

Veränderungen des periimplantären Alveolarknochens im Bereich enossaler Implantate bei funktioneller Belastung: Eine radiologische Evaluation bei unbezahnnten Patienten mit dem Vergleich verschiedener Implantatdesigns



Nynke Tymstra, DDS, PhD*
Henny J. A. Meijer, DDS, PhD**
Gerry M. Raghoebar, MD, DDS, PhD***
Arjan Vissink, MD, DDS, PhD***

Über fünf Jahre wurden bei 120 unbezahnnten Patienten die Veränderungen des marginalen Knochens an Titanplasma-beschichteten Implantaten ($n = 240$) im unteren interforaminalen Bereich untersucht. Dabei wurde besonders auf den Einfluss der Lokalisation des Mikrospalts und der Rau-glatt-Grenze geachtet. Die Veränderungen des marginalen Knochens wurden auf standardisierten Röntgenbildern gemessen. Die Lage des Mikrospalts und der Rau-glatt-Grenze trägt nicht nachhaltig zum periimplantären marginalen Knochenniveau bei. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2012;32:643–652.)

* Wissenschaftlerin, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University Medical Center Groningen, University of Groningen, Groningen, Niederlande.

** Professorin, Department of Oral and Maxillofacial Surgery und Department of Prosthetic Dentistry, Dental School, University Medical Center Groningen, University of Groningen, Groningen, Niederlande.

*** Professor, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University Medical Center Groningen, University of Groningen, Groningen, Niederlande.

Korrespondenz an: Dr. Nynke Tymstra, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University Medical Center Groningen, University of Groningen, PO Box 30.001, NL-9700 RB Groningen, Niederlande. Fax: + 31 50 3611136. E-Mail: h.j.a.meijer@umcg.nl

Der periimplantäre Verlust von marginalem Knochen gilt als einer der Faktoren für die Vorhersagbarkeit des langfristigen Erfolgs von Implantaten. Dieser Erfolg wird am Implantatüberleben, der periimplantären Gesundheit und dem ästhetischen Ergebnis gemessen. Auftreten und Ausmaß dieses Knochenverlusts hängen vermutlich mit folgenden Faktoren zusammen: dem Implantatdesign, der Knochendichte, dem Operationstrauma bei der Implantation und der Zweitoperation, der okklusalen Überlastung des Implantats, der Apikalwanderung des Sulusepithels beim Versuch, eine bakterielle Infektion zu isolieren oder die biologische Breite herzustellen, der Unterbrechung der Blutversorgung und der Entwicklung eines pathogenen bakteriellen Biofilms¹.

Die Beschaffenheit der Implantatoberfläche (glatt oder rau) und die Lage der Grenze zwischen rauher und glatter Oberfläche (Rau-glatt-Grenze) gelten als Haupteinflussfaktoren auf das periimplantäre marginale Knochenniveau²⁻⁴. Dies wurde ausführlich während der initialen Heilungsphase untersucht, aber nur selten während der sich anschließenden funktionellen Belastung des Implantats. Aus mehreren Studien an Tieren und Menschen ist bekannt, dass die Rau-glatt-Grenze

offen einheilender einteiliger Implantate in der initialen Heilungsphase die Höhe des ersten Knochen-Implantat-Kontakts festlegt⁵⁻⁷. Allerdings existieren keine Langzeitdaten zu den Auswirkungen während der funktionellen Belastung.

Mehrere Tierstudien lassen vermuten, dass die Lage des Mikrospalts zwischen Implantat und Abutment einen Einfluss auf das marginale Knocheniveau hat^{1, 4, 7-9}. Hermann et al.⁴ beobachteten, dass der Mikrospalt, wenn er auf der Höhe oder unter dem Alveolarkamm liegt, während der initialen Heilungsphase das Ausmaß der Kammresorption bestimmt. Diese Feststellung wurde von anderen Autoren bestätigt^{1, 8, 10}. Im Gegensatz dazu beobachteten Todescan et al.⁹ keinen zusätzlichen Knochenverlust, wenn der Mikrospalt tiefer im Knochen liegt.

Die meisten Studien am Menschen kamen zu dem Ergebnis, dass der periimplantäre Knochenverlust in der initialen Heilungsphase am stärksten ist, also in den ersten sechs bis 12 Monaten nach der Implantation^{2, 3, 11, 12}. Außerdem hing der Knochenverlust weder in den Studien am Menschen noch in denen am Tier mit dem Remodeling während der initialen Heilungsphase zusammen, sondern trat später nach der Implantation auf. Die Faktoren, die diesen Knochenverlust beeinflussen, wurden jedoch bislang nicht ausführlich untersucht. Daher wurden in der vorliegenden radiologischen Studie über fünf Jahre mit funktioneller Belastung die kristallinen Knochenveränderungen im Bereich von Implantaten untersucht, die mit einer Unterkieferdeckprothese restauriert worden waren. Dabei wurde besonders auf den Einfluss der Rau-glatt-Grenze und die Lokalisation des Mikrospalts auf die Knochenveränderungen geachtet.

