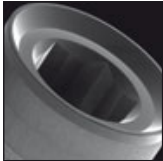


Einfluss der Laser-Lok-Oberfläche auf die funktionelle Sofortbelastung von Implantaten beim Einzelzahnersatz: Eine zweijährige prospektive Studie



Davide Farronato, DDS, PhD, PD¹/Francesco Mangano, DDS²
Francesco Briguglio, DDS³/Vincenzo Iorio-Siciliano, DDS, PhD⁴
Francesco Riccitiello, MDS⁵/Renzo Guarnieri, MD, DDS¹

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss von mikrotexturierten Laser-Lok-Oberflächen auf die Höhe des klinischen Attachments und den Umbau des Knochenkamms an sofortbelasteten funktionellen Einzelzahnimplantaten untersucht. In die randomisierte prospektive Studie wurden 78 Patienten aufgenommen und in zwei Gruppen geteilt. Gruppe 1 (Kontrolle) erhielt Implantate ohne Laser-Lok ($n = 39$), Gruppe 2 (Test) Laser-Lok-Implantate ($n = 39$). Der krestale Knochenverlust und die klinischen Parameter, wie der Level des klinischen Attachments (CAL), der Plaque-Index (PI) und die Blutung beim Sondieren (BOP), wurden in der Ausgangssituation sowie sechs, 12 und 24 Monate nach der Belastung mit der definitiven Restauration gemessen. In der Kontroll- und in der Testgruppe gab es jeweils einen Implantatmisserfolg. Damit lag die Gesamtüberlebensrate nach zwei Jahren bei 96,1 %. PI und BOP unterschieden sich zwischen den beiden Implantattypen statistisch nicht signifikant. In Gruppe 1 kam es in den ersten zwei Jahren zu einem mittleren CAL-Verlust von $1,10 \pm 0,51$ mm und in Gruppe 2 von $0,56 \pm 0,33$ mm. Radiologisch wiesen die Implantate der Gruppe 1 einen mittleren Alveolarkammverlust von $1,07 \pm 0,30$ mm und die der Gruppe 2 von $0,49 \pm 0,34$ mm auf. Der Implantattyp beeinflusste die Überlebensrate nicht, allerdings stieg der CAL bei Laser-Lok-Implantaten stärker an und der radiologische periimplantäre Knochenverlust war geringer als an den Implantaten ohne Laser-Lok-Oberfläche. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2014; 34: 79–89)

¹ Assistenzprofessor, Department of Biomaterial Sciences, Insubria University, Varese, Italien.

² Privatpraxis, Gravedona, Como, Italien.

³ Assistenzprofessor, Istituto Policattedra di Odontostomatologia University of Messina, Messina, Italien.

⁴ Assistenzprofessor, Department of Periodontology, University of Napoli Federico II, Neapel, Italien.

⁵ Professor, Department of Restorative Dentistry, University of Napoli Federico II, Neapel, Italien.

⁶ Freiberuflicher Wissenschaftler, SCS Scientific Consulting Services, Rom, Italien.

Korrespondenz an: Dr. Renzo Guarnieri, SCS Scientific Consulting Services, via Paolo Emilio, Rom 00144, Italien. E-Mail: guarnierirenzo@gmail.com

©2014 by Quintessence Publishing Co Inc.

Inzwischen werden bei teil- und unbezahnnten Patienten als Abstützung für prothetische Rekonstruktionen fast immer osseointegrierte Implantate gewählt. Selbst beim Einzelzahnersatz zeigt sich die Implantattherapie in prospektiven Langzeitstudien als vorhersagbare und erfolgreiche Behandlungsoption^{1–6}. Die vorgestellten Daten basierten auf Behandlungsverfahren, bei denen die Implantate für unterschiedlich lange Zeiträume (drei bis sechs Monate) unbelastet blieben, um die Osseointegration zu fördern. Die hohen klinischen Erfolgsraten des ursprünglichen Behandlungsprotokolls haben Ärzte und Wissenschaftler dazu ermutigt, die Osseointegrationsverfahren weiterzuentwickeln und zu verfeinern, um die Behandlungsdauer mithilfe der Sofort- oder Frühbelastung von Implantaten zu verkürzen^{7–17}. Dementsprechend wird die Sofort- oder Frühbelastung dentaler Implantate in den letzten 10 Jahren immer häufiger praktiziert und es gab mehrere Konsensuskonferenzen zu diesem Thema^{18–21}. In der Literatur finden sich teilweise abweichende Definitionen der Sofort-, Früh- und okklusalen Sofortbelastung. Als Sofortbelastung wird meist das Befestigen einer Restauration mit funktionellem Kontakt zum Zeitpunkt der Implantation bezeichnet¹⁹. Bei der Frühbelastung wird die Restauration in der Regel nach einer

angemessenen Einheilungszeit, die kürzer als diejenige des ursprünglichen Brånemark-Protokolls ist, eingesetzt²². Die nicht okklusale Sofortbelastung bezeichnet das Befestigen der Restauration ohne funktionellen Kontakt zum Zeitpunkt der Implantation¹⁹. Da die Belastung beim Einzelzahnersatz jedoch oft reduziert oder eliminiert wird, sollte eher von einer Sofort- oder Frühfunktion als von einer Sofort- und Frühbelastung gesprochen werden¹⁹.

Es gibt nur wenige Studien zur funktionellen Sofortbelastung von Einzelzahnimplantaten^{17,20-27}. Die veröffentlichten Daten zeigten jedoch, dass sie für den Einzelzahnersatz bei einer konventionellen Implantation und ausreichender Primärstabilität eine geeignete Behandlungsalternative ist. Die Wiederherstellung der Funktion und Ästhetik in einem sehr kurzen Zeitraum ist zweifelsohne einer der wichtigsten Gründe für eine funktionelle Sofortbelastung. Dazu kommt, dass ständig neue Implantatoberflächen entwickelt werden, die die Hart- und Weichgewebsintegration verbessern und damit für die Sofortbelastung von Vorteil sind²⁸⁻³². In der vorliegenden Studie wurde das Ergebnis der funktionellen Sofortbelastung von Implantaten beim Einzelzahnersatz mit zwei Tapered-Internal-Dentalimplantaten von BioHorizons untersucht. Beide Implantate besaßen das gleiche Design und denselben Resorbable-Blast-Textured-Körper. Das Laser-Lok-Implantat hat einen dual bioaffinen Hals, in den mit dem Laser Rillen eingearbeitet wurden (8 und 12 μm).

