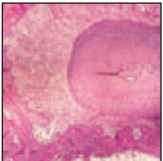


Experimentelle chirurgische und kieferorthopädische Extrusion von Zähnen bei Hunden



Sung Hyun Kim, DDS, MSc, PhD*/Vinícius Augusto Tramontina, DDS, MSc, PhD*
 Cassiana Maria Ramos, DVM, MSc**/
 Antônia Maria Binder do Prado, DVM, MSc, PhD**/
 Euloir Passanezi, DDS, PhD***/Sebastião Luiz Aguiar Gregghi, DDS, PhD****

In dieser Studie wurden die Wurzeloberflächen von Zähnen nach einer kieferorthopädischen und chirurgischen Extrusion am Hundemodell histologisch untersucht. Es wurden 18 ausgewachsene Rüden verwendet, die in sechs Gruppen zu je drei Hunden aufgeteilt wurden. An jedem Tier wurden zwei Eingriffe vorgenommen: Die schnelle kieferorthopädische Extrusion und die chirurgische Extrusion der oberen lateralen Schneidezähne. Die Tiere wurden sieben, 14, 45, 90, 120 und 180 Tage nach dem Eingriff eingeschläfert, dann erfolgte die Auswertung von Querschnitten des koronalen, medialen und apikalen Drittels der behandelten Zähne. Recht früh wurde in der Gruppe mit der chirurgischen Extrusion eine aktive Oberflächen- und Entzündungsresorption beobachtet. Die Biopsate, die zu späteren Zeitpunkten entnommen wurden, zeigten allerdings in beiden Gruppen eine funktionelle Reparatur des Spalts, der durch die Resorption entstanden war. Die beobachtete Ankylose hatte nur geringe Bedeutung. Sie war in den Biopsaten der Gruppe mit der chirurgischen Extrusion nur vorübergehend vorhanden. Die Ergebnisse zeigen, wie wichtig der Erhalt des parodontalen Ligaments und der Zementoberfläche ist. Beide sind für die Vorbeugung gegen eine Wurzelresorption unerlässlich. Vermutlich ist die kieferorthopädische Extrusion konservativer und physiologischer ist als die chirurgische Extrusion. Die Ergebnisse zeigten allerdings, dass die Funktion in beiden Gruppen wiederhergestellt wurde. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2009;29:411–419.)

- * Professor, Department of Periodontology, Pontifical Catholic University of Parana, School of Dentistry, Curitiba, Brasilien.
- ** Professor, School of Veterinary Medicine, Pontifical Catholic University of Parana, Curitiba, Brasilien.
- *** Professor und Leiter, Department of Periodontics and Prosthodontics, University of São Paulo, School of Dentistry at Bauru, Brasilien.
- **** Privatdozent, Department of Periodontics and Prosthodontics, University of São Paulo, School of Dentistry at Bauru, Brasilien.

Korrespondenz an: Prof. Dr. Sung Hyun Kim, Curso De Odontologia, PUCPR,
 Rua Imaculada Conceição 1155, ZIP 80215-901 Curitiba-Paraná, Brasilien; E-Mail:
 sung.kim@pucpr.br

Um die parodontale Homöostase der Zähne mit dem Eindringen in die biologische Breite wiederherzustellen, werden häufig resektive chirurgische Verfahren, eine kieferorthopädische Extrusion oder eine chirurgische Extrusion vorgeschlagen¹⁻³. Die kieferorthopädische Extrusion wird als Alternative zur nicht chirurgischen Behandlung von Zähnen mit einem Eindringen in die biologische Breite vorgeschlagen⁴⁻⁸. Für die kieferorthopädische Extrusion werden kontinuierliche, leichte Kräfte empfohlen, weil dies zu geringeren Veränderungen von Weichgewebe und Knochen führt^{9, 10}. Es wird aber auch die rasche koronale Bewegung mit einer starken Kraft empfohlen, weil dies zu einem rascheren klinischen Ergebnis führt. Dabei wird nur der fragliche Zahn extrudiert. Eine solche Extrusion führt allerdings zu anderen parodontalen Reaktionen als die langsamere Bewegung mit geringerer Kraft¹¹⁻¹⁴.

Die chirurgische Extrusionstechnik wurde als Alternative zur Wiederherstellung der biologischen Breite vorgestellt^{3, 15-20}. Diese Technik hat sich als sinnvolle Möglichkeit zur erfolgreichen Behandlung der parodontalen Beteiligung bei ausgewählten Patienten bewährt. Es handelt sich dabei um ein relativ einfaches Verfahren, das die Zeit bis zur protheti-

schen Versorgung verkürzt. Trotz reichlich vorhandener klinischer und röntgenologischer Ergebnisse ist über den Heilungsprozess nach einer chirurgischen Extrusion nur sehr wenig bekannt. Ausgehend von ähnlichen klinischen Situationen wie der Reimplantation von Zähnen wurden Überlegungen zur parodontalen Heilung angestellt²¹⁻²⁷.

