

교정환자의 교정치료 후 상·하악 전치의 치근흡수에 관한 연구

심연수[†] · 김아현¹ · 안소연¹

신흥대학 치위생과, ¹원광대학교 치과대학 산본치과병원 소아치과

A Study of Root Resorption in Upper and Lower Incisor in Patients following Orthodontic Treatment

Youn-Soo Shim[†], Ah-Hyeon Kim¹ and So-Youn An¹

Department of Dental Hygiene, Shin-heung college, Uijeongbu-City 480-701, Korea

¹Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University, Sanbon hospital, Gunpo-City 435-040, Korea

Abstract Objectives One aspect of undesirable outcomes in orthodontic treatment includes excessive resorption of dental roots with mechanotherapy. The purpose of this study was to examine the relationship between treatment duration, adult and adolescent, gender, extraction and non-extraction root resorption after orthodontic treatment. **Methods** The subjects consisted of 140 orthodontic patients(adult : 70, adolescent : 70) who treated by standard edgewise technique at the three orthodontic hospital and clinic in seoul. Pre-treatment and post-treatment periapical radiographs were examined. The amount of root resorption was assessed for six anterior teeth according to criteria modified from Lupi et al root resorption score. **Results** Treatment duration was 24.7 months in the adult group and 33.5 months in the adolescents group. Between adult and adolescents group were significantly difference of mean of root resorption score($p<0.05$). Female group and extraction group usually had higher prevalence of root resorption, but were not significant differences between the each groups($p>0.05$). **Conclusions** When viewing these results, a lot of root resorption in adult patients appears, especially the maxillary central incisor, lateral incisor root resorption during orthodontic treatment occurs, so be careful and do more research to be done is suggested.

Key words Root resorption, Orthodontic treatment

서 론

치근 흡수는 교정치료와 관련하여 발생할 수 있는 가장 흔한 부작용중의 하나이다. 이러 한 치근 흡수는 일단 발생되면 다시 재생되지 않는 비가역적인 현상이며, 개인에 따라 다양하고, 또한 예측이 불가능하기 때문에 중요한 문제로 인식되고 있다¹⁾. 1856년 Bates²⁾가 영구치의 치근 흡수에 대해 최초로 언급한 이래, Ottolengui³⁾가 교정치료와 관련된 치근단 흡수에 대해 최초로 연구 보고를 하였으나 교정의들의 관심을 받지 못하였다. 그러나 1927년 Ketcham⁴⁾이 방사선 검사에서 교정치료에 의한 임상적 문제점으로 치근 흡수가 유발 될 수 있다고 보고되면서 관심의 대상이 되어 왔다. 방사선학적으로 치근흡수는 Ketcham⁴⁾, Massler⁵⁾, Rudolph⁶⁾, 그리고 Newman 등⁷⁾에

의해 보고되었다. 치근흡수는 치아에 가해지는 힘, 치근, 지지골, 세포, 주위기질, 그리고 수종의 생물학적인 전령 등을 포함하는 다양한 요소들의 복합에 의한 무균성 염증 질환이다. 교정치료 중에 발생하는 대부분의 치근흡수는 초자양 조직이 치주인대에 생기고, 초자양 조직의 후면에서 간접흡수가 진행되는 동안 치근면 또는 치근단에 과도한 교정력이 지속되면 초자양 조직의 경제부에서 치근흡수가 유발된다⁸⁾. 외상, 수술, 치근단 부위의 감염성 병소, 매복치 및 종양이 압박, 치주질환과 같은 요인에 의해서도 치근 흡수 또는 치근의 짧아짐을 일으키는 원인이 될 수 있다.

교정력에 의한 치근흡수에 관한 많은 연구와 임상 보고들이 이루어지면서 치근흡수에 영향을 미칠 수 있는 요인들에 관해 논의 되어 왔다⁹⁾. 치근흡수를 유발시키는 전신적 요인으로서 영양상태¹⁰⁾, 갑상선기능저하¹¹⁾, 내분비 장애와 유전적 요인¹²⁾ 등이 있으며, 교정치료의 적용기간¹³⁾, 치조골의 치밀도, 적용된 힘의 크기, 치근 형태¹⁴⁾, 피질골로의 치아이동¹⁵⁾ 등과 같은 국소적 요인이 직접적으로 치

[†]Corresponding author
Tel: 010-3404-2171
Fax: 031-870-3489
E-mail: shim-21@hanmail.net

근흡수의 원인으로 작용한다고 하였다. 반면에 다른 연구자들은 이들 간에 연관성이 없다고 보고 하였다^{5,16)}. 또한 Owmens-Moll¹⁷⁾은 치아의 해부학적 형태와 교정치료의 역학적 측면에 관련된 요인들로는 생물학적 동태에 근거한 치근흡수의 원인을 설명하기 부족하며 치근흡수의 병발 가능성 여부 예측에 대한 상관성이 희박하다고 하였다.

