

치주인대의 응력 분포 양상에 관한
실험 연구

연세대학교 대학원

치 의 학 과

한 정 윤

치주인대의 응력 분포 양상에 관한 실험 연구

지도 최 광 철 조교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2000년 12월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

한 정 윤

한정윤의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2000년 12월 일

감사의 글

논문을 마치면서 ‘성실함’과 ‘겸허함’의 의미에 대하여 다시금 생각해 보게 됩니다.

논문이 완성될 수 있도록 실험 디자인에서부터 마무리까지 세심하게 지도해 주신 최광철 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 부족한 글을 꼼꼼히 바로 잡아주신 박영철 교수님, 김경호 교수님께 감사드립니다. 늘 사랑으로 지도, 격려해 주시고 창의와 도전정신을 심어주신 유영규 교수님, 손병화 교수님, 백형선 교수님, 이원유 교수님, 황충주 교수님, 김영준 교수님, 유형석 교수님께도 깊이 감사드립니다.

격려와 조언을 아끼지 않던 귀한 동료들, 함께 병원생활하며 기쁨과 피로움을 같이 나누었던 선후배 의국원들에게도 감사드립니다.

마음에서 늘 힘이 되어주고 어려울 때마다 도움을 아끼지 않는 두 누이, 그리고 이 작은 결실을 맺을 때까지 사랑으로 지켜준 소중한 사람의 얼굴을 떠올리며 고마운 마음 전합니다.

지금까지 사랑으로만 저를 길러 주신 할머니님, 아버지, 어머니, 이분들의 은혜에 무어라 감사의 말씀을 드려야 할 지 모르겠습니다. 가슴 깊이 감사드리며 이 작은 글을 바칩니다.

2000년 12월

저 자

목 차

그림 및 표 차례.....	vi
국문 요약	vii
I. 서론.....	1
II. 연구재료 및 방법.....	3
가. 연구재료.....	3
나. 연구방법.....	6
III. 연구결과	8
가. 수평력에 의한 저항중심의 위치.....	8
나. 모멘트에 의한 저항중심의 위치	10
다. 수평력에 의한 회전축의 위치.....	11
IV. 총괄 및 고찰.....	15
V. 결론.....	20
참고 문헌	21
영문 요약	24

그림 및 표 차례

그림 1. 치아의 fixture 에 힘과 모멘트를 가하는 방법.....	4
그림 2. 연구에 사용된 모델의 계측치 및 좌표계	4
그림 3. 회전축을 구하는 방법	5
그림 4. 전체적인 실험장치	6
그림 5. 힘의 크기와 치아의 치체 이동 양과의 관계.....	8
그림 6. 힘의 크기에 따른 저항중심의 변화.....	9
그림 7. 치아에 모멘트를 가한 경우 회전축의 좌표.....	11
그림 8. 회전축의 X,Y 좌표.....	13
그림 9. a 와 b 의 관계.....	14
그림 10. a 의 역수와 b 와의 관계.....	14
그림 11. 질량중심과 저항중심.....	15
표 1. 크기가 다른 힘에 대한 치아 저항중심의 위치, 이동거리.....	9
표 2. 크기가 다른 모멘트를 가했을 때, 치아 회전축의 X,Y 좌표.....	10
표 3. 힘의 위치에 따른 a 와 b 간의 관계.....	12
표 4. 치아이동유형에 따른 M/F ratio	18

국문요약

치주인대의 응력 분포 양상에 관한 실험 연구

원하는 형태의 치아이동을 얻기 위해서는 Moment/Force ratio 의 조절이 필요하며, 이를 위해서는 치아의 저항중심의 위치를 아는 것은 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 실제 치아주위 환경을 비교적 유사하게 재현할 수 있는 치조골상과 치아의 이동을 시뮬레이션하는 장치를 제작하고, LVDT(Linear variable differential transformer)를 이용한 3 차원 운동을 실시간으로 측정할 수 있는 시스템을 사용하여, 힘에 대한 3 차원 공간상에서의 치주인대 응력 분포 양상 및 치아 저항중심과 회전축의 위치변화를 계측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상악 견치에 원심방향으로 힘을 가했을 때, 치아의 저항중심의 위치는 힘의 크기와는 무관하였으며, 치근의 치경부측 약 29% 부위에 위치하였다. 이는 2 차원 모형(42%) 보다 치관 쪽에 위치한다.
2. 모멘트만 가하는 경우 치아의 저항중심과 회전축은 일치하였다.
3. 치아에 가해지는 모멘트가 증가하는 경우 방향에 관계없이 치아는 정출되는 경향을 보였다.
4. 힘이 가해진 위치, 저항중심, 회전축간에는 일정한 관계가 성립했다($a \times b = 49.6 \text{ mm}^2$). 이 관계식을 통해서 수평력이 가해질 때 예상되는 치아운동 양상을 알 수 있다.

