

쥐의 교정적 치아이동에 있어서 발치와의 의도적 드릴링에 의한 조직학적 효과

서규석¹, 안혜선², 김지혜², 이 원^{1,2}

¹가톨릭대학교 임상치과대학원 구강악안면외과,

²가톨릭대학교 의정부성모병원 치과

ABSTRACT

Histologic Effects of Intentional Drilling on Extraction Socket in Orthodontic Movements in Rats

Kyu seok Suh¹, Hye sun An², Gee Hae Kim², Won Lee^{1,2}

¹Oral and Maxillofacial Surgery, Graduate School of Clinical Dental Science,
The Catholic University of Korea

²Department of Dentistry, Uijeongbu St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea

The application of surgical method in orthodontic tooth movement is known to accelerate tooth movement by inducing Regional acceleratory phenomenon (RAP) that activates the remodeling of periodontal tissue on damaged site. The aim of this study is to histologically evaluate the effect of the elimination of periodontal ligament (PDL) by drilling the extraction socket on osteoclastic activity during orthodontic tooth movement in rats. Twenty-four Sprague-Dawley rats with an average weight of 400 g were used in this study. Both of the first molar were extracted, then the socket was drilled in experimental group. A traction force (100 g) was applied to the second molar with coiled spring. After the sacrifice on 3rd, 7th, 10th, and 14th day, H&E staining and Tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP) staining were performed. The bone resorption at compression side in experimental group was observed earlier and continued longer than that of control group. Osteoclast count and the results of immunohistochemical analysis suggested elevated bone remodeling activity in both groups, especially in experimental group. Thus, intentional drilling on extraction socket to eliminate PDL is considered effective in rapid orthodontic treatment.

Key words : Regional acceleratory phenomenon (RAP), Intentional drilling, Osteoclastic activity, Tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP)

서 론

현대사회에서 기능적 심미적인 요구도가 높아짐에 따

라 교정치료가 대중화되면서, 교정치료의 주요한 단점 중 하나인 장기적인 치료기간을 단축시키기 위한 노력이 이어져 왔다.

최근 효율적인 치아이동을 위한 여러 방법 중 수술적 방법이 많이 쓰여지고 있으며, 이 경우 수술 후 불편감이나 후유증을 줄이기 위한 여러 가지 방법이 제시되어 왔다.

골절단술¹ 및 골신장술²을 통한 치아이동은 감각이상

Correspondence : Won Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
Dental Clinic, Uijeongbu St. Mary's Hospital, Cheonbo-ro 271, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do 11765, Republic of Korea
Tel: +82-31-820-3574, fax: +82-31-847-2894
E-mail: cmfs21@catholic.ac.kr
Received: January 17, 2019; Revised: January 30, 2019; Accepted: January 30, 2019

과 치조골 괴사 및 흡수, 치근손상 등의 단점이 있기 때문에 이를 줄이는 방법으로 피질골 절단술에 대한 연구가 이루어지고 있다^{3,5}.

Köle⁶⁻⁸는 피질골절단술(corticotomy)를 통해 피질골의 연속성이 상실되어 치아이동이 촉진되기 때문에 빠른 교정치료가 가능하다고 하였다. 그러나 Frost^{9,11}는 치아이동을 촉진시키는 것이 피질골의 연속성 상실 때문이 아니라, 골에서의 유해한 자극이 골개조율(bone remodeling rate)을 증가시키기 때문이라고 하였다. 이러한 개념이 국소적 치유 촉진현상인 Regional acceleratory phenomenon(RAP)이다.

Wilcko¹² 등은 라운드 버를 이용하여 협설측의 치조골에 피질박리를 시행하면 치아이동이 빠르게 일어나며, 골조직의 외상에 의한 RAP로 인해 치아이동이 촉진된다는 결과를 보고하였고, Sebaoun¹³ 등은 선택적인 alveolar decortication이 치조골의 국소적 turnover를 증가시켜 치아이동을 빠르게 한다고 하였다.

한편 Ren¹⁴ 등은 발치와에 인접한 골의 interseptal osteotomy를 통해 더 빠른 치아이동이 가능하다고 하였고, Yu¹⁵ 등은 인접한 치조골의 intentional socket 형성만으로도 치아가 더 빠르게 이동한다는 것을 조직학적 분석을 통해 입증하였다.

