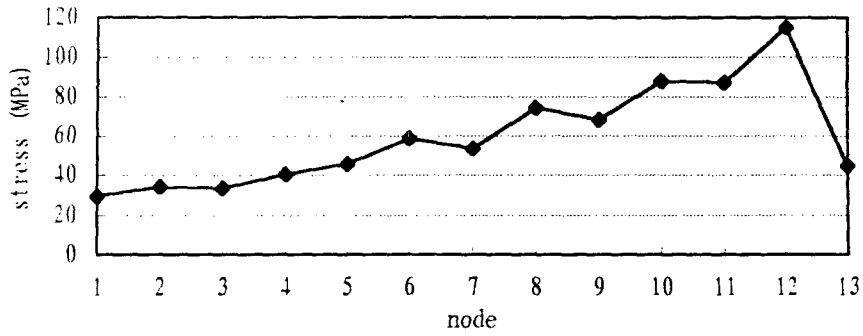


Fig. 5. von Mises stress of post on mid-sagittal section of the tooth.

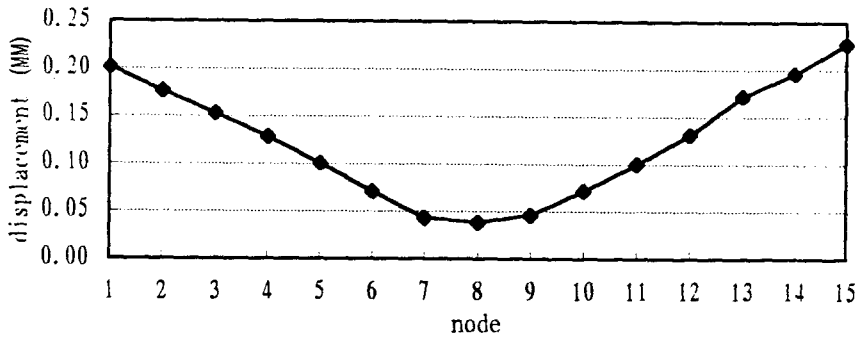


Fig. 6. Displacement of post-cement interface on mid-sagittal section of the tooth.

Table 4. Displacement of the post-cement interface on mid-sagittal section(mm)

node	displacement
1	2.01E-01 (dx=2.0121e-01, dy=-5.6186e-02, dz=-5.1513e-03)
2	1.76E-01 (dx=1.7629e-01, dy=-4.7992e-02, dz=-4.6008e-03)
3	1.53E-01 (dx=1.5291e-01, dy=-4.2931e-02, dz=-4.0232e-03)
4	1.28E-01 (dx=1.2782e-01, dy=-3.9523e-02, dz=-3.4546e-03)
5	1.00E-01 (dx=1.0037e-01, dy=-3.7738e-02, dz=-2.6078e-03)
6	7.09E-02 (dx=7.0936e-02, dy=-3.6443e-02, dz=-1.6499e-03)
7	4.31E-02 (dx=4.3073e-02, dy=-3.4387e-02, dz=-7.1252e-04)
8	3.86E-02 (dx=3.8550e-02, dy=-2.5978e-02, dz=-7.5552e-04)
9	4.63E-02 (dx=4.6245e-02, dy=-1.4451e-02, dz=-1.2385e-03)
10	7.17E-02 (dx=7.1715e-02, dy=-1.4413e-02, dz=-2.20021e-03)
11	9.98E-02 (dx=9.9829e-02, dy=-1.4339e-02, dz=-2.8892e-03)
12	1.31E-01 (dx=1.3077e-01, dy=-1.3879e-02, dz=-3.8317e-03)
13	1.71E-01 (dx=1.7138e-01, dy=-1.2900e-02, dz=-5.0683e-03)
14	1.96E-01 (dx=1.9570e-01, dy=-3.8997e-03, dz=-5.9749e-03)
15	2.28E-01 (dx=2.2746e-01, dy=-1.1833e-03, dz=-7.0283e-03)

았다. 그러나 순측과 설측간의 변위량 차이는 미미하였으며 가장 적은 변위를 보인 포스트 침단을 중심으로 순측 계면과 설측 계면이 거의 대칭적 양상을 보였다.