5. 수평력이 가해질 때 회전축의 위치는 일직선으로 나타난다.

주요단어 : 치주인대, 응력 분포, 저항중심, 회전축

()

I.

가 ,
가 가 ,

force system

가 .

가 2
(strain)

가 6). 가
(primary
(secondary

displacement)²,
displacement)

bone remodeling

17).

Moment /Force ratio(M/F ratio)

4.16)

가
가 . Nikolai¹⁴⁾, Steyn¹⁸⁾,
Syngge¹⁹⁾ , Christiansen⁸⁾ gauge
, Burstone, Pryputniewicz^{3,5,6)}, Vanden Bulcke^{22,23)}
(double exposure laser holographic interferometry)
(laser reflection technique) , Tanne^{20,21)}, Yettram²⁵⁾

가

, 3

, 3

II.

가.

Extrude[®] (polyvinylsiloxane type 3, light bodied, Kerr Co., $E=0.87 \times 10^3 \text{GPa}$)

1mm block . silicone stone (shearing stress) cyanoacrylate . block fixture

가

가

torque gauge(651-3M, Data instrument)

flexible shaft

fixture

occluso-apical

가 equivalent force 가

+ , + (1).

, X, Y

fixture

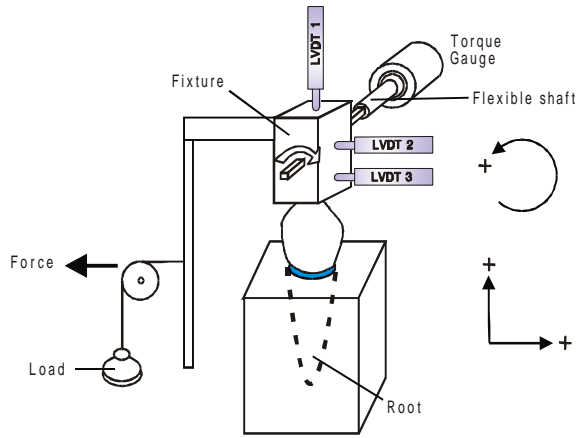
, +

. + (2).

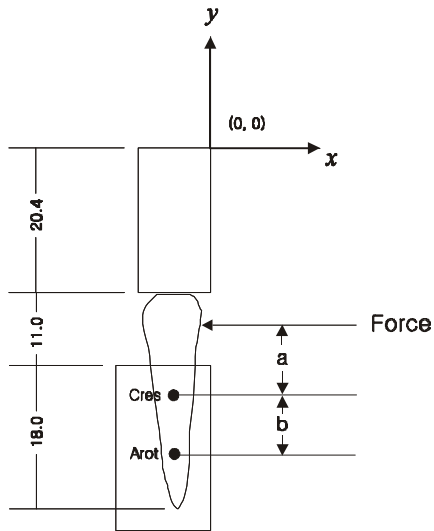
,

LVDT (Linear variable differential transformer,

Model 0351-0006, TRANS-TEK) 3 fixture . 2



1. fixture 가 ,
+
+ .

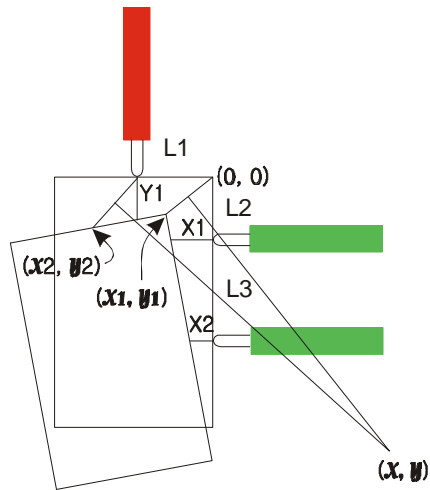


2. . Cres : Arot:
가 a, b 가 .

