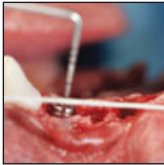


Histologische Untersuchung des Knochenumbaus an Sofortimplantaten, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden



Abdulaziz Al-Rasheed, BDS, MSc¹/Munirah Saleh Al-Shabeeb, BDS, MSc²
Nadir Babay, BDS, MSc³/Fawad Javed, BDS, PhD⁴
Mansour Al-Askar, BDS, MSc⁵/Hom-Lay Wang, DDS, PhD⁶
Khalid Al-Hezaimi, BDS, MSc⁷

In der hier vorgestellten Studie wurde histologisch der Knochenumbau an Sofortimplantaten untersucht, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden. Dazu wurden 10 Hunde anhand der Extraktion von Prämolaren in drei Gruppen (mit sechs Studienbereichen je Gruppe) unterteilt: Gruppe 1 = Extraktion von einem Zahn, Gruppe 2 = Extraktion von zwei benachbarten Zähnen und Gruppe 3 = Extraktion von mehr als zwei benachbarten Zähnen. Anschließend wurden in allen Gruppen Sofortimplantate gesetzt. Die histologische Untersuchung der Kiefer ergab in Gruppe 1 keine Hinweise auf einen periimplantären vertikalen Knochenverlust (VBL) im Vergleich zu Gruppe 2 ($p < 0,001$) und Gruppe 3 ($p < 0,001$). Die Dicke der bukkalen und lingualen Knochenplatten sowie der Knochen-Implantat-Kontakt (BIC) waren an den Implantaten der Gruppe 1 höher als in Gruppe 2 ($p < 0,001$) und 3 ($p < 0,05$). An Implantaten in mehreren benachbarten Extraktionsalveolen sind die bukkale und linguale Knochendicke, BIC und VBL im Vergleich zu Sofortimplantaten in einzelne Extraktionsalveolen reduziert. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2014; 34: 397–405)

¹ Außerordentlicher Professor, Department of Periodontics and Community Dentistry, and Engineer Abdullah Bugshan Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, College of Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

² Assistenzarzt, Engineer Abdullah Bugshan Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, Department of Periodontics and Community Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

³ Professor, Department of Periodontics and Community Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

⁴ Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Engineer Abdullah Bugshan Growth Factors and Bone Regeneration Research Chair, 3D Imaging and Biomechanical Lab, College of Applied Medical Sciences, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

⁵ Assistenzprofessor, Department of Periodontics and Community Dentistry, College of Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

⁶ Professor und Direktor der Graduate Periodontics, Department of Periodontics and Oral Medicine, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.

⁷ Außerordentlicher Professor und Leiter, Engineer Abdullah Bugshan Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, Department of Periodontics and Community Dentistry, College of Dentistry, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien.

Korrespondenz an: Dr. Khalid Al-Hezaimi. Engineer Abdullah Bugshan Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, 3D Imaging and Biomechanical Lab, College of Applied Medical Sciences, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien. E-Mail: hezaimik16@gmail.com

©2014 by Quintessence Publishing Co Inc.

Eine Zahnextraktion ist ein traumatischer Eingriff, der den umgebenden Alveolarknochen gefährdet. In mehreren Studien^{1–4} wurde ein direkter Zusammenhang zwischen der Zahnextraktion und dem Umbau des bukkalen Knochens nachgewiesen. Außerdem wurde in den ersten drei Monaten nach der Extraktion eine signifikante Resorption des Alveolarknochens beobachtet^{5,6}. Auch Nevins et al.⁷ beschrieben in den ersten 12 Wochen nach einer Extraktion einen Verlust der bukkalen Knochenplatte von $> 20\%$. Das erklärt sich mit der Beschaffenheit der bukkalen Alveolenwand, die überwiegend aus Bündelknochen besteht (der nur über suprapariostale Gefäße und das Parodontalligament versorgt wird) und dadurch nach einer Zahnextraktion eher resorbiert wird als die linguale und/oder palatinale Knochenwand^{2,3,8,9}.

In aktuellen Studien^{2,3,8,9} konnte mithilfe der Mikrocomputertomografie (Mikro-CT) gezeigt werden, dass die Extraktion mehrerer benachbarter Zähne zu einem stärkeren Umbau der bukkalen Knochenplatte führt als die Extraktion nur eines Zahns. Eine mögliche Erklärung liefert eine histologische Studie an Pavianen, in deren Rahmen die Autoren eine Blutversorgung des bukkalen Knochens auch vom angrenzenden interdentalen Knochen und nicht nur aus der

Innenseite der Alveole nachwiesen¹. Laut den Ergebnissen von Al-Askar et al.³ führt die Extraktion mehrerer benachbarter Zähne zu einem stärkeren Umbau der bukkalen Knochenplatte als die Extraktion von von einem oder wenigen Zähnen.