소아청소년 및 성인의 교정치료 후의 치근흡수에 관한 연구를 보면, 치근의 상태를 파악할 수 있는 진단 방법에는 치료 전과 후에 촬영된 파노라마 방사선 사진 또는 치근단 방사선 사진을 이용하여 치근 흡수를 정량화된 길이 계측치로 평가하기보다는 흡수의 심도에 따른 흡수도(resorption score)로 평가한다. 대개의 방사선 사진은 방사선 촬영기계 및 촬영 시 환자의 위치 등에 따라 상의 확대가 나타나는데 파노라마 방사선 사진은 약 20% 정도에서 치근단 방사선 사진은 5% 정도 이하에서 상의 확대를 보인다고 하였다. 치근단 방사선사진을 이용한 촬영은 최소한의 방사선 노출로 치근 상의 왜곡이나 겹침 없이 파노라마나 측두 방사선 사진보다는 더 정확한 영상을 제공한다고 하였다¹⁸⁾.

여러 연구에 의하면 나이, 성별, 치아 이동양, 치료기간에 따른 치근흡수의 양상에 대한 연구 결과는 매우 다양하게 제시하고 있다. 국내에서는 90년대에 행해진 논문으로 대상을 사춘기의 연령을 가진 사람으로 한정하는 경우였으며, 몇몇의 제한된 연구가 있는 전부이다.

이에 본 연구에서는 최근 교정치료 후 치근흡수의 경향을 평가하기 위하여 교정치료 기간, 성인과 청소년, 성별, 발치와 비발치 등으로 분류하여 비교하고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구 대상

서울 경기 소재의 3개 교정 전문 치과 병원에서 2005년부터 2010년에 고정성 교정치료를 받은 502명 환자의 치료 전 문진기록, 치근단 방사선 사진, 진단용 석고모형, 진단기록, 치료계획 및 치료경과의 기록으로 140명을 선별하였다. 다음과 같은 경우를 포함한 대상이나 치아는 연구대상에서 배제하였다. 전신질환이 있는 환자, 치아의 외상 병력, 근관치료가 시행된 경우, 교정 치료 전 치근흡수 병력이 있는 경우, 교정치료 전이나 치료기간 중에 중등도 이상의 치아우식증 치료를 받은 경우, 방사선 사진의 상변형이 있거나 선예도가 불량한 경우, 그리고 제1소구치 이외의 치아 발거 또는 편측 발거 후 교정치료를 시행한 경우를 제외하였다. 치료 시작 나이가 20세 이상인 경우 성인군으로, 미만은 청소년 군으로 분류하였으며, 140명 중 4개의 제1소구치를 발거하고 교정치료 한 경우 발치군으로, 치아의 발치 없이 교정치료 한 경우 비발치군으로 분류하였다(Table 1).

Table 1. Distribution of the sample

	Sex	Number	Extraction	Non Extraction
Adult	Male	35	18	17
	Female	35	20	15
	Total	70	38	32
Adolescent	Male	35	18	17
	Female	35	21	14
	Total	70	39	31
Total		140	77	63

Table 2. Resorption score

Score	Description
0	No apical root resorption
1	Slight blunting of the root apex
2	Moderate resorption of the root apex beyond blunting and up to one third of the root length
3	Excessive resorption of the apex beyond one third of the root length

Table 3. Means of treatment duration

	N	Mean ± SD(months)	p
Adult	70	24.7 ± 3.7	<0.05
Adolescent	70	33.5 ± 6.2	

2. 연구 방법

교정치료 6개월 전과 교정치료 완료 후 6개월 이내에 촬영된 치근단 방사선 사진에서 상하악 6전치의 치근흡수를 치아별로 평가하였다. 치근단 방사선 사진은 동일한 제품의 촬영기로 촬영한 사진을 이용하였다. 치근흡수 정도를 Lupi 등⁹⁾이 제시한 점수법(resorption score) 평가 기준(Table 2)을 이용하여 각기 다른 3명의 평가자가 치근흡수도를 평가한 후 평균치를 산출하였다.