치아에 교정력을 가하면 압박측에서는 치주인대에 있는 progenitor cell이 파골세포로 분화하여 인접한 치조골 표면에 작용하여 골 흡수를 일으키거나, 초자양화(hyalinization)가 일어나면서 압박부위 치조골 골수강 내에서 골 흡수가 일어난다고 알려져 있다.

Herr¹⁶ 등은 골 결손부에서 초기 골 형성에 관여하는 세포들이 인접한 치주인대에서 기원한다고 하였다. 한편 치주인대가 제거된 발치와에서는 인접한 골에서부터 골 형성세포가 이주하기 때문에 발치와의 치유양상이 달라진다. 이러한 차이로 인해 교정력이 가해지는 치아와 인접해있는 발치와의 치주인대의 유무에 따라 압박부위의 치조골 반응에도 변화를 주게 되어 치아이동에도 영향을 미칠 것으로 생각할 수 있다.

따라서 이 연구는 교정력이 가해지는 치아와 인접해있는 발치와에 의도적 드릴링을 하여 치주인대를 없앤 경우 기존의 발치와와는 다른 파골세포 활성의 변화가 있을 것으로 여겨지며 파골세포의 변화를 확인하고 조직학적인 분석을 통해 차이를 알아보려고 한다.

재료 및 방법

1. 실험동물 수술

평균체중 400g의 백서 24마리를 사용하였으며, 가톨릭대학교 의정부 성모병원 임상연구소의 동물실험 윤리위원회의 승인을 받고, 동물실험실 규정에 의하여 동일한 조건 아래서 사육되었다. 실험동물은 두 마리씩 자유롭게 물과 먹이를 먹을 수 있는 개별 우리에 수용되었다.

전신마취는 Zolazepam 15 mg/kg, Tiletamine 15 mg/kg (Zoletil50, Vibac Laboratories, Garros, France)와 Xylazine 5 mg/kg (Xylazine 20 Inj., KEPRO B.V., Denventer, Netherlands)의 혼합물을 복강 내에 주사하는 방법으로 하였다.

각각의 백서의 양측 제1대구치를 발거한 후, 한쪽은



Figure 1. Drilled extraction socket (experimental group).



Figure 2. extraction socket (control group).

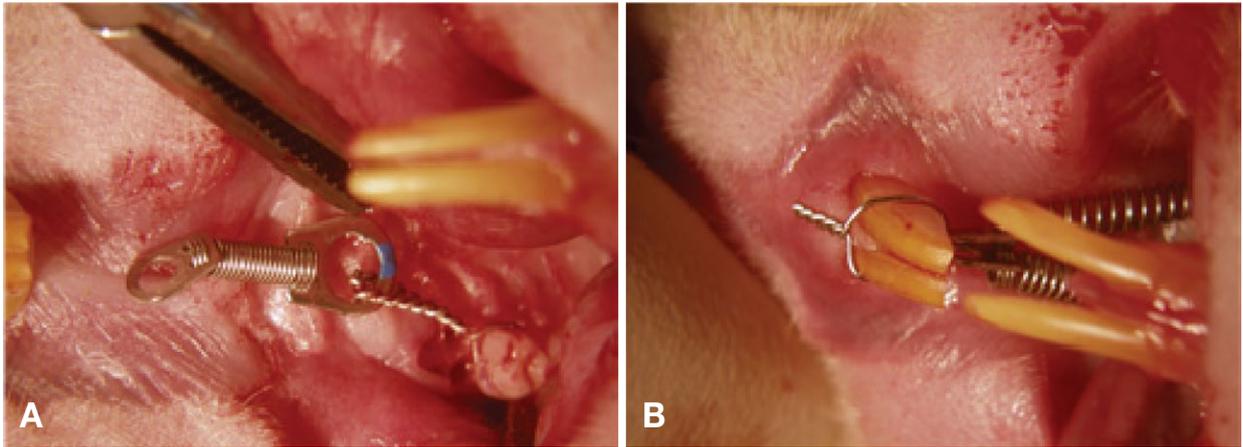


Figure 3. Closed coil spring is tied to the second molar with a ligature wire around cemento- enamel junction (A), and the other end is wired at the undercut of incisor (B).

surgical handpiece를 사용하여 생리식염수 주수 하에 직경 2mm 라운드 버로 발치와 내부를 골삭제 하였다(실험군). 대조군인 반대측은 발치와 그대로 보존하였다(Figs 1, 2).