Material und Methode

Diese randomisierte klinische Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Neapel in Neapel, Italien (Prot. 7413), genehmigt. Alle

für die Studie infrage kommenden Patienten wurden zwischen Januar 2008 und Dezember 2011 in vier italienischen Zahnkliniken mit großer Erfahrung in der Implantatbehandlung untersucht und behandelt. Die Behandlungen erfolgten in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki. Alle Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass zwei verschiedene Implantate verwendet wurden, und stimmten der Studienteilnahme schriftlich zu. Insgesamt wurden 78 Implantate gesetzt, bei insgesamt 78 Patienten (36 Männer und 42 Frauen; mittleres Alter 49,3 Jahre, Bereich 45 bis 65 Jahre). Alle waren für einen Einzelzahnersatz mit einem Implantat im mittleren oberen und unteren Frontzahnbereich überwiesen worden. Die geplanten Implantatpositionen wurden randomisiert einer der folgenden Behandlungsgruppen zugewiesen. In Gruppe 1 (Kontrolle) wurden Tapered-Internal-Dentalimplantate von BioHorizons ohne Laser-Lok ($n = 39$) verwendet, in Gruppe 2 (Test) Tapered Internal-Dentalimplantate von BioHorizons mit Laser-Lok ($n = 39$). Die Randomisierung mit Verteilung der Patienten auf die beiden Gruppen wurde anhand einer computergenerierten Liste vorgenommen. Die Altersvariable wurde mithilfe der Minimierung festgelegt (≤ 30 Jahre, > 31 und ≤ 60 Jahre, > 60 Jahre). Präoperativ wurde eine klinische Untersuchung durchgeführt sowie intraorale Röntgenaufnahmen und gelegentlich eine Panoramaraöntgenaufnahme und/oder Computertomografie angefertigt.

Die Patienten wurden anhand folgender Kriterien ausgewählt: (1) keine Kontraindikationen, wie systemische Krankheiten (z. B. Diabetes), Schwangerschaft, die regelmäßige Einnahme verordnungspflichtiger Medikamente oder der Konsum illegaler Drogen, (2) Verlust eines Zahns, dessen Nachbarzähne einen

normalen okklusalen Kontakt hatten und für ≥ 3 Monate nach der Zahnextraktion abgeheilter Implantationsbereich, (3) mesial und distal des Implantationsbereichs vorhandene Zähne und keine überstehenden oder unzureichenden Restaurationen und/oder Karies (beides wurde bei der ersten professionellen Zahnreinigung entfernt), (4) ausreichendes Knochenangebot für Implantate mit einer Länge ≥ 9 mm und einem Durchmesser $\geq 3,8$ mm sowie (5) ein Eindrehmoment von mindestens 35 Ncm.

Bruxismus, ein Tiefbiss der oberen zentralen Schneidezähne und eine Parodontalerkrankung wurden nur als Risikofaktoren betrachtet. Patienten mit Parodontitis wurden vor der Implantation behandelt.

Ausschlusskriterien waren (1) nicht kompensierte Erkrankungen, (2) schlechte Mundhygiene und (3) das Rauchen von mehr als 10 Zigaretten täglich. Die Patienten erhielten ausführliche Informationen über die beiden Implantattypen und eine umfassende Beschreibung der Operationsverfahren und möglichen Risiken der Sofortbelastung.

Für jeden Patienten wurden diagnostische Modelle angefertigt und mit einem Gesichtsbogen und einem Bissregistrator auf einen teiljustierbaren Artikulator montiert. Es wurde eine Okklusionsanalyse durchgeführt, an den artikulierten Modellen diagnostische Wax-ups präpariert und die restaurative Behandlung geplant. Mit einem Fragebogen wurden demografische Daten, die medizinische und zahnmedizinische Anamnese und der Raucherstatus erhoben. Auch der Parodontalstatus wurde erfasst. Alle Patienten wiesen eine gute Mundhygiene und Compliance auf (Sondierungstiefe [PD] $1,8 \pm 0,7$ mm, Blutung beim Sondieren [BOP] 4 %, Plaque-Index [PI] 6 %).

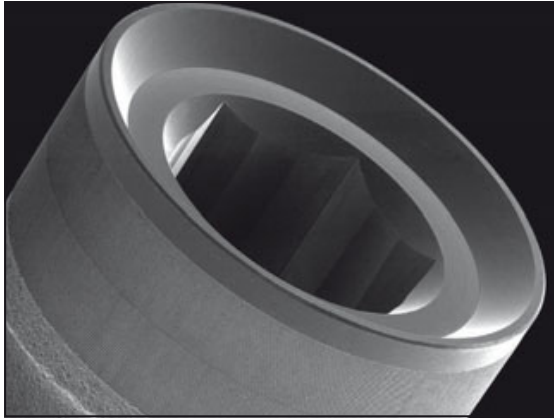


Abb. 1 Hals eines Laser-Lok-Tapered-Implantats mit Innenverbindung mit 0,3 mm maschinierter Oberfläche, einem 0,7 mm breiten Bereich mit einer Gewindesteigung von 8 μm und einem 0,8 mm-Bereich mit einer Gewindesteigung von 12 μm .



Abb. 2 Panoramaröntgenaufnahme des Patienten, der zwei Implantate erhielt (ein Laser-Lok-Implantat in der Position des oberen rechten ersten Prämolaren und ein Implantat ohne Laser-Lok in der Position des oberen linken ersten Prämolaren).