In klinischen und röntgenologischen Berichten von chirurgischen und kieferorthopädischen Extrusionstechniken wurde zwar gezeigt, dass es sich dabei um effiziente und sichere Behandlungsmethoden handelt, aber bisher wurde nicht über eine histologische Untersuchung des Parodontalgewebes nach der Behandlung berichtet. Um die klinischen Beweise zu rechtfertigen und zu verdeutlichen, werden in dieser Studie die Heilungsphänomene an der Wurzeloberfläche nach einer raschen kieferorthopädischen und chirurgischen Extrusion bei Hunden vorgestellt.

Material und Methode

In dieser Studie wurden 18 gesunde Mischlingsrüden mit bleibenden Zähnen verwendet, die keine Parodontalerkrankung hatten. Von jedem Hund wurden zwei obere laterale Schneidezähne verwendet, einer für die kieferorthopädische, der andere für die chirurgische Extrusion. Insgesamt waren es 36 Zähne.

Für die Narkose wurden 0,1 mg/kg Acepromazinmaleat (Acepran, Univet) und 12,5 mg/kg Thiopental-Natrium (Thiopentax, Cristália) intravenös in ausreichender Dosierung für die orotracheale Intubation gegeben. Dann wurden die Tiere an die Inhalationsnarkose angeschlossen. Die Vollnarkose wurde mit Halothan 1,5 %, das mit 100 % Sauerstoff vermischt wurde (Halo-tano, Cristália) aufrechterhalten. Zusätzlich zu dem inhalierten Narkosemittel wurden intramuskulär 0,5 mg/kg Butorphanoltartrat (Torbugesic, Wyeth-Whitehall) injiziert.

Alle Zähne wurden endodontisch mit einem Wurzelkanalfüllzement (Endofill, Dentsply) und Guttaperchaspitzen (Gutta-Percha Points, Dentsply) behandelt. Die Kondensation erfolgte lateral. Die Krone wurde mit einem Diamantbohrer gekürzt, sodass im Abstand von etwa 3 mm ein Referenzpunkt für die Wurzelextrusion vorhanden war. Die kieferorthopädische Extrusion erfolgte durch Aktivierung einer mittleren Elastomerkette (Morelli). Dazu wurde der Wurzelkanalstift mit kieferorthopädischem Draht (harter elastischer Draht, 0,7 mm; Morelli) mit einer transversalen bukkalen Verankerung an den Nachbarzähnen verbunden. Während der koronalen Bewegung wurde die Elastomerkette wöchentlich ausgetauscht, bis die Wurzel die transversale Verankerung erreichte. Die Extrusion dauerte drei bis vier Wo-

chen. Im Anschluss an die Extrusion wurde die elastische Ligatur für weitere zwei Monate zur Stabilisierung bzw. bis das Gewebe für die histologische Untersuchung entnommen wurde, beibehalten. Nach der kieferorthopädischen Extrusion erfolgte an dem anderen Schneidezahn die chirurgische Extrusion. Für beide Zähne wurde derselbe Referenzpunkt in der koronalen Position verwendet. Um einer dentalen Exfoliation nach dem Eingriff vorzubeugen, wurde die extrudierte Wurzel durch einen kieferorthopädischen Draht gestützt, der an der bukkalen Seite des Nachbarzahns befestigt wurde (Abb. 1). Im Anschluss an den Eingriff erhielten alle Tiere eine Einzeldosis 600000 IU Benzylpenicillin (Benzatron, Ariston), und in der ersten Woche bekamen sie Nassfutter.

Die Tiere wurden sieben, 14, 45, 90, 120 und 180 Tage nach dem Eingriff mit einer Überdosis eines Narkosemittels eingeschlafert. Zu jedem Zeitpunkt wurden jeweils drei Tiere eingeschlafert. Es wurden Gewebelöcher entnommen, die außer den Zähnen Gingiva und Alveolarknochen enthielten. Sie wurden 72 Stunden in einer 10%-Lösung aus gepuffertem Formaldehyd aufbewahrt, 24 Stunden unter fließendem Wasser gewaschen und in Morse-Lösung dekalzifiziert²⁸. Entlang der Zahnachse wurden mit dem Mikrotom transversale Schnitte angefertigt. Je sechs Schnitte aus dem koronalen, medialen und apikalen Drittel des intraalveolären Segments wurden in histologischen 6-µm-Schnitten untersucht, die mit Hämatoxylin und Eosin eingefärbt wurden.

Anschließend erfolgte für alle Schnitte eine Beschreibung der histologischen Analyse der Wurzeloberfläche und der benachbarten Parodontalstrukturen. Die Charakterisierung der verschiedenen Arten der



Abb. 1a (links) Beginn der kieferorthopädischen Extrusion. Der festgelegte Abstand zwischen der Wurzel und dem kieferorthopädischen Draht betrug 3 mm. Die Elastomerkette wird so gespannt, dass die Extrusion des Zahns erfolgt.



Abb. 1b (rechts) Ende der kieferorthopädischen Extrusion. Der Zahn hat Kontakt zur transversalen Verankerung. Damit ist die geplante Bewegung abgeschlossen. Jetzt wurde der kontralaterale Zahn für die chirurgische Extrusion gekürzt.

