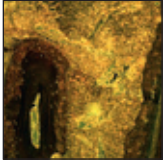


Klassifikation von Extraktionsalveolen bei Affen durch Analyse des Knochentyps und der Blutversorgung der bukkalen Knochenplatte



Khalid Al-Hezaimi, BDS, MSc¹/Paul Levi, DMD²/Robert Rudy, DMD³
Badar Al-Jandan, BDS, MSc⁴/Abdulaziz Al-Rasheed, BDS, MS⁵

Das Modeling und Remodeling des Knochens nach einer Extraktion wurde intensiv untersucht. Der Grund für den Knochenverlust während des Remodelings ist multifaktoriell, und der Hauptgrund für den Abbau des Knochens ist noch unbekannt. Ziel dieser Studie war es, den Knochentyp und die Blutversorgung der bukkalen Knochenplatte beim Affen zu untersuchen. Sechs Oberkiefer von sechs Affen wurden verwendet. Die Kieferbögen wurden in drei Segmente unterteilt: rechts posterior, anterior von Eckzahn zu Eckzahn und links posterior. Die Blöcke wurden entkalkt und mit einer modifizierten Masson-Trichrom-Färbung und „Retic Stain“ für die histologische Untersuchung vorbereitet. Hierbei zeigte sich, dass die Blutversorgung des bukkalen Knochens vom inneren (Socket) Teil der Alveole, dem parodontalen Ligament, dem benachbarten interdentalen Knochen und den aus der Gingiva oder Mukosa einsprossenden supraperiostalen Gefäßen stammt. Histologische Untersuchungen zeigten, dass die bukkale Knochenplatte aus Bündel- und kortikalem Knochen besteht. Die Dicke der bukkalen Knochenplatte war koronoapikal nicht gleichförmig, der dünnste Bereich lag im koronalen Anteil.

¹ Vorsitzender und Assistenzprofessor, Eng.A.B. Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, Division of Periodontology, College of Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

² Lehrbeauftragter, School of Dental Medicine, Tufts University, Boston, Massachusetts, USA.

³ Lehrbeauftragter, Direktor der Parodontologie-Forschungsabteilung, School of Dental Medicine, Tufts University, Boston, Massachusetts, USA.

⁴ Ordentlicher Professor, Department of Biomedical Dental Sciences and Assistant Professor and Head of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, University of Dammam, Dammam City, Saudi-Arabien.

⁵ Assistenzprofessor, Eng.A.B. Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, Division of Periodontology, College of Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

Korrespondenz an: Dr. Khalid Al-Hezaimi, Chairman Eng.A.B. Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, PO Box 103851, Riad, 11616, Saudi-Arabien; Fax: +966-1-4677854; E-Mail: Hezaimik16@gmail.com

In der Vergangenheit war die Osseointegration der Implantate das größte Problem für den Kliniker. Heute, mit dem Wissen über das Remodeling des Knochens nach der Extraktion und den Weiterentwicklungen der Biotechnologie und bei Biomaterialien liegen die Probleme eher bei postoperativen Komplikationen, der Funktion und dem endgültigen ästhetischen Resultat¹⁻⁵.

Klinische und radiologische Studien am Menschen⁶⁻⁹ haben gezeigt, dass sich das Knochenvolumen horizontal in den ersten 12 Monaten nach der Extraktion etwa um 50 % reduziert^{6, 10-15}. Offenbar kommt es zu einer markanten Reduktion des Alveolarkamms in Höhe und Breite nach der Extraktion einzelner oder mehrerer Zähne. Der Heilungsprozess nach der Entfernung des Zahns führt zu einer stärkeren bukkalen als lingualen/palatinalen Resorption des Kamms. Für die Veränderung des Kammvolumens nach der Extraktion ist dies insbesondere deshalb wichtig, weil der bukkale Anteil einer Extraktionsalveole ausschließlich aus Bündelknochen besteht¹⁰.

Das Phänomen des Knochenremodelings hat dazu geführt, eine Sofortimplantation zu empfehlen, um diese Knochenresorption möglichst zu vermeiden^{16, 17}. Es wurde behauptet, dass die Implantatober-

fläche zur Stabilität des Koagulums beiträgt und auch hilft, Osteoprogenitorzellen zu aktivieren, die Knochen in direktem Kontakt zum Implantat bilden²⁻⁴. Die Knochenresorption wird auch durch die Blutzufuhr, die Implantatoberfläche, vorhandene Infekte und den allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten beeinflusst¹⁸.