Implantate

Es wurden zwei Tapered-Internal-Dentalimplantate von BioHorizons verwendet. Die beiden Implantate haben dasselbe Design und dieselbe Resorbable-Blast-Textured-Oberfläche (Rauigkeit 0,72 bis 1,34 μm). Allerdings besitzt das Laser-Lok-Implantat einen bioaffinen Hals, in dem mit dem Laser zwei Arten von Mikrorillen eingearbeitet wurden. Der Implantathals enthält eine 0,3 mm breite maschinerte Oberfläche, einen 0,7 mm breiten Bereich mit einer Gewindesteigung von 8 μm und einen 0,8 mm breiten Bereich mit einer Gewindesteigung von 12 μm (Abb. 1).

Chirurgisches Vorgehen

Die Implantate wurden bei einem einzeitigen Eingriff gesetzt (Abb. 2). Zur operativen Eröffnung wurde auf Höhe der keratinisierten Mukosa ein

Vollschichtlappen mobilisiert, womit der Entlastungsschnitt minimal erweitert und der Knochenkamm sowie der vestibuläre Knochenrand freigelegt wurden. Nach der Präparation wurde die Implantatpositionierung mit einem Drehmoment-schlüssel (Precise Adjustable Torque Wrench, BioHorizons) durchgeführt. Einschlusskriterium war ein finales Eindrehmoment von mindestens 35 Ncm. Die Implantatbetten wurden gemäß der Herstellerangaben mit zylindrischen Bohrern mit zunehmendem Durchmesser präpariert. Knochenqualität und -menge wurden nach den Kriterien von Lekholm und Zarb bestimmt³³. Bei weichem Knochen (Typ 3 bis 4) erfolgte mit einem dünneren Finierer eine Unterpräparation. Beim Knochentyp 3 bis 4 wurde für Implantatdurchmesser von 3,8 mm ein 3,2-mm-Bohrer und für den Durchmesser von 4,6 mm ein 3,7-mm-Bohrer verwendet.

Implantatbelastung

Nach der Implantation wurden sterile Abformkappen aufgesetzt und die Lappen bei Bedarf mit einer Naht verschlossen. Für die Abformung wurde ein offener Löffel mit Impregum NF (3M ESPE) verwendet, weiterhin wurde die Kieferrelation registriert. Die provisorischen Kunststoffkronen wurden am selben Tag angefertigt und mit temporärem Zement befestigt (TempBond, Kerr). Die Kronen hatten bei zentrischer Okklusion keinen Kontakt und bei Seitenführung einen minimalen Abstand von 1 mm zum gegenüberliegenden Zahn. Auf Höhe des Implantats wurde das 0,2 mm dicke Kontaktpapier bei Okklusion nicht gehalten. Nach vier bis sechs Monaten (66 Implantate nach vier Monaten, sieben nach sechs Monaten und fünf nach fünf Monaten) wurde eine definitive Krone aus einer Goldlegierung mit Keramikverblendung angefertigt. Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen einen Patienten mit



Abb. 3 Beispiel für die Einzelzahnbehandlung mit einem Laser-Lok-Implantat in der Position des oberen rechten ersten Prämolaren. Der Patient war mit der Ästhetik der Teilrestauration unzufrieden und wollte einzelne Kronen haben. Daher wurde die alte Restauration durch eine Einzelkrone ersetzt.

einem Laser-Lok-Implantat in der Position des oberen rechten zweiten Prämolaren und einen Patienten mit einem Implantat ohne Laser-Lok in der Position des oberen linken ersten Prämolaren.

Medikamentöse und postoperative Behandlung

Die Patienten erhielten ein Analgetikum (Ibuprofen 600 mg unmittelbar nach dem Eingriff und nach acht Stunden), ein systemisches Antibiotikum (Amoxicillin plus Clavulansäure 2 x 1 g/d für sieben Tage) und eine 0,12 % Chlorhexidindigluconatlösung zum Spülen (2 x täglich für eine Minute). Die Fäden wurden nach 10 Tagen entfernt. Während der Heilungsphase wurden die Patienten in monatlichen Abständen von einer Dentalhygienikerin in den Maßnahmen zur Mund-

hygiene unterwiesen und es erfolgte gegebenenfalls eine Kürettage. Beim Eingliedern der definitiven Restauration wurden die Patienten in ein Erhaltungsprogramm mit halbjährlichen Kontrollen aufgenommen. Dabei wurden Anweisungen zur Mundhygiene gegeben und eine Kürettage sowie eine Politur durchgeführt. Bei jedem Implantat wurden BOP, PI und CAL an vier Seiten ermittelt. Der CAL war definiert als der Abstand in Millimetern zwischen dem tiefsten Punkt der periimplantären Tasche und dem koronalen Implantatrand und wurde mit einer Parodontalsonde gemessen (PCP-UNC 15, Hu-Friedy). Die Messungen wurden beim Einsetzen der definitiven Krone (Ausgangswert [T0]) sowie bei den Untersuchungen nach sechs (T1), 12 (T2) und 24 Monaten (T3) gemessen.

Radiologische Untersuchung

Bei jedem Patienten wurden nach der Implantation an T0 sowie bei T1, T2 und T3 mit einem dentalen 65 kV-Röntgengerät mit Langkonus-Technik (Oralix 65 S, Gendex Dental Systems) periapikale Röntgenaufnahmen (Ultra-speed A, Eastman Kodak) angefertigt. Dazu wurde am Oberkiefer ein Silikonschlüssel angebracht und für jeden Patienten ein Röntgenfilmhalter angefertigt, um den Röntgenfilm bei jeder Kontrolle in derselben Position zu halten und damit der Strahlenwinkel trotz der Veränderungen der Okklusalfäche beim Einsetzen der definitiven Krone gleich blieb. Anschließend wurden die Röntgenbilder mit einem Scanner (HP 3000) bei einer Auflösung von 2048 x 3072 digitalisiert und in JPG-Dateien umgewandelt. Die Kalibrierung des Bilds im Verhältnis 1:1 anhand der Länge und des Durchmessers des Implan-