IV. 총괄 및 고안

구강과 같은 복잡한 환경에서 치아내부에 발생하는 응력상태를 이해하기 위해 과거부터 응력에 관하여 많은 연구들이 이루어져왔다. 이런 구강내에서의 역학적 문제를 조사하기 위하여 brittle lacquer coating technique, strain-gauge법, holography법, 광탄성법, 유한요소법 등의 여러가지 실험적인 응력분석법들이 이용되어 왔다. 최근에는 컴퓨터의 발달에 힘입어 공학적 수치해석법인 유한요소법이 많은 장점으로 인해 널리 이용되고 있다. 유한요소 분석 모형은 여러 상황에서 다양한 하중으로 야기되는 치아 내외부의 응력량과 분산을 자세하게 연구할 수 있고 주어진 상황에서 파절의 가능성에 관하여 예견할 수 있게한다⁴⁴⁾.

유한요소법은 1956년 Tuner 등의 항공기 구조해석에 관한 연구가 발표된 이후 공학, 순수 수학 분야는³⁷⁾ 물론 치의학 분야에서도 많은 응용을 하고 있는 방법이다. 치의학 분야에서는 단순화시킨 모형으로 다양한 종류의 2차원 유한요소법적 분석을 시행하였으나^{14-17, 19-24, 29, 30, 34, 35)} 이는 치아 모양이 대칭적이지 아니하다는 점과 입체적인 구조물의 응력이나 변위가 평면으로 표현된다는 점에서 오류를 범할 가능성이 있다¹⁶⁾. 3차원 유한요소법도 오차의 가능성은 있지만 치아의 복잡한 응력 상태를 더 사실적으로 나타낼 수 있으리라 예측된다. 본 연구에서 사용된 250N의 하중은 선학들의 연구에 의한 최대 교합력을 가정한 것이고 절단 면에서 4mm 떨어진 설면에서 순측을 향하여 치아장축과 135° 방향으로 힘을 가한 것은 기능적 운동을 가정한 것이다^{15, 21-24, 30, 36, 38)}.

근관치료가 된 치아를 수복하는 방법으로는 Richmond 관을 비롯하여 주조 포스트 코아, 기성 포스트 코아, 편 유지 코아, 편과 기성 포스트 코아, 치관부에서 치근부까지 연장된

아말감 또는 레진 코아 등을 들 수 있고, 이 포스트 코아의 유지는 설계, 길이, 표면형태, 직경에 의해 좌우되며 그 밖에도 잔존치질의 양이나 기포없이 접착하는 기술 등에 의해서 좌우되기도 한다^{4, 22, 23, 39-51)}. 본 연구에 사용된 parallel-sided 포스트는 여러 연구에서 유지력이 우수하고 응력을 분산시키는 효과를 보인다고 하여^{4, 8, 18, 20, 22, 48, 51, 61)} 사용되었으며 인산 아연 시멘트의 사용은 포스트의 접착에 널리 사용되기 때문이다.

최적의 포스트 길이에 관한 기준으로는 잔근전장의 절반 길이, 임상치관과 동일한 길이, 치근 길이의 1/2이나 2/3 또는 4/5, 치근침부 밀봉을 위한 3-5mm의 gutta percha를 남기는 길이, 치조골의 절반 길이 등 다양하다^{40-42, 52-55)}. 그러나 최적의 포스트 길이를 항상 얻을 수 있는 것은 아니며 잔존치질의 양이나 근관과 치근의 형태, 천공의 위험 등의 이유로 절충해야 하는 경우도 있다^{5, 8, 25, 50)}. 본 연구에 사용된 포스트의 길이는 치근침부 밀봉을 위한 gutta percha를 5mm 남겨둔 상태의 길이(치근 중앙부에서의 전장이 12mm)가 되고 정상치조골 높이의 약 2/3에 해당된다.

포스트가 치질 파절에 대한 저항성을 증가시킨다거나 임상적 성공률에 영향을 미치지 않는다는 등의 다양한 연구가 있어왔으나^{6, 40, 41, 56-60)} 치관부 치질이 거의 없는 경우에는 포스트 코어에 의한 수복이 필수적이다. Gutmann¹²⁾은 포스트 코아에 의한 수복이 성공적이기 위하여는 1) 적절한 기구조작, 2) 장축의 확인, 3) 적절한 길이의 선택, 4) 근관 내부의 형태 등을 들었으며, Hatzikyriakos 등¹⁰⁾은 포스트 코아 수복의 실패에 지대치의 용도(가공의치와 국소의치용 지대치)가 가장 큰 영향을 미친다고 하였다.