Araujo und Lindhe¹⁰ beschrieben in einem Hundexperiment, dass es in der ersten Phase der Heilung der Extraktionsalveole zu einer vollständigen Resorption des Bündelknochens (bukkalen Knochen) kommt und dieser durch Geflechtknochen ersetzt wird. Dennoch kann dies durch klinische Beobachtungen nicht immer so belegt werden. In vielen Fällen war die Veränderung des Knochenkamms nach der Extraktion weniger umfangreich als aus dem Hundexperiment geschlossen wurde.

Ziel der aktuellen Studie war es, den Knochentyp und die Blutversorgung der bukkalen Knochenplatte bei Affen *in vivo* zu beurteilen und daraus eine Klassifikation der Extraktionsalveolen abzuleiten.

Material und Methode

Sechs Affen (Durchschnittsalter 3,4 Jahre, Durchschnittsgewicht ca. 16 kg) wurden für diese Studie verwendet. Die Affen wurden für die Forschung der inneren Medizin verwendet und nach Abschluss dieses Projekts für die vorliegende Arbeit eingesetzt.

Biopsie, histologische Verarbeitung und Analyse

Die Tiere wurden mit einer Überdosis von 3 % Natriumpentobarbital ein-

geschläfert. Anteriore und posteriore Segmente des Oberkiefers wurden mit den Zähnen und Alveolarknochen am Stück entfernt. Die Blöcke wurden in zwei Segmente unterteilt: drei Frontzähne und die zwei Prämolaren (rechts und links). Die Blöcke wurden für eine Woche in 10 % neutraler Formalinlösung fixiert. Sie wurden in einer Lösung aus gleichen Anteilen von 50 % Ameisensäure und 20 % Natriumcitrat für 10 Wochen entkalkt. Die entkalkten Proben wurden unter fließendem Wasser gewaschen, getrocknet und in Paraffin eingebettet. Bukkolinguale Schnitte (7 µm) wurden mithilfe eines Mikrotoms und einer Diamantklinge angefertigt und mit Masson-Trichrom und Retic Stain eingefärbt.

Histomorphometrische Analyse

Die histologische Untersuchung wurde mithilfe eines Lichtmikroskops, das mit einer Kamera und einem Computer (Bühler) verbunden war, durchgeführt. Die beschreibenden Analysen jedes histomorphometrischen Parameters wurde bei jedem Affen von drei Untersuchern durchgeführt, von denen jeder den Knochentyp und die Blutversorgung zum bukkalen und interdentalen Knochen beurteilte.

Ergebnis

Die histologischen Analysen zeigten, dass die Blutversorgung der bukkalen Knochenplatte von der Innenseite (Socket) der Alveole, dem parodontalen Ligament (Abb. 1), dem benachbarten interdentalen Knochen (Abb. 1 und 2) und den suprapariostalen Gefäßen aus der Gingiva oder Mukosa (Abb. 1) stammt. Es wurde festgestellt, dass

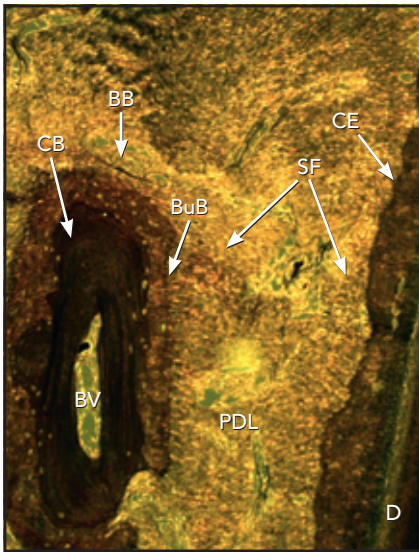


Abb. 1 Mikroskopaufnahme: bukkolingualer Schnitt eines Zahns mit umliegendem bukkalem Knochen mit Havers-System (Retic Stain, Vergrößerung x 4). BB = bukkaler Knochen; CB = kortikaler Knochen; BuB = Bündelknochen; PDL = parodontales Ligament; CE = Zement; SF = Sharpey-Fasern; BV = Blutgefäß; D = Dentin.