Um die Alveolarkammresorption nach einer Zahnextraktion zu reduzieren, wurden zahlreiche Behandlungsverfahren vorgeschlagen, wie die Sofortimplantation in frische Extraktionsalveolen^{2,8,10}, die jedoch auch weiterhin kontrovers beurteilt werden. Covani et al.¹⁰ wiesen nach der Sofortimplantation in frische Extraktionsalveolen eine geringere Resorption der bukkalen Knochenplatte nach. Al-Shabeeb et al.² zeigten jedoch vor Kurzem in einer Mikro-CT-Studie, dass die bukkale Knochendicke, die Alveolarkammhöhe und der Knochen-Implantat-Kontakt (BIC) deutlich stärker reduziert sind, wenn nicht nur ein Sofortimplantat in eine einzelne, sondern in mehrere nebeneinanderliegende Extraktionsalveolen gesetzt wird. Eingeschränkt wurde die Studie von Al-Shabeeb et al. dadurch, dass die Ergebnisse nur auf einem Mikro-CT der Sofortimplantate und ihrer angrenzenden Kieferregionen basierten. Daher gingen die Autoren von einer verstärkten Osteoklastenaktivität an Sofortimplantaten in mehreren benachbarten Extraktionsalveolen aus. Nach dem Wissen der Autoren dieser Studie gibt es bislang noch keine histologische Untersuchung des periimplantären Knochenumbaus an Sofortimplantaten in einzelnen bzw. mehreren benachbarten Extraktionsalveolen.

In der vorliegenden Studie wurde histologisch der periimplantäre Knochenumbau an Sofortimplantaten untersucht, die in einzelne bzw. mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden.

Material und Methode

Ethische Vorgaben

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission und der Kommission für Tierethik der Engineer Abdullah Bugshan Research Chair for Growth Factors and Bone Regeneration, 3D Imaging and Biomechanical Laboratory, College of Applied Medical Sciences, King Saud University, Riad, Saudi-Arabien, genehmigt.

Studientiere und Randomisierungsprotokoll

Verwendet wurden 10 erwachsene Beagle-Hündinnen mit einem mittleren Alter von $24 \pm 0,83$ Monaten und einem mittleren Gewicht von $13,8 \pm 0,49$ kg. Die Tiere waren gegen Tollwut und infektiöse Hepatitis geimpft und wurden im Studienverlauf in Einzelkäfigen gehalten. Alle nicht operativen und operativen Eingriffe erfolgten in Allgemeinanästhesie durch die intramuskuläre Injektion von Ketamin (Pfizer, 10 mg/kg Körpergewicht) und unter Lokalanästhesie mit Lidocain (mit Adrenalin 5 mg/ml) (AstraZeneca, Dentsply). Alle Tiere erhielten im Studienverlauf weiche Kost.

Die Tiere wurden randomisiert in drei Gruppen unterteilt: Gruppe 1 = Extraktion von einem Zahn, Gruppe 2 = Extraktion von zwei benachbarten Zähnen und Gruppe 3 = Extraktion von mehr als zwei benachbarten Zähnen. Jede Gruppe umfasste sechs Studienbereiche.

Nicht operatives Protokoll

Bei allen Tieren wurde zwei Wochen lang zweimal wöchentlich ein supra-

gingivales Scaling mit einem Ultraschall-Scaler (NSK) durchgeführt. Sie erhielten am Tag vor der Operation und am Operationstag Antibiotika (Ampicillin 25 mg/kg Körpergewicht) sowie für fünf Tage nach der Operation (25 bis 50 mg/kg Körpergewicht alle acht Stunden). Von den Extraktionsalveolen wurden periapikale Röntgenaufnahmen angefertigt. Die Tiere wurden abgedeckt und die Operationsbereiche mit Povidon-Iod (Betadin Solution, Purdue Frederick) abgewischt.

Chirurgisches Vorgehen

Nach der Mobilisierung von bukkalen Vollschichtlappen und einer intrasulculären Inzision bis an die Mukogingivalgrenze mit einem 15er-Skalpell wurden die Zähne atraumatisch mit piezoelektrischen Instrumenten (Mectron) extrahiert. Keiner der extrahierten Zähne wies einen Dehizensdefekt auf.

Insgesamt wurden gemäß der Klassifikation der Extraktionsalveolen² sofort 48 Implantate (Länge 10,5 mm, Durchmesser 3 mm) (BioHorizons Laser-Lok) auf Knochenniveau im Ober- und Unterkiefer (16 je Gruppe) gesetzt (Abb. 1). In Gruppe 1 wurden bilateral die ersten und zweiten Prämolaren extrahiert und sofort durch Implantate ersetzt. In Gruppe 2 wurden zwei benachbarte Prämolaren extrahiert und im Oberkiefer in die mesiale Alveole sowie im Unterkiefer in die distale Alveole sofort Implantate gesetzt. Dadurch wurde bei vier Hunden im Unterkiefer ein Kontakt mit den nach distal gewölbten Eckzahnwurzeln verhindert. In Gruppe 3 wurden bei vier Hunden jeweils drei Zähne extrahiert und sofort Implantate in die zentrale Alveole gesetzt. Alle Implantate heilten gedeckt mit Einheilkappen und waren nach lingual/palatinal geneigt. Nicht

primärstabile Implantate wurden aus der Studie ausgeschlossen. In jeder Gruppe wurde ein Mindestabstand zwischen Implantat und angrenzendem Zahn von 1,5 mm eingehalten. Die mittlere Spaltenbreite zwischen Implantat und Extraktionsalveole betrug 0,75 mm. Die Naht erfolgte mit resorbierbaren Fäden (Ethicon).

Postoperatives Management

Alle Tiere erhielten parenteral Amoxicillin 1 x 5 mg/kg/d für drei Tage (Betamox LA, Norbrook Laboratory). Die Plaque-Kontrolle erfolgte zweimal wöchentlich durch die topische Anwendung von 0,2 % Chlorhexidindigluconat (GUM, Sunstar Americas). Unmittelbar postoperativ wurden periapikale Röntgenaufnahmen angefertigt, um die Beziehung der Implantate zu den angrenzenden vitalen Strukturen zu überprüfen. Die Antibiotika wurden für drei Tage postoperativ weitergegeben (25 bis 50 mg/kg alle acht Stunden).