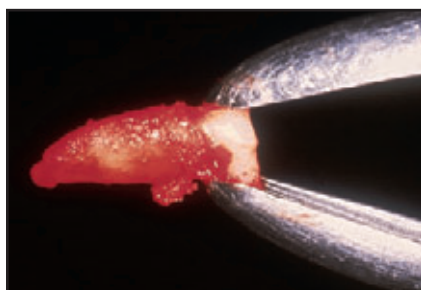


Abb. 1c (links) Der extrahierte Zahn. Die Wurzel ist intakt geblieben. Das parodontale Ligament ist intakt. Es wurde nicht verändert.



Abb. 1d (rechts) Der Zahn wird in derselben koronalen Position wie der kieferorthopädisch extrudierte Zahn wieder in die Alveole inseriert. Die inzisale Abstützung erfolgt durch den kieferorthopädischen Draht über dem extrudierten Zahn, um einer Exfolation vorzubeugen.

Wurzelresorption und -reparatur wurde anhand der Nomenklatur von Andreasen²⁹ vorgenommen. Außerdem wurde der Index von Knight et al.³⁰ verwendet, um die verschiedenen Grade der Wurzelresorption und -reparatur zu charakterisieren: Grad 1 = mäßig (Beteiligung von einem Viertel der Wurzel); Grad 2 = moderat (Beteiligung der Hälfte der Wurzel); Grad 3 = intensiv (Beteiligung von drei Vierteln der Wurzel).

Ergebnisse

In der kieferorthopädischen Extrusionsgruppe wurde zu keinem Zeitpunkt eine aktive Wurzelresorption beobachtet. Zu den frühesten Zeitpunkten, nach sieben und 14 Tagen, war das parodontale Ligament vergrößert, aber einheitlich und organi-

siert, und es waren funktionell ausgerichtete Fasern zu sehen. Allerdings wurde später eine gewisse Resorptionsreparatur beobachtet. In der chirurgischen Extrusionsgruppe wurden zu jedem Untersuchungszeitpunkt mehrere Veränderungen festgestellt.

Nach sieben Tagen war die Verbindungsstelle an der Rupturlinie des parodontalen Ligaments im dazwischenbefindlichen Gefäßgeflecht leicht zu erkennen. Diese Stelle war chronisch entzündet und die Kollagenfasern waren degeneriert. Trotz der Ruptur waren die Reste des parodontalen Ligaments nahe dem Zahn dicht und gut befestigt. In einigen dieser Bereiche waren die gerissenen Kollagenfasern dicht miteinander verbunden (Abb. 2). In manchen der Biopsate waren an den Wurzeloberflächen

einige aktive Resorptionsspalten mit mehrkernigen Zellen zu sehen (Abb. 3).

Nach 14 Tagen war das parodontale Ligament dick und unregelmäßig, aber im Allgemeinen war der Zahnhalteapparat wiederhergestellt (Abb. 4). Trotzdem gab es Anzeichen einer aktiven Oberflächen- und Entzündungsresorption (Grad 1 und 2) (Abb. 5). Nach 45 Tagen wurde in der kieferorthopädischen Extrusionsgruppe in allen Biopsaten um die Zähne ein dichtes und gut definiertes parodontales Ligament ohne aktive Wurzelresorption beobachtet. Es gab Bereiche mit einer reparierten Oberflächenresorption (Grad 1 und 2). Neben dem neuen Zement wurden in den Spalten Fasern mit paralleler Ausrichtung festgestellt (Abb. 6). In der chirurgischen Extrusionsgruppe war

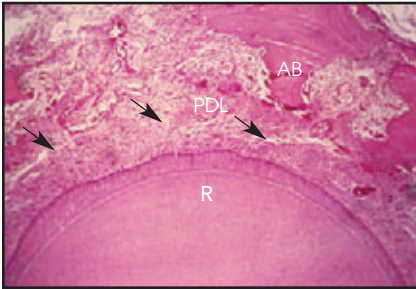


Abb. 2 (links) Chirurgische Extrusion, nach 7 Tagen. Die unregelmäßige Breite des parodontalen Ligaments (PDL), die unbeschädigte Schicht nahe der Wurzeloberfläche (R), Alveolarknochen (AB) und ein Separationsbereich in der Mitte des parodontalen Ligaments (Pfeile) sind zu erkennen (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 10).

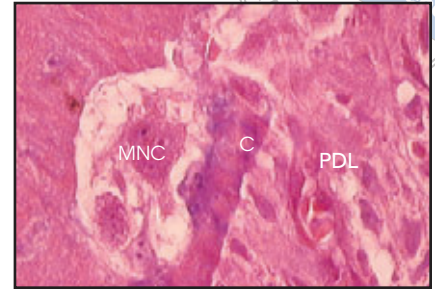


Abb. 3 (rechts) Chirurgische Extrusion, nach 7 Tagen. Die Zementschicht (C) ist durch die aktive Oberflächenresorption unterbrochen, und mehrkernige Zellen (MNC) sowie normales parodontales Ligament (PDL) liegen vor (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 100).



Abb. 4 (links) Chirurgische Extrusion, nach 14 Tagen. Trotz der unregelmäßigen Verteilung der Wurzel (R) in der Alveole und der Breite des parodontalen Ligaments (Pfeile) ist der Zahnhalteapparat wiederhergestellt. AB = Alveolarknochen; PDL = parodontales Ligament (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 4).