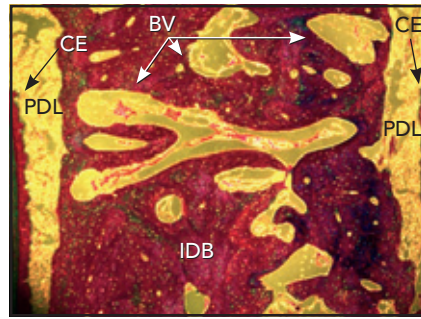


Abb. 2 Mikroskopaufnahme: interdentaler Knochen (IDB) in mesiodistaler Richtung mit umfangreichem Havers-System (Retic Stain, Vergrößerung x 4). CE = Zement; BV = Blutgefäß; PDL = parodontales Ligament.

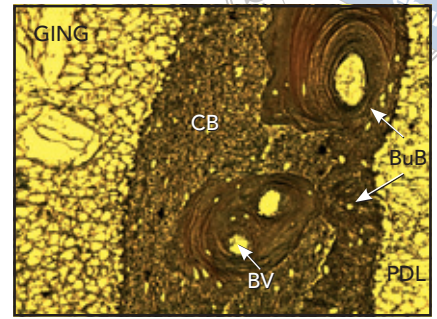


Abb. 3 Mikroskopaufnahme: bukkaler Knochen in höherer Vergrößerung. Die Dicke des Bündelknochens neben den Blutgefäßen des Havers-Systems ist erkennbar (Retic Stain, Vergrößerung x 60). GING = Gingiva; CB = kortikaler Knochen; BuB = Bündelknochen; BV = Blutgefäß; PDL = parodontales Ligament.

die Blutgefäße aus den benachbarten interdentalen Knochen im Durchmesser größer waren als die Blutgefäße in der Extraktionsalveole oder aus dem parodontalen Ligament. Der posteriore interdentaler Knochenanteil zeigte eine bessere Blutversorgung der bukkalen Knochenplatte als der anteriore, und dies schien proportional zum Volumen der bukkalen Knochenplatte zu sein. Es wurde ebenfalls beobachtet, dass der Knochen über diesen großen Gefäßen aus dem inneren Teil der Alveole im koronalen Drittel am dünnsten war (Abb. 3).

Die Histologie der Schnitte zeigte, dass der bukkale Knochen aus Bündel- und kortikalem Knochen bestand (Abb. 1). Der Bündelknochen bedeckte den inneren Anteil

der Alveolenwände. Neben dem Bündelknochen lag das parodontale Ligament, das am Zement befestigt und erkennbar war (Abb. 1). Zusätzlich zur Blutversorgung aus dem parodontalen Ligament fand sich ein großes Blutgefäß, das vom interdentalen Knochen durch das Havers-System in den kortikalen Knochen führte (Abb. 4a und 4b).

Die Dicke der bukkalen Knochenplatte war koronoapikal nicht gleichmäßig. Am dünnsten war der bukkale Knochen im koronalen Anteil. Das Havers-System im koronalen Anteil der bukkalen Knochenplatte lag koronal neben dem dünnsten Bereich der Knochenplatte und unmittelbar neben dem Bündelknochen. Kortikaler Knochen war nicht vorhanden (Abb. 3).

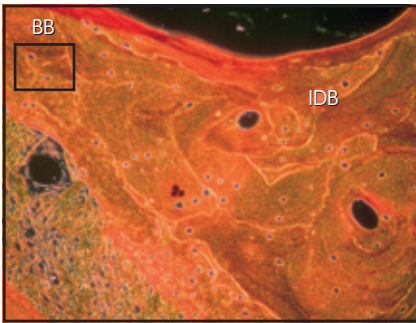
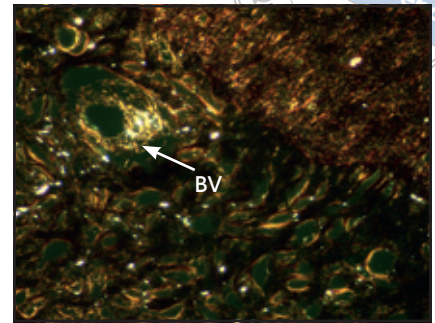


Abb. 4a (links) Mikroskopaufnahme: bukkaler (BB) und interdentaler Knochenanteil (IDB) in bukkolingualer Richtung in höherer Vergrößerung mit dem Havers-System zwischen den Knochen-trabekeln (Vergrößerung x 4).

Abb. 4b (rechts) Höhere Vergrößerung von Abb. 4a: Havers-System und Blutgefäße, die vom bukkalen zum interdentalen Knochenanteil verlaufen. BV = Blutgefäß (Vergrößerung x 8).