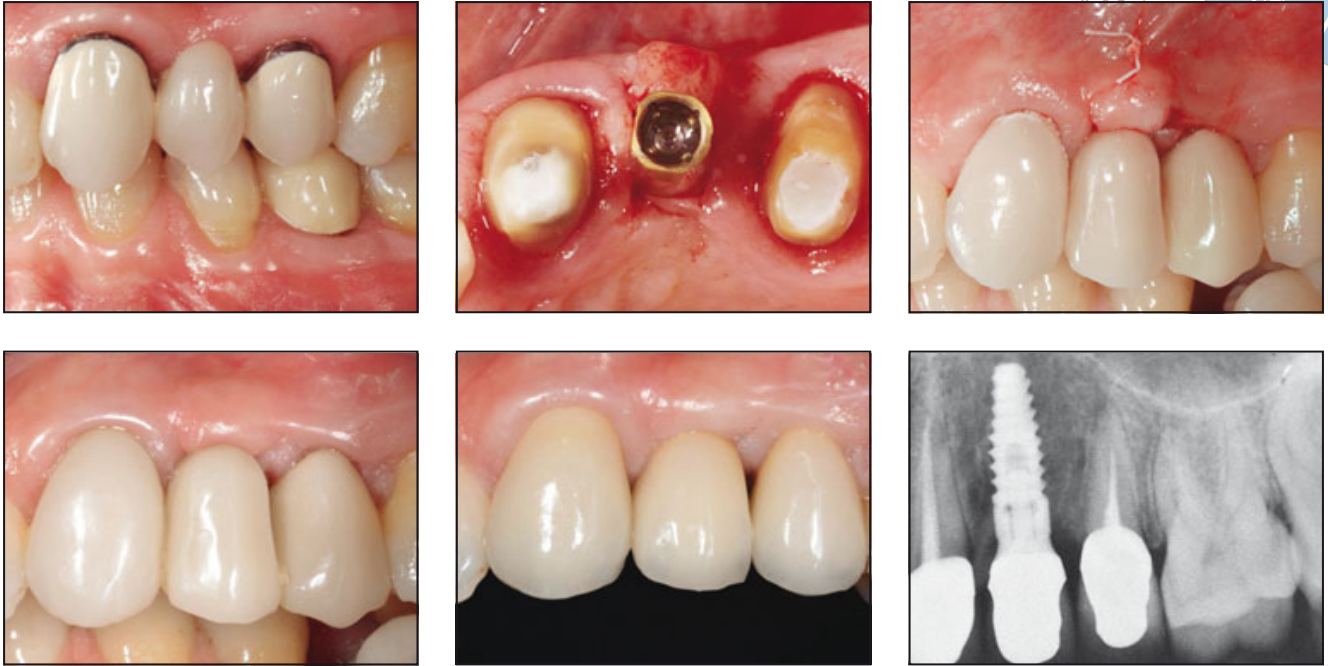


Abb. 4 Beispiel für eine Einzelzahnbehandlung mit einem Implantat ohne Laser-Lok in der Position des oberen linken ersten Prämolaren.

Abb. 5 (a) Vor der Behandlung, (b) nach der Behandlung.



tats erfolgte ebenso wie die Messungen mithilfe von Computersoftware (AutoCAD 2000). Der Abstand zwischen der Implantat-Abutment-Verbindung und dem ersten Knochen-Implantat-Kontakt wurde parallel zur

Hauptachse des Implantats gemessen. Die Differenz zwischen den Längenmessungen an T1, T2, T3 und T0 entspricht dem krestalen Knochenverlust als Mittelwert zwischen den beiden Seiten des Implantats.

Erfolgsbeurteilung

Angewandt wurden die Erfolgskriterien nach Albrektsson und Mitarbeitern³⁴, u. a. das Fehlen einer Implantatmobilität, von Schmerzen und

Tabelle 1 Implantaterfolgs- und Misserfolgsraten bei 78 Patienten

Parameter	n	Erfolg (%)	Misserfolg (n)
Implantattyp			
Laser-Lok	39	96,1	1
Ohne Laser-Lok	39	96,1	1
Geschlecht			
Mann	36	96,4	1
Frau	42	95,8	1
Raucher			
Nein	50	94,9	2
Ja	28	100	0
Kiefer			
Oberkiefer	42	95,8	1
Unterkiefer	36	96,4	1
Position			
Oberer Schneidezahn	14	100	0
Oberer Eckzahn	16	98,4	1
Oberer Prämolare	12	100	0
Unterer Schneidezahn	15	100	0
Unterer Eckzahn	11	100	0
Unterer Prämolare	12	89,8	1
Gesamt	78	96,1	2

Neuropathie. Als Misserfolg galt das Entfernen des Implantats, unabhängig vom Grund.

Datenauswertung

Signifikante Abweichungen der Ergebnisse von der Normalverteilung wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test ermittelt. Mit nicht parametrischen Modellen wurde untersucht, in welchem Umfang sich Alter, Geschlecht, Rauchen, Kiefer, Region und Implantattyp auf die Messungen von CAL und krestalem Knochenverlust an T0 bis T3 auswirkten. Die Ver-

änderungen von CAL und krestalem Knochenverlust wurden auf ähnliche Weise evaluiert. Alle statistischen Tests waren zweiseitig und das Signifikanzniveau lag bei 0,05 %. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit statistischer Software (SPSS for Windows, IBM).

Ergebnisse

In dieser Studie wurden longitudinal 78 Implantate beobachtet, die in zwei Gruppen aufgeteilt wurden: 39 Implantate in der Gruppe 1 (Kontrolle) und 39 in der Gruppe 2 (Test). Insgesamt wurden 42 Implantate in den

Oberkiefer gesetzt (22 Laser-Lok und 20 ohne Laser-Lok) und 36 in den Unterkiefer (17 Laser-Lok und 19 ohne Laser-Lok) (Tabelle 1 bis 3).

Es gab zwei Implantatmisserfolge (3,9 % der insgesamt gesetzten Implantate), die aus der Studie ausgeschlossen wurden. Die Misserfolge gingen mit plötzlich einsetzenden Schmerzen, Austritt eines Exsudats und einer Implantatmobilität einher. Die Häufigkeit der Implantatmisserfolge unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen (Gruppe 2: 3,9 % bzw. Gruppe 1: 3,9 %; Chi-Quadrat-Test; $P > 0,05$).