Euthanasie und Kiefersektion

Nach 16 Wochen wurden alle Hunde mit einer Überdosis 3 % Natriumpentobarbital euthanasiert. Die Kiefersegmente mit den Implantaten sowie die mesial und distal angrenzenden Zahnstrukturen wurden en bloc mit einer elektrischen Säge (Leica SP 1600) entfernt und in 10 % neutraler Formalinlösung fixiert.

Lichtmikroskopie

Die Kiefersegmente wurden für 10 Wochen in einer Lösung, die zu gleichen Teilen aus 50 % Methansäure und 20 % Natriumzitat bestand,

dekalzifiziert. Die dekalzifizierten Präparate wurden unter laufendem Wasser abgespült, in einer aufsteigenden Alkoholreihe dehydriert und in Paraffin eingebettet. Die polymerisierten Blöcke wurden geschliffen, um die Gewebekomponenten dichter an die Schneidfläche zu bringen. Dann wurde mit einem Diamantsägeblatt und einem Druck von 50 bis 100 g ein 100 µm dicker Schnitt vom zweiten Objektträger abgetrennt. Die endgültige Dicke von 40 µm wurde durch Schleifen und Polieren mit Schleifpapier mit einer Körnung von 1200, 2400 und 4000 hergestellt. Die Schnittpräparate aller Blöcke wurden mit Toluidinblau/Pyronin G – wie andernorts beschrieben¹¹ – angefärbt.

Histomorphometrie

Die Messungen wurden unter einem Lichtmikroskop, das mit einer Videokamera und einem Computer verbunden war, sowie mithilfe eines Analyseprogramms (OmniMet 9,5) durchgeführt. Vor der Bildaufnahme wurde zur Skalierung eine neue Parodontalsonde (Hu-Friedy) auf den histologischen Schnitt gelegt. Ein 1 mm großer Anteil der Sonde wurde zu Pixeln kalibriert. Die bukkale Knochenstärke (BBT), die linguale Knochenstärke (LBT) und der BIC wurden anhand zuvor festgelegter Kriterien bestimmt¹²⁻¹⁴. Der vertikale Knochenverlust (VBL) wurde ermittelt, indem die Schmelz-Zement-Grenzen der Zähne neben dem Implantat mit einer Linie verbunden und von dort der Abstand zum Alveolarkamm gemessen wurde^{2,15}.

Statistische Auswertung

Die Daten wurden statistisch mit einem Computerprogramm (SPSS Ver-

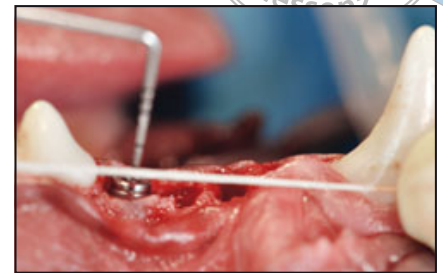


Abb. 1 Das Implantat mit Laser-Lok-Abutment (LLA) wurde sofort nach der Zahnextraktion auf Knochenniveau gesetzt.

sion 18, IBM) ausgewertet. Mithilfe einer einseitigen Varianzanalyse und dem Bonferroni-Test für Post-hoc-Mehrfachvergleiche wurden die Unterschiede von BBT, LBT, VBL und BIC zwischen den Studiengruppen ermittelt. Die statistische Signifikanz wurde auf ein Niveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Histologie

Die Sofortimplantate der Gruppe 1 wiesen gesunde periimplantäre Weichgewebe auf (Abb. 1). Abbildung 2a zeigt den BIC koronal des Kontaktspalts, der bis zum Laser-Lok-Abutment (LLA) reicht. Es gab keinen Hinweis auf ein entzündliches Zellinfiltrat oder eine fehlende Knochenresorption. Die stärkere Vergrößerung zeigt einen sehr guten BIC ohne Spalt sowie nativen und neugebildeten Knochen (Abb. 2b und 2c). Das Saumepithel reichte nur bis zum koronalsten Anteil der gelaserten und mikrogeätzten Oberfläche (Abb. 2d). Die gesunden Bindegewebsfasern verlaufen im rechten Winkel nahe der LLA-Oberfläche. Auf der LLA-Oberfläche finden sich Zeichen der Knochenregeneration. Aufgrund der Osseointegration des LLA wurde der Spalt mit Knochen ohne Saumepithel