Klassifikation der Extraktionsalveolen

Die Klassifikation der Extraktionsalveolen basiert auf folgendem histologischem Ergebnis: Die bukkale Knochenplatte wird nicht nur aus der Alveole heraus mit Blutgefäßen versorgt, sondern auch aus dem benachbarten interdentalen Knochen. Für das Setzen von Implantaten sollte der Behandler unmittelbar nach der Exzision den parodontalen Biotyp und die Wanddicke der Extraktionsalveole beurteilen. Die Einteilung der Extraktionsalveolen soll dem Kliniker bei der Entscheidung für oder gegen eine Sofortimplantation helfen.

- Klasse I: Extraktionsalveole mesial und distal neben zwei nicht parodontal geschädigten natürlichen Zähnen (Abb. 5a)
- Klasse II: Extraktionsalveole mesial oder distal nur neben einem natürlichen Zahn, wobei zwei nebeneinanderliegende, parodontal nicht geschädigte Zähne extrahiert wurden (Abb. 5b)

- Klasse III: Extraktionsalveole hat mesial oder distal keinen unmittelbaren natürlichen Nachbarzahn als Ergebnis einer Exzision von drei oder mehr nebeneinanderliegenden Zähnen (Abb. 5c).

Diskussion

Das Knochenremodeling nach der Exzision ist gut dokumentiert^{6, 8, 10}. Bündelknochen ist unreifer Knochen, der dicke Bündel von Kollagenfasern in fast paralleler Anordnung mit dazwischenliegenden Osteozyten enthält. Ein ähnlicher Knochentyp befindet sich in Regionen mit einstrahlenden Sharpey-Fasern, die mit Bändern und Sehnenansätzen verbunden sind. Diese Studie zeigte, dass die bukkale Knochenplatte nicht nur aus Bündelknochen besteht und dass ein signifikanter Anteil der Blutversorgung aus dem benachbarten interdentalen Knochen stammt. Die Mikroskopaufnahme der histologi-

Abb. 5 Die Klassifikation der Extraktionsalveolen.

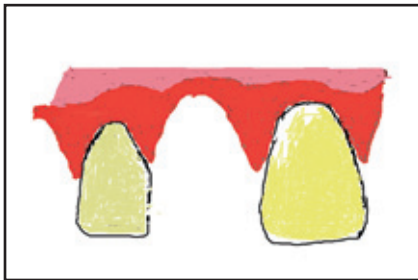


Abb. 5a Klasse I: Eine Extraktionsalveole mit natürlichen Zähnen mesial und distal.

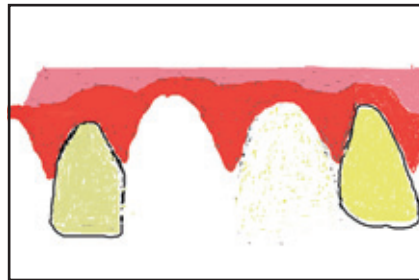


Abb. 5b Klasse II: Zwei Extraktionsalveolen mit natürlichen Nachbarzähnen.

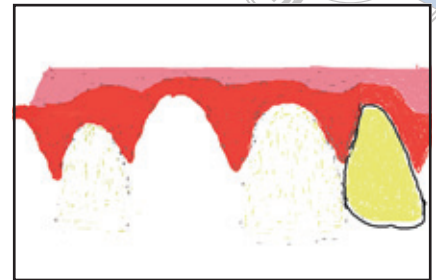


Abb. 5c Klasse III: Extraktionsalveolen ohne natürlichen Nachbarzahn

schen Proben zeigte dünnen Bündelknochen im inneren koronalen Anteil der Alveole (Abb. 1). Es gibt Blutgefäße, die mesiodistal vom benachbarten interdentalen Knochen in den bukkalen Knochen führen (Abb. 4a und 4b). Da ein Trauma bei der Extraktion wahrscheinlich ist, kann der Knochen in der Alveole leicht verletzt werden, womit auch die Blutgefäße beschädigt oder vollständig unterbrochen werden. Dies kann eine zusätzliche Erklärung für die vollständige Resorption der bukkalen Knochenplatte sein; sie tritt also nicht nur deshalb auf, weil die Blutversorgung dieser Knochenplatte nur aus dem parodontalen Ligament erfolgt.

