

W. Schaefer¹, A. Rahman², O. Bauss³

Pulpavitalität nach kieferorthopädischer Extrusion traumatisierter Oberkieferschneidezähne

Pulpal vitality after orthodontic extrusion of previously traumatized maxillary incisors



W. Schaefer

■ Traumatisierte Zähne zeigen ein erhöhtes Risiko für Wurzelresorptionen und Pulpnekrosen während einer kieferorthopädischen Zahnbewegung. Bislang gibt es jedoch noch keine Untersuchung bezüglich des Einflusses einer kieferorthopädischen Extrusion auf die Pulpavitalität traumatisierter Zähne. Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte eine klinische und radiologische Untersuchung der Pulpavitalität nach kieferorthopädischer Extrusion von bleibenden Oberkieferschneidezähnen mit (Traumagruppe, n = 83) und ohne (Kontrollgruppe, n = 400) zurückliegendem Trauma. Die Zähne der Traumagruppe wurden weiterhin in Zähne mit Hartgewebs- (n = 34) und Parodontalverletzungen (n = 49) unterteilt. Dabei zeigten Zähne mit parodontalen Verletzungen eine signifikant höhere Rate von Pulpnekrosen (n = 10) als Zähne mit Hartgewebsverletzungen (n = 0; p = 0,004) oder Zähne ohne vorheriges Trauma (n = 2; p < 0,001). Dagegen konnte zwischen Zähnen mit Hartgewebsverletzungen und den Zähnen der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Aus den Ergebnissen der Untersuchung kann geschlussfolgert werden, dass Oberkieferschneidezähne mit Parodontalverletzungen ein erhöhtes Risiko für Pulpnekrosen während einer kieferorthopädischen Extrusion aufweisen. (Dtsch Zahnärztl Z 2010, 65: 254–258)

Schlüsselwörter: Zahntrauma, kieferorthopädische Behandlung, Pulpnekrose

Dental trauma seems to increase the susceptibility to root resorption and pulp necrosis during orthodontic treatment. However, no previous investigation has examined the influence of orthodontic extrusion on the pulpal vitality of previously traumatized teeth. Pulpal vitality was examined clinically and radiologically after orthodontic extrusion of previously traumatized (trauma group, n = 83) and nontraumatized (control group, n = 400) permanent maxillary incisors. The teeth in the trauma group were further divided into teeth with hard tissue (n = 34) or periodontal injuries (n = 49). Teeth with previous periodontal injuries showed a significantly higher frequency of pulp necrosis (n = 10) than teeth with hard tissue injuries (n = 0; p = 0.004) or teeth without previous trauma (n = 2; p < 0.001). No significant differences were observed between teeth with previous hard tissue injuries and the teeth in the control group. The results indicate that maxillary incisors with severe periodontal injuries have a higher susceptibility to pulp necrosis during orthodontic extrusion.

Keywords: dental trauma, orthodontic treatment, pulp necrosis

¹ Gemeinschaftspraxis Hannover

² Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde, Medizinische Hochschule Hannover

³ Fachpraxis Hannover

Peer-reviewed article: eingereicht: 09.10.2009, akzeptiert: 11.01.2010

DOI 10.3238/dzz.2010.254

Einleitung

In zahlreichen Untersuchungen konnte eine hohe Prävalenz von Frontzahntraumata bei kieferorthopädisch zu behandelnden Patienten nachgewiesen werden [1, 5, 9]. Daher stellt die Bewegung traumatisierter Zähne eine häufige Aufgabe in der kieferorthopädischen Routine-therapie dar. Mehrere Studien haben das Auftreten von Wurzelresorptionen nach kieferorthopädischer Behandlung traumatisierter Zähne untersucht [8, 11, 12]. Doch gibt es bisher nur wenige Untersuchungen, die den Einfluss einer Zahnbewegung auf die Pulpavitalität traumatisierter Zähne überprüft haben [2–4]. In einer dieser Studien konnte gezeigt werden, dass die Intrusion traumatisierter Zähne das Risiko für eine Pulpanekrose signifikant erhöht [4]. Bislang gibt es jedoch noch keine Untersuchungen bezüglich des Einflusses einer Extrusion auf die Pulpavitalität traumatisierter Zähne. Das Ziel der vorliegenden Studie war es deshalb zu untersuchen, ob auch eine Extrusion traumatisierter Zähne zu einer erhöhten Pulpanekroserate führt. Ein weiteres Ziel war es, den Einfluss des Verletzungstyps zu beurteilen.