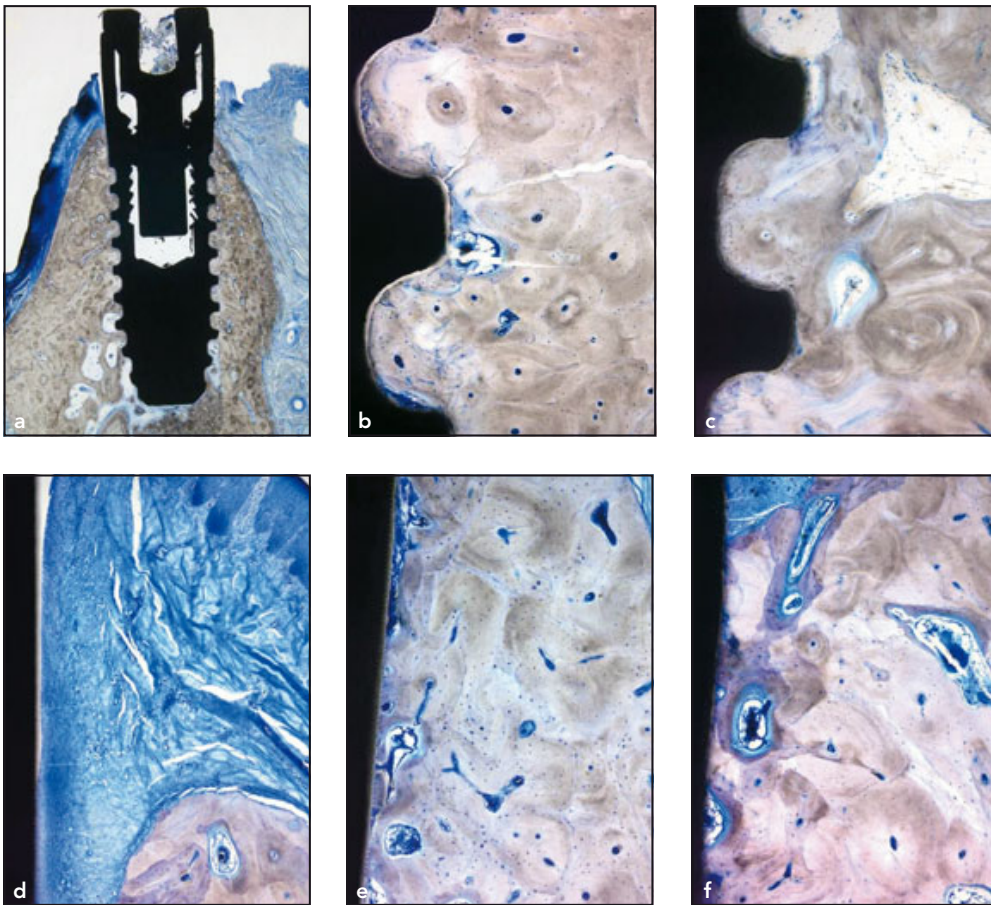


Abb. 2 Histologische Ergebnisse der laserablatierten Sofortimplantate in Gruppe 1. (a) Gesundes periimplantäres Weichgewebe ohne langes Saumepithel, bukkalen oder lingualen Alveolarkammverlust und entzündliches Zellinfiltrat. Osseointegration an allen Gewindegängen des Implantats (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 4). (b und c) Ausgezeichneter BIC auf der bukkalen Seite ähnlich dem BIC auf der lingualen Seite. (d) Gesundes Bindegewebe in der Nähe der laserablatierten Mikrokanäle des Abutments, wobei die Bindegewebsfasern rechtwinklig verlaufen (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 80). (e und f) Bukkaler und lingualer BIC auf der laserablatierten Abutmentoberfläche (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 60).

auf der bukkalen und lingualen Seite geschlossen (Abb. 2e und 2f).

Auch die Sofortimplantate der Gruppe 2 wiesen gesunde periimplantäre Weichgewebe ohne entzündliches Zellinfiltrat auf (Abb. 3a). Es besteht ein krestaler Knochenverlust mit der Exposition von durchschnittlich zwei Gewindegängen (Abb. 3a). Das Saumepithel endete am koronalen Anteil des eingekerbten Bereichs des LLA. Darunter befinden sich gesunde Bindegewebsfasern, die rechtwinklig zur LLA-Oberfläche verlaufen (Abb. 2b). Die histologischen Ergebnisse zeigen gesundes Bindegewebe mit direktem Kontakt zu den gelas-

ten und mikrogeätzten Mikrokanälen des Implantat-Abutments. Es ist kein langes Saumepithel erkennbar und die Fasern verlaufen im rechten Winkel (Abb. 3d). Bei 100-facher Vergrößerung ist ein hoher und anteilig ausgezeichneter BIC zu erkennen. Außerdem sind nativer und regenerierter Knochen (Abb. 3c und 3e) vorhanden.

Die in Gruppe 3 gesetzten laserablatierten Sofortimplantate wiesen gesunde periimplantäre Weichgewebe ohne Hinweis auf ein langes Saumepithel oder ein entzündliches Zellinfiltrat auf (Abb. 4a). Auf der bukkalen Seite war ein vertikaler Knochenver-

lust mit der Exposition von im Mittel drei Gewindegängen zu beobachten. Zu erkennen sind das fehlende lange Saumepithel und der direkte Kontakt zwischen der Bindegewebsmatrix und der lasergeätzten Abutmentfläche bei funktioneller Lage der Gewindegänge des Implantats (Abb. 4b). Der direkte Kontakt zwischen Bindegewebe und Implantatgewinde verhinderte die Bildung eines langen Saumepithels bis zum BIC ohne Einkapselung von Weichgewebe (Abb. 4c). Außerdem bestand ein anteilig hoher BIC und es fand sich neugebildeter Knochen (Abb. 4d).