In einer Hundestudie zeigten Caradropoli et al.¹⁹, dass der Großteil des Bündelknochens innerhalb von zwei Wochen nach der Entfernung der Unterkieferprämolaren resorbiert wird. Die bukkale Knochenplatte um Prämolaren ist bei Hunden sehr dünn. In den Proben der Affen, die eine dem Menschen ähnliche

Anatomie haben, war die bukkale Knochenplatte dicker und zeigte Bündel- und kortikalen Knochen. Die Autoren vermuten, dass die variablen Faktoren, die die Resorption des Knochens nach der Extraktion beeinflussen, einen Zusammenhang mit der signifikanten Blutversorgung aus dem interdentalen Knochen und dem Vorhandensein von Bündel- und kortikalem Knochen haben. Die partielle Resorption der bukkalen und lingualen Anteile der Alveolenwände wird nach der Extraktion gewöhnlich stattfinden und könnte eine Folge des dünnen koronalen Alveolarknochens sein. Zusätzlich nehmen die Autoren an, dass die Resorption mit der steigenden Anzahl benachbarter extrahierter Zähne und dem Verlust der Vaskularisierung aus dem interdentalen Knochen zunimmt. Wenn ein Einzelzahn neben zwei parodontal nicht geschädigten Zähnen atraumatisch extrahiert wird, ist die Resorption des Knochens geringer als bei der Extraktion zweier benachbarter Zähne. Wenn zwei

benachbarte Zähne mesial und distal extrahiert werden, erreicht die Resorption ein Maximum.

Schenk²⁰ zeigte, dass eine reduzierte Blutversorgung den Tod der Osteozyten verursacht und zu einer Nekrose des umliegenden mineralisierten Gewebes der Knochenwände führen kann. Dies steht im Einklang mit der Hypothese der Autoren für eine Einteilung der Extraktionsalveolen, die auf dem Vorhandensein von interdentalen Knochen basiert. Dieser ist für die Blutzufuhr der bukkalen Knochenplatte entscheidend. Je größer die Anzahl extrahierter Zähne ist, umso größer ist der Schaden am interdentalen Knochen, der die Blutzufuhr zum bukkalen Knochen beeinträchtigt. Die vorliegende histologische Studie zeigt die vorhandene Blutzufuhr des bukkalen aus dem interdentalen Knochenanteil zusätzlich zu der der supraparostalen Gefäße. Die Autoren glauben, dass das Knochen- und Weichgeweberemodelling in einer einzelnen Extraktionsalveole neben einem parodontal



nicht geschädigten Zahn geringer ist als bei multiplen Extraktionen, bei denen die Blutzufuhr aus dem interdentalen zum bukkalen Knochenanteil kompromittiert ist.

Die aktuellen Ergebnisse unterstützen die klinischen Beobachtungen von Tarnow et al.^{21, 22} bezüglich der Höhe der interdentalen Papille. Die Autoren nehmen an, dass die Blutversorgung aus dem interdentalen Knochen nicht nur für die Knochenresorption oder ihr Fehlen, sondern auch für die Konturen des Weichgewebes verantwortlich ist. Deshalb verhalten sich Blutversorgung und die Gewebekontur zwischen Implantaten teilweise proportional zur Anzahl der nebeneinander extrahierten Zähne. Wie in den Studien von Tarnow et al.^{21, 22} beschrieben, konnte bei einer Distanz vom Knochenkamm zum Kontaktpunkt von ≤ 5 mm die Papillenhöhe vorhersehbar erreicht werden. Dies kann bei einem Einzelzahnimplantat neben zwei parodontal nicht geschädigten natürlichen Zähnen ähnlich wie bei benachbarten natürlichen Zähnen beobachtet werden²²⁻²⁴. Zusätzlich sollte bei zwei nebeneinanderliegenden Implantaten die apikokoronale Dimension ≤ 3 mm vom Kontaktpunktbereich zum Aufbau einer interdentalen Papille betragen²¹. Tarnow et al.²⁵ zeigten, dass die minimale Distanz zwischen zwei Implantaten 3 mm betragen sollte, um einen Verlust des Knochens und als Folge davon eine apikale Migration des Gewebes zu vermeiden. Deshalb folgerten Tarnow et al.²¹, dass für den Erhalt der Papille neben einem Implantat gesunder Knochen in einem Abstand von ≤ 5 mm für ein einzelnes Implantat oder ≤ 3 mm zwischen zwei Implantaten nötig ist. Wenn ein einzelner Zahn extrahiert wird, sind ≤ 5 mm Abstand notwendig, damit die Papille wegen der Höhe und der Blutversorgung

des approximalen Attachments des Nachbarzahns den Interdentalraum ausfüllen kann.