Material und Methoden

Das Untersuchungskollektiv bestand aus allen Patienten dreier kieferorthopädischer Fachpraxen, die im Zeitraum zwischen Januar 1994 bis Juli 2009 die Retentionszeit nach aktiver kieferorthopädischer Behandlung mit festen Apparaturen beendet hatten. Aus diesem Kollektiv wurden alle Patienten, die sich mit einem frontoffenen Biss vorgestellt hatten und kieferorthopädisch mit einem Utility-Bogen zur Extrusion der Oberkieferschneidezähne behandelt worden waren, für die weitere Untersuchung ausgewählt. Entsprechend dem Vorliegen eines Frontzahntraumas an den bleibenden Oberkieferschneidezähnen vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung, wurden diese Patienten dann in zwei Gruppen aufgeteilt, kieferorthopädisch behandelte Patienten mit (Traumagruppe) und ohne Frontzahntrauma. Von den Patienten ohne Frontzahntrauma wurden 100 Patienten zufällig ausgewählt und bildeten die Kontrollgruppe. Das Vorliegen eines dentalen Traumas wurde retro-

	Traumagruppe	Kontrollgruppe
Geschlecht	48 männlich, 24 weiblich	36 männlich, 64 weiblich
Alter am Ende der KFO-Therapie	15,6 Jahre (13,5 – 19,0 Jahre)	15,9 Jahre (13,5 – 19,0 Jahre)
Dauer der Extrusionsphase	5,0 Monate (3,1 – 6,7 Monate)	5,2 Monate (3,4 – 7,0 Monate)
Dauer der MB-Therapie	23,5 Monate (11,7 – 31,2 Monate)	24,0 Monate (12,2 – 31,7 Monate)
Dauer der Retention	2,1 Jahre (1,0 – 3,6 Jahre)	2,3 Jahre (1,3 – 2,8 Jahre)

Table 1 Geschlechtsverteilung und Mittelwerte (Range) für das Patientenalter am Ende der kieferorthopädischen Therapie, Dauer der Extrusionsphase, Dauer der Multiband-Therapie und Dauer der Retention in beiden Untersuchungsgruppen.

Table 1 Distribution of patients according to gender and mean values (range) for age at the end of orthodontic treatment, duration of extrusion, total treatment time with fixed appliances and duration of retention period in both study groups.

spektiv anhand der Aufzeichnungen in der Patientenakte ermittelt. Diese beinhalteten einen standardisierten Fragebogen [5] und die Ergebnisse der klinischen und radiologischen Untersuchungen vor kieferorthopädischem Behandlungsbeginn. Während der klinischen Untersuchung wurden die bleibenden Oberkieferschneidezähne aller Patienten klinisch auf Hinweise für ein Frontzahntrauma hin untersucht. Weiterhin wurden bei allen traumatisierten Zähnen eine Vitalitätsprobe mit einem Kältespray (Provotest, Hoechst, Frankfurt) sowie standardisierte periapikale Röntgenaufnahmen durchgeführt. Für alle nicht traumatisierten Zähne standen Panoramaschichtaufnahmen zur Verfügung.

Zusätzliche Einschlusskriterien in der Traumagruppe waren: (1) vollständige Behandlungsunterlagen, einschließlich der Klassifikation des erlittenen Traumas, (2) positive Vitalitätsprobe der traumatisierten Zähne vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung, (3) vorhandene periapikale Aufnahmen vor Behandlungsbeginn und am Ende der Retentionszeit, und (4) die Ergebnisse der postretentiven Vitalitätsprobe und der klinischen Inspektion.

Insgesamt erfüllten 72 Patienten (48 männlich und 24 weiblich) mit 83 traumatisierten bleibenden Oberkieferschneidezähnen (53 zentrale und 30 laterale Schneidezähne) die o. g. Aufnahmekriterien. Eine Schmelzfraktur zeigte sich bei 15, eine Schmelz-Dentin-Frak-

tur bei 19 und eine Subluxation bei weiteren 15 Zähnen. Eine laterale Luxation war bei 11, eine Extrusion bei 11 und eine Intrusion bei 12 Zähnen aufgetreten. Das Durchschnittsalter der Patienten zum Zeitpunkt des Traumas lag bei 10,2 Jahren (7,3 bis 16,7 Jahre). Das Durchschnittsalter am Ende der kieferorthopädischen Behandlung war 15,6 Jahre (13,5 bis 19,0 Jahre).