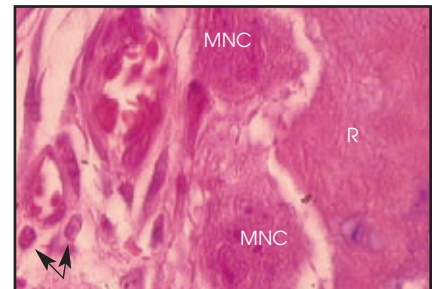


Abb. 5 (rechts) Chirurgische Extrusion, nach 14 Tagen. Eine aktive Entzündungsresorption an der Wurzeloberfläche (R), mit mehrkernigen (MNC) und entzündlichen Zellen (Pfeile) nahe dem Resorptionsspalt ist zu erkennen (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 100).

im koronalen Drittel nur eine geringe aktive Oberflächenresorption zu erkennen. Allerdings gab es in den übrigen Dritteln eine extensive reparierte Oberflächenresorption. Nahe den Spalten mit reparierter Oberflächenresorption waren neuer Zement und parodontales Ligament ersetzt, aber noch nicht funktionell repariert worden. Es lag noch eine leichte bis moderate Ankylose vor. In manchen Bereichen gab es Anzeichen einer Entfernung vom benachbarten normalen parodontalen Ligament durch den Resorptionsprozess (Abb. 7).

In beiden Gruppen wurden nach 90 Tagen ähnlich extensive Reparaturvorgänge beobachtet. Im Allgemeinen waren die Bereiche mit

einer reparierten Oberflächenresorption in allen Biopsaten recht häufig, aber in der chirurgischen Extrusionsgruppe lag auch eine reparierte entzündliche Resorption vor (Abb. 8). Die reparierten entzündlichen Resorptionsspalten zeigten ein unreifes neues parodontales Ligament und waren chronisch entzündet.

Nach 120 Tagen waren reparierte Resorptionsspalten der Wurzeloberflächen mit normalem parodontalem Ligament zu sehen (Abb. 9). In der kieferorthopädischen Extrusionsgruppe jedoch war nur in wenigen der reparierten Spalten dichtes parodontales Ligament erkennbar (Abb. 10). Nach 180 Tagen war in beiden Gruppen zu erkennen, dass

eine intensive Reparatur erfolgt war. In allen Wurzelsegmentdritteln lag eine funktionelle reparierte Resorption der Wurzeloberflächen vor (Abb. 11).

Im Reparaturbereich wurde neben dem neuen Zement dichtes und funktionelles parodontales Ligament mit gut definierten Bündeln aus Kollagenfasern beobachtet. In manchen Biopsaten der chirurgischen Extrusionsgruppe war auch eine leichte reparierte entzündliche Resorption zu erkennen. Der Spalt, der durch neuen Zement und parodontales Ligament repariert war, war noch immer chronisch entzündet (Abb. 12). Es war zwar eine Reparatur des Parodonts zu beobachten, aber in keinem der

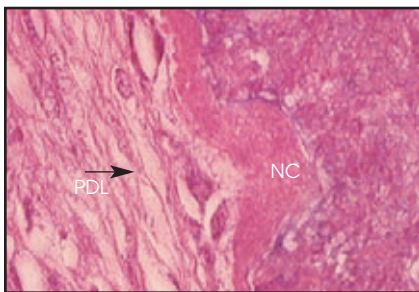


Abb. 6 (links) Kieferorthopädische Extrusion, nach 45 Tagen. Die reparierte Oberflächenresorption ist zu erkennen. Es liegen neuer Zement (NC) und parodontales Ligament (PDL) vor, das Bindegewebe ist dünn und nicht organisiert. Die Kollagenfaserbündel verlaufen parallel zur Wurzel (Pfeil) (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

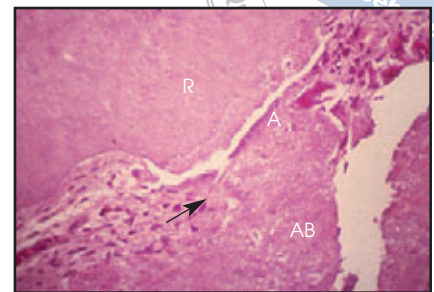


Abb. 7 (rechts) Chirurgische Extrusion, nach 45 Tagen. Der Ankylosebereich (A) unterliegt der Resorption aus dem benachbarten normalen parodontalen Ligament (Pfeil). R = Wurzeloberfläche; AB = Alveolarknochen (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

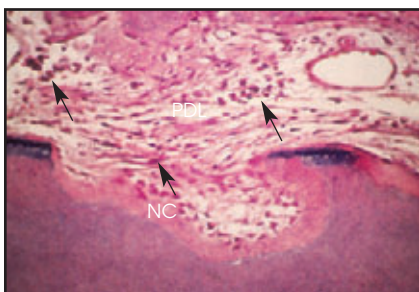


Abb. 8 (links) Chirurgische Extrusion, nach 90 Tagen. Die reparierte Entzündungsresorption ist zu erkennen. Es liegen neuer Zement (NC) und parodontales Ligament (PDL) vor, mit entzündlichen Zellen (Pfeile) nahe dem Resorptionsspalt (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