Die Variablen Geschlecht, Alter, Rauchen, Kiefer und Position beeinflussten die Implantatmisserfolge nicht signifikant (Chi-Quadrat-Test; $P > 0,05$) (Tabelle 1).

Die univariate statistische Analyse ergab keine signifikanten Effekte von Alter (Spearman-Korrelation; $R < 0,2$; $P > 0,05$), Geschlecht, Rauchen, Kiefer und Position (U-Test; $P > 0,05$) auf die Endwerte von CAL und krestalem Knochenverlust oder die Veränderung von CAL und krestalem Knochenverlust zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten. Ein allgemeiner Vergleich der CAL-Werte (Tabelle 2) von T0 bis T3 zeigte eine signifikante Veränderung ($P < 0,05$), wobei der CAL in Gruppe 1 ($1,10 \pm 0,51$ mm) über den gesamten Beobachtungszeitraum signifikant höher war als in Gruppe 2 ($0,56 \pm 0,33$ mm). Der CAL-Verlust bei krestalem Knochenverlust betrug $0,34 \pm 0,21$ mm in Gruppe 2 und $0,63 \pm 0,31$ mm in Gruppe 1. An T1 lag der CAL-Verlust in Gruppe 2 bei $0,44 \pm 0,38$ mm und in Gruppe 1 bei $0,78 \pm 0,26$ mm. An T2 und T3 lag der CAL-Verlust in Gruppe 2 bei $0,54 \pm 0,32$ mm bzw. $0,56 \pm 0,33$ mm und in Gruppe 1 bei $0,99 \pm 0,27$ mm bzw. $1,10 \pm 0,30$ mm. Die radiologischen Ergebnisse des krestalen Knochenverlusts sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Der mittlere krestale Knochenverlust lag in Grup-

Table 2	CAL-Ergebnisse (Mittelwert ± SA)			
	CAL (mm)*			
	T0	T1	T2	T3
Ohne Laser-Lok	0,63 ± 0,31	0,78 ± 0,26	0,99 ± 0,27	1,10 ± 0,30
Laser-Lok	0,34 ± 0,21	0,44 ± 0,38	0,54 ± 0,32	0,56 ± 0,33

CAL = Höhe des klinischen Attachments, T0 = Ausgangswert, T1 = nach 6-monatiger Belastung, T2 = nach 12-monatiger Belastung, T3 = nach 24-monatiger Belastung, SA = Standardabweichung. *t = 3,4675, P = 0,0133; der Unterschied zwischen den Mittelwerten ist signifikant (P < 0,05).

Table 3	Ergebnisse des krestalen Knochenverlusts (Mittelwert ± SA)			
	CBL (mm)*			
	T0	T1	T2	T3
Ohne Laser-Lok	0,39 ± 0,17	0,80 ± 0,31	1,02 ± 0,29	1,07 ± 0,30
Laser-Lok	0,19 ± 0,13	0,36 ± 0,20	0,41 ± 0,27	0,49 ± 0,34

CBL = krestaler Knochenverlust, T0 = Ausgangswert, T1 = nach 6-monatiger Belastung, T2 = nach 12-monatiger Belastung, T3 = nach 24-monatiger Belastung, SA = Standardabweichung. *t = 2,7338, P = 0,0340; der Unterschied zwischen den Mittelwerten ist signifikant (P < 0,05).

pe 2 an T0 bei 0,19 ± 0,13 mm, an T1 bei 0,36 ± 0,20 mm, an T2 bei 0,41 ± 0,27 mm und an T3 bei 0,49 ± 0,34 mm und in Gruppe 1 an T0 bei 0,39 ± 0,17 mm, T1 bei 0,80 ± 0,31 mm, T2 bei 1,02 ± 0,29 mm und T3 bei 1,07 ± 0,30 mm. Die Ergebnisse zeigten einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Gruppen (P < 0,05). Bei der univariaten Analyse der %BOP und %PI bei jeder Untersuchung und der Veränderungen zwischen den Untersuchungen ergab sich kein signifikanter Einfluss von Alter, Geschlecht, Rauchen, Implantattyp, Kiefer oder Region (U-Test; P > 0,05).

Diskussion

In mehreren Tierstudien wurde gezeigt, dass der Knochen-Implantat-Kontakt bei einer funktionellen Sofortbelastung mit demjenigen an konventionell belasteten Implantaten vergleichbar ist³⁵⁻³⁹. In histologischen Studien am Menschen wurden diese experimentellen Ergebnisse für den Ober- und den Unterkiefer bestätigt⁴⁰⁻⁴⁴. Knochendichte (Knochenmenge und -qualität) und die Implantatstabilität wurden als wichtige Einflussfaktoren für eine Sofortbelastung angesehen⁴⁵⁻⁴⁸. Die primäre Implantatstabilität hängt nicht nur von der Knochendichte, sondern

von der Technik und Präzision der Osteotomie sowie von Design und Oberfläche des Implantats ab^{49,50}. Die Primärstabilität wird klinisch oft durch die Messung des Eindrehmoments bestimmt. Bei Werten von 30 bis 40 Ncm gilt die Stabilität als ausreichend⁵¹⁻⁵⁵. Die Primärstabilität wird als mechanische Verankerung des Implantats im Knochenbett bei der Insertion definiert. Sie sinkt meist in den ersten Wochen und wird progressiv durch eine biologische Verankerung der Implantatoberfläche ersetzt, die als Sekundärstabilität bezeichnet wird^{49,56}. Die Sekundärstabilität hängt von Knochenneubildung und -umbau am Implantat-