LVDT

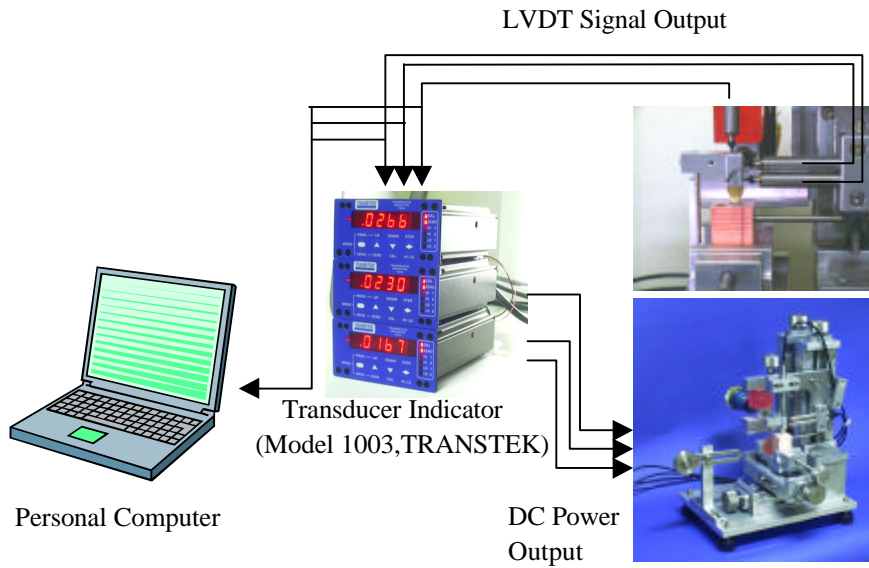
가 AD converter digital . digital
 PC . LVDT
 resolution 0.0001mm(16bit) Microsoft Excel .
 Force torque applicator, , LVDT

4



3.

X1, X2 : LVDT X
Y1 : LVDT Y
 (X1, Y1) , (X2, Y2) :
 (X, Y) :
L1, L2, L3 : LVDT ,



4.

.

50, 100, 150, 200, 250 g 가 ,
 3 X1 X2 가 ,
 negative torque . equivalent force
 , M/F ratio .
 가 .
 ,
 7). -2,000 gmm +2,000 gmm 500 gmm

가 .

가 , .

가 , 11 mm , 1 mm

100g 가 ,

가 , 가

(a) (b) (2).

5 ,

silicone 1

III.

가.

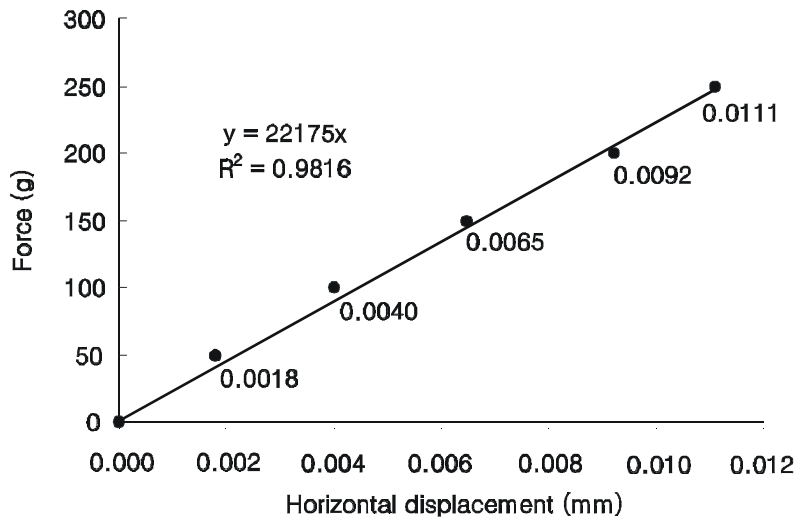
50, 100, 150, 200, 250 g

가

(1, 5, 6).