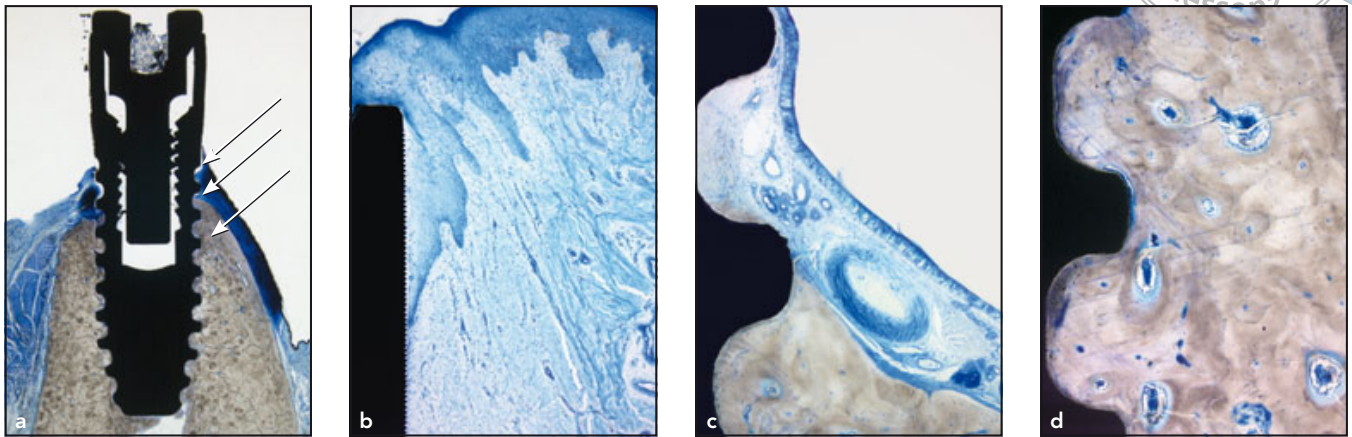


Abb. 3 Histologische Ergebnisse der Sofortimplantate in Gruppe 2. (a) Gesundes periimplantäres Weichgewebe ohne langes Saumepithel und entzündliches Zellinfiltrat (Vergrößerung x 4). Verlust der krestalen Knochenhöhe mit Exposition von im Mittel zwei Gewindegängen (Pfeile) (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 4). (b) Fehlendes langes Saumepithel und gesunde Bindegewebsfasern in direktem Kontakt mit den LLA-Mikrokanälen; die Fasern verlaufen rechtwinklig (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 80). (c und d) Bei 100-facher Vergrößerung ist ein hoher und ausgezeichneter BIC-Prozentsatz zu erkennen (Toluidinblau/Pyronin G).

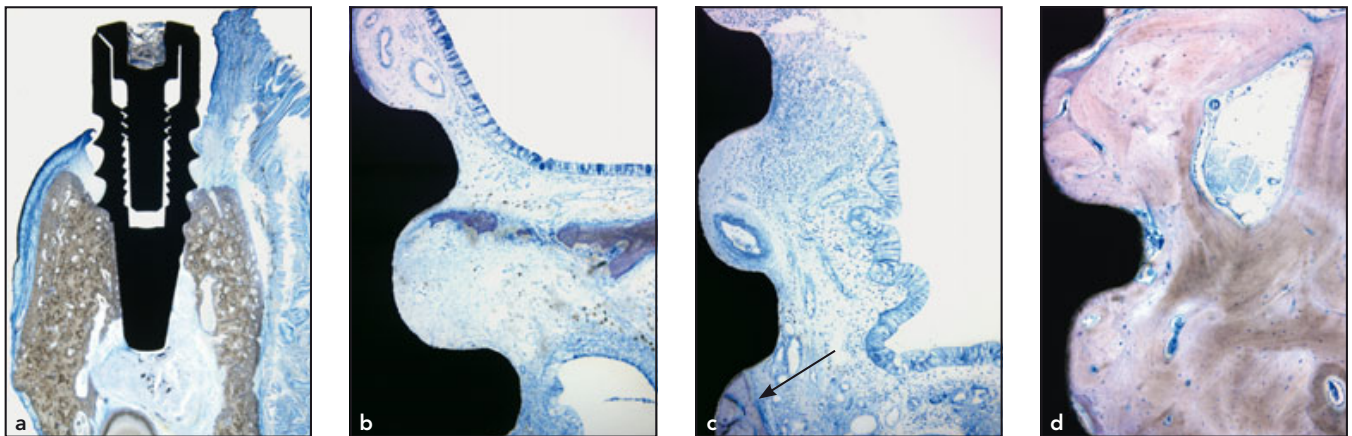


Abb. 4 Histologische Ergebnisse der Sofortimplantate in Gruppe 3. (a) Gesundes periimplantäres Weichgewebe ohne langes Saumepithel und entzündliches Zellinfiltrat. Auf der Bukkalseite Verlust der Knochenhöhe mit der Exposition von im Mittel drei Gewindegängen (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 4). (b) Fehlendes langes Saumepithel und direkter Kontakt zwischen Bindegewebsmatrix und lasergeätzter Abutmentoberfläche; die Gewindegänge des Implantats sind in funktioneller Position (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 20). (c) Der direkte Kontakt zwischen dem Bindegewebe und dem Implantatgewinde verhindert die Bildung eines langen Saumepithels vom ersten BIC ohne Zeichen einer Einkapselung von Weichgewebe (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 40). (d) Hoher Prozentanteil des BIC und Nachweis für neugebildeten Knochen (dunkel gefärbt) (Toluidinblau/Pyronin G; Vergrößerung x 100).

Tabelle 1 VBL ($\bar{x} \pm$ Standardabweichung) an den Sofortimplantaten, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden

Gruppe	Mesiale VBL (mm)	Distale VBL (mm)
1	$0,37 \pm 0,07$	$0,38 \pm 0,12$
2	$1,62 \pm 0,67^*$	$2,07 \pm 0,30^*$
3	$2,70 \pm 0,83^*$	$2,76 \pm 0,94^*$

VBL = vertikaler Knochenverlust.