Material und Methode

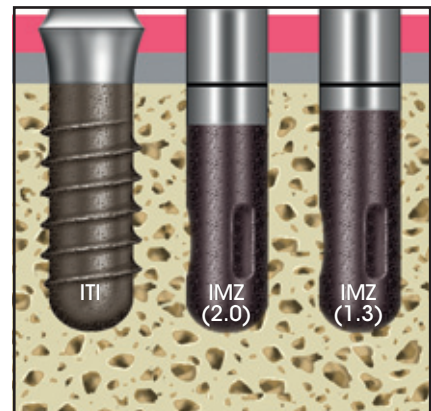
Verwendet wurden standardisierte intraorale Röntgenaufnahmen¹³ von Patienten, die in einem festgelegten zeitlichen Abstand nach der Implantation mit einer implantatgetragenen Unterkieferdeckprothese versorgt wurden. Die Patienten hatten bereits an früheren prospektiven Studien der Autorengruppe teilgenommen^{14, 15} und wurden anhand der folgenden Einschlusskriterien ausgesucht: stark resorbierter Unterkiefer (Klasse V oder VI¹⁶ mit reduzierter Stabilität und unzureichender Retention der Unterkieferprothese), seit mindestens zwei Jahren unbezahlt, keine frühere Bestrahlung von Kopf oder Hals sowie präprothetische Operationen oder dentale Implantate. Die Patienten wurden über die verschiedenen Behandlungsoptionen aufgeklärt und willigten jeweils schriftlich in die Studienteilnahme ein.

Um den Einfluss der Lage der Rau-glatt-Grenze und des Mikrospalts zu beurteilen, wurden Implantatsysteme gewählt, bei denen sich der Mikrospalt und die Rau-glatt-Grenze bezogen auf das marginale Knocheniveau bei der Implantation auf unterschiedlicher Höhe befinden. Folgende Gruppen wurden gebildet (aufgenommen wurden alle Patienten aus den vorausgegangenen prospektiven Studien^{14, 15}): ITI-Gruppe = 50 Patienten, die zwei ITI-Implantate erhielten (einzeitig, Schraubimplantate mit einem Durchmesser von 4,1 mm, Titanplasma-sprayed [TPS], koronale 3,8 mm mit glatter maschinierter Titanoberfläche; Straumann), IMZ-(2,0)-Gruppe = 40 Patienten, die zwei IMZ-Implantate erhielten (zweizeitig, zylindrische Implantate mit einem Durchmesser von 4 mm, TPS-Beschichtung, koronale 2 mm mit glatter maschinierter Titanoberfläche; Friatec) und IMZ-(1,3)-Gruppe

Tabelle 1	Patientendaten bei Studienbeginn		
	ITI (n = 50)	IMZ (2,0) (n = 40)	IMZ (1,3) (n = 30)
Mittleres Alter in Jahren (Bereich)	55,2 (34–74)	58,1 (42–79)	53,6 (38–77)
Geschlecht (männlich/weiblich)	17/33	21/19	9/21
Mittlere unbezahnte Phase im UK in Jahren (SA)	20,4 (9,9)	25,7 (12,0)	20,8 (9,0)
Mittlere mandibuläre Knochenhöhe in mm (SA)	16,0 (2,0)	16,6 (2,7)	15,6 (2,0)
Mittlere Knochenqualität (Wert 1 bis 4)	2,6	2,8	3,0

SA = Standardabweichung, UK = Unterkiefer.

Abb. 1 Schematische Zeichnung der Implantate in jeder Untersuchungsgruppe zum Zeitpunkt der Implantation im Verhältnis zum Knochenkamm. Pink = Epithel, grau = Bindegewebe.



= 30 Patienten, die zwei IMZ-Implantate erhielten (zweiseitig, zylindrische Implantate mit einem Durchmesser von 4 mm, TPS-Beschichtung, koronale 1,3 mm mit glatter maschinierter Titanoberfläche; Friatec).

In Tabelle 1 sind die Patientenmerkmale der Gruppen zusammengefasst. Die Knochenhöhe wurde auf lateralen cephalometrischen Röntgenaufnahmen mit Verzerrungskorrektur gemessen. Die Knochenqualität wurde nach Lekholm und Zarb auf einer lateralen cephalometrischen Röntgenaufnahme bestimmt¹⁷.

Die Messungen wurden bei allen Patienten sechs, 12, 18, 30, 42, 54 und 66 Monate nach der Implantation vorgenommen. Im Rahmen dieser

radiologischen Studie begann die Datenerfassung etwa sechs Monate nach der Implantation (mit Beginn der funktionellen Belastung), da unmittelbar nach der Implantation keine standardisierten Röntgenaufnahmen aufgenommen werden konnten, weil dafür ein mit dem Steg verbundenes Zielgerät verwendet wurde¹³.

Behandlungsverfahren

Die Implantationen erfolgten bei allen Patienten unter Lokalanästhesie in Position des rechten und linken unteren Eckzahns. Alle Implantate wurden von demselben Kieferchirurgen

nach dem operativen Standardprotokoll gesetzt^{14, 15}. Die ITI-Implantate wurden so gesetzt, dass sich die Rau-glatt-Grenze auf Höhe des Alveolarknochens befand. Damit lag die Oberkante des Implantats 3,8 mm über dem Alveolarkamm (Abb. 1). Die IMZ-Implantate wurden so gesetzt, dass das Implantat bündig mit dem Knochenkamm abschloss (der Mikrospace lag auf Höhe des Knochenkamms) und die Rau-glatt-Grenze in der IMZ-(2,0) Gruppe 2,0 mm bzw. in der IMZ-(1,3)-Gruppe 1,3 mm unter dem Knochenkamm lag (Abb. 1).