가

22,175 g/mm



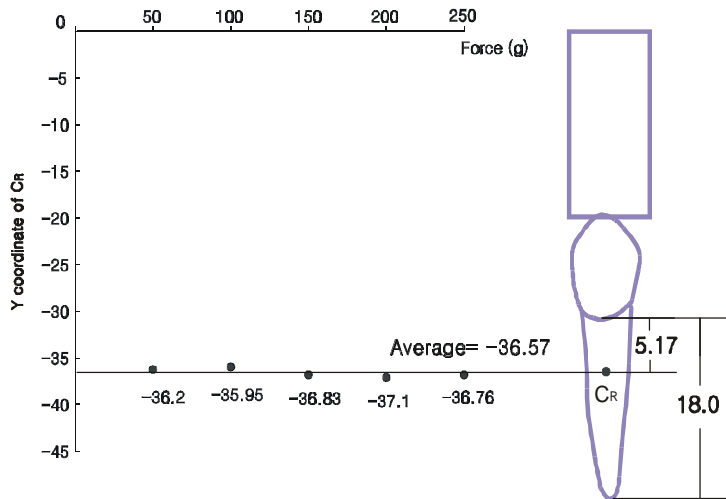
5.

(Force / Deflection rate)

가 Y -36.57
 $\pm 0.59(\text{mm})$, 5.17mm
 28.7 %
 Y .

1. 가 ,

(g)	Y		(mm)
50	-36.20	0.27	0.0018
100	-35.95	0.25	0.0040
150	-36.83	0.30	0.0065
200	-37.10	0.32	0.0092
250	-36.76	0.30	0.0111
	-36.57	0.287	



6.

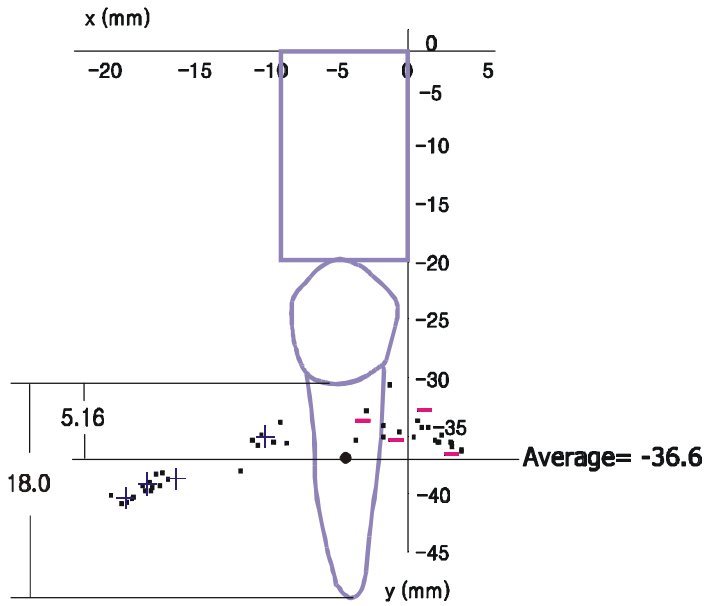
•

2 가 가 X, Y
 , 7 .

2. 가 가 , X, Y

(gmm)	X	Y		(degree, °)
2,000	-17.49	-40.42	0.50	0.080
1,500	-16.04	-39.17	0.43	0.055
1,000	-14.33	-38.73	0.41	0.033
500	-8.83	-35.04	0.20	0.018
-500	-2.88	-33.62	0.12	-0.013
-1,000	-0.05	-34.47	0.17	-0.051
-1,500	1.37	-35.15	0.21	-0.084
-2,000	2.91	-35.88	0.25	-0.111
		-36.56	0.286	

7 가 ,
 Y -36.56 ± 2.50 (mm)
 , 5.16mm
 28.6% .
 가 () 0.05



7. 가 , 가
 , + , -

가

가

100 g
 가

(a)

가 ,

(b)