포스트가 치근내 응력분산에 미치는 영향에 관한 유한요소 분석법적 연구로 Peters 등²²⁾은 포스트의 길이가 길고 직경이 굵을수록 응력의 균일한 분산을 보인다고 하였고, 양 등²³⁾은 포스트의 길이가 길수록 포스트 내부에는 응력의 증가가, 상아질에는 응력의 감소가 보인다고 하였다. 본 연구에서와 같이 제3형 급합금 포

스트 코아로 치관부를 수복한 후 도재외장관으로 회복한 경우, 최대 교합력이 작용되면 포스트 내부에 많은 양의 응력이 집중되었고 포스트의 협축 상아질에 그 응력이 분산됨을 보였다. 포스트내의 응력은 포스트 첨단 직상부에 가장 많이 집중되었고 이는 Davy 등²⁰⁾의 연구와도 유사한 결과였다. 분산된 응력양은 상아질의 비례한계나 제3형 금합금의 항복강도에 미치지 않는 양으로 치관부 손상이 심한 경우 포스트 코아에 의한 수복은 유용한 수복 방법이라고 사료된다. 포스트와 시멘트의 계면에서의 변위는 포스트 침부를 중심으로 거의 비슷한 양의 변위를 보였고 0.2mm 이상의 변위도 일어날 수 있음을 보였다.

V. 결 론

본 연구는 치관부 전체가 상실된 상악 중절치를 통법에 따라 근관충진을 행하고 제3형 금합금에 의한 주조 포스트 코아와 도재외장관을 제작, 인산아연 시멘트로 접착시킨 상태에서 삼차원 유한요소 모형을 제작하여 행하였다. 포스트의 길이는 치근 중앙부에서 12mm이었으며 포스트의 첨단은 근침에서 5mm의 거리를 두었다. 중절치 절단면으로부터 4mm 하방의 설면에서 순축을 향하여 치아장축과 135° 방향으로 250N의 힘을 가했을 때 나타나는 응력분산과 변위에 관한 삼차원 유한요소법적 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악 중절치의 절단면으로부터 4mm 하방의 설면에서 순축을 향하여 치아장축과 135° 방향으로 250N의 힘을 가한 경우 치근내 응력은 포스트의 순축 중앙부 상아질과 포스트 침부의 상아질에 집중되었다.
2. 포스트 내 응력은 포스트 첨단으로 갈수록 증가하여 근침측 첨단 직상부에서 가장 높았다.
3. 포스트와 시멘트 계면에서의 변위량은 포스트 침부를 중심으로 거의 대칭적으로 일어났다.
4. 적절한 방법으로 시술된 포스트 코아는 상

실된 치관부 회복을 위한 유용한 수복방법으로 사료된다.

REFERENCES

1. Hudis, S.I., and Goldstein, G.R. : Restoration of endodontically treated teeth : A review of the literature. *J Prosthet Dent* 55 : 33, 1986.
2. Kavarik, R.E., Breeding, L.C., and Caughman, W.F. : Fatigue life of three core materials under simulated chewing conditions. *J Prosthet Dent* 68 : 584, 1992.
3. Plasmans, P.J.J.M., Visseren, L.G.H., Vrijhoef, M.M.A., and Kayser, A.F. : In vitro comparison of dowel and core techniques for endodontically treated molars. *J Endodont* 12 : 382, 1986.
4. Johnson, J.K., and Sakumura, J.S. : Dowel form and tensile force. *J Prosthet Dent* 40 : 645, 1978.
5. Johnson, J.K., Schwartz, N.L., and Bleckwell, R.F. : Evaluation and restoration of endodontically treated teeth. *J Am Dent Assoc* 93 : 597, 1976.
6. Sorensen, J.A., and Martinoff, J.T. : Intracoronary reinforcement and coronal coverage : A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51 : 780, 1984.
7. Milot, P., and Stein, R.S. : Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent* 68 : 428, 1992.
8. Mattison, G.D. : Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J Prosthet Dent* 48 : 407, 1982.
9. Sorensen, J.A., and Martinoff, J.T. : Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52 : 28, 1984.
10. Hatzikyriakos, A.H., Reisis, G.I., and Tsingos, N. : A 3-year postoperative clinical evaluation of posts and cores beneath exi-