Drei Monate nach der Implantation führte derselbe Chirurg bei den Patienten, bei denen das Implantat gedeckt eingehellt war,

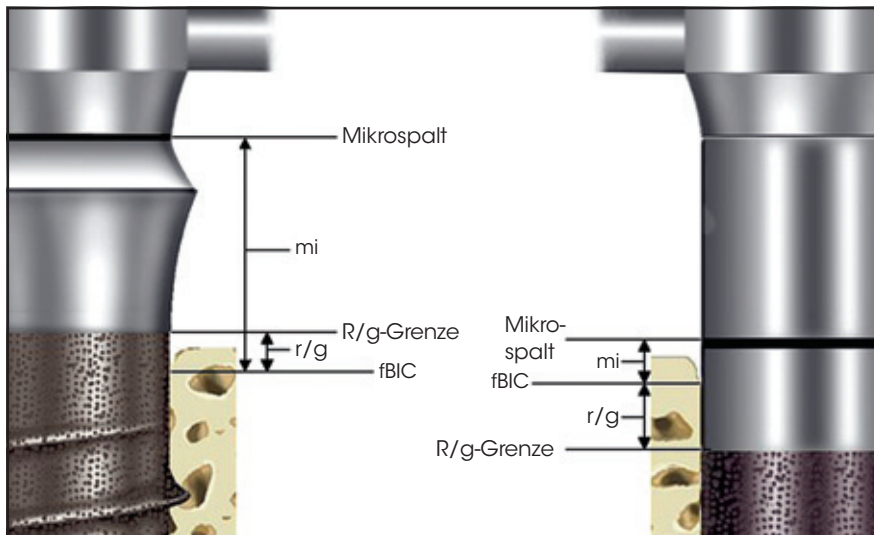


Abb. 2 Schematische Zeichnung der radiologischen Evaluation mit folgenden Messungen: Abstand (mi) vom Mikrospace des Implantats zum ersten Knochen-Implantat-Kontakt (fBIC) und Abstand (r/g) von der Rau-glatt-Grenze (R/g-Grenze) zum fBIC bei den Implantaten der Gruppen ITI (links) und IMZ (rechts). Zeichnung nicht maßstabsgetreu.

einen Zweiteingriff durch (Ausdünnen der Mukosa und Einsetzen des Abutments). In den IMZ-Gruppen wurden Titankonnektoren mit einem Durchmesser von 4 mm verwendet. Zwei Wochen später wurde mit der Herstellung einer neuen Oberkieferprothese und Unterkieferdeckprothese begonnen. In der ITI-Gruppe begann die prothetische Phase drei Monate nach der Implantation. Alle Patienten wurden von zwei erfahrenen Prothetikern mit der gleichen Restauration versorgt. Die Deckprothesen wurden von einem Steg mit Klammerbefestigung getragen. Die Prothesen wurden mit Keramikzähnen so angefertigt, dass die Okklusion ausgeglichen und die Artikulation monoplan war. Bei

den ITI-Implantaten wurde der Steg so platziert, dass sich der Mikrospace oben am Implantat befand und nicht am unteren Ende der Schräge, sodass der Mikrospace 3,8 mm über dem Alveolarkamm lag (Abb. 2).

Radiologische Ergebnisvariablen

Die intraoralen standardisierten Röntgenaufnahmen wurden mit Langkonus und Zielgerät aufgenommen¹³. Mit einem digitalen Messschieber (Digital Sl, Tesa) wurden an jeder Seite des Implantats folgende Abstände gemessen¹⁸: von der Oberkante des Implantats (Mikrospace) zum ersten Knochen-Implantat-Kontakt

und von der Rau-glatt-Grenze zum ersten Knochen-Implantat-Kontakt (Abb. 2).

Alle Messungen wurden von demselben Untersucher vorgenommen und innerhalb von zwei Wochen wiederholt. Anschließend wurde der Mittelwert gebildet, da die Reproduzierbarkeit besser ist, wenn ein Untersucher Messungen zweimal durchführt, als wenn zwei Untersucher jeweils einmal messen¹⁹.

Datenauswertung

Mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test ermittelt. Das Signifi-

kanzniveau lag bei 0,05. Ebenso wie in der bereits vorhandenen Literatur zu Implantaten wurde davon ausgegangen, dass zwei Implantate bei demselben Patient statistisch unabhängig voneinander sind^{14, 19-21}.

Ergebnis

Tabelle 2 zeigt die Anzahl der Patienten und Implantate, die an den verschiedenen Evaluationszeitpunkten beurteilt wurden. Kontrolltermine wurden in der Hauptsache dann nicht wahrgenommen, wenn die Patienten erkrankt, umgezogen oder gestorben waren (n = 5). Außerdem war es bei einem kleinen Teil der Patienten aufgrund von anatomischen Einschränkungen oder anderen patientenabhängigen Faktoren nicht möglich, von einem oder beiden Implantaten eine standardisierte Röntgenaufnahme anzufertigen.