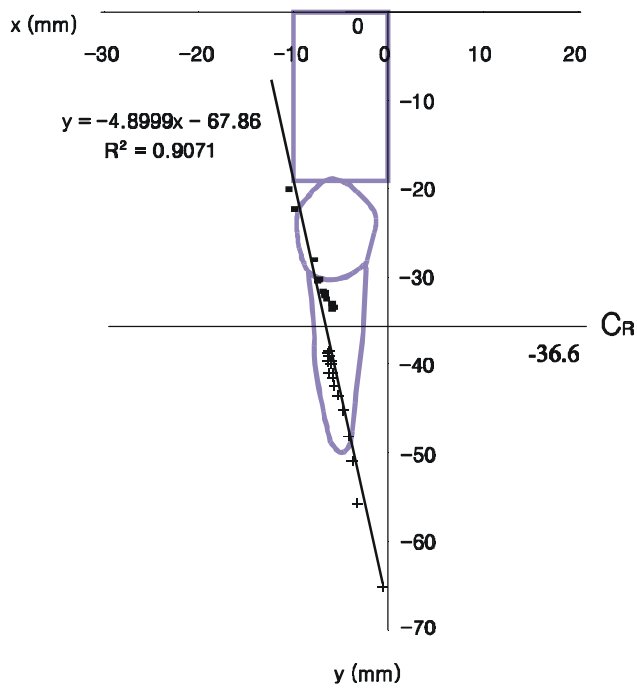
(3, 8).

3. a b .

(Y)	a (mm)	b (mm)
-20.4	16.2	2.21
-21.4	15.2	2.50
-22.4	14.2	2.93
-23.4	13.2	3.06
-24.4	12.2	3.34
-25.4	11.2	3.14
-26.4	10.2	4.28
-27.4	9.2	4.29
-28.4	8.2	4.87
-29.4	7.2	5.85
-30.4	6.2	7.00
-31.4	5.2	8.70
-32.4	4.2	11.68
-33.4	3.2	14.37
-34.4	2.2	19.28
-35.4	1.2	28.59
-37.4	-1.2	-42.42
-38.4	-2.2	-36.50
-39.4	-3.2	-16.37
-40.4	-4.2	-14.29
-41.4	-5.2	-8.41
-42.4	-6.2	-6.18
-43.4	-7.2	-6.10
-44.4	-8.2	-4.75
-45.4	-9.2	-4.93

a :

b :



8. X, Y 가 .

가 y -36.6
 가 ,
 가 .

9 a b

. a , M/F ratio 가

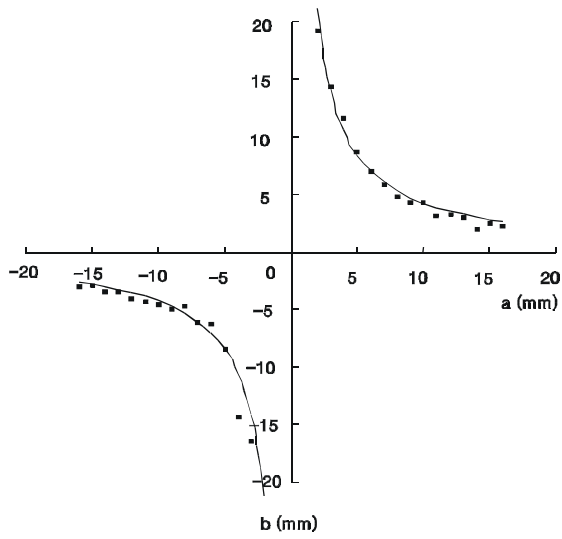
, M/F ratio

. 10

X 1/a ,

a x b =

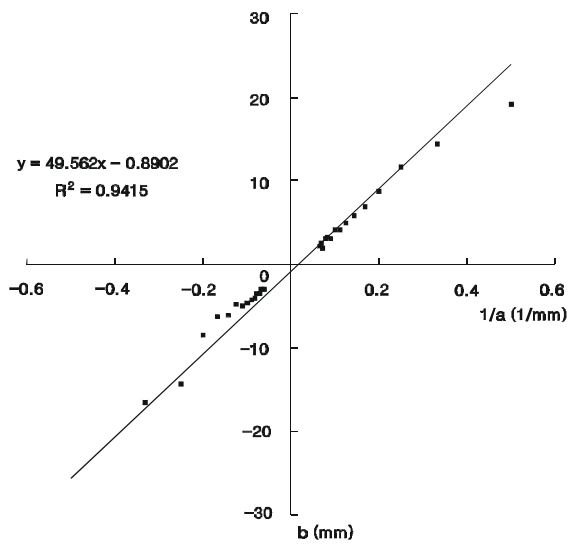
49.6 (mm²) .