Die Kontrollgruppe umfasste 36 männliche und 64 weibliche Patienten mit 400 bleibenden Oberkieferschneidezähnen ohne anamnestiche, klinische oder röntgenologische Anhaltspunkte für ein zurückliegendes Frontzahntrauma vor kieferorthopädischem Behandlungsbeginn. Das Durchschnittsalter dieser Patienten am Ende der kieferorthopädischen Behandlung lag bei 15,9 Jahren (13,5 bis 19,0 Jahre).

Bei den Zähnen in der Traumagruppe wurde nach Hartgewebsverletzungen oder nach Subluxation frühestens nach 3 Monaten, nach schweren Verletzungen des Parodontiums (laterale, extrusive oder intrusive Luxationen) frühestens nach 12 Monaten mit der kieferorthopädischen Zahnbewegung begonnen [4]. Die kieferorthopädische Extrusion der Oberkieferschneidezähne erfolgte mit einem Utility-Extrusionsbogen (0.016 x 0.016 Elgiloy blue, Rocky Mountain Orthodontics, Denver, USA). Zusätzlich wurden die ersten Molaren mit den Prämolaren und den Eckzähnen durch passive Teilbögen verbunden. Die Kraftgröße wurde auf circa 20 g pro Zahn



	Traumagruppe (n = 83)	Kontrollgruppe (n = 400)
Gesamtanzahl der Pulpanekrosen	10 (12,0 %)	2 (0,5 %)
Laterale Luxation	3 (27,3 %)	
Extrusion	3 (27,3 %)	
Intrusion	4 (33,3 %)	
Schmelz-, Schmelz-Dentinfrakturen, Subluxation	0	

Table 2 Gesamtanzahl der Zähne mit Pulpanekrosen in beiden Untersuchungsgruppen und Verteilung nach Traumatyp in der Traumagruppe.

Table 2 Total number of teeth with pulp necrosis in both study groups and distribution according to type of trauma in the trauma group. (Tab. 1 u. 2 und Abb. 1. u. 2: W. Schaefer)

eingestellt und bei jedem Kontrolltermin mittels einer Correx Federwaage (Haag-Streit, Bern, Schweiz) überprüft. Nach Korrektur der vertikalen Okklusionsstörung wurde die Behandlung mit umlaufenden Bögen fortgesetzt. Die Extrusionsphase betrug in der Traumagruppe durchschnittlich 5,0 Monate (3,1 bis 6,7 Monate) und in der Kontrollgruppe 5,2 Monate (3,4 bis 7,0 Monate). Die Gesamtdauer der Behandlung mit Multiband-Apparatur lag bei 23,5 Monaten (11,7 bis 31,2 Monate) in der Traumagruppe und bei 24,0 Monaten (12,2 bis 31,7 Monate) in der Kontrollgruppe. Nach Beendigung der aktiven kieferorthopädischen Behandlung erfolgte eine Retention mit herausnehmbaren Apparaturen. Die durchschnittliche Retentionsdauer in der Traumagruppe betrug 2,1 Jahre (1,0 bis 3,6 Jahre) und in der Kontrollgruppe 2,3 Jahre (1,3 bis 2,8 Jahre) (Tab. 1).

Die abschließende Untersuchung der Pulpavitalität erfolgte in beiden Gruppen am Ende der Retentionsphase. In der Traumagruppe beinhaltete diese Untersuchung eine Beurteilung der Kronenfarbe (normal oder grünlich), eine Vitalitätsprobe mit Kältespray sowie die Durchführung periapikaler Röntgenaufnahmen. In der Kontrollgruppe wurden neben der Beurteilung der Kronenfarbe Panoramaschichtaufnahmen erstellt. Die folgenden klinischen und radiologischen Kriterien wurden zur Definition einer Pulpanekrose herangezogen: Verlust der Pulpasensibilität (fehlende Reaktion auf Kältespray), Grauverfärbung der klinischen Krone und periapikale

Aufhellungen. Der Verlust der Pulpasensibilität und wenigstens ein weiteres klinisches oder röntgenologisches Zeichen wurden vorausgesetzt, um die Diagnose einer Pulpanekrose zu stellen [4].