Insgesamt drei Implantate versagten während der fünfjährigen Beobachtungszeit. Zwei davon versagten in den ersten sechs Monaten (ein IMZ [2,0] und ein IMZ [1,3]) und wurden erfolgreich ersetzt. Nach 18 Monaten ging ein zweites IMZ-(2,0)-Implantat verloren, das nicht ersetzt werden konnte, weil der Patient kurz darauf verstarb.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den mittleren Abstand zwischen der Oberkante des Implantats und dem ersten Knochen-Implantat-Kontakt bzw. den mittleren Abstand zwischen der Rau-glatt-Grenze und dem ersten Knochen-Implantat-Kontakt als Funktion der Länge der Beobachtungszeit. Abbildung 3 zeigt, dass die mittleren marginalen Knochenniveaus an IMZ-Implantaten bei funktioneller Belastung näher als 2 mm am Mikrospace lagen. Anschließend schritt der Knochenverlust nach 66-monatiger Beobachtungszeit bis zu einem mittleren Niveau von etwa

2 mm unter dem Mikrospace fort. Zudem lag das mittlere marginale Knochenniveau der IMZ-Implantate zu Beginn der funktionellen Belastung koronal der Rau-glatt-Grenze auf Höhe der glatten Oberfläche (Abb. 4). Außerdem hörte der Knochenverlust im Lauf der Zeit bei Erreichen der Rau-glatt-Grenze nicht auf.

Tabelle 3 zeigt den Anteil der Implantate mit einem marginalen Knochenniveau auf Höhe der glatten Oberfläche und näher als 1,0 mm, 1,3 mm und 2,0 mm zum Mikrospace. Zum Zeitpunkt der Belastung wies ein Drittel der ITI-Implantate ein marginales Knochenniveau auf Höhe der glatten maschinieren Oberfläche auf. Außerdem lag das marginale Knochenniveau zu Beginn der funktionellen Belastung bei den meisten IMZ-(2,0)- und IMZ-(1,3)-Implantaten auf Höhe der glatten maschinieren Oberfläche und im Bereich von 2 mm zum Mikrospace.

Abbildung 5 zeigt den Fortschritt des mittleren marginalen Knochenverlusts von sechs (Beginn der funktionellen Belastung) bis 66 Monaten nach der Implantation. Der mittlere periimplantäre marginale Knochenverlust aller Implantatsysteme schritt während der fünfjährigen Beobachtungszeit allmählich fort. Der Knochenverlust unterschied sich nicht zwischen den Gruppen.

Diskussion

Die Studie zeigte, dass die Lage der Rau-glatt-Grenze und des Mikrospace nach einer Implantation bei unbezahnnten Patienten während der ersten fünf Jahre mit funktioneller Belastung kein Hauptfaktor bei der Festlegung des marginalen Knochenniveaus ist.

Um den Einfluss der Rau-glatt-Grenze auf das marginale Knochenniveau zu untersuchen, wurden ITI-

Tabelle 2 Anzahl der Patienten und interproximalen Implantatbereiche, bei denen 6, 12, 18, 30, 42,

	6 Monate			12 Monate			18 Monate		
	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)
Anz. der Patienten	49	38	30	48	36	30	48	38	30
Anz. d. Implantatbereiche	190	152	120	186	144	116	186	148	120
Anz. fehlender Fotos (links, rechts, beide)	4 (1, 2, 1)	2 (0, 0, 2)	0 (0, 0, 0)	4 (1, 2, 1)	4 (0, 0, 4)	2 (1, 1, 0)	4 (1, 2, 1)	4 (1, 1, 2)	0 (0, 0, 0)

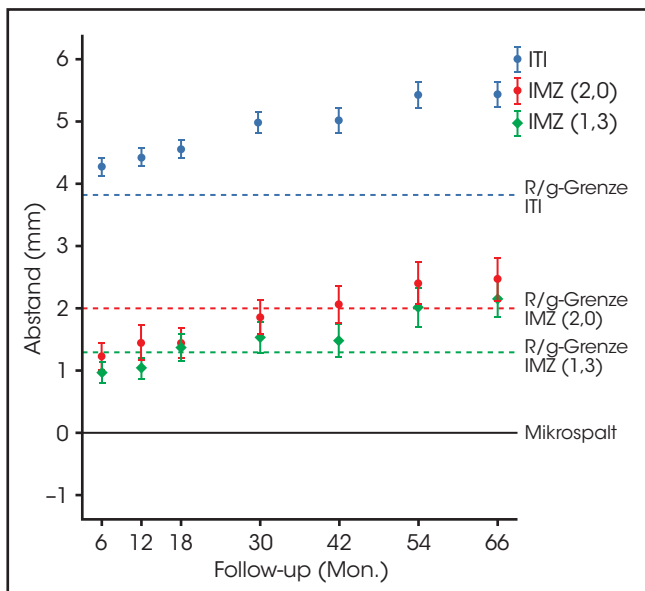


Abb. 3 Mittlerer Abstand vom marginalen Knochenniveau zum Mikrospace in den Gruppen ITI, IMZ (2,0) und IMZ (1,3) über 66 Monate nach Implantation. (Die Fehlerbalken entsprechen den 95%-Konfidenzintervallen der Mittelwerte). Die funktionelle Belastung der Implantate begann sechs Monate nach der Implantation.