- sting crowns. *J Prosthet Dent* 67 : 454, 1992.
11. 이선형, 정헌영, 최수영 : 고정성 치아 보철에 관한 연구. *대한치과보철학회지* 32 : 359, 1994.
 12. Gutmann, J.L. : Preparation of endodontically treated teeth to receive a post-core restoration. *J Prosthet Dent* 38 : 413, 1977.
 13. 조인호, 김영수 : 총의치 교합형태의 따른 3차원적 광탄성응력 분석. *대한치과의사협회지* 20 : 945, 1982.
 14. Reinhardt, R.A., Krejci, R.F., Poa, Y.C., and Stannard, J.G. : Dentin stress in post-reconstructed teeth with diminishing bone support. *J Dent Res* 62 : 1002, 1983.
 15. 이재영, 이정식 : 상악중절치 근관치료후 수복 방법에 따른 응력분포의 유한요소분석. *대한치과보존학회지*, 19 : 549, 1994.
 16. 박창근, 이선형 : 최대교합 및 기능교합시 하악구치부 연장가공의치에 발생하는 응력에 대한 삼차원 유한요소법적 연구. *서울치대논문집*, 28 : 309, 1993.
 17. Caputo, A.A., Gonodis, D., and Matyas, J. : Analysis of resin bonded fixed partial dentures. *Quintessence Int* 17 : 89, 1986.
 18. Loney, R.W., Kotowicz, W.E., and McDowell, G.C. : Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent* 63 : 506, 1990.
 19. Farah, J.W., Craig, R.G., and Sikarskie, D.L. : Photoelastic and finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J Biomech* 6 : 511, 1973.
 20. Davy, D.T., Dilley, G.L., and Krejci, R.F. : Determination of stress patterns in root-filled teeth incorporating various dowel designs. *J Dent Res* 60 : 1301, 1981.
 21. Ko, C.C., Chu, C.S., Chung, K.H., and Lee, M.C. : Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J prosthet Dent* 68 : 421, 1992.
 22. Peters, M.C.R.B., Poort, H.W., and Craig, R.G. : Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res* 62 : 760, 1983.
 23. 양홍서, 장완식 : 전치부 계속치의 지대치 및 지지조직의 역학 반응에 관한 유한요소법적 연구. *서울치대 논문집* 10 : 113, 1986.
 24. 김진, 방목숙 : 지대치 형태에 따른 post core의 치근내부 및 지지조직의 응력분석. *대한치과보철학회지* 31 : 468, 1993.
 25. Ash, M.M. : *Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion*, 6th ed., W.B. Saunders Co., 1984.
 26. Grossman, L.I. : *Endodontic practice*, 10th ed., Lea & Febiger, 1981.
 27. Shillingburg, H.T., Hobo, S., and Whitsett, L.D. : *Fundamentals of fixed prosthodontics*. Quintessence Publish Co. 1984.
 28. Shillingburg, H.T., and Kessler, J.C. : *Restoration of the endodontically treated tooth*. Quintessence Publishing Co., Inc., 1982.
 29. Goel, V.K., Khera, S.C., Ralston, J.L., and Chang, K.H. : Stresses at the dentinoenamel junction of human teeth - A finite element investigation. *J Prosthet Dent* 66 : 451, 1991.
 30. 양홍서, 류선열, 조규중 : Post 형태에 따른 치근내부와 지지조직의 응력분산에 관한 2차원적 연구. *대한치과의사협회지* 26 : 737, 1988.
 31. Schroeder, A., Sutter, F., and Krekeler, G. : *Oral implantology*. New York, Thieme Medical Publishers, Inc., 1991.
 32. Carrenza, F.A. : *Glickman's clinical periodontology*, 7th ed., W.B., Saunders Co., 1990.
 33. 김석균 : *치과 심미 개론*. 지성출판사, 1993.
 34. Cook, S.D., Weinstein, A.M., and Klawitter, J.J. : A three-dimensional finite element