* $p < 0,01$

Tabelle 2 BBT, LBT und BIC ($\bar{x} \pm$ Standardabweichung) von Sofortimplantaten, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden

Gruppe	LBT (mm)	BBT (mm)	BIC (%)
1	$2,81 \pm 0,88^{\sim}$	$1,29 \pm 0,44^{*\dagger}$	$56,2^{\#\#\#}$
2	$1,77 \pm 0,34^{\S\Pi}$	$0,64 \pm 0,69^{*\ddagger}$	$41,23^{\#\#\dagger\dagger}$
3	$1,29 \pm 0,98^{\sim\Pi}$	$0,23 \pm 0,17^{\ddagger\dagger}$	$23,84^{*\#\dagger\dagger}$

BBT = bukkale Knochendicke, LBT = linguale Knochendicke, BIC = Knochen-Implantat-Kontakt.
* $p < 0,01$; $\dagger p < 0,01$; $\ddagger p < 0,05$; $\S p < 0,05$; $\sim p < 0,01$; $\Pi p < 0,01$; $\# p < 0,05$; $\#\# p < 0,01$; $\#\#\# p < 0,01$.

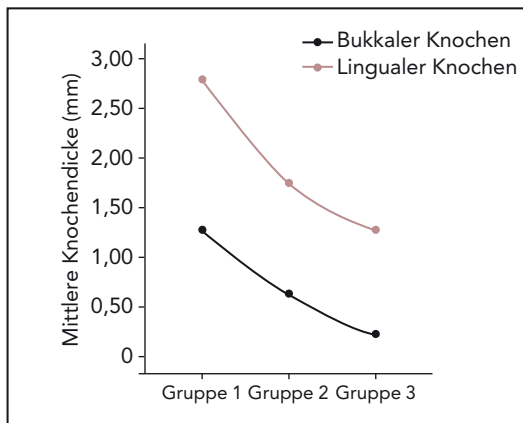


Abb. 5 Mittlere bukkale und linguale Knochendicke an den Sofortimplantaten, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden.

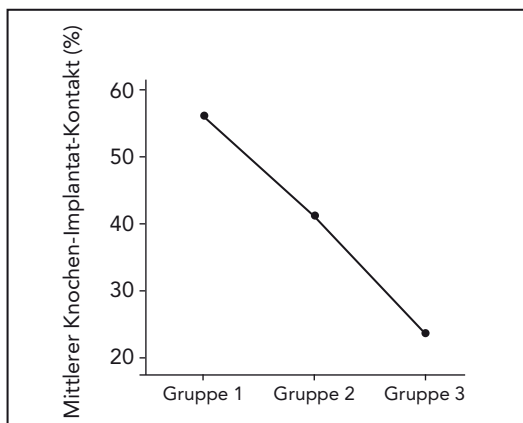


Abb. 6 Mittlerer Knochen-Implantat-Kontakt (BIC) an den Sofortimplantaten, die in einzelne oder in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurden.

Vertikaler Knochenverlust

Auf der mesialen Seite war der mittlere VBL signifikant höher in den Gruppen 2 ($1,62 \pm 0,67$ mm) ($p < 0,001$) und 3 ($2,70 \pm 0,83$ mm) ($p < 0,001$) als in Gruppe 1 ($0,37 \pm 0,07$ mm). Auf der distalen Seite des Implantats war der mittlere VBL in den Gruppen 2 ($2,07 \pm 0,30$ mm) und 3 ($2,76 \pm 0,94$ mm) signifikant höher als in der Gruppe 1 ($0,38 \pm 0,12$ mm). Diese Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

BBT, LBT und BIC

Die mittlere BBT war an den Implantaten der Gruppe 1 signifikant höher ($1,29 \pm 0,44$ mm) als an den Implantaten der Gruppen 2 ($0,64 \pm 0,69$ mm) ($p < 0,01$) und 3 ($0,23 \pm 0,17$ mm) ($p < 0,01$). Dabei war die mittlere BBT an den Implantaten der Gruppe 2 signifikant höher ($0,64 \pm 0,69$ mm)

als an den Implantaten der Gruppe 3 ($0,23 \pm 0,17$ mm) ($p < 0,05$) (Tabelle 2 und Abb. 5).

Die mittlere LBT war an den Implantaten der Gruppe 1 signifikant höher ($2,81 \pm 0,88$ mm) als an den Implantaten der Gruppen 2 ($1,77 \pm 0,34$ mm) ($p < 0,05$) und 3 ($1,29 \pm 0,98$ mm) ($p < 0,01$). Dabei war die mittlere LBT an den Implantaten der Gruppe 2 signifikant höher ($1,77 \pm 0,34$ mm) als in Gruppe 3 ($1,29 \pm 0,98$ mm) ($p < 0,01$) (Tabelle 2 und Abb. 5).

Der mittlere BIC war in der Gruppe 1 signifikant größer (56,2 %) als in den Gruppen 2 (41,23 %) ($p < 0,05$) und 3 (23,84 %) ($p < 0,01$). Der mittlere BIC war in Gruppe 2 signifikant höher (41,23 %) als in Gruppe 3 (23,84%) ($p < 0,01$) (Tabelle 2 und Abb. 6).