Der Chi-Quadrat-Test wurde verwendet, um signifikante Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgruppen zu erkennen. Weiterhin wurden der Chi-Quadrat-Test und der Fisher-Test eingesetzt, um einen möglichen Einfluss der einzelnen Traumatypen zu ermitteln. Das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS, Version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, USA).

Ergebnisse

Pulpanekrosen wurden in 12,0 % der Zähne in der Traumagruppe ($n = 10$) und in 0,5 % der Zähne in der Kontrollgruppe ($n = 2$) nachgewiesen (Tab. 2). Bei keinem Patienten fand sich mehr als ein Zahn mit Pulpanekrose. Insgesamt zeigten die Zähne in der Traumagruppe eine signifikant höhere Anzahl von Pulpanekrosen als die Zähne in der Kontrollgruppe ($p < 0,001$). In der Traumagruppe zeigte sich eine Pulpanekrose bei 27,3 % ($n = 3$) der Zähne mit lateraler Luxation, bei 27,3 % ($n = 3$) mit Extrusion und bei 33,3 % ($n = 4$) mit Intrusion. Es konnten keine Pulpanekrosen bei Zähnen mit zurückliegender Schmelzfraktur, Schmelz-Dentin-Fraktur oder Subluxation beobachtet werden. Zur weiteren statistischen Auswertung wurden die dentalen Traumata in Hartgewebsverletzungen

(Schmelzfrakturen und Schmelz-Dentin-Frakturen, $n = 34$) und Parodontalverletzungen (Subluxation, laterale Luxation, Extrusion und Intrusion, $n = 49$) klassifiziert. Zähne der Traumagruppe mit Parodontalverletzungen zeigten signifikant häufiger Pulpanekrosen als Zähne der Traumagruppe mit Hartgewebsverletzungen ($p = 0,004$) oder Zähne der Kontrollgruppe ($p < 0,001$). Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Zähnen der Traumagruppe mit Hartgewebsverletzungen und Zähnen der Kontrollgruppe beobachtet (Abb. 1 und 2).

Diskussion

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass es im Rahmen einer kieferorthopädischen Zahnbewegung zu Veränderungen der Pulpadurchblutung kommt [10, 13, 20]. Insbesondere nach Intrusionsbewegungen konnte eine massive Verminderung der Pulpadurchblutung mit ausgeprägten histologischen Veränderungen des Pulpagewebes nachgewiesen werden [6, 7, 16, 17, 19]. Jedoch wurden vergleichbare Ergebnisse auch nach kieferorthopädischer Extrusion an menschlichen Prämolaren festgestellt, einschließlich massiver Zirkulationsstörungen und Vakuolisierung und Ödembildung des Pulpengewebes [14]. Allerdings scheint das pulpale Gefäßsystem nicht traumatisierter Zähne fähig zu sein, die Minderung des pulpalen Blutflusses zu kompensieren, sodass an diesen Zähnen eine kieferorthopädische Extrusion gewöhnlich nicht zu einer Pulpanekrose führt. Im Gegensatz dazu deuten die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung darauf hin, dass bei traumatisierten Zähnen mit schweren parodontalen Verletzungen dieses Kompensationsvermögen reduziert ist, so dass hier mit einer erhöhten Anfälligkeit für eine Pulpanekrose während einer kieferorthopädischen Extrusion zu rechnen ist. Da alle Zähne der Traumagruppe vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung eine vitale Pulpa aufwiesen, könnte daraus der Schluss gezogen werden, dass die Funktion der die Pulpa versorgenden Blutgefäße nicht ausreichend war, um eine adäquate Durchblutung der Pulpa während der kieferorthopädischen Extrusion ausreichend zu erhalten. Eine mögliche Erklärung