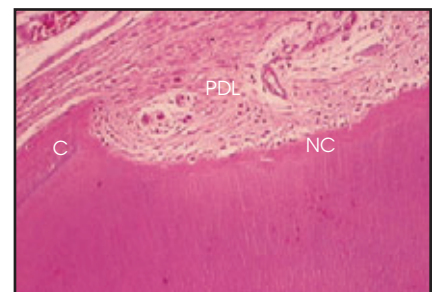


Abb. 9 (rechts) Chirurgische Extrusion, nach 120 Tagen. Die reparierte Oberflächenresorption zeigt neuen Zement (NC) und parodontales Ligament (PDL) am Resorptionsspalt. C = Zement (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

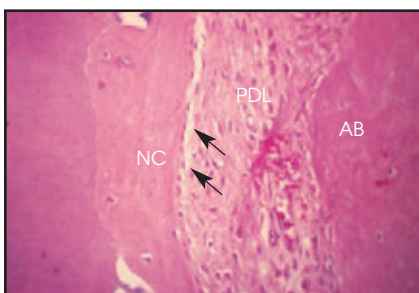


Abb. 10 Kieferorthopädische Extrusion, nach 120 Tagen. Die reparierte Oberflächenresorption zeigt sich durch neuen Zement (NC), der von flachen mesenchymalen Zellen (Pfeile) bedeckt ist. Das parodontale Ligament (PDL) besteht aus dichtem Bindegewebe. AB = Alveolarknochen (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

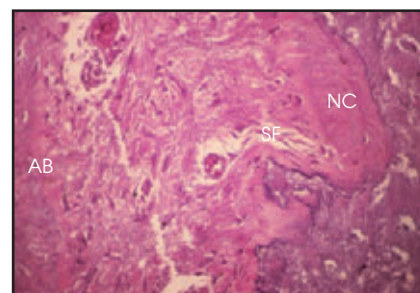


Abb. 11 Chirurgische Extrusion, nach 180 Tagen, mit reparierter Oberflächenresorption. Nahe dem reparierten Resorptionsspalt zeigen sich neuer Zement (NC) und dichtes Bindegewebe. Es sind Sharpey-Fasern (SF) zu sehen, die normalerweise zwischen der Wurzel und dem Alveolarknochen (AB) angeordnet sind (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

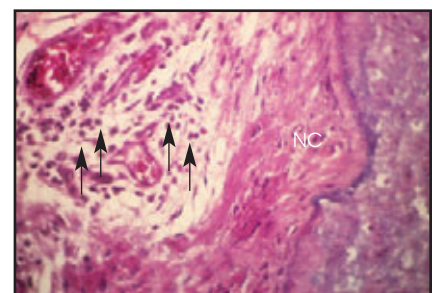


Abb. 12 Chirurgische Extrusion, nach 180 Tagen, mit reparierter Entzündungsresorption. Die entzündlichen Zellen (Pfeile) befinden sich nahe dem reparierten Resorptionsspalt mit neuem Zement (NC) (Hämatoxylin-Eosin; Vergrößerung x 40).

Biopsate lagen in den reparierten Resorptionsbereichen Malassez-Epithel-Reste vor.

Eine Zusammenfassung der Resorptions- und Reparaturbefunde der Biopsate, die zu den verschie-

denen Zeitpunkten der Extrusion beobachtet wurden, ist in Tabelle 1 aufgeführt.



Variable	7 Tage			14 Tage			45 Tage			90 Tage			120 Tage			180 Tage				
	K	M	A	K	M	A	K	M	A	K	M	A	K	M	A	K	M	A		
	C/O	C	O	C/O	C	O	C/O	C	O	C/O	C	O	C/O	C	O	C/O	C	O		
ASR 1	-	-	-	45	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ASR 2	-	-	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ASR 3	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AIR 1	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AIR 2	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AIR 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
RSR 1	-	-	-	-	42	16	50	-	-	-	66	-	-	100	-	60	50	27	50	27
RSR 2	-	-	-	42	50	27	100	27	63	33	66	33	33	75	-	30	-	-	66	100
RSR 3	-	-	-	-	-	-	-	-	36	33	66	66	25	100	-	100	-	72	-	33
RIR 1	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	33	-	-	-	-	-	-	-	33
RIR 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
RIR 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RR 1	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-
RR 2	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RR 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Die Zahlen entsprechen dem Prozentsatz an Resorption und Reparatur der Wurzeloberfläche (n= 18 Schnitte in jedem Drittel jeder Gruppe). K = koronales Drittel; M = mediales Drittel; A = apikales Drittel; ASR = Grad (1, 2, 3) der aktiven Oberflächenresorption; AIR = Grad (1, 2, 3) der aktiven Entzündungsresorption; RSR = Grad (1, 2, 3) der reparierten Oberflächenresorption; RIR = Grad (1, 2, 3) der reparierten Entzündungsresorption; RR = Grad (1, 2, 3) der Ersatzresorption (Ankylose); - = keine histologischen Befunde.