Diskussion

Nach dem Wissen der Autoren ist dies die erste experimentelle Studie, die histologisch den Umbau des periimplantären Alveolarknochens an Sofortimplantaten, die gemäß der Klassifikation von Extraktionsalveolen gesetzt wurden, belegt². Die hier vorgestellten histologischen Ergebnisse zeigen deutlich, dass die bukkale und linguale Knochendicke und der BIC sowie die Knochenhöhe an den Sofortimplantaten in mehreren benachbarten Extraktionsalveolen (Gruppen 2 und 3) gegenüber den Sofortimplantaten in einer einzelnen Extraktionsalveole (Gruppe 1) reduziert waren. Damit stimmen sie teilweise mit den Ergebnissen früherer Studien überein¹⁶⁻¹⁹, in denen eine Sofortimplantation einen Umbau des Alveolarknochens verhinderte. Eine aktuelle Mikro-CT-Studie zeigte jedoch, dass die Sofortimplantation die Alveolarkammresorption bei mehreren benachbarten Extraktionsalveolen weder aufhalten noch verzögern kann⁹.

Die bukkale Knochenwand der Alveole besteht überwiegend aus Bündelknochen^{1,3,4}. In Studien an Pavianen wurde jedoch gezeigt, dass der bukkale Knochen einen Großteil seiner Blutversorgung vom interproximalen Knochen erhält¹. Diese Studien legten zudem nahe, dass sich der Umbau des bukkalen Knochens proportional zur Anzahl der nebeneinanderliegenden Extraktionsalveolen verhält und dass seine Gefäßversorgung nach der Exzision mehrerer benachbarter Zähne erheblich beeinträchtigt ist¹. Vermutlich gibt es einen biologischen Mechanismus, der die Osteoklastenaktivität vor allem auf der Bukkalseite der Alveole verstärkt, sodass es zu einer stärkeren bukkalen Knochenresorption an Sofortimplantaten kommt (Gruppe 2 und 3).

Ein interessantes Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass auf der Lingualseite der laserablatierten Implantatoberfläche unabhängig von der Alveolenklasse Knochen vorhanden war. Außerdem verliefen in der Nähe der laserablatierten Implantatoberfläche rechtwinklig Bindegewebsfasern. In früheren Studien^{11,20} wurde festgestellt, dass laserablatierte Mikrorillen am Implantatkragen das direkte bindegewebige Attachment an den veränderten Implantatflächen effektiv unterstützen. Ebenfalls interessant war, dass das lange Saumepithel in allen Fällen fehlte und ein direktes bindegewebiges Attachment am Implantat vorhanden war. Ein derartiges direktes Bindegewebsattachment verhindert als physiologische Barriere die Apikalmigration des langen Saumepithels und eine Resorption des krestalen Knochens. Parallel anstatt funktionell rechtwinklig verlaufende Bindegewebsfasern verhindern die Bildung der physiologischen Bindegewebsbarriere und tragen zur krestalen Knochenresorption bei. In der hier vorgestellten Studie wurden in allen Studiengruppen bei fehlendem langem Saumepithel gesunde

periimplantäre Weichgewebe nachgewiesen, deren Bindegewebsfasern rechtwinklig zur Implantatoberfläche verliefen. An den Sofortimplantaten der Gruppe 1 befand sich der Knochen in direktem Kontakt mit der laserablatierten Oberfläche. In den Gruppen 2 und 3 wurde eine biologische Versiegelung beobachtet. Es handelte sich um am Gewinde anliegendes Bindegewebe, das direkt an der laserablatierten Oberfläche ansetzte, wo der Knochenumbau stattfand. Eine histologische Studie am Menschen hat gezeigt, dass ein physikalisches Bindegewebsattachment am laserablatierten Implantat-hals möglich ist²¹.

Eine Einschränkung der hier vorgestellten Studie ist, dass der Umbau des Alveolarknochens an Sofortimplantaten bei gesunden Hunden untersucht wurde. Zu beachten ist, dass systemische Krankheiten (wie ein schlecht eingestellter Diabetes mellitus und Prädiabetes) die Parodontalgewebe und den Alveolarknochen gefährden²²⁻²⁶. Daher ließe sich argumentieren, dass die Ergebnisse dieser Studie (BBT, LBT, VBL und BIC) in jeder Gruppe bei immungeschwächten und rauchenden Patienten schlechter ausfallen würden als bei den Kontrollen. In dieser Hinsicht sind jedoch weitere Studien erforderlich. Da diese Studie auf 16 Wochen angelegt war, könnte zu einem späteren Zeitpunkt ein stärkerer Knochenumbau stattfinden. Dies muss in experimentellen Langzeitstudien geklärt werden. Außerdem wurde in dieser Studie der untere Seitenzahn-bereich untersucht. Daher könnten die Ergebnisse von Implantationen im oberen und unteren Frontzahn-bereich abweichen. Auch hierzu sind weitere Studien erforderlich, in denen die Position der Implantate berücksichtigt wird und die über einen längeren Zeitraum angelegt werden.

Die vorliegende Studie wurde ohne zusätzliche parodontale rege-

nerative Verfahren, wie die gesteuerte Knochenregeneration (GBR), durchgeführt⁸. Vermutlich kann eine Sofortimplantation mit GBR den bukkalen Knochenumbau begrenzen. Dies muss jedoch in anderen Studien geklärt werden. Im Rahmen dieser histologischen Studie waren BBT, LBT, BIC und Knochenhöhe an einem Sofortimplantat, das in mehrere benachbarte Extraktionsalveolen gesetzt wurde, im Vergleich zu einem Implantat in einer einzelnen Extraktionsalveole reduziert. Sofortimplantate mit einem laserablatierten Abutment fördern die Osseointegration und verhindern auch bei Knochendehiszenzen und der Exposition von Gewindegängen die Bildung eines langen Saumepithels.