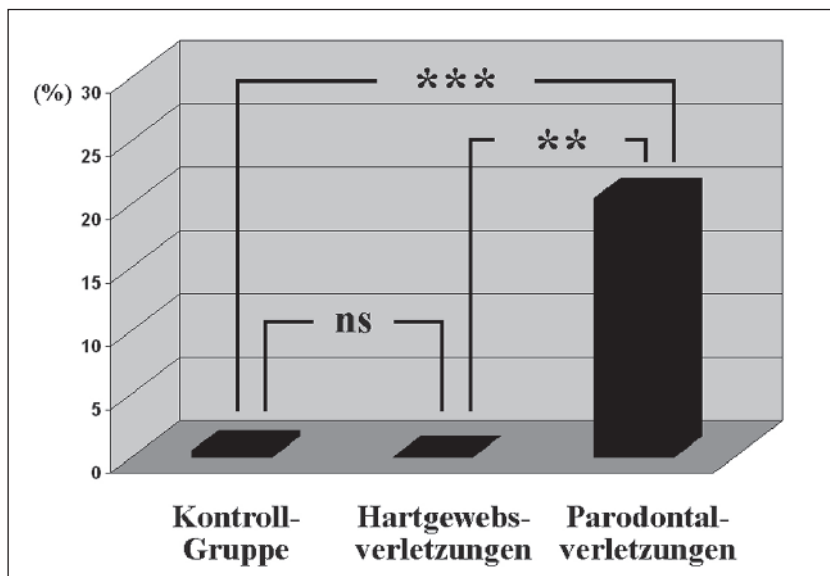


Abbildung 1 Häufigkeit von Pulpanekrosen bei Zähnen der Traumagruppe mit Hartgewebsverletzungen oder parodontalen Verletzungen und Zähnen der Kontrollgruppe.

***p < 0,001; **p < 0,01; ns = nicht signifikant.

Figure 1 Frequency of pulp necrosis in teeth of the trauma group with hard tissue or periodontal tissue injuries and teeth in the control group. ***p < 0.001; **p < 0.01; ns = not significant.



Abbildung 2 Pulpanekrose während kieferorthopädischer Extrusion mit apikaler Aufhellung 3 Monate nach Extrusionsbeginn.

Figure 2 Pulp necrosis during orthodontic extrusion with periapical radiolucency, three months after onset of extrusion.

rung wäre, dass schwere parodontale Verletzungen sowohl eine dauerhafte Schädigung als auch eine Reduzierung der apikalen Gefäße verursachen und somit diese Zähne anfälliger für eine Pulpanekrose während kieferorthopädischer Extrusion machen könnten. Demzufolge könnte die Kombination aus verminderter Durchblutung der Pulpa während kieferorthopädischer Extrusion mit reduzierter Funktion der apikalen Gefäße die signifikant erhöhte Rate von Pulpanekrosen bei Zähnen mit parodontalen Verletzungen erklären.

Bei zwei Zähnen der Kontrollgruppe wurden während der kieferorthopädischen Behandlung Anzeichen einer Pulpanekrose festgestellt. Frühere Studien haben bereits über vereinzelte Pulpanekrosen während kieferorthopädischer Behandlung berichtet [15, 18]. Mögliche Erklärungen beinhalten anatomische Abweichungen am apikalen Foramen oder der versorgenden Gefäße [7]. In der vorliegenden Studie wurden die dentalen Traumata anhand von standardisierten Fragebögen sowie durch eine klinische und röntgenologische Untersuchung identifiziert. Allerdings kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass beide Zähne ein nicht diagnostiziertes Trauma erlit-

ten haben und sich daher eine Pulpanekrose während der kieferorthopädischen Zahnbewegung entwickelt hat.

Da Vitalitätstests und periapikale Röntgenaufnahmen nicht zu den Standarduntersuchungsverfahren während einer regulären kieferorthopädischen Behandlung gehören, basierte die Diagnose von Pulpanekrosen in der Kontrollgruppe auf einer klinischen Inspektion der Kronenfarbe und der Auswertung von Panoramaschichtaufnahmen am Ende der Retentionszeit. Allerdings wurden alle Patienten dieser Gruppe mindestens noch 1 Jahr nach Abschluss der aktiven kieferorthopädischen Behandlung betreut. Daher ist davon auszugehen, dass während dieses Zeitraums annähernd alle Pulpanekrosen entdeckt wurden. Des Weiteren beinhaltet die kieferorthopädische Bewegung nicht traumatisierter Zähne kein erhöhtes Risiko für Pulpanekrosen [15] und der in der vorliegenden Untersuchung für die Kontrollgruppe gefundene Wert liegt im Bereich zurückliegender Untersuchungen [4, 15]. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die in der Kontrollgruppe eingesetzten pulpalen Untersuchungsverfahren keinen negativen Einfluss auf die erzielten Ergebnisse gehabt haben.