3. 자료분석

교정치료 기간, 성인과 청소년, 성별, 발치군과 비발치군에 관한 통계적 평가를 위하여 Student's t-test와 교차분석을 실시하였다. 통계적 유의수준은 p<0.05에서 결정하였으며, 통계처리는 SPSS WIN 12.0 프로그램으로 분석하였다.

결 과

1. 성인과 청소년 환자의 교정치료 기간

성인과 청소년 환자의 교정치료 기간은 Table 2와 같다. 성인군은 24.7개월이고 청소년군은 33.5개월 성인군과 청소년군 간에는 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

2. 성인과 청소년 환자의 치근 흡수도

성인과 청소년 환자에 있어서 개개 치아에 대한 점수

Table 4. Means of resorption score in adult and adolescent

Teeth		Adult	Adolescent	p
Maxilla	Central incisor	0.77±0.54	0.49±0.63	<0.05
	Lateral incisor	0.98±0.58	0.64±0.41	<0.05
	Canine	0.55±0.43	0.46±0.29	<0.05
Mandible	Central incisor	0.36±0.57	0.26±0.53	<0.05
	Lateral incisor	0.37±0.63	0.28±0.59	<0.05
	Canine	0.32±0.38	0.23±0.35	<0.05

Table 5. Means of resorption score in male and female(sex)

Teeth	Group	Score (Mean±SD)	p	
Maxilla	Central incisor	Male	0.69±0.49	<0.05
		Female	0.75±0.44	
	Lateral incisor	Male	0.61±0.57	<0.05
		Female	0.69±0.62	
	Canine	Male	0.24±0.30	>0.05
		Female	0.25±0.28	
Mandible	Central incisor	Male	0.52±0.52	>0.05
		Female	0.56±0.34	
	Lateral incisor	Male	0.50±0.38	>0.05
		Female	0.53±0.42	
	Canine	Male	0.31±0.55	>0.05
		Female	0.35±0.46	

분포를 보면, 상악악 피검치 모두 성인에서 치근흡수 빈도가 높았다. 특히 상악 중절치와 측절치가 각각 0.77±0.54, 0.98±0.58로 나타났다. 성인과 청소년 환자 모두에서 상악이 하악 보다 치근흡수도가 더 높았다(Table 4).

3. 성별에 따른 치근 흡수도

남녀의 치근 흡수도를 비교한 결과 전체적으로 여자에서 남자보다 치근흡수도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

4. 발치 환자와 비 발치 환자의 치근 흡수도

발치-비발치 환자에 있어서 점수 분포를 보면 발치 환자의 모든 피검치에서 더 높은 치근 흡수도를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p>0.05). 특히 상악 중절치와 측절치에서는 발치군이 비발치군에 비해 높은 치근 흡수도를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(<0.05).

고 찰

치근 흡수에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하지만 생물학적 요인이라고 할 수 있는 환자와 관련된 요인과 교정치료와 관련된 다요소적인 문제이다. 교정적 치아 이동은 파골세포의 활동에 의해 치아들이 악골에서 재위치됨

Table 6. Means of resorption score in extraction and non-extraction

Teeth	Group	Score (Mean±SD)	p	
Maxilla	Central incisor	Extraction	0.77±0.34	<0.05
		Non-Extraction	0.61±0.24	
	Lateral incisor	Extraction	0.94±0.43	>0.05
		Non-Extraction	0.75±0.21	
Canine	Extraction	0.32±0.53	>0.05	
	Non-Extraction	0.26±0.36		
Mandible	Central incisor	Extraction	0.68±0.41	>0.05
		Non-Extraction	0.60±0.37	
	Lateral incisor	Extraction	0.58±0.58	>0.05
		Non-Extraction	0.51±0.50	
	Canine	Extraction	0.29±0.39	>0.05
		Non-Extraction	0.25±0.47	

으로써 이루어진다. 치아에 과도한 교정력이 가해지면 인접 치조골에서는 물론 백악질에서도 표면 흡수가 유발되지만, 교정력이 중단되는 휴지기 동안에 정도의 차이는 있으나 백악질 재생에 의한 치유가 일어난다. 이와 같은 치근면의 흡수와 재생은 치아가 이동되는 동안 계속되는데, 이러한 치유과정이 이루어지지 않으면 치근의 영구적 손상인 치근흡수가 발생된다¹⁹⁾.