Danksagungen und Interessenerklärung

Die Autoren danken dem College of Dentistry Research Center and Deanship of Scientific Research at King Saud University, Saudi-Arabien, für die finanzielle Unterstützung dieses Forschungsprojekts (NF2366). Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

- Al-Hezaimi K, Levi P, Rudy R, Al-Jandan B, Al-Rasheed A. An extraction socket classification developed using analysis of bone type and blood supply to the buccal bone in monkeys. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31:421–427.
- Al-Shabeeb MS, Al-Askar M, Al-Rasheed A, et al. Alveolar bone remodeling around immediate implants placed in accordance with the extraction socket classification: A three-dimensional micro-computed tomography analysis. *J Periodontol* 2012;83:981–987.
- Al-Askar M, O'Neill R, Stark PC, Griffin T, Javed F, Al-Hezaimi K. Effect of single and contiguous teeth extractions on alveolar bone remodeling: A study in dogs. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013;15:569–575.
- Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
- 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.
- Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L. Impact of conventional tomography on prediction of the appropriate implant size. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;92:458–463.
- Nevins M, Camelo M, De Paoli S, et al. A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:19–29.
- Al-Hazmi BA, Al-Hamdan KS, Al-Rasheed A, Babay N, Wang HL, Al-Hezaimi K. Efficacy of using platelet derived growth factor and xenograft (with or without collagen membrane) for bone regeneration around immediate implants with induced dehiscence type defects: A micro-computed tomographic study in dogs. *J Periodontol* 2013;84:371–378.
- Al-Hezaimi K, Al-Shabeeb MS, Al-Askar M, et al. Microcomputed tomographic analysis of the alveolar ridge alteration around extraction sites with and without immediate implants placement: In vivo study [epub ahead of print]. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012 Jun 21.
- Covani U, Cornelini R, Calvo JL, Tonelli P, Barone A. Bone remodeling around implants placed in fresh extraction sockets. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:601–607.
- Nevins M, Al Hezaimi K, Schupbach P, Karimbux N, Kim DM. Vertical ridge augmentation using an equine bone and collagen block infused with recombinant human platelet-derived growth factor-BB: A randomized single-masked histologic study in non-human primates. *J Periodontol* 2012;83:878–884.
- Paolantonio M, Dolci M, Scarano A, et al. Immediate implantation in fresh extraction sockets. A controlled clinical and histological study in man. *J Periodontol* 2001;72:1560–1571.
- Ghanavati F, Shayegh SS, Rahimi H, Sharifi D, Khalessheh N, Eslami B. The effects of loading time on osseointegration and new bone formation around dental implants: A histologic and histomorphometric study in dogs. *J Periodontol* 2006;77:1701–1707.
- Valderrama P, Bornstein MM, Jones AA, Wilson TG, Higginbottom FL, Cochran DL. Effects of implant design on marginal bone changes around early loaded, chemically modified, sandblasted acid-etched-surfaced implants: A histologic analysis in dogs. *J Periodontol* 2011;82:1025–1034.
- Ishikawa T, Salama M, Funato A, et al. Three-dimensional bone and soft tissue requirements for optimizing esthetic results in compromised cases with multiple implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:503–511.
- Araujo MG, Linder E, Lindhe J. Bio-Oss collagen in the buccal gap at immediate implants: A 6-month study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:1–8.
- Kim DM, Nevins M, Camelo M, et al. The feasibility of demineralized bone matrix and cancellous bone chips in conjunction with an extracellular matrix membrane for alveolar ridge preservation: A case series. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31:39–47.
- Atieh MA, Alsabeeha NH, Duncan WJ, et al. Immediate single implant restorations in mandibular molar extraction sockets: A controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2013;24:484–496.
- Caneva M, Botticelli D, Salata LA, Souza SL, Bressan E, Lang NP. Flap vs. "flapless" surgical approach at immediate implants: A histomorphometric study in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:1314–1319.
- Nevins M, Kim DM, Jun SH, Guze K, Schupbach P, Nevins ML. Histologic evidence of a connective tissue attachment to laser microgrooved abutments: a canine study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:245–255.

21. Nevins M, Nevins ML, Camelo M, Boyesen JL, Kim DM. Human histologic evidence of a connective tissue attachment to a dental implant. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2008;28:111–121.
22. Javed F, Klingspor L, Sundin U, Altamash M, Klinge B, Engstrom PE. Periodontal conditions, oral *Candida albicans* and salivary proteins in type 2 diabetic subjects with emphasis on gender. *BMC Oral Health* 2009;9:12.
23. Javed F, Nasstrom K, Benchimol D, Altamash M, Klinge B, Engstrom PE. Comparison of periodontal and socioeconomic status between subjects with type 2 diabetes mellitus and non-diabetic controls. *J Periodontol* 2007;78:2112–2119.
24. Javed F, Tenenbaum HC, Nogueira-Filho G, et al. Periodontal inflammatory conditions among gutka-chewers and non-chewers with and without prediabetes. *J Periodontol* 2013;84:1158–1164.
25. Javed F, Al-Askar M, Samaranyake LP, Al-Hezaimi K. Periodontal disease in habitual cigarette smokers and nonsmokers with and without prediabetes. *Am J Med Sci* 2013;345:94–98.
26. Javed F, Al-Rasheed A, Almas K, Romanos GE, Al-Hezaimi K. Effect of cigarette smoking on the clinical outcomes of periodontal surgical procedures. *Am J Med Sci* 2012;343:78–84.