Abschließend lässt sich somit zusammenfassen, dass Oberkieferschneidezähne mit schweren parodontalen Verletzungen eine höhere Anfälligkeit für Pulpanekrosen während kieferorthopädischer Extrusion aufweisen als Zähne mit Hartgewebsverletzungen oder nicht traumatisierte Zähne. Folglich sollte eine Extrusion von Oberkieferschneidezähnen mit zurückliegendem Trauma mit geringeren Extrusionskräften als denen in der aktuellen Untersuchung verwendet werden und es sollte regelmäßig die Pulpavitalität bis zum Ende der Retentionszeit überprüft werden. D77

Interessenkonflikte: Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Oskar Bauss
Fachpraxis Hannover und Lehrkörper
der Medizinischen Hochschule
Hannover
Luisenstrasse 10/11
30159 Hannover
Tel.: 05 11 / 4 50 07 71
Fax: 05 11 / 4 50 07 72
E-Mail: o.bauss@praxisbauss.de

Literatur

1. Bauss O, Freitag S, Rahman A: Frontzahntraumata in verschiedenen Altersgruppen und Konsequenzen für die kieferorthopädische Therapieplanung. *Dtsch Zahnärztl Z* 64, 318–322 (2009)
2. Bauss O, Röhling J, Meyer K, Kiliaridis S: Pulp vitality in teeth suffering trauma during orthodontic therapy. *Angle Orthod* 79, 166–171 (2009)
3. Bauss O, Röhling J, Rahman A, Kiliaridis S: The effect of pulp obliteration on pulpal vitality of orthodontically intruded traumatized teeth. *J Endod* 34, 417–420 (2008)
4. Bauss O, Röhling J, Sadat-Khonsari R, Kiliaridis S: Influence of orthodontic intrusion on pulpal vitality of previously traumatized maxillary permanent incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 134, 12–17 (2008)
5. Bauss O, Röhling J, Schwestka-Polly R: Prevalence of traumatic injuries to the permanent incisors in candidates for orthodontic treatment. *Dent Traumatol* 20, 61–66 (2004)
6. Barwick PJ, Ramsay DS: Effect of brief intrusive force on human pulpal blood flow. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 110, 273–279 (1996)
7. Guevara MJ, McClugage SG: Effects of intrusive forces upon the microvasculature of the dental pulp. *Angle Orthod* 50, 129–134 (1980)
8. Hines FB: A radiographic evaluation of the response of previously avulsed teeth and partially avulsed teeth to orthodontic movement. *Am J Orthod* 75, 1–19 (1979)
9. Järvinen S: Traumatic injuries to upper permanent incisors related to age and incisal overjet. A retrospective study. *Acta Odontol Scand* 37, 335–338 (1979)
10. Kvinnsland S, Heyeraas K, Øfjord ES: Effect of experimental tooth movement on periodontal and pulpal blood flow. *Eur J Orthod* 11, 200–205 (1989)
11. Linge BO, Linge L: Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthod* 5, 173–183 (1983)
12. Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Petrini L, Lundberg M: Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod* 82, 487–491 (1982)
13. McDonald F, Pitt Ford TR: Blood flow changes in permanent maxillary canines during retraction. *Eur J Orthod* 16, 1–9 (1994)
14. Mostafa YA, Iskander KG, El-Mangoury NH: Iatrogenic pulpal reactions to orthodontic extrusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 99, 30–34 (1991)
15. Popp TW, Årtun J, Linge L: Pulpal response to orthodontic tooth movement in adolescents: A radiographic study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 101, 228–233 (1992)
16. Raiden G, Missana L, Santamaria de Torres E, Kozusko S, Pedroso R: Pulpal response to intrusive orthodontic forces. *Acta Odontol Latinoam* 11, 49–54 (1998)
17. Sano Y, Ikawa M, Sugawara J, Horiuchi H, Mitani H: The effect of continuous intrusive force on human pulpal blood flow. *Eur J Orthod* 24, 159–166 (2002)
18. Spector JK, Rothenhaus B, Herman RI: Pulpal necrosis following orthodontic therapy. Report of two cases. *N Y State Dent J* 40, 30–32 (1974)
19. Stenvik A, Mjör IA: The effect of experimental tooth intrusion on pulp and dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 639–648 (1971)
20. Vandevska-Radunovic V, Kristiansen AB, Heyeraas KJ, Kvinnsland S: Changes in blood circulation in teeth and supporting tissues incident to experimental tooth movement. *Eur J Orthod* 16, 361–369 (1994)