Knochen-Kontakt ab und wird durch die Implantatoberfläche und die Wundheilungszeit beeinflusst. Um die Primär- und Sekundärstabilität zu verbessern, wurden neue Implantatdesigns und -oberflächen entwickelt, was für eine Sofortbelastung vorteilhaft ist²⁸⁻³². Um leichter eine ausreichende Primärstabilität sichern zu können, weist ein Schraubenimplantat eine stärkere mechanische Retention auf und kann Kompressionskräfte besser übertragen^{50,57}. Während sich die Oberfläche nicht besonders stark auf die Primärstabilität auszuwirken scheint, beeinflusst sie die Sekundärstabilität entscheidend und beschleunigt die Osseointegration^{28-32,57,58}. Wie es in der zuvor erwähnten Literatur vorgeschlagen wurde, erfolgte die vorliegende Studie an verschraubten Tapered-Implantaten mit rauer Oberfläche und einem Eindrehmoment von mindestens 35 Ncm, deren 2-Jahres-Überlebensraten identisch waren (Gruppe 1: 96,1 %; Gruppe 2: 96,1 %) und weder vom Kiefer noch von der Region, dem Alter, Geschlecht oder Rauchgewohnheiten beeinflusst wurden. Diese Daten stehen in Übereinstimmung mit denen aus früheren Studien²³⁻²⁷, bei denen für Einzelzahnimplantate mit funktioneller Sofort- bzw. Frühbelastung ähnliche Überlebensraten festgestellt wurden. Ein interessantes Ergebnis liefert der Vergleich der CAL-Werte mit denen für den krestalen Knochenverlust. In Gruppe 1 kam es in den ersten beiden Jahren zu einem mittleren CAL-Verlust von $1,10 \pm 0,51$ mm, während der mittlere CAL-Verlust in Gruppe 2 bei $0,56 \pm 0,33$ mm lag. Außerdem wiesen die Implantate in Gruppe 2 einen mittleren krestalen Knochenverlust von $0,49 \pm 0,34$ mm und diejenigen in Gruppe 1 von $1,07 \pm 0,30$ mm auf. In einer vorausgegangenen Studie mit einem Standardprotokoll mit Laser-Lok-Implantaten, die nach

einer Einheilungsphase von vier bis sechs Monaten belastet wurden, ermittelten Botos und Mitarbeiter⁵⁷ nach einem Jahr einen mittleren Alveolarkammverlust von 0,42 mm, während Shapoff und Mitarbeiter⁵⁸ sowie Pecora und Mitarbeiter⁵⁹ nach drei Jahren einen mittleren Alveolarkammverlust von 0,46 mm bzw. 0,59 mm beschrieben. In der Studie von Pecora und Mitarbeiter⁵⁹ waren Implantate mit gelaserter, mikrotexturierter Halsoberfläche gemessen am Alveolarkammverlust nach dem ersten Monat in jedem Monat numerisch den Kontrollimplantaten mit maschinierem Hals überlegen. Dieser Unterschied vergrößerte sich numerisch bei jedem weiteren Kontrollbesuch. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Daten und zeigen, dass CAL und krestaler Knochenverlust der Implantate in Gruppe 2 an T0 niedriger waren als bei denjenigen in Gruppe 1 und über den gesamten Studienverlauf reduziert blieben. Außerdem stützen die Ergebnisse die Hypothese, wonach CAL- und krestaler Knochenverlust durch einen mikrotexturieren Laser-Lok-Hals bei der Sofortbelastung von Implantaten reduziert werden. Die Auswirkungen und der zusätzliche Wert des mikrotexturieren Implantathalses bezogen auf die Höhe des periimplantären Knochens sind derzeit unklar. Allerdings wurde in In-vitro-Studien der Effekt einer Oberfläche mit zwei bis 12 Mikrorillen auf das Attachment, die Ausbreitung, Orientierung und das Wachstum der Fibroblasten- und Osteoblastenvorläufer untersucht^{60,61}. Oberflächen mit 12 Mikrorillen hemmten das Fibroblastenwachstum am besten gegenüber dem Osteoblastenzellwachstum, während Oberflächen mit acht Mikrorillen die Zellmigration über die Rillen am effektivsten hemmte. Anschließend wurden zwei Konfigurationen (8 μ m und 12 μ m) von Laser-mikrobehand-

elten Oberflächen auf den Hals von experimentellen Implantaten übertragen, wobei die Mikrokanäle zirkumferenziell um den Hals verliefen, und im Tiermodell getestet⁶³. Diese Oberfläche förderte das Anhaften von fibrösem Gewebe und verhinderte das Herabwachsen von Epithel. Auch in histologischen Studien am Menschen^{62,63} wurden die Ergebnisse aus dem Tiermodell bestätigt. Inzwischen gibt es histologische Belege für ein mechanisches Attachment der Bindegewebsfasern an die Laser-Lok-Oberfläche der Implantate, die in nativen Knochen⁶³ und frische Extraktionsalveolen gesetzt wurden⁶⁵. Möglicherweise dient dieses direkte Bindegewebsattachment als physiologische Barriere für die Apikalmigration des Saumepithels, verhindert die Alveolarkammresorption und erhält das koronale Knochenniveau⁶⁵. Zur Bestätigung dieser Hypothese sind weitere histologische Studien, die Laser-Lok-Implantate unter verschiedenen Belastungssituationen vergleichen, erforderlich. Während es in der vorliegenden Studie am Hals des sofortbelasteten Laser-Lok-Implantats keine histologischen Belege für ein Bindegewebsattachment gab, fand sich eine statistisch signifikante Evidenz für einen höheren krestalen Knochen- und CAL-Verlust in Gruppe 2 als in Gruppe 1. Bezogen auf die vorliegende Studie zeigen die klinischen und radiologischen Untersuchungen, dass die funktionelle Sofort- bzw. Frühbelastung von Bio-Horizons-Tapered-Internal-Implantaten ein zuverlässiges Verfahren für den Einzelzahnersatz ist. Außerdem scheint eine mikrotexturierte Laser-Lok-Oberfläche am Implantathals die negativen Folgen durch den periimplantären Knochenverlust bei einer funktionellen Sofort- bzw. Frühbelastung abzuschwächen oder zu eliminieren.