교정력을 가하기 위해 양측 제2대구치의 치경부에 wire를 감아 고정시키고, 절치부에선 wire 탈락을 방지하기 위해 치경부에 fissure bur를 이용하여 notch를 형성한 후 절치부와 제2대구치의 wire에 100g의 힘이 가해지도록 closed coiled spring으로 연결하였다(Fig 3).

동물들은 3일간 Gentamicin (국제약품공업주식회사, 서울, 한국) 4 mg/kg과 ketoprofen (부광약품, 서울, 한국) 1 mg/kg을 근주하였다. 희생은 3일, 7일, 10일, 14일에 6마리씩 CO₂ bath에 약 2분 정도 방치하여 안락사시켰다.

2. 조직 표본 제작

채취한 치조골 골편으로 조직표본을 제작하였다. 제2대구치와 전방 무치악 부위를 포함한 골을 채취한 뒤 바로 4% paraformaldehyde에 고정하였다. 48시간 고정 후 15% EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid)에 담가 Shaker (Compact Rocket, FINEPCR, Gunpo, Korea) 위에서 30일 이상 탈회시켰다. 탈회된 조직들은 파라핀 포매 후 치근의 치관측(coronal)과 중앙(middle) 1/3 부위를 교합평면에 평행하게 4µm 두께로 절단하였다.

각각의 절편들은 Hematoxylin and Eosin (H&E) 염색 후 광학현미경 (IX71 Inverted Microscope, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

3. TRAP staining

파골세포를 확인하기 위해 TRAP staining을 하였다. 절편들은 기질로서 naphthol AS-BI phosphate 4 mg과 0.3 mmol/L tartrate (pH adjusted to 5.0 by 1 N NaOH)을 포함하는 30 mL 0.1 mol/L acetate buffer (pH 5.2)에서 희석된 red violet salt (Sigma, St. Louis, MO, USA) 24 mg의 혼합물에서 37°C, 15분간 배양되었다. 그리고 절편은 hematoxylin으로 약하게 대조 염색하였다.

파골세포 활성의 정량적인 평가를 위해 광학현미경을 사용하여 제2대구치의 근심치근주위에서 양성을 보이는 세포수를 각 군마다 평균값을 사용하여 산출하였다.

결 과

H & E염색에서 3일째에 실험군에서 대조군보다 골 흡수 및 파골세포의 출현이 빠르게 나타나는 것을 확인할 수 있다 (Fig 4).

Socket 내에서의 골 형성은 대조군에서는 7일째부터 관찰할 수 있었는데 반해, 실험군에서는 10일째부터 관찰할 수 있었다 (Fig 5).

TRAP positive cell은 3일째부터 실험군 및 대조군에서 치근 주위에 퍼져있는 것을 관찰할 수 있으며, 초기 개수가 실험군이 대조군에 비해 많았다. 특히 대조군에서는 서서히 그 수가 감소하지만, 실험군에서는 7일째 상승했다가 이후 급격히 감소하는 양상을 보였다. 두 군 간의 t-test 결과 7일째는 유의하게 ($p < 0.05$) 차이가 있었으나