9. a b

a :

b :



10. a

b

.

(49.6 mm²).

a :

b :

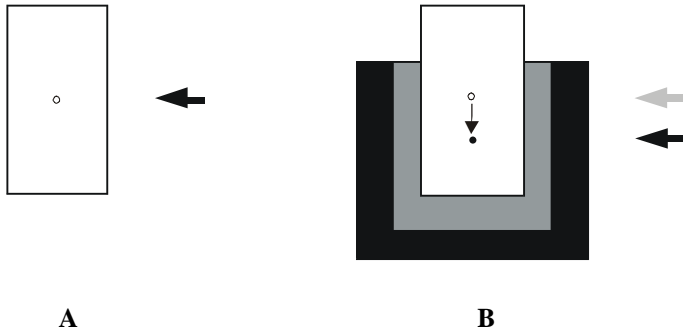
IV.

(11), Dermaut¹⁰⁾

rotation

line of action

translation, rotation



11. A. 가

. B. 가

,
:

가 , Burstone^{1,5)} 2

40% 3

33% , 2

Nikoli^{14,15)} 48% , Tanne^{20,21)} 24%

2 Choy⁷⁾ 42%

, Smith¹⁶⁾ 1/3 1/2

, furcation area 1-2mm

가 가

가 가 7,10,11,21)

가 .

가

(Finite element method) Laser (laser reflection technique) ,

, Laser .

fixture LVDT , 3

LVDT

, 가 29 mm

12,24) . Extrude[®]

Young's modulus of elasticity ,

, 2.2kN/cm /

. 29%

, Tanne²⁰⁾ Burstone⁵⁾

. 2 Choy⁷⁾ (42%) ,

가 , Tanne²⁰가 2

3 geometric center (centroid) 가

가 가

가 가

가

LVDT Y

X 7

X

가 ,

X 가 8 X

distal inclination 가 11.5° crown inclination

(functional axis)

s² . Choy ⁷⁾ 2

s² 가

(a x b= s²),

17.52 mm²

, s² 가 가

s^2 , , 가 .
 rotation , tipping
 M/F ratio
 s^2 , ,
 ,
 (M/F ratio) 가 (a x
 b= s^2), 49.56 mm² . 2
 , 3 shearing stress 가
 2 tipping
 . 가 가
 M/F ratio 4 .

4. M/F ratio

M/F ratio
0
6.8
10.7
13.9

,
9)
, Extrude[®]가 mechanical properties
.
LVDT model
3 가 , mechanics
,
.

V.

M/F ratio ,

, LVDT 3

, 3

1. 가 ,
, 29% . 2
(42%) .

2. 가 .

3. 가 가 가

4. 가 , , 가 (a x b = 49.6
mm²). 가

5. 가 .

1. Burstone CJ. 1989 "The biophysics of bone remodeling during orthodontics-optimal force consideration" In: Biology of tooth movement CRC Press p321-33.
2. _____. 1985 "Application of bioengineering to clinical orthodontics". In: Graber TM, Swain BF, eds. Orthodontics, current principles and techniques. St. Lois: CV Mosby, p194-227.
3. Burstone CJ, Every TW, and Pryputniewicz RJ. 1982 "Holographic measurement of incisor extrusion". Am J Orthod 82:1-9.
4. Burstone CJ, Steenbergen EV, and Hanley K. 1995 "Modern edgewise mechanics & the segmented arch technique". Ormco Co.
5. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ. 1980 "Holographic determination of center of rotation produced by orthodontic forces". Am J Orthod 77:396-409.
6. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ, and Bowley WW. 1978 "Holographic measurement of tooth mobility in three-dimensions". J Periodont Res 13:283-94.
7. Choy KC, Pae EK, Park YC, Kim KH, Burstone CJ. 2000 "Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament". Am J Orthod Dentofac Orthop 116:98-105.
8. Christiansen RL, Burstone CJ. 1969 "Centers of rotation within the periodontal space". Am J Orthod 55:353-696.
9. Coolidge ED. 1937 "The thickness of the Human periodontal membrane". Jour A.D.A & Cos, 24:1260-70.
10. Dermaut L, Kleutghen J, Clerck H. 1986 "Experimental determination of the center of resistance of the upper first molar in a macerated, dry human skull submitted to horizontal headgear traction". Am J Orthod Dentofac Orthop 90:29-36.