Danksagung

Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

- Jemt T, Lekholm U, Grondahl K. A 3-year follow up study of early single implant restorations and modum Branemark. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1990; 10:341–349.
- Henry PJ, Laney WR, Jemt T, et al. Osseointegrated implants for single-tooth replacement: A prospective 5-year multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:450–455.
- Buser D, Mericske-Stern R, Bernard JP, et al. Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multicenter study with 2359 implants. *Clin Oral Implants Res* 1997;8:161–172.
- Palmer RM, Palmer PJ, Smith BJ. A 5-year prospective study of Astra single tooth implants. *Clin Oral Implants Res* 2000;11:179–182.
- Berglundh T, Persson L, Klinge BA. Systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years. *J Clin Periodontol* 2002;29(suppl 3): 197–212.
- Wennstrom JL, Ekstubb A, Grondahl K, Karlsson S, Lindhe J. Implant-supported single-tooth restorations: A 5-year prospective study. *J Clin Periodontol* 2005;32:567–574.
- Andersen E, Haanaes HR, Knutsen BM. Immediate loading of single-tooth Straumann implants in the anterior maxilla: A prospective 5-year pilot study. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:281–287.
- Bornstein MM, Lussi A, Schmid B, Belsler UC, Buser D. Early loading of nonsubmerged titanium implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface: 3-year results of a prospective study in partially edentulous patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:659–666.
- Cochran DL, Buser D, ten Bruggenkate CM, et al. The use of reduced healing time on Straumann implants with a sandblasted and acid-etched (SLA) surface: Early results from clinical trials on Straumann SLA implants. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:144–153.
- Covani U, Crespi R, Cornelini R, Barone A. Immediate implants supporting single crown restorations: A 4 year prospective study. *J Periodontol* 2004;75:982–988.
- Lorenzoni M, Pertl C, Zhang K, Wimmer G, Wegscheider WA. Immediate loading of single-tooth implants in the anterior maxilla. Preliminary results after one year. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:180–187.
- Luongo G, Di Raimondo R, Filippini P, Gualini F, Paoleschi C. Early loading of sandblasted, acid-etched implants in the posterior maxilla and mandible: A 1-year follow-up report from a multicenter 3-year prospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:84–91.
- Nikellis I, Levi A, Nicolopoulos C. Immediate loading of 190 endosseous dental implants: A prospective observational study of 40 patient treatments with up to 2-year data. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:116–123.
- Quinlan P, Nummikoski P, Schenk R, et al. Immediate and early loading of SLA Straumann single-tooth implants: An in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:360–370.
- Rocuzzo M, Bunino M, Priglio F, Bianchi S. Early loading of sandblasted and acid-etched (SLA) implants: A prospective split-mouth comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:572–578.
- Tarnow DP, Emtiaz S, Classi A. Immediate loading of threaded implants at stage 1 surgery in edentulous arches: Ten consecutive case reports with 1- to 5-year data. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997;12:319–324.
- Donati M, La Scala V, Billi M, Di Dino B, Torrisi P, Berglundh T. Immediate functional loading of implants in single-tooth replacement: A prospective clinical multicenter study. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19:740–748.
- Wang HL, Ormianer Z, Palti A, Perel ML, Trisi P, Sammartino G. Consensus conference on immediate loading: The single tooth and partial edentulous areas. *Implant Dent* 2006;15:324–333.
- Cochran DL, Morton D, Weber HP. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19(suppl):109–113.
- Misch CE, Hahn J, Judy KW, et al. Workshop guidelines on immediate loading in implant dentistry. November 7 2003. *J Oral Implantol* 2004;30:283–288.
- Aparicio C, Rangert B, Sennerby L. Immediate/early loading of dental implants: A report from the Sociedad Española de Implantes World Congress consensus meeting in Barcelona, Spain, 2002. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003;5:57–60.
- Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T (eds). *Tissue Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry*. Chicago: Quintessence, 1985.
- Jo HY, Hobo PK, Hobo S. Freestanding and multiunit immediate loading of the expandable implant: An up-to-40-month prospective survival study. *J Prosthet Dent* 2001;85:148–155.
- Calandriello R, Tomatis M, Vallone R, Rangert B, Gottlow J. Immediate occlusal loading of single lower molars using Branemark System Wide-Platform TiUnite implants: An interim report of a prospective open-ended clinical multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003;5(suppl 1):74–80.
- Cannizzaro G, Leone M. Restoration of partially edentulous patients using dental implants with a microtextured surface: A prospective comparison of delayed and immediate full occlusal loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:512–522.
- Glauser R, Ruhstaller P, Windisch S, et al. Immediate occlusal loading of Branemark System TiUnite implants placed predominantly in soft bone: 4-year results of a prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7(suppl 1): S52–S59.
- Lindeboom JA, Frenken JW, Dubois L, Frank M, Abbink I, Kroon FH. Immediate loading versus immediate provisionalization of maxillary single-tooth replacements: A prospective randomized study with BioComp implants. *J Maxillofac Surg* 2006;64:936–942.