Diskussion

Das größte Problem bei luxierten und reimplantierten Zähnen ist die Ankylose²¹⁻²⁷. Bei der chirurgischen Extrusion in dieser Studie spielte sie allerdings kaum eine Rolle. Eine Ankylose aufgrund einer Verletzung bei einem chirurgischen Eingriff kann offenbar vorübergehend vorkommen, weil das umgebende parodontale Ligament den ankylotischen Bereich durch einen funktionell stimulierten Resorptionsprozess beseitigen kann^{31, 32}. Zweifellos traten die signifikantesten Veränderungen bei der Oberflächenresorption auf. Nach sieben Tagen war bei der chirurgischen Extrusionsgruppe trotz der offensichtlichen Ruptur ein parodontales Ligament mit einer großen Zahl von Kollagenfaserbündeln nahe der Wurzel zu erkennen, die sich in allen untersuchten Biopsaten verbinden konnten. Das parodontale Ligament nahe der Wurzel muss intakt bleiben und darf so lange nicht manipuliert werden, bis sich der Zahn wieder in der Alveole befindet. Die Handhabung des Zahns während des Eingriffs kann seine Vitalität beeinträchtigen. Die Wurzel darf nicht lange aus der Alveole entfernt werden, da die sofortige Reimplantation des luxierten Zahns einer der wichtigsten Faktoren für die Heilung des parodontalen Ligaments ist^{22, 23, 33}.

Die Funktion des parodontalen Ligaments hängt von den Sharpey-Fasern ab, die normalerweise zwischen der Wurzel und dem Alveolarknochen angeordnet sind. Die gerissenen Fasern verbanden sich zwar bald nach dem Eingriff wieder, aber erst 45 Tage nach der chirurgischen Extrusion lag in dem Bereich um die Wurzel, in dem keine Resorption stattgefunden hatte, ein dichtes und funktionelles parodontales Ligament vor (restitutio ad inte-

grum). Das funktionelle parodontale Ligament nach 45 Tagen wurde gleichzeitig mit der reduzierten Zahnmobilität nach dem klinischen Verfahren beobachtet.

Die klinische Untersuchung der chirurgischen Extrusion hat gezeigt, dass für die Stabilität der Alveole keine Verblockung erforderlich ist^{3, 15-19}. In der vorliegenden Studie erhielten die extrudierten Zähne eine inzisale Unterstützung, um einer Exfoliation vorzubeugen. Zunächst wurde die Stabilisierung der Wurzel in der Alveole durch ein intraalveoläres Koagulum erreicht, das der Wurzelintrusion vorbeugte. Der Extrusion der Wurzel wurde durch die inzisale Abstützung vorgebeugt. Außerdem spielt bei der Vorbeugung gegen die Ankylose wohl die funktionelle Stimulierung des Zahns in der Alveole eine signifikante Rolle³⁴⁻³⁹. Dazu kam, dass die Vitalität des parodontalen Ligaments erhalten wurde.

Die verschiedenen Reparaturvorgänge und unterschiedlichen Resorptionsgrade der einzelnen Wurzelsegmente waren nicht einheitlich. Trotzdem war in allen Segmenten eine Wurzelresorption zu beobachten (Tabelle 1). In der chirurgischen Extrusionsgruppe waren diese Unterschiede vielleicht auf zwei Faktoren zurückzuführen. Erstens traten während der Extraktion traumatische Bedingungen auf, die nicht dem Standard entsprachen. In einer früheren Studie wurde die Meinung vertreten, es könne einen Zusammenhang zwischen der Wurzelresorption und dem Umfang des Schadens geben, den das parodontale Ligament und/oder die Wurzeloberfläche durch die Luxation genommen hat. Es sei anzunehmen, dass rotierende Bewegungen während der Extraktion in den intraossären Teilen des parodontalen Ligaments aufgrund der unregel-

mäßigen Form der Wurzel einen hohen Druck und hohe Zugspannungen erzeugen⁴⁰. Zweitens kann die nicht standardgemäße Positionierung der Wurzel in der Alveole nach einer chirurgischen Extraktion und Reimplantation zu einer ungleichmäßigen Bildung und Verteilung des neuen parodontalen Ligaments führen. Solche Faktoren trugen vielleicht zu den unterschiedlichen Phänomenen der histologischen Resorption und Reparatur in den verschiedenen Wurzeldritteln bei.

Die kieferorthopädische Extrusion ist zwar eine konservativere Behandlung, weil dabei keine Ruptur des parodontalen Ligaments auftritt, und es gab kurz nach Beginn auch keine besonderen histologischen Befunde. Aber später traten trotzdem Resorptionsreparaturen auf. Sehr wichtig ist dabei, dass die Beobachtungszeiträume für diese Gruppe nicht den Einheilungszeiten entsprachen. Die histologischen Beobachtungszeiträume der beiden Gruppen wurden festgelegt, nachdem die Zähne die endgültige Extrusionsposition erreicht hatten. Dies war der allgemeine Parameter für die beiden Techniken bei demselben Tier. Als dieser Parameter gewählt wurde, blieb der Zeitraum der Aktivierung und der Zahnbewegung ausgeschlossen. Die Auswertung erfolgte ab dem Zeitpunkt der Stabilisierung des Zahns. Allerdings variierte der Zeitrahmen für die endgültige Zahnbewegung bei den beiden Techniken. Die kieferorthopädische Extrusion dauerte durchschnittlich drei bis vier Wochen, während die chirurgische Extrusion nur einen Tag in Anspruch nahm. Deshalb waren die histologischen Beobachtungszeiträume für die kieferorthopädische etwas länger als für die chirurgische Extrusionsgruppe. Außerdem wurde bei