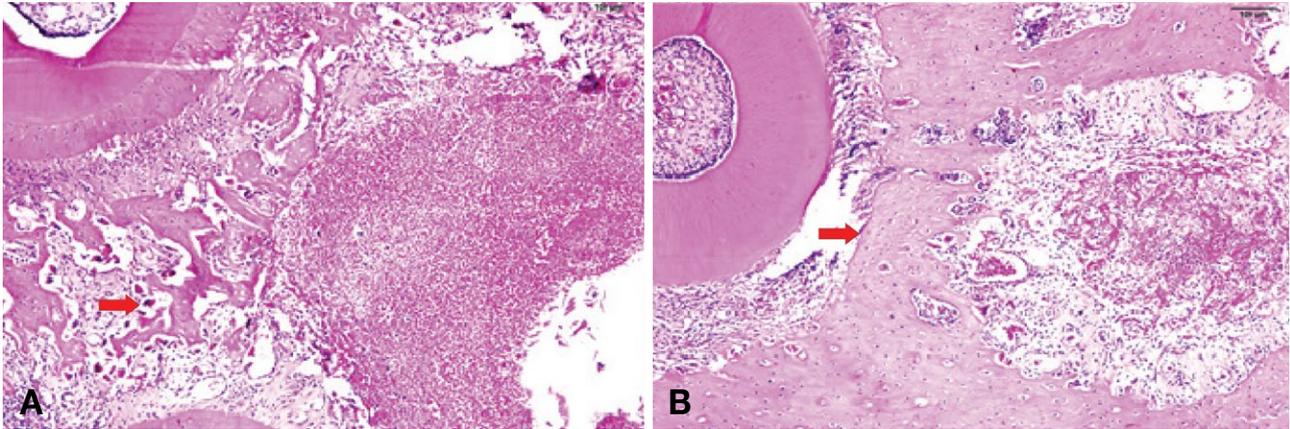


Figure 4. The experimental group (A) shows earlier bone resorption (red arrow) at the compression side of second molar than control group (B) at 3 days.

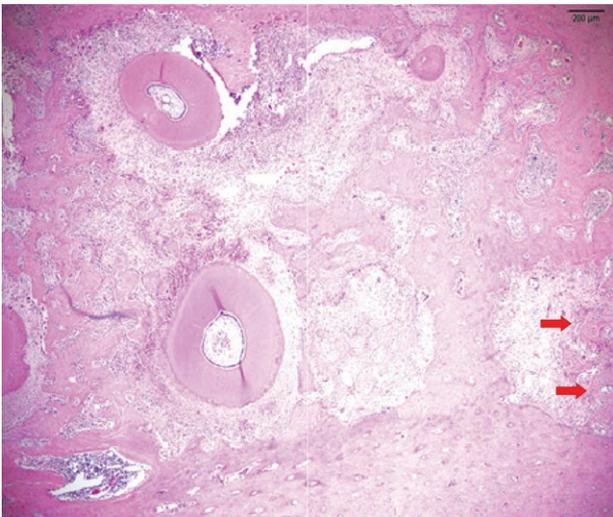


Figure 5. Newly formed trabecular bone (red arrow) in the extraction socket was seen at 7 days in control group.

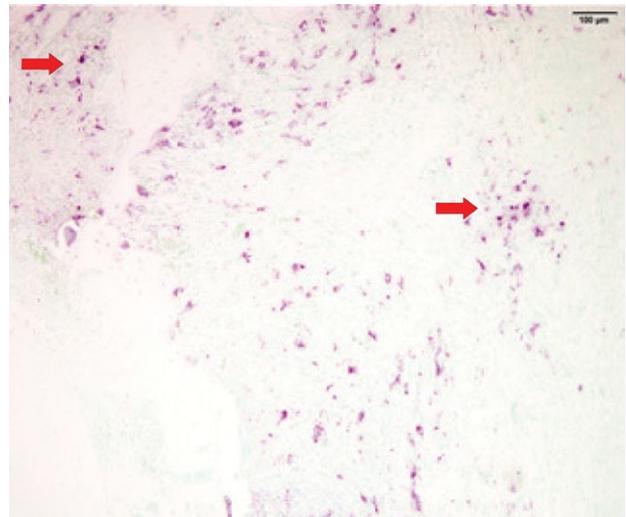


Figure 6. TRAP positive cells (red arrow) were seen in the septal bone at 7 days in experimental group.

3, 10, 14일째는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 파골세포의 활성화는 치주인대를 제거한 발치와에서 7일째 좀 더 활성화 양상을 보였고 점차적으로 실험군과 대조군 간의 차이는 줄어들었다(Fig 7).

고 찰

치아의 교정적 이동은 외력에 대한 치주인대와 골조직의 생물학적 변화를 통해 일어난다. 피질골 절단술 등의 외과적 방법은 손상을 치유하는 과정에서 인접한 치주

조직의 세포활성을 증가시키며, 그 결과로 교정적인 치아 이동시 치주조직의 개조를 촉진시켜 치아이동을 빠르게 유도하기 위해 사용된다. 몇몇 교정학자들은 RAP가 osteoclastic, osteoblastic activity를 증가시켜 치근의 손상 없이 치아에 대한 강한 힘을 적용시킬 수 있기 때문에 빠른 치아이동을 가능하게 한다고 주장한다. 이 실험에서는 발치 후 발치와의 치주인대를 제거하고 외상을 가하여, 치아가 이동할 부위의 치주조직의 변화를 조직학적으로 관찰하여, 일반적인 발치와에서 일어나는 변화와 비교분석하였다.