28. Anil S, Anand PS, Alghamdi H, Jansen JA. Dental implant surface enhancement and osseointegration. In: Turkyilmaz I (ed). *Implant Dentistry: A Rapidly Evolving Practice*. New York: InTech, 2011: 83–108.
29. Testori T, Meltzer A, Del Fabbro M, et al. Immediate occlusal loading of Osseotite implants in the lower edentulous jaw. A multicenter prospective study. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:278–284.
30. Ibañez JC, Jalbout ZN. Immediate loading of osseotite implants: Two-year results. *Implant Dent* 2002;11:128–136.
31. Vanden Bogaerde L, Pedretti G, Sennerby L, Meredith N. Immediate/early function of Neoss implants placed in maxillas and posterior mandibles: An 18-month prospective case series study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2010;12(suppl 1): 83–94.
32. Östman PO, Wennerberg A, Albrektsson T. Immediate occlusal loading of NanoTite Prevail implants: A prospective 1-year clinical and radiographic study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2010;12:39–47.
33. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection. In: Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T (eds). *Tissue-Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry*. Chicago: Quintessence, 1985:199–209.
34. Albrektsson T, Hansson T, Lekholm U. Osseointegrated dental implants. *Dent Clin North Am* 1986;30:151–174.
35. Romanos GE, Toh CG, Siar CH, et al. Peri-implant bone reactions to immediately loaded implants. An experimental study in monkeys. *J Periodontol* 2001;72: 506–511.
36. Nkenke E, Lehner B, Weinzierl K, et al. Bone contact, growth, and density around immediately loaded implants in the mandible of mini pigs. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:312–321.
37. Siar CH, Toh CG, Swaminathan D, Ong AH, Yaacob H, Nentwig GH. Periimplant soft tissue integration of immediately loaded implants in the posterior macaque mandible: A histomorphometric study. *J Periodontol* 2003;74:571–578.
38. Nkenke E, Fenner M, Vairaktaris EG, Neukam FW, Radespiel-Troger M. Immediate versus delayed loading of dental implants in the maxillae of minipigs. Part II: Histomorphometric analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:540–546.
39. Nkenke E, Lehner B, Fenner M, et al. Immediate versus delayed loading of dental implants in the maxillae of minipigs: Follow-up of implant stability and implant failures. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:39–47.
40. Piattelli A, Paolantonio M, Corigliano M, Scarano A. Immediate loading of titanium plasma-sprayed screw-shaped implants in man: A clinical and histological report of two cases. *J Periodontol* 1997; 68:591–597.
41. Ledermann PD, Schenk R, Buser, D. Long-lasting osseointegration of immediately loaded bar-connected TPS screws after 12 years of function: A histologic case report of a 95-year old patient. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1999; 18:553–556.
42. Rocci A, Martignoni M, Burgos PM, Gottlow J. Histology of retrieved immediately and early loaded oxidized implants: Light microscopic observations after 5 to 9 months of loading in the posterior mandible. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003; 5(suppl 1):88–98.
43. Avila G, Galindo P, Rios H, Wang HL. Immediate implant loading: Current status from available literature. *Implant Dent* 2007;16:235–245.
44. Gapski R, Wang HL, Mascarenhas P, et al. Critical review of immediate implant loading. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14:515–527.
45. Ostman PO, Hellman M, Sennerby L. Direct implant loading in the edentulous maxilla using a bone density-adapted surgical protocol and primary implant stability criteria for inclusion. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7(suppl 1):S60–S69.
46. Ostman PO, Hellman M, Sennerby L. Immediate occlusal loading of implants in the partially edentate mandible: A prospective 1-year radiographic and 4-year clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:315–322.
47. Friberg B, Sennerby L, Roos J, Lekholm U. Identification of bone quality in conjunction with insertion of titanium implants. A pilot study in jaw autopsy specimens. *Clin Oral Implants Res* 1995;6:213–219.
48. Vanden Bogaerde L, Pedretti G, Dellacasa P, Mozzati M, Rangert B. Early function of splinted implants in maxillas and posterior mandibles using Brånemark system turned surface implants: An 18-month prospective clinical multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003;5(suppl 1):21–28.
49. Quesada-García MP, Prados-Sánchez E, Olmedo-Gaya MV, Muñoz-Soto E, GonzálezRodríguez MP, Vallecillo-Capilla M. Measurement of dental implant stability by resonance frequency analysis: A review of the literature. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009;14:e538–e546.
50. Glauser R, Portmann M, Ruhstaller P, Gottlow J, Schärer P. Initial implant stability using different implant designs and surgical techniques. A comparative clinical study using insertion torque and resonance frequency analysis. *Appl Osseointegration Res* 2001;1:6–8.
51. Östman PO, Hellman M, Sennerby L. Direct implant loading in the edentulous maxilla using a bone density-adapted surgical protocol and primary implant stability criteria for inclusion. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7(suppl 1):S60–S69.
52. Ostman PO, Hellman M, Sennerby L. Direct implant loading in the edentulous maxilla using a bone density-adapted surgical protocol and primary implant stability criteria for inclusion. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7(suppl 1):S60–S69.
53. Malo P, Friberg B, Polizzi G, Gualini F, Vighagen T, Rangert B. Immediate and early function of Brånemark system implants placed in the esthetic zone: A 1-year prospective clinical multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2003; 5(suppl 1):37–46.
54. Koyama S, Sasaki H, Yokoyama M, et al. Changes in bone metabolism around osseointegrated implants under loading. In: Turkyilmaz I (ed). *Implant Dentistry: The Most Promising Discipline of Dentistry*. New York: InTech, 2011:203–218.
55. Barewal RM, Oates TW, Meredith N, et al. Resonance frequency measurements of implant stability in vivo on implants with a sandblasted and acid-etched surface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18: 641–651.

56. Lefkove MD, Beals RP. Immediate loading of cylinder implants with overdentures in the mandibular symphysis: The titanium plasma-sprayed screw technique. *J Oral Implantol* 1990;16:265–271.
57. Botos S, Yousef H, Zweig B, Flinton R, Weiner S. The effect of laser microtexturing of the dental implant collar on crestal bone levels and peri-implant health. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:492–498.
58. Shapoff CA, Lahey B, Wasserlauf PA, Kim DM. Radiographic analysis of crestal bone levels around laser-lok collar dental implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30:129–137.
59. Pecora GE, Ceccarelli R, Bonelli M, Alexander H, Ricci JL. Clinical evaluation of laser microtexturing for soft tissue and bone attachment to dental implants. *Implant Dent* 2009;18:57–66.
60. Ricci JL, Grew JC, Alexander H. Connective-tissue responses to defined biomaterial surfaces. I. Growth of rat fibroblast and bone marrow cell colonies on microgrooved substrates. *J Biomed Mater Res A* 2008;85:313–325.
61. Weiner S, Simon J, Ehrenberg DS, et al. The effects of laser microtextured collars upon bone levels of dental implants. *Implant Dent* 2008;18:111–121.
62. 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.
63. Nevins M, Camelo M, Nevins ML, Schupbach P, Kim DM. Connective tissue attachment to laser-microgrooved abutments: A human histologic case report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012;32:385–392.
64. Shin SY, Han DH. Influence of microgrooved collar design on soft and hard tissue healing of immediate implantation in fresh extraction sites in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:804–814.
65. 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.