Die vorgestellte Einteilung der Extraktionsalveolen hilft dem Praktiker, Situationen, bei denen eine Sofortimplantation im ästhetischen Bereich vorhersagbar ist, besser beurteilen zu können und damit eine spätere Implantation zu vermeiden. Nach der Meinung der Autoren hilft diese neue Einteilung dem Kliniker, mit überweisenden Zahnärzten besser zu kommunizieren und ihnen und ihren Patienten bei der Behandlungsplanung zu helfen.

Literatur

1. Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, et al. Osseous response following resective therapy with piezosurgery. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:543-549.
2. Franchi M, Bacchelli B, Giavaresi G, et al. Influence of different implant surfaces on peri-implant osteogenesis: Histomorphometric analysis in sheep. *J Periodontol* 2007;78:879-888.
3. Masuda T, Salvi GE, Offenbacher S, Felton DA, Cooper LF. Cell and matrix reactions at titanium implants in surgically prepared rat tibiae. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:472-485.
4. Qahash M, Hardwick WR, Rohrer MD, Wozney JM, Wikesjö UM. Surface-etching enhances titanium implant osseointegration in newly formed (rhBMP-2-induced) and native bone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22:472-477.
5. Selvakumaran J, Keddie JL, Ewins DJ, Hughes MP. Protein adsorption on materials for recording sites on implantable microelectrodes. *J Mater Sci Mater Med* 2008;19:143-151.
6. Johnson K. A study of the dimensional changes occurring in the maxilla following closed face immediate denture treatment. *Aust Dent J* 1969;14:370-376.

7. Lekovic V, Kenney EB, Weinlaender M, et al. A bone regenerative approach to alveolar ridge maintenance following tooth extraction. Report of 10 cases. *J Periodontol* 1997;68:563-570.
8. Amler MH, Johnson PL, Salman I. Histological and histochemical investigation of human alveolar socket healing in undisturbed extraction wounds. *J Am Dent Assoc* 1960;61:32-44.
9. Evian CI, Rosenberg ES, Coslet JG, Corn H. The osteogenic activity of bone removed from healing extraction sockets in humans. *J Periodontol* 1982;53:81-85.
10. Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212-218.
11. Araújo MG, Sukekava F, Wennström JL, Lindhe J. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:645-652.
12. Cardaropoli G, Araújo M, Hayacibara R, Sukekava F, Lindhe J. Healing of extraction sockets and surgically produced—augmented and non-augmented—defects in the alveolar ridge. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:435-440.
13. Fickl S, Zühr O, Wachtel H, Bolz W, Hürzeler M. Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: A volumetric study in the beagle dog. *J Clin Periodontol* 2008;35:356-363.
14. Fickl S, Zühr O, Wachtel H, Stappert CF, Stein JM, Hürzeler MB. Dimensional changes of the alveolar ridge contour after different socket preservation techniques. *J Clin Periodontol* 2008;35:906-913.
15. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: A clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:313-323.
16. Lazzara RJ. Immediate implant placement into extraction sites: Surgical and restorative advantages. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1989;9:332-343.
17. Ross SE, Strauss T, Crossetti HW, Gargiulo AW. The immediate placement of an endosseous implant into an extraction wound: A clinical case report using the RosTR System. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1989;9:34-41.
18. Scully C, Hobkirk J, Dios PD. Dental endosseous implants in the medically compromised patient. *J Oral Rehabil* 2007;34:590-599.
19. Cardaropoli G, Araújo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol* 2003;30:809-818.
20. Schenk RK. Histology of primary bone healing [in German]. *Fortschr Kiefer Gesichtschir* 1975;19:8-12.
21. Tarnow D, Elian N, Fletcher P, et al. Vertical distance from the crest of bone to the height of the interproximal papilla between adjacent implants. *J Periodontol* 2003;74:1785-1788.
22. Tarnow DP, Magner AW, Fletcher P. The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla. *J Periodontol* 1992;63:995-996.
23. Choquet V, Hermans M, Adriaenssens P, Daelemans P, Tarnow DP, Malevez C. Clinical and radiographic evaluation of the papilla level adjacent to single-tooth dental implants. A retrospective study in the maxillary anterior region. *J Periodontol* 2001;72:1364-1371.
24. Grunder U. Stability of the mucosal topography around single-tooth implants and adjacent teeth: 1-year results. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:11-17.
25. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol* 2000;71:546-549.