일반적으로 발치와는 다수의 adipocyte와 inflammatory

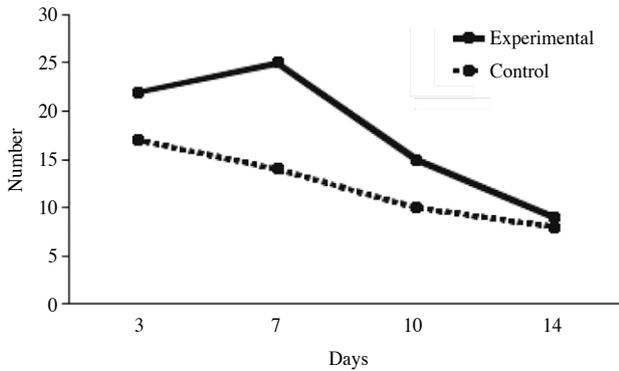


Figure 7. TRAP positive cell count. Note the increase in experimental group on day 7. On 14th day, the osteoclast numbers are similar between the two groups.

세포로 채워진 큰 marrow space를 보이는 trabecular bone pattern을 보인다¹⁷. 발치와 벽에 잔존한 치주인대에서 기원한 fibroblast와 osteoblast가 초기에 골조직과 결합조직을 형성하며, 이후 인접조직의 세포로 치환된다¹⁶. 드릴링을 통해 PDL을 제거한 측에서는 일반적인 골 결손부의 치유과정을 따라 혈관이 풍부하게 분포하고, 주위의 골에서 기원한 세포들에 의해 골 형성이 이루어지게 된다. Yu¹⁵ 등의 실험에서는 이러한 이유로 extraction group에서 골 형성이 늦어진다고 하였으나, 이 연구에서는 대조군에서 실험군보다 빠른 7일째부터 발치와 내부에 골 형성이 시작되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 차이는 기존의 실험과 드릴링 크기의 차이로 인해 골이 채워져야 하는 결손부의 크기가 이번 실험에서 상대적으로 크기 때문에 나타난 결과로 보인다.

Vignery¹⁸ 등과 Baron¹⁹ 등은 쥐에 있어서 골의 remodeling cycle이 6~31일이라고 하였는데, 일반적으로 21일이 걸린다고 보고되고 있다²⁰. 이 실험에서는 치아를 이동시키기 위해 14일 동안 힘을 적용시켰다. 교정력이 가해지는 치아의 압박측에서는 실험군에서 대조군에 비해 이른 시기에 파골세포가 밀집되면서 골 흡수가 일어나는 것을 관찰할 수 있었으며, 14일째에도 파골세포의 수는 감소되지만 지속적으로 골 흡수가 일어나는 모습을 볼 수 있었다. Verna²¹ 등은 골의 turnover가 치아이동에 상당한 영향을 미치며, turnover가 높으면 치아 이동율이 증가된다고 하였다. RAP는 국소적으로 골의 turnover를 증가시키게 되므로 치아이동률을 증가시킨다고 할 수 있다.

TRAP-positive cell은 실험군 및 대조군 모두 3일째부터 관찰되며, 실험군에서는 7일째 증가된 양상을 보인다. 특히 대조군에서는 발치와 벽과 치근주위를 따라 분포하

는 양상을 보이는 반면, 실험군에서는 septal bone 내부에도 분산되어 있는 모습을 볼 수 있으며, 이를 통해 RAP로 인한 빠른 골 흡수가 일어나고 있음을 추측해 볼 수 있다. 또한 10일 이후에는 실험군에서 TRAP positive cell이 감소하는 양상을 보이지만, 여전히 대조군에 비해 많이 분포하는 모습이 보이는데, 이는 외상을 가한 측에서 RAP가 지속적으로 작용하고 있음을 암시한다. Iino²² 등도 corticotomy를 한 측에서 보다 빨리 TRAP positive cell이 작용하며, 치주인대의 초자양화도 짧은 기간에만 일어난다고 하였다. Yu¹⁵ 등은 토끼를 대상으로 한 실험결과, 4주에 걸쳐 intentional socket에서 TRAP positive cell이 더 높은 수준으로 관찰된다고 보고하였다.