- analysis of a porous rooted Co-Cr-Mo alloy dental implant. *J Dent Res* 61 : 25, 1982.
35. Bell, J.G., Smith, M.C., and de Pont, J.J. : Cuspal failures of MOD restored teeth. *Aust Dent J* 27 : 283, 1982.
 36. 이선형 : 가공의치 교합력에 관한 연구. *최신의학* 13 : 559, 1970.
 37. 임상진, 광병만, 이주성 : 유한요소법입문. 동명사, 1993.
 38. Leary, J.M., Jensen, M.E., and Sheth, J.J. : Load transfer of posts and cores to roots through cements. *J Prosthet Dent* 62 : 298, 1989.
 39. Crag, R.G. : Restorative dental materials, 7th ed., St.Louis, The C.V. Mosby Co., 1985.
 40. Kornfeld, M. : Mouth rehabilitation, 2nd ed., St.Louis, The C.V. Mosby Co., 1974.
 41. Tylman, S.D. : Theory and Practice of crown and fixed partial prosthodontics, 6th ed., St.Louis, The C.V. Mosby Co., 1970.
 42. Perel, M., and Muroff, F.I. : Clinical criteria for posts and cores. *J Prosthet Dent* 28 : 405, 1972.
 43. Baraban, D.J. : A simplified method for making posts and cores. *Quintessence Int* 3 : 23, 1972.
 44. Caputo, A.A., Standlee, J.P., and Collard, E.W. : The mechanics of load transfer by retentive pins. *J Prosthet Dent* 29 : 442, 1973.
 45. Baraban, D.J. : Immediate restoration of pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 28 : 207, 1972.
 46. Brandal, J.L., Nicholls, J.I., and Harrington, G.W. : A comparison of three restorative techniques for endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent* 58 : 161, 1987.
 47. Taleghani, M., Morgan, R.W. : Reconstructive material for endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 57 : 446, 1987.
 48. Ruemping, D.R., Lund, M.R., and Schnell, R.J. : Retention of dowels subjected to tensile and torsional forces. *J Prosthet Dent* 41 : 159, 1979.
 49. Goerig, A.C., and Mueninghoff, L.A. : Management of the endodontically treated tooth. Part I : concept for restorative designs. *J Prosthet Dent* 49 : 340, 1983.
 50. Trabert, K.C., Caputo, A.A., and Abou-Ross, M. : Tooth fracture - A comparison of endodontic and restorative treatment. *J Endodont* 4 : 341, 1978.
 51. Colley, E.T., Hampson, E.L., and Lehman, M.L. : Retention of post crowns : An assessment of the relative efficiency of posts of different shapes and sizes. *Br Dent J* 124 : 63, 1968.
 52. Christy, J.M., and Pipko, D.J. : Fabrication of dual-post veneer crown. *J Am Dent Assoc* 75 : 1419, 1967.
 53. Shillingburg, H.T., Fisher, D.W., and Dewhirst, R.B. : Restoration of endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent* 24 : 401, 1970.
 54. Burnell, S.C. : Improved cast dowel and base for restoring endodontically treated teeth. *J. Am Dent Assoc* 68 : 39, 1964.
 55. Weine, F.S. : Endodontic therapy, 2nd ed., St.Louis, The C.V. Mosby Co., 1976.
 56. Johnston, J.F., Phillips, R.W. and Dytama, R.W. : Modern practice in crown and bridge prosthodontics. W.B. Saunders Co., 1971.
 57. Lovdahl, P.E., and Nicholls, J.I. : Pin-retained amalgam cores vs. cast-gold dowel cores. *J Prostet Dent* 38 : 507, 1977.
 58. Guzy, G.E., and Nicholls, J.I. : In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without Endo-Post reinforcement. *J Prosthet Dent* 42 : 39, 1979.
 59. Hoag, E.P., and Dwyer, T.G.P. : A comparative evaluation of the post and core te-

- chnique. J Prosthet Dent 47 : 177, 1982.
60. Sorensen, J.A., and Martinoff, J.T. : Endodontically treated teeth as abutments. J Prosthet Dent 53 : 631, 1985.
61. Krupp, J.D., Caputo, A. A., Trabert, A.C. and Standlee, J.P. : Dowel retention with glass-ionomer cement. J Prosthet Dent 41 : 163, 1979.

Abstract

STRESS DISTRIBUTION OF ENDODONTICALLY TREATED TOOTH ACCORDING TO THE POST —THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT STUDY—

Sun-Hyung Lee, D.D.S., Soo-Young Choi, D.D.S.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

The endodontically treated tooth is generally restored with post and core, owing to the brittleness and the loss of large amount of tooth structure. Although there have been lots of studies about the endodontically treated teeth, the three-dimensional quantitative studies about the stress distribution of them are in rare cases. In this study, it was assumed that the coronal portion of the upper incisor had extensively damaged. After the root canal therapy it was post cored, and restored with PFG crown. The three-dimensional model, in which the root was supported with a normal alveolar bone, was constructed.

Force was applied to the centric stop point with the angle of 135 degrees to the long axis of the tooth. Force was assumed to be 250N as functional maximum bite force of upper central incisors.

The results analyzed with three-dimensional finite element method were as follows :

1. Stress was concentrated on the middle portion of the labial side dentin and the apical portion of the dentin.
2. Stress in the post was more concentrated on the post apex.
3. The displacement of the post at the post-cement interface was almost symmetrical labio-lingually.
4. It assumed that restoring extensively damaged tooth with a post-core and PFG crown is an adequate method of restoration.