der kieferorthopädischen Extrusion eine starke Kraft eingesetzt, um den Vorgang zu beschleunigen. Eine starke kieferorthopädische Kraft fördert intensive Veränderungen in den komprimierten Bereichen des parodontalen Ligaments, aber anders als eine Kippung führt sie zur Vertikalisierung, Rotation und Intrusion. Die Extrusionsbewegung sollte im parodontalen Ligament keine Kompressionsbereiche erzeugen, sondern nur Spannungsbereiche. Es sollte also bei der Hyalinisierung des parodontalen Ligaments und deren Auswirkungen keine Veränderungen geben⁴¹. Das ist allerdings nur dann der Fall, wenn die Wurzel einheitlich kegelförmig ist. Das sah bei den Zähnen in dieser Studie anders aus. Die anatomischen Unterschiede trugen vielleicht dazu bei, dass während der Extrusion kleine, lokalisierte Kompressionsbereiche entstanden. Dies beeinträchtigte allerdings nicht die ausgeübte kieferorthopädische Kraft. Trotzdem sind die Ergebnisse dieser Gruppe als günstig zu betrachten, da alle Resorptionsspalten funktionell repariert wurden und die Resorption weniger ausgeprägt war als in der chirurgischen Extrusionsgruppe.

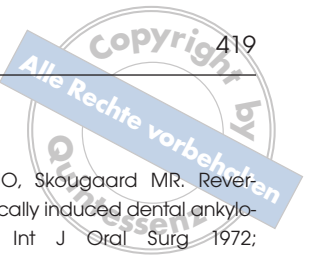
Das Verhalten des Parodontalgewebes nach der raschen kieferorthopädischen und chirurgischen Extrusion zeigte, dass das Verfahren klinisch anwendbar sein kann, obwohl histologisch eine Wurzelresorption nachgewiesen wurde. Die Resorptionen verursachten keinen so großen morphologischen/funktionellen Schaden, dass das klinische Verfahren nicht durchführbar wäre. Alle anfänglich aufgetretenen Schäden in den beiden Gruppen wurden später durch ein funktionelles parodontales Ligament repariert. Sicher ist die kieferorthopädische Extrusion konservativer und physiologischer als die chirurgi-

sche Extrusion. Die Ergebnisse zeigten allerdings, dass die Funktion in beiden Gruppen wiederhergestellt wurde. Deshalb wird durch die histologische Auswertung die klinische Anwendbarkeit der chirurgischen und der kieferorthopädischen Extrusion für die Wiederherstellung der biologischen Breite bestätigt.

In weiteren Studien zur Standardisierung des chirurgischen Traumas, zur räumlichen Positionierung des Zahns in der Alveole bei der chirurgischen Extrusion und zur Standardisierung der kieferorthopädischen Extrusionskräfte können die Phänomene der parodontalen Heilung noch besser geklärt werden.

Literatur

1. De Paoli S, Nevins M, Cappetta EG. The biologic width: Crown lengthening. In: Nevins M, Mellonig JT (eds). *Periodontal Therapy: Clinical Approaches and Evidence of Success*. Chicago, Quintessenz, 1988:319–328.
2. Rosenberg ES, Cho SC, Garber DA. Crown lengthening revisited. *Compend Contin Educ Dent* 1999;20:527–532.
3. Kim SH, Tramontina VA, Passanezi E. New approach using the surgical extrusion procedure as an alternative to the reestablishment of biologic width. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:39–45.
4. Ingber JS. Forced eruption: Part II. A method of treating nonrestorable teeth—Periodontal and restorative considerations. *J Periodontol* 1976;47:203–216.
5. Stroster TG. Forced eruption: Clinical considerations. *Gen Dent* 1990;38:376–380.
6. Stevens BH, Levine RA. Forced eruption: A multidisciplinary approach for form, function, and biologic predictability. *Compend Contin Educ Dent* 1998;19:994–998, 1000.
7. Emerich-Poplatek K, Sawicki L, Bodal M, Adamowicz-Klepalska B. Forced eruption after crown/root fracture with a simple and aesthetic method using the fractured crown. *Dent Traumatol* 2005;21:165–169.