이 실험을 통해 발치와에 인위적인 드릴링을 했을 때, 발치를 그대로 보전한 경우에 비해 더 높은 파골세포 활성화와 빠른 골 흡수가 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 골 조직에 가해진 외상이 압박측 주변의 세포구성에 변화를 주어 RAP가 더욱 지속적이고 강력하게 작용하여 골 흡수를 촉진시키는 것으로 생각된다. 또한 드릴링과정에서 발치와의 치주인대가 제거되면 발치와 내의 골 형성속도가 느려지는 것을 확인할 수 있었는데, 드릴링을 하지 않고 발치와 내부의 치주인대만 제거하는 실험이 추가되었다면 치주인대의 제거여부에 따라 발치와의 골 형성 과정에서 나타나는 변화들이 인접한 치아이동에 미치는 영향을 알아볼 수 있었을 것이다.

결론적으로 급속교정의 측면에서 발치와에 인위적인 외상을 가하고, 치주인대를 제거하는 방법은 치아이동을 위한 효율적인 방법이라 사료된다. 이 실험에서는 조직학적인 변화만을 관찰하였기 때문에, 치아 이동량 계측을 통해 그 효과를 정량적으로 평가해보는 실험이 필요할 것으로 생각된다.

결 론

본 연구를 통해 발치와에 의도적으로 드릴링을 하여 치주인대를 제거하는 방법이 더 높은 파골세포 활성화와 빠른 골 흡수를 유도하여 급속교정 치료를 하는데 효과적임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Kahnberg KE, Hagberg C. The approach to dentofacial skeletal

- deformities using a multisegmentation technique. *Clin Plast Surg* 2007;34:477-84.
2. Hu J, Li J, Wang D, Buckley MJ, Agarwal S. Differences in mandibular distraction osteogenesis after corticotomy and osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31:185-9.
 3. Wang L, Lee W, Lei DL, Liu YP, Yamashita DD, Yen SL. Tissue responses in corticotomy- and osteotomy-assisted tooth movements on rats : histology and immunostaining. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:770.e1-11.
 4. Chung KR, Oh MY, Ko SJ. Corticotomy-assisted orthodontics. *J Clin Orthod* 2001;35:331-9.
 5. Lee W, Karapetyan G, Moats R, Yamashita DD, Moon HB, Ferguson DJ, et al. Corticotomy-/osteotomy-assisted tooth movement microCTs differ. *J Dent Res* 2008;87:861-7.
 6. Köle H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1959;12:277-88.
 7. Köle H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1959;12:413-20.
 8. Köle H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1959;12:515-29.
 9. Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J* 1983;31:3-9.
 10. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop Relat res* 1989;248:283-93.
 11. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part I. *Clin Orthop Relat Res* 1989;248:294-309.
 12. Wilcko WM, Wilcko T, Bouquot JE, Ferguson DJ. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2001;21:9-19.
 13. Sebaoun JD, Kantarci A, Turner JW, Carvalho RS, Van Dyke TE, Ferguson DJ. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J Periodontol* 2008;79:1679-88.
 14. Ren A, Lv T, Kang N, Zhao B, Chen Y, Bai D. Rapid orthodontic tooth movement aided by alveolar surgery in beagles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:160.e1-10.
 15. Yu JY, Lee W, Park JH, Bayome M, Kim Y, Kook YA. Histologic effects of intentional-socket-assisted orthodontic movement in rabbits. *Korean J Orthod* 2012;42:207-17.
 16. Herr Y, Matsuura M, Lin WL, Genco RJ, Cho MI. The origin of fibroblasts and their role in the early stages of horizontal furcation defect healing in the beagle dog. *J Periodontol* 1995;66:716-30.
 17. Barone A, Aldini NN, Fini M, Giardino R, Calvo Guirado JL, Covani U. Xenograft versus extraction alone for ridge preservation after tooth removal: a clinical and histomorphometric study. *J Periodontol* 2008;79:1370-7.
 18. Vignery A, Baron R. Dynamic histomorphometry of alveolar bone remodeling in the adult rat. *Anat Rec* 1980;196:191-200.
 19. Baron R, Tross R, Vignery A. Evidence of sequential remodeling in rat trabecular bone: morphology, dynamic histomorphometry, and changes during skeletal maturation. *Anat Rec* 1984;208:137-45.
 20. Gao SG, Li KH, Xu M, Jiang W, Shen H, Luo W, et al. Bone turnover in passive smoking female rat: relationships to change in bone mineral density. *BMC Musculoskelet Disord* 2011;12:131.
 21. Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *Eur J Orthod* 2000;22:343-52.
 22. Iino S, Sakoda S, Ito G, Nishimori T, Ikeda T, Miyawaki S. Acceleration of orthodontic tooth movement by alveolar corticotomy in the dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:448.e1-8.