이 연구는 치근흡수의 경향을 평가하기 위하여 교정치료 기간, 성인과 청소년, 성별, 발치와 비발치 등을 비교하였다. 교정치료의 기간에 따른 치근흡수에 대해 많은 연구에서 치료기간이 길수록 치근흡수의 빈도가 높다고 하였다^{19,20)}. Segal 등²¹⁾의 메타분석(meta analysis) 연구에서는 평균 교정치료기간은 22개월이라고 하였으며, 치근흡수에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 치근단이 이동한 거리와 치료기간이라고 하였다. Rudolph⁶⁾는 교정치료를 1년, 2년, 3년, 그리고 7년간 시행했을 때 40%, 70%, 70%, 100%의 치근흡수를 보였다고 하였다. 본 연구에서는 성인은 24.7개월이고 청소년은 33.5개월로 Segal 등²¹⁾의 분석연구에서 보고한 기간보다 다소 길어 차이를 보였다. 나이에 따른 영향에 대해 Massler⁵⁾, McFadden 등¹³⁾은 청소년과 성인 간에 차이가 없다고 하였다. 본 연구에서는 모든 피검치에 대해 성인이 청소년보다 치근흡수가 다소 높았고 이는 Linge 등²²⁾의 연구 결과와 일치하였다. Linge 등²²⁾은 연구에서 치근흡수에 연관된 모든 조직들은 나이가 들에 따라 변하는데 치주인대는 혈관이 줄어들고, 재생능력이 떨어지고, 좁아지게 되며, 치조골은 더 밀집되고, 백악질은 두꺼워지는데 이러한 변화는 성인에 있어서 치근흡수에 대한 감수성이 높아지도록 한다고 하였다. 발치와 비발치의 치근흡수에 대한 연구에서 McFadden 등¹³⁾, Hendrix²³⁾은 발치와 비발치 간에 치근흡수에 차이를 보이지 않는다고 하였다. 국내의 최²⁴⁾의 논문에서도 발치군과 비발치군 모두에서 남녀 간의 성차 및 각 치아에 따른 치근

흡수도에 유의한 차이가 없다고 하였다. 반면에 Sameshima 등²⁵⁾과, McNab 등²⁶⁾은 4개의 소구치를 발치한 경우 비발치 경우보다 치근흡수가 더 많이 일어났다고 하였다. 본 연구에서도 발치와 비발치에서 치근흡수의 유의한 차이를 보이지 않았으나 각 각의 점수를 보면, 발치에서 상악 중절치와 측절치의 치근흡수 점수가 다소 높게 나타났다. 이는 치근의 이동거리와 치근흡수 간에 직접적인 관련성이 있다고 한 Phillips²⁷⁾의 연구에서와 같이 발치 환자에서 치근 이동량과 치료기간이 비발치 환자보다 다소 크기 때문인 것으로 사료된다. Glenn 등¹⁸⁾은 치근 흡수의 심각한 정도에 따라 잘 이환되는 치아는 상악 측절치, 상악 중절치, 하악 절치, 하악 제1대구치의 원심 치근, 하악 제2소구치, 상악 제소구치 순으로 보고하였다. Kaley²⁸⁾ 등의 연구에서는 상악 절치의 치근 흡수 가능성이 설면판 근접(lingual plate approximation)시 20배, 상악 수술시 8배, torque시 4.5배, 발치 시 3.5배, 하악 수술시 3.6배나 증가한다고 하였고, Class 증례에서는 상악 전치가 전방 경사되어 있어 치료 중 치근단이 구개 피질골에 접촉될 가능성이 높기 때문에 치근 흡수가 많이 일어난다고 하였다. 치근 흡수의 정도에 따른 남녀 간의 성차이가 있는가에 관한 연구에서 Shafer 등²⁹⁾, DeShields 등³⁰⁾은 교정치료시에 발생하는 치근흡수가 여성에서 높게 나타나는 경향이 있으나 유의한 차이는 없다고 하였다. 하지만 Rudolph⁶⁾, Newman⁷⁾은 여자에서 치근 흡수가 더 많이 발생되며 3.7배 많이 나타난다고 하였다. Dougherty³¹⁾는 남자에서 치근흡수가 덜 일어나는 이유는 같은 연령의 여자에 비하여 치근의 성숙도가 낮고 교정력의 외상성 효과에 덜 민감하기 때문이라고 하였다. 본 연구에서는 전체적으로 여자에서 모든 치아의 치근흡수도가 높은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 미국 남가주대학(USC)에서 기존의 연구방법과 표본 수를 보완하여, 교정치료 과정 중 발생 가능한 치근흡수 유발 인자를 객관적으로 인정할 수 있는 결과를 제시하였다²⁵⁾. 이 연구 결과에서는 상악 전치부, 특히 측절치에서 가장 많은 양의 치근 흡수가 보이고, 남녀 성별 간에 있어서 유의한 차이가 없었으며, 상악 전치의 후방 이동량이 많을수록, 비발치 치료에서 보다는 발치 치료에서, 치료기간이 길수록, blunted한 치근 형태에서 보다는 pointed한 형태에서, 하악보다는 상악에서, 그리고 백인이 아시안 보다 치근흡수가 더 많이 나타났다고 하였다.