11. Geramy A. 2000 "Alveolar bone resorption and the center of resistance modification". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 117:399-405.
12. Ingle J. 1976 *Endodontics*, 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger.
13. Nägerl H, Burstone CJ, Becher B, and Messenburg DK. 1991 "Center of rotation with transverse forces: An experimental study". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 99:337-45.
14. Nikolai RJ. 1974 "Periodontal ligament reaction and displacements of a maxillary central incisor loading". *J Biomech* 7:93-9.
15. _____. 1975 "On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction". *Am J Orthod* 68:290-302.
16. Smith R, Burstone CJ. 1984 "Mechanics of tooth movement". *Am J Orthod* 85:294-99.
17. Soenen PL, Dermaut LR, Verbeeck RMH. 1999 "Initial tooth displacement in vivo as a predictor of long-term displacement". *Euro J Orthod* 21:405-11.
18. Steyn CL, Verwoerd WS, Merwe EJ, and Fourie OL. 1978 "Calculation of the position of the axis of rotation when single rooted teeth are orthodontically tipped". *Br J Orthod* 5:153-156.
19. Syngé JL. 1933 "The tightness of teeth, considered as a problem concerning the equilibrium of a thin incompressible elastic membrane". *Phil. Trans. R. Soc. Lond., Series A* 231, 435-70.
20. Tanne K, Koenig HA, and Burstone CJ. 1988 "Moment to force ratios and the center of rotation". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 94:426-31.
21. Tanne K, Nagataki T, Inoue Y, Sakuda M, and Burstone CJ. 1991 "Patterns of initial tooth displacements associated with various root length and alveolar bone height". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 100:66-71.

22. Vanden Bulcke MM, Dermaut LR, Sachdeva RC, Burstone CJ. 1986 "The center of resistance of anterior teeth during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 90:211-19.
23. Vanden Bulcke MM, Burstone CJ, Sachdeva RC, Dermaut LR. 1987 "Location of the center of resistance for anterior teeth during retraction using the laser reflection technique". *Am J Orthod Dentofac Orthop* 91:375-84.
24. Wheeler RC. 1974 *Dental anatomy, physiology and occlusion*, 5th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
25. Yettram AL, Wright KWJ, and Houston WJB. 1977 "Center of rotation of a maxillary central incisor under orthodontic loading". *Br J Orthod* 4:23-7.

Abstract

An experimental study on the stress distribution in the periodontal ligament

Jung-Yun Han D.D.S.

Department of Dentistry, The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Assistant professor Kwangchul Choy, D.D.S., M.S.D., Ph D.)

In order to achieve a desirable tooth movement, it is of great importance to control the M/F ratio and to know the location of the center of resistance.

The purpose of this study was to locate the center of resistance and the axis of rotation, and to estimate the stress distribution in the periodontal ligament with experimental model.

After preparing a model of an upper canine with a simulated periodontal ligament and alveolar bone, the force and moment were applied. The tooth movement was traced using measuring device with LVDTs(Linear variable differential transformers) that can measure three dimensional tooth movement in real time. The results were as follows.

1. The location of center of resistance by transverse force was 29% of root length measured from alveolar crest to apex regardless of force magnitude. The position of the center of resistance is more coronal than that of two-dimensional model(42%).

2. The center of resistance and the axis of rotation coincide when couple moment was applied.
3. As the magnitude of moment increases, tooth tends to extrude irrespective of the direction of the moment.
4. The relationship between location of force and axis of rotation ($a \times b = 49.6\text{mm}^2$) was obtained. A tooth movement can be predicted through this formula.
5. The centers of rotation by transverse force were plotted linearly.

Key words : periodontal ligament, stress distribution, center of resistance, axis of rotation