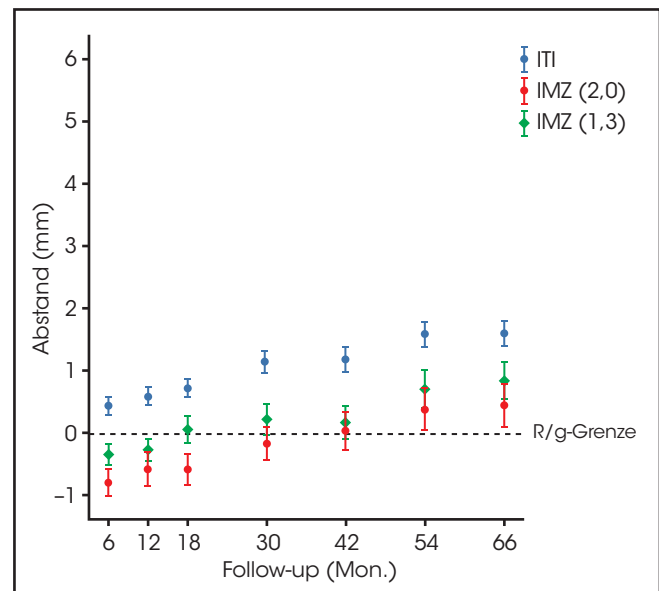


Abb. 4 Mittlerer Abstand zwischen dem marginalen Knochenniveau und der Rau-glatt-Grenze der Implantate in den Gruppen ITI, IMZ (2,0) und IMZ (1,3) über 66 Monate nach Implantation. (Die Fehlerbalken entsprechen den 95%-Konfidenzintervallen der Mittelwerte). Die funktionelle Belastung der Implantate begann sechs Monate nach der Implantation.

Implantate verwendet, weil es sich dabei um einteilige Implantate ohne einen Mikrospace in der Nähe des marginalen Knochens handelt. Wenn diese Implantate mit der Rau-glatt-Grenze auf der Höhe mit des

Alveolarknochens gesetzt werden, wäre zu erwarten, dass das marginale Knochenniveau sechs Monate nach der Implantation an oder unter der Rau-glatt-Grenze liegt. Allerdings lag es bei einem Drittel der

Implantate weiterhin über der Rau-glatt-Grenze, d. h. auf Höhe der glatten Oberfläche. Dies könnte mit dem Operationsverfahren zusammenhängen. Beim Setzen der Implantate mit der Rau-glatt-Grenze auf Höhe

54 und 66 Monate nach der Implantation eine Evaluation erfolgen konnte

30 Monate			42 Monate			54 Monate			66 Monate		
ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)	ITI	IMZ (2,0)	IMZ (1,3)
48	37	30	47	37	28	45	35	30	45	35	30
186	146	118	176	146	112	170	138	120	170	138	120
4 (1,2,1)	3 (0,1,2)	1 (0,1,0)	5 (1,2,2)	3 (0,1,2)	0 (0,0,0)	7 (1,2,4)	4 (0,1,3)	0 (0,0,0)	7 (1,2,4)	4 (0,1,3)	0 (0,0,0)

Tabelle 3

Anteil der Implantate, deren periimplantäres marginales Knochenniveau sich auf Höhe der glatten Oberfläche und im Abstand von 2,0 mm, 1,3 mm oder 1,0 mm zum Mikrospace zwischen Implantat und Abutment befand

Gruppe	Marginales Knochenniveau	6 Mon.*	12 Mon.	18 Mon.	30 Mon.	42 Mon.	54 Mon.	66 Mon.
ITI	Glatte Oberfläche	33,2	29,6	26,3	18,8	21,6	4,1	8,2
	< 2,0 mm unter dem Mikrospace	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	< 1,3 mm unter dem Mikrospace	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	< 1,0 mm unter dem Mikrospace	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
IMZ (2,0)	Glatte Oberfläche	78,9	75,7	74,3	63,7	58,2	55,1	55,1
	< 2,0 mm unter dem Mikrospace	78,9	75,7	74,3	63,7	58,2	55,1	55,1
	< 1,3 mm unter dem Mikrospace	67,1	61,1	61,5	52,1	44,5	47,1	43,5
	< 1,0 mm unter dem Mikrospace	55,9	51,4	51,4	39,7	37,0	36,2	35,5
IMZ (1,3)	Glatte Oberfläche	70,0	66,4	55,0	50,0	47,3	41,7	30,8
	< 2,0 mm unter dem Mikrospace	91,7	94,0	85,0	73,7	74,1	60,0	58,3
	< 1,3 mm unter dem Mikrospace	70,0	66,4	55,0	50,0	47,3	41,7	30,8
	< 1,0 mm unter dem Mikrospace	43,3	37,1	35,0	33,9	32,1	23,3	22,5

NA = nicht anwendbar, Mon. = Monat.