8. Chandler KB, Rongey WF. Forced eruption: Review and case reports. *Gen Dent* 2005;53:274–277.
9. Oppenheim A. Artificial elongation of teeth. *Am J Orthod Oral Surg* 1940;26:931–940.
10. Ingber JS. Forced eruption. In Marks H, Corn H (eds), *Atlas of Adult Orthodontics*. Philadelphia: Lea and Febiger, 1989: 413–447.
11. Pontoriero R, Celenza F Jr, Ricci G, Carnevale G. Rapid extrusion with fiber resection: A combined orthodontic-periodontic treatment modality. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1987;7:30–43.
12. Schwimer CW, Rosenberg ES, Schwimer DH. Rapid extrusion with fiberotomy. *J Esthet Dent* 1990;2:82–88.
13. Malmgren O, Malmgren B, Frykholm A. Rapid orthodontic extrusion of crown root and cervical root fractured teeth. *Endod Dent Traumatol* 1991;7:49–54.
14. Durham TM, Goddard T, Morrison S. Rapid forced eruption: A case report and review of forced eruption techniques. *Gen Dent* 2004;52:167–175.
15. Tegsjö U, Valerius-Olsson H, Olgart K. Intra-alveolar transplantation of teeth with cervical root fractures. *Swed Dent J* 1978;2:73–82.
16. Kahnberg KE, Warfvinge J, Birgersson B. Intraalveolar transplantation. (I). The use of autologous bone transplants in the periapical region. *Int J Oral Surg* 1982; 11:372–379.
17. Kahnberg KE. Intraalveolar transplantation of teeth with crown-root fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 1985;43:38–42.
18. Tegsjö U, Valerius-Olsson H, Frykholm A, Olgart K. Clinical evaluation of intra-alveolar transplantation of teeth with cervical root fractures. *Swed Dent J* 1987;11: 235–250.
19. Kahnberg KE. Intra-alveolar transplantation. I. A 10-year follow-up of a method for surgical extrusion of root fractured teeth. *Swed Dent J* 1996;20:165–172.
20. Kim CS, Choi SH, Chai JK, Kim CK, Cho KS. Surgical extrusion technique for clinical crown lengthening: Report of three cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:412–421.
21. Andreasen JO. Periodontal healing after replantation and autotransplantation of incisors in monkeys. *Int J Oral Surg* 1981; 10:54–61.
22. Andreasen JO. Relationship between cell damage in the periodontal ligament after replantation and subsequent development of root resorption. A time-related study in monkeys. *Acta Odontol Scand* 1981;39:15–25.
23. Hammarström L, Pierce A, Blomlöf L, Feiglin B, Lindskog S. Tooth avulsion and replantation—A review. *Endod Dent Traumatol* 1986;2:1–8.
24. Andreasen JO, Borum MK, Jacobsen HL, Andreasen FM. Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 4. Factors related to periodontal ligament healing. *Endod Dent Traumatol* 1995;11:76–89.
25. Andreasen JO, Andreasen FM, Skeie A, Hjørting-Hansen E, Schwartz O. Effect of treatment delay upon pulp and periodontal healing of traumatic dental injuries—A review article. *Dent Traumatol* 2002;18:116–128.
26. Martins WD, Westphalen VP, Westphalen FH. Tooth replantation after traumatic avulsion: A 27-year follow up. *Dent Traumatol* 2004;20:101–105.
27. Pohl Y, Filippi A, Kirschner H. Results after replantation of avulsed permanent teeth. II. Periodontal healing and the role of physiologic storage and antiresorptive-regenerative therapy. *Dent Traumatol* 2005;21: 93–101.
28. Morse A. Formic acid-sodium citrate decalcification and butyl alcohol dehydration of teeth and bones for sectioning in paraffin. *J Dent Res* 1945;24:143–153.
29. Andreasen JO. Experimental dental traumatology: Development of a model for root resorption. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:269–287.
30. Knight MK, Gans BJ, Calandra JC. The effect of root canal therapy on replanted teeth of dogs: A gross, roentgenographic, and histologic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1964;18:227–242.
31. Andreasen JO, Skougaard MR. Reversibility of surgically induced dental ankylosis in rats. *Int J Oral Surg* 1972; 1:98–102.
32. Andreasen JO, Kristerson L. The effect of limited drying or removal of periodontal ligament. Periodontal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Acta Odontol Scand* 1981;39:1–13.
33. Van Hassel HJ, Oswald RJ, Harrington GW. Replantation 2. The role of the periodontal ligament. *J Endod* 1980;6:506–508.
34. Andreasen JO. The effect of splinting upon periodontal healing after replantation of permanent incisors in monkeys. *Acta Odontol Scand* 1975;33:313–323.
35. Nasjleti CE, Castelli WA, Caffesse RG. The effects of different splinting times on replantation of teeth in monkeys. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;53:557–566.
36. Kristerson L, Andreasen JO. The effect of splinting upon periodontal and pulpal healing after autotransplantation of mature and immature permanent incisors in monkeys. *Int J Oral Surg* 1983;12:239–249.
37. Andersson L, Lindskog S, Blomlöf L, Hedström KG, Hammarström L. Effect of masticatory stimulation on dentoalveolar ankylosis after experimental tooth replantation. *Endod Dent Traumatol* 1985;1: 13–16.
38. Mine K, Kanno Z, Muramoto T, Soma K. Occlusal forces promote periodontal healing of transplanted teeth and prevent dentoalveolar ankylosis: An experimental study in rats. *Angle Orthod* 2005;75: 637–644.
39. Chen CC, Kanno Z, Soma K. Occlusal forces promote periodontal healing of transplanted teeth with enhanced nitric oxide synthesis. *J Med Dent Sci* 2005;52: 59–64.
40. Andreasen JO. Analysis of topography of surface and inflammatory root resorption after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Swed Dent J* 1980;4: 135–144.
41. Proffit WR, Fields Jr HW. *Contemporary Orthodontics*, ed 3. St Louis: Mosby, 2002:296–325.