치근 흡수 후 해부학적 회복으로 치근면이 원래의 형태로 회복되고, 기능적 회복으로 노출된 상아질이 얇은 회복 백악질로 피복되어 치근 외형이 변한다고 하였다³²⁾. 회복 시간은 Harry 등³³⁾은 70일, Stenvik 등³⁴⁾과 Reitan³⁵⁾은 30~40일 정도 지나서 회복된다고 보고하면서 치근흡수가 교정치료 후 치아의 기능 및 안정성에 큰 영향이 없다고 하였으나, Sharpe 등은 재발증례에서 치근흡수가 많다고 하였다³⁶⁾. Rydh⁸⁾은 치근흡수와 연관성이 있는 것으로

로 나타난 주요 전신질환은 천식과 알레르기이며, 다양한 심리적 특징과 협조도 또한 과도한 치근 흡수와 관계가 있다고 하였다. 심 등³⁷⁾의 연구에서도 고도의 심리적 스트레스 상태에 있거나 천식과 알레르기를 가진 경우 또는 면역체계에 부정적 영향을 미칠 수 있는 전신질환자에서 교정치료와 관련된 치근 흡수의 가능성이 높다고 하였다. 치과 치료는 환자에게 심리적인 스트레스, 공포, 걱정을 유발시킬 수 있다. 교정치료 역시 과거의 치과 치료 경험이나 통증을 연상하기 때문에 그러한 감정들을 유발시킬 수 있다. 대부분의 교정 병원에서 편안한 진료환경을 제공하지만 일부 환자들은 교정력이 가해질 때 특히 통증이 관련되면 스트레스를 받으므로 주의 깊게 관찰하며, 간헐적이고 약한 힘을 사용하고 주기적으로 방사선 검사를 하는 것이 필요하다고 사료된다. 본 연구 결과를 토대로 교정치료의 치근흡수에 대한 많은 편견을 실험 결과로 일정 부분 알 수 있으며, 대상자 별 적절한 치료계획을 세울 수 있는 참고 자료로 사용될 수 있으리라 생각한다. 본 연구에서는 치근 흡수도를 평가한 검사자들의 주관적인 판단이 있을 수 있으며, 흡수량의 정량적 측정이 힘들다는 한계가 있어 향후 보다 더 객관적인 측정 방법으로 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

이에 본 연구에서는 치근흡수의 경향을 평가하기 위하여 교정치료 기간, 성인과 청소년, 성별, 발치와 비발치 등으로 분류 하였으며, 서울 경기 소재의 3개 교정 전문 치과 병원에서 140명을 교정치료 6개월 전과 교정치료 완료 후 6개월 이내에 촬영된 치근단 방사선 사진에서 상·하악 6전치의 치근흡수를 치아별로 평가 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교정치료 기간에서 성인군은 24.7개월이고 청소년군은 33.5개월로 성인군과 청소년군 간에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).
2. 성인 환자는 청소년 환자에 비해 치근 흡수도에 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).
3. 여자 환자에서 전반적으로 높은 치근 흡수도를 보였으나 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).
4. 발치가 비발치 환자보다 높은 치근 흡수도를 보였으나 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).
5. 상악 중절치와 측절치에서는 발치군이 비발치군에 비해 통계적으로 높은 치근 흡수도가 나타났다(< 0.05).