* Die funktionelle Belastung der Implantate begann sechs Monate nach der Implantation.

des geringeren bukkalen Knochenniveaus wird die glatte Oberfläche bei einer bestimmten Anzahl der ITI-Implantate approximal subkrestal zu liegen kommen. Diese Position findet sich vor allem bei einer geringen

bukkolingualen Breite des Unterkiefers. Selbst dann ist aufgrund von Ergebnissen vorausgegangener Tierstudien zur Evaluation des Knochenumbaus während der initialen Heilungsphase nicht zu erwarten, dass

das marginale Knochenniveau zu Beginn der funktionellen Belastung über der Rau-glatt-Grenze liegt. Mehrere Tierstudien wie die von Hermann et al.⁴ zeigten, dass der erste Knochen-Implantat-Kontakt bei einteili-

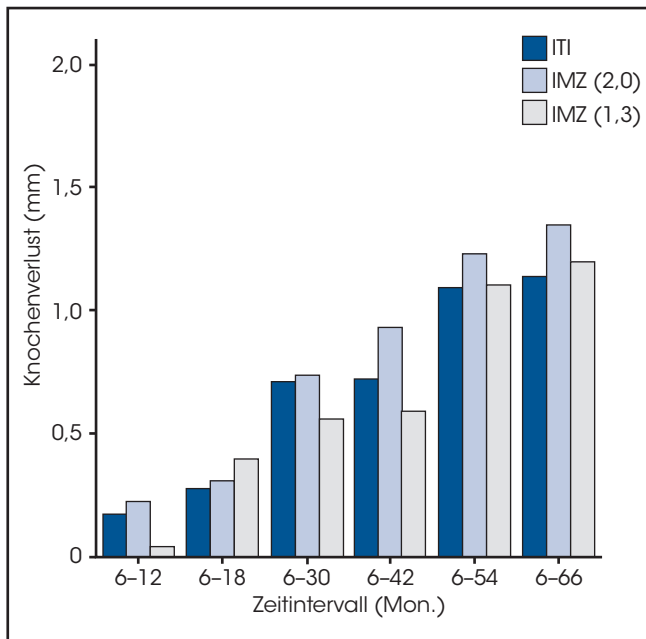


Abb. 5 Mittlerer radiologischer marginaler Knochenverlust in den Gruppen ITI, IMZ (2,0), IMZ (1,3) über einen Zeitraum von 6 bis 66 Monaten nach der Implantation. Die funktionelle Belastung der Implantate begann sechs Monate nach der Implantation.

gen Implantaten von der Rau-glatt-Grenze bestimmt wird, und dass der erste Knochen-Implantat-Kontakt auf Höhe der rauen Oberfläche liegt. Hermann et al.⁴ zeigten, dass die Rau-glatt-Grenze ein wichtiger Orientierungspunkt für den Knochenverlust ist, wobei ihr Studiendesign keine Vorhersage des Knochenverlusts nach der initialen Umbauphase erlaubte. Hämmerle et al.⁵ sowie Hartman und Cochran³ kamen zu dem Ergebnis, dass die subkrestale Lage der Rau-glatt-Grenze im ersten Jahr nach der Implantation zu einem signifikant höheren marginalen Knochenverlust führt. Allerdings lag das marginale Knocheniveau in der vorliegenden Studie bei etwa einem Drittel der Patienten zu Beginn der Belastung weit über der Rau-glatt-Grenze. Außerdem setzte sich der Knochenverlust fort, nachdem das marginale Knocheniveau die raue Oberfläche erreicht hatte. Daher nehmen die Autoren an, dass die Oberflächenbeschaffenheit (rau versus glatt) unter funktioneller Be-

lastung im unbezahnten Unterkiefer keinen nachhaltigen Einfluss auf das marginale Knocheniveau hat.

Bei IMZ-Implantaten beeinflusst sowohl der Rau-glatt-Kontakt als auch der Mikrospace die marginalen Knochenveränderungen. Die Implantate wurden so gesetzt, dass der glatte Anteil des Implantatthales subkrestal und der Mikrospace auf Höhe des Knochenkamms lag. Im Gegensatz zu anderen veröffentlichten Studien^{3, 4} lag das marginale Knocheniveau nach dem initialen Knochenumbau bei Belastung des Implantats nicht auf der Höhe der Rau-glatt-Grenze, aber trotzdem im Bereich zwischen dem Mikrospace und der Rau-glatt-Grenze (also auf Höhe der glatten Oberfläche). Außerdem wurden zwischen den beiden IMZ-Gruppen keine signifikanten Unterschiede beim Knochenverlust ermittelt. Weiterhin setzte sich der mittlere Knochenverlust in beiden IMZ-Gruppen auch nach dem Überschreiten der Rau-glatt-Grenze fort. Offenbar spielt beim Menschen die

Lage der Rau-glatt-Grenze am Implantat unter funktioneller Belastung keine wichtige Rolle für das Ausmaß des periimplantären Knochenverlusts.

Bei vorausgegangenen Tierstudien wurde festgestellt, dass der Mikrospace bei zweiteiligen Implantaten den ersten Knochen-Implantat-Kontakt beeinflusst^{1, 4, 8}. Ein kontaminierter Mikrospace würde durch Apikalmigration des Epithels über den Spalt hinaus isoliert werden. Möglicherweise ist die Migration des Epithels und dessen anschließende Reaktion auf die Wiederherstellung der biologischen Breite in den Experimenten nach dem initialen Knochenumbau für die etwa 2 mm Knochenverlust apikal des Mikrospace verantwortlich^{8, 22}. Die Ergebnisse der IMZ-Implantate zeigten, dass das marginale Knocheniveau im Abstand von 2 mm oder sogar 1 mm vom Mikrospace sechs Monate nach der Implantation zu Beginn der funktionellen Belastung keine Ausnahme ist. Trotz der unterschiedlichen Loka-

lisationen des Mikrospalts nach der Implantation bei den verschiedenen untersuchten Implantatdesigns gab es keine signifikanten Unterschiede des mittleren Knochenverlusts zwischen der IMZ- und der ITI-Gruppe, abgesehen von einer stärkeren Variation des Knochenlevels an den IMZ- statt an den ITI-Implantaten. Vermutlich sind die periimplantären marginalen Knochenveränderungen um IMZ-Implantate weniger vorhersagbar und stärker von patientenbedingten Faktoren abhängig. Außerdem zeigen diese Ergebnisse, dass die Lage des Mikrospalts am Implantat beim Menschen keinen großen Einfluss auf das marginale Knochenlevel hat.

Eine wichtige Beobachtung war, dass der Knochenabbau in keiner Implantatgruppe (ITI, IMZ) zum Stillstand kam, was von einem modernen Implantatsystem zu erwarten gewesen wäre. Der periimplantäre Knochenverlust in den drei Implantatgruppen war stärker als in den Studien von Hämmerle et al.⁵ und anderen²⁴, die implantatgetragene Deckprothesen untersuchten. Allerdings war der Knochenverlust weiterhin akzeptabel, da er innerhalb der Grenzen des jährlichen Knochenverlusts von 0,2 mm liegt, der von Albrektsson et al.²⁵ beschrieben wurde. Die Autoren sind sich nicht sicher, wie sie diesen andauernden Knochenverlust erklären sollen. Eventuell lag es daran, dass TPS-beschichtete Implantate verwendet wurden. Solche Implantate weisen einen stärkeren marginalen Knochenverlust auf als beispielsweise Implantate mit sandgestrahlten und säuregeätzten Oberflächen^{26, 27}. Andererseits untersuchten Hämmerle et al.⁵ sowie Hartman und Cochran³ auch TPS-beschichtete Implantate. Statt unbezahn timer Patienten, wie in der vorliegenden Studie, behandelten sie nur teilbezahn timer Patienten. Da diese

Studie an stark resorbierten unbezahn timer Unterkiefern durchgeführt wurde, spiegeln die Beobachtungen zudem vermutlich nicht die periimplantären Knochenveränderungen an Implantaten bei teilbezahn timer Patienten wider. Eine weitere Einschränkung beim Vergleich dieser Studienergebnisse am Menschen mit den Ergebnissen von Tierstudien ist, dass die Beobachtungen auf radiologischen Befunden basieren, während in Tierstudien auch histologische Daten verfügbar waren. Hermann et al.²⁸ zeigten, dass reliabel standardisierte Röntgenaufnahmen das periimplantäre krestale Knochenlevel ähnlich gut widerspiegeln wie die Histometrie.

Schlussfolgerungen

Die Lage des Mikrospalts und der Rau-glatt-Grenze beeinflusst in einem stark resorbierten humanen Unterkiefer bei funktioneller Belastung von TPS-beschichteten Implantaten nicht nachhaltig das periimplantäre marginale Knochenlevel. Außerdem schritt der marginale Knochenverlust allmählich im Lauf der Zeit fort. Eine wichtige Beobachtung war, dass der intermediäre (fünf Jahre) Effekt der untersuchten Implantatdesigns auf den marginalen Knochenverlust beim Menschen nicht mit dem zu erwartenden periimplantären Knochenverlust in vorausgegangen Tierstudien übereinstimmt. Außerdem zeigte diese Studie, dass es noch viele Ungereimtheiten in Bezug auf das Verhalten des marginalen periimplantären Knochens beim Menschen gibt, weil die meisten aktuellen Implantatdesigns auf den Ergebnissen von Tierstudien basieren. Zur Verifizierung dieser Ergebnisse über einen längeren Zeitraum sind weitere Studien erforderlich.

Danksagungen

Die Autoren danken Dr. R. H. K. Batenburg und Dr. K. Heydenrijk für ihre Arbeit in den initialen Studien.