이상의 결과로 볼 때, 성인 환자에서 치근 흡수가 많이 나타나고, 특히 상악 중절치, 측절치에서 치근흡수가 나타나므로 교정 치료시 주의가 필요하며 더 많은 연구가 이뤄져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Linge BO, Linge L: Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthop* 5: 173-183, 1983.
2. Bates S: Absorption. *Br J Dent Sci* (1): 256, 1856.
3. Ottolengui R: The physiological and pathological resorption of roots. *Item of Interest* 36: 332-362, 1914.
4. Ketcham AH: A preliminary report on an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *Int J Orthod* 13: 97-127, 1927.
5. Massler M, Malone AJ: Root resorption in human permanent teeth. *AM J Orthod* 40: 19-633, 1954.
6. Rudolph CE: An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment, *J Dent Res* 61: 367-371, 1940.
7. Newman WG: Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod* 67(5): 522-539, 1975.
8. Rygh P: Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthod* 47(1): 1-16, 1997.
9. Lupi JE, Handelman CS, Sadowsky C: Prevalence and severity of apical root resorption and alveolar bone loss in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109(1): 28-37, 1996.
10. Marshall JA: The classification, etiology, diagnosis and treatment of radicular resorption of teeth. *Int J Orthod* 20: 731-749, 1934.
11. Becks H: Orthodontic prognosis. *Am J Orthod* 25:610-624, 1939.
12. Newman WG: Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod* 67: 522-539, 1975.
13. McFadden WM et al.: A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 96: 390-396, 1989.
14. Kjaer I: Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 17: 25-34, 1995.
15. Wherbein H, Fuhrmann RAW, Diedrich PR: Human histologic tissue response after long-term orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107: 360-371, 1995.
16. McFadden WM et al.: A study of the relationship between incisor intrusion and root shortening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96(5): 390-396, 1989.
17. Owmen-Moll P: Orthodontic tooth movement and root resorption with special reference to force magnitude and duration, *Swed Dent J Suppl* 105: 6-14, 1995.
18. Glenn T, Sameshima GT: Assessment of root resorption and root shape : periapical vs panoramic films. *Angle Orthod* 71: 185-189, 2001.
19. Graber TM, Swain BF: Orthodontics current concepts and techniques. C V Mosby Company, St. Louis, pp. 101-192, 1985.
20. Zachrisson BU: Cause and prevention of injuries to teeth and supporting structures during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 69(3): 285-300, 1976.
21. Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC: Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res* 7(2): 71-78, 2004.
22. Linge L, Linge BO: Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 99(1): 35-43, 1991.
23. Hendrix I et al.: A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 105: 345-349, 1994.
24. Choi HJ. : A study of root resorption during orthodontic treatment. Unpublished doctoral dissertation, Kyung Hee University, Seoul, 2008.
25. Sameshima GT, Asgarifar KO: Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthod* 71(3): 135-139, 2001.
26. McNab S et al.: External apical root resorption in healthy patients following orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 70: 227-232, 2000.
27. Phillips JR: Apical root resorption under orthodontic therapy. *Angle Orthod* 25: 1-22, 1955.
28. Kaley J, Phillips C: Factors related to root resorption in edgewise practice. *Angle Orthod* 61(2): 125-132, 1991.
29. Shafer WG, Hine MK, Levi BM: A textbook of oral pathology. 4th ed. Philadelphia, WB Saunders, pp. 328-332, 1983.
30. DeShields RW: A study of root resorption in treated Class II, Division I malocclusions. *Angle Orthod* 39(4): 231-245, 1969.
31. Dougherty HL: The effect of mechanical forces upon the mandibular buccal segments during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 54(1): 29-49, 1968.
32. Henry JR, Weinmann JP: Pattern of resorption and repair of human cementum. *J Am Dent Assoc* 42: 270-290, 1951.
33. Harry MR, Sims MR: Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. *Angle Orthod* 52(3): 235-258, 1982.
34. Stenvik A, Mjor IA: Pulp and dentin reactions to experimental tooth intrusion. *Am J Orthod* 57: 370-385, 1970.
35. Reitan K: Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod* 44(1): 68-82, 1974.
36. Sharpe W et al.: Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91(3): 252-258, 1987.
37. Shim YS, Davidovitch Z: Relationship between orthodontic root resorption and asthma, allergy, and psychological stress. *J Dent Hyg Sci* 3(1): 33-38, 2003.

(Received April 12, 2011; Revised June 9, 2011;
Accepted June 15, 2011)