Literatur

1. Assenza B, Scarano A, Petrone G, et al. Crestal bone remodeling in loaded and unloaded implants and the microgap: A histologic study. *Implant Dent* 2003; 12:235-241.
2. Hänggi MP, Hänggi DC, Schoolfield JD, Meyer J, Cochran DL, Hermann JS. Crestal bone changes around titanium implants. Part I: A retrospective radiographic evaluation in humans comparing two non-submerged implant designs with different machined collar lengths. *J Periodontol* 2005;76:791-802.
3. Hartman GA, Cochran DL. Initial implant position determines the magnitude of crestal bone remodeling. *J Periodontol* 2004;75:572-577.
4. Hermann JS, Buser D, Schenk RK, Cochran DL. Crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged and submerged implants in the canine mandible. *J Periodontol* 2000;71:1412-1424.
5. Hämmerle CH, Brägger U, Bürgin W, Lang NP. The effect of subcrestal placement of the polished surface of ITI implants on marginal soft and hard tissues. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:111-119.
6. Hermann JS, Schoolfield JD, Schenk RK, Buser D, Cochran DL. Influence of the size of the microgap on crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged implants in the canine mandible. *J Periodontol* 2001;72:1372-1383.
7. King GN, Hermann JS, Schoolfield JD, Buser D, Cochran DL. Influence of the size of the microgap on crestal bone levels in non-submerged dental implants: A radiographic study in the canine mandible. *J Periodontol* 2002;73:1111-1117.



8. Piattelli A, Vrespa G, Petrone G, Iezzi G, Annibali S, Scarano A. Role of the microgap between implant and abutment: A retrospective histologic evaluation in monkeys. *J Periodontol* 2003;74:346–352.
9. Todescan FF, Pustiglioni FE, Imbronito AV, Albrektsson T, Gioso M. Influence of the microgap in the peri-implant hard and soft tissues: A histomorphometric study in dogs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:467–472.
10. Alomrani AN, Hermann JS, Jones AA, Buser D, Schoolfield J, Cochran DL. The effect of a machined collar on coronal hard tissue around titanium implants: A radiographic study in the canine mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005;20:677–686.
11. Chou CT, Morris HF, Ochi S, Walker L, DesRosiers D. AICRG, Part II: Crestal bone loss associated with the Ankylos implant: Loading to 36 months. *J Oral Implantol* 2004;30:134–143.
12. Weber HP, Crohin CC, Fiorellini JP. A 5-year prospective clinical and radiographic study of non-submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2000;11:144–153.
13. Meijer HJ, Steen WH, Bosman F. Standardized radiographs of the alveolar crest around implants in the mandible. *J Prosthet Dent* 1992;68:318–321.
14. Heydenrijk K, Raghoobar GM, Meijer HJ, Stegenga B. Clinical and radiologic evaluation of 2-stage IMZ implants placed in a single-stage procedure: 2-year results of a prospective comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:424–432.
15. Batenburg RH, Meijer HJ, Raghoobar GM, Van Oort RP, Boering G. Mandibular overdentures supported by two Brånemark, IMZ or ITI implants. A prospective comparative preliminary study: One-year results. *Clin Oral Implants Res* 1998;9:374–383.
16. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1988;17:232–236.
17. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T (eds). *Tissue-Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry*, ed 1. Chicago: Quintessence, 1985:199–209.
18. Meijer HJ, Steen WH, Bosman FA. Comparison of methods to assess marginal bone height around endosseous implants. *J Clin Periodontol* 1993;20:250–253.
19. Batenburg RH, Meijer HJ, Geraets WG, van der Stelt PF. Radiographic assessment of changes in marginal bone around endosseous implants supporting mandibular overdentures. *Dentomaxillofac Radiol* 1998;27:221–224.
20. Stellingsma K, Raghoobar GM, Meijer HJ, Stegenga B. The extremely resorbed mandible: A comparative prospective study of 2-year results with 3 treatment strategies. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:563–577.
21. Boerrigter EM, Geertman ME, Van Oort RP, et al. Patient satisfaction with implant-retained mandibular overdentures. A comparison with new complete dentures not retained by implants—A multicentre randomized clinical trial. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1995;33:282–288.
22. Hermann JS, Buser D, Schenk RK, Schoolfield JD, Cochran DL. Biologic Width around one- and two-piece titanium implants. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:559–571.
23. Lindquist LW, Carlsson GE, Jemt T. A prospective 15-year follow-up study of mandibular fixed prostheses supported by osseointegrated implants. Clinical results and marginal bone loss. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:329–336.
24. Quirynen M, Naert I, van Steenberghe D, Teerlinck J, Dekeyser C, Theuniers G. Periodontal aspects of osseointegrated fixtures supporting an overdenture. A 4-year retrospective study. *J Clin Periodontol* 1991;18:719–728.
25. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986;1:11–25.
26. Cochran DL, Nummikoski PV, Higginbottom FL, Hermann JS, Makins SR, Buser D. Evaluation of an endosseous titanium implant with a sandblasted and acid-etched surface in the canine mandible: Radiographic results. *Clin Oral Implants Res* 1996;7:240–252.
27. Rocuzzo M, Bunino M, Prioglio F, Bianchi SD. Early loading of sandblasted and acid-etched (SLA) implants: A prospective split-mouth comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:572–578.
28. Hermann JS, Schoolfield JD, Nummikoski PV, Buser D, Schenk RK, Cochran DL. Crestal bone changes around titanium implants: A methodologic study comparing linear radiographic with histometric measurements. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001;16:475–485.