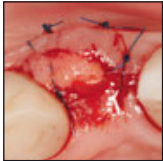


Quantitative dreidimensionale Erfassung der volumetrischen und profilometrischen Ergebnisse nach subepithelialer Bindegewebstransplantation unter Brückengliedern: Eine prospektive Pilotstudie



Oscar González-Martín, DMD, MSc¹
Mario Veltri, DMD, PhD²
Osvaldo Moráquez, DMD, MAS³
Urs C. Belsler, DMD, Prof. Dr. med. dent.⁴

In der hier vorgestellten Studie wird ein Verfahren zur volumetrischen und profilometrischen Beurteilung der Veränderungen des Weichgewebes beschrieben. Die Technik wurde an leichten bis mittelschweren horizontalen Alveolarkammdefekten nach Weichgewebeaugmentation im Bereich von Brückengliedern angewandt. Dazu wurde bei fünf Patienten mit der Pouch-Technik ein subepitheliales Bindegewebstransplantat eingebracht. Fünf Monate später wurden mithilfe eines Laserscanners quantitativ dreidimensional (3D) die Volumenzunahme und die horizontalen Veränderungen des Alveolarkammprofils erfasst. Alle operierten Bereiche heilten komplikationslos. Das Weichgewebenvolumen hatte fünf Monate nach der Augmentation um durchschnittlich 35,9 mm³ zugenommen. Der Abstand zwischen dem prä- und dem postoperativen vestibulären Profil im augmentierten Bereich betrug in der linearen Messung 0,16 bis 2 mm. Die hier beschriebenen quantitativen Messungen wurden 3D mit einem Laserscanner durchgeführt und sind für künftige Studien eine effektive Möglichkeit, Weichgewebeveränderungen zu beurteilen. Trotz der kleinen Probengröße legen die vorgestellten Daten nahe, dass das untersuchte Operationsverfahren eine Option für die Behandlung einer leichten bis mittelschweren horizontalen Alveolarkammatrophie im Bereich der oberen lateralen Schneidezähne ist. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2014; 34: 641–647.)

Nach Zahnextraktionen kommt es normalerweise zu einer erheblichen Knochenresorption¹. Die orofaziale Dimension nimmt gegenüber dem Ausgangsvolumen in den ersten drei Monaten der Heilungsphase um 30 % und nach 12 Monaten um 50 % ab². In einem Tiermodell wurde gezeigt, wie markierte Osteoklasten die krestale bukkale und linguale Knochenwand resorbieren^{3,4}.

Aufgrund dieser physiologischen Knochenresorption entstehen Defekte, die vom Verlust der Wurzelprominenz bis zur Abnahme der Breite und Höhe des Alveolarkamms reichen. Dadurch können insbesondere bei Brücken im Frontzahnbereich ästhetische Beeinträchtigungen entstehen.

Um die Alveolarkammkontur unter einem Brückenglied zu verbessern, wurden zahlreiche Verfahren vorgeschlagen. Bei der Behandlung leichter bis mittelschwerer horizontaler Alveolarkammdefekte⁵ reicht eine Rekonstruktion der Weichgewebe, während bei schweren Defekten mehrere Eingriffe oder eine Osteoplastik erforderlich sein können⁵⁻⁷.

In Bezug auf die Volumenzunahme, Ästhetik und Langzeitstabilität scheint die subepitheliale Bindegewebstransplantation freien Gingiva-Vollschichttransplantaten überlegen zu sein⁸. Trotzdem gibt es nur wenige Informationen über den Einsatz von Bindegewebstransplantaten mithilfe

¹ Außerordentlicher Assistenzprofessor, Periodontal-Prosthesis Department, University of Pennsylvania School of Dental Medicine, Philadelphia, Pennsylvania, USA; Gastdozent an der Abteilung für Kronen-Brückenprothetik und Okklusion, Zahnärztliches Institut der Universität Genf, Genf, Schweiz.

² Postgraduate Student, Spezialklinik für Parodontologie, Göteborg, Schweden.

³ Dozent, Abteilung für Kronen-Brückenprothetik und Okklusion, Zahnärztliches Institut der Universität Genf, Genf, Schweiz.

⁴ Emeritierter Leiter der Abteilung für Kronen-Brückenprothetik und Okklusion, Zahnärztliches Institut der Universität Genf, Genf, Schweiz.

Korrespondenz an: Dr. Oscar González-Martín, Postdoctoral Periodontal-Prosthesis Program, University of Pennsylvania School of Dental Medicine, 240 South 40th Street, Philadelphia, PA 19104-6030, USA. E-Mail: oscargm76@yahoo.es

©2014 by Quintessence Publishing Co Inc.

einer minimalinvasiven Pouch-Technik ohne vertikale Inzisionen.

Weichgewebemessungen werden immer häufiger durchgeführt, um Behandlungsergebnisse zu evaluieren⁹. Die traditionellen Verfahren, wie Messungen auf Fotografien, direkte visuelle Beurteilung und transgingivales Sondieren, unterliegen wegen ihrer geringen Präzision, Praktikabilität und klinischen Indikationen gewissen Einschränkungen. Die aufkommende Laserscanner-Technik erlaubt eine einfachere und quantitative dreidimensionale (3D) Erfassung der postoperativen Weichgewebeveränderungen⁹.

In der hier vorgestellten prospektiven Studie wird ein Verfahren zur Beurteilung der Veränderungen des Weichgewebevolumentums und -profils beschrieben. Dazu wird eine quantitative 3D-volumetrische Analyse unter Verwendung eines Laserscanners dargestellt. Insbesondere wird ermittelt, welches Ergebnis die Pouch-Technik mit einem subepithelialen Bindegewebsstransplantat im Bereich von fehlenden oberen lateralen Schneidezähnen erbringt.

Material und Methode

Insgesamt wurden zwischen Mai 2010 und Mai 2012 fünf konsekutive Patienten von demselben Operateur behandelt. Alle Patienten stellten sich mit einem fehlenden oberen lateralen Schneidezahn vor, nachdem dieser Bereich vollständig abgeheilt war (Abb. 1a und 1b). Der Behandlungsplan sah eine prothetische Versorgung mit einem ovalen Brückenglied (ovate Pontic) in der Position des lateralen Schneidezahns vor. Da die diagnostische Abklärung eine mittelschwere horizontale Resorption des Alveolarkamms im unbezahnten Bereich ergab (Seibert-Klasse I^{10,11}), wurde die Indikation für eine horizontale, nicht aber für eine vertikale

Alveolarkammaugmentation gestellt. Das horizontale Volumen im Defektbereich wird vorzugsweise mit einem subepithelialen Bindegewebsstransplantat in Kombination mit einer horizontalen Pouch-Technik vergrößert¹².

Alle aufgenommenen Patienten erfüllten die folgenden Einschlusskriterien: (1) Bewusstsein für dentale Ästhetik, (2) keine Sondierungstiefen über 4 mm, (3) keine Blutung beim Sondieren, (4) keine Zahnmobilität über Miller-Klasse I¹³ und (5) keine Plaque-Akkumulation an den beiden Nachbarzähnen der Zahnücke.

Alle Patienten gaben zu dem geplanten Verfahren schriftlich ihre Einwilligung nach Information.

Chirurgisches Vorgehen

Eine horizontale krestale Teilschichtinzision wurde nach fazial und apikal verlängert, um auf ganzer Defektlänge eine Tasche (Pouch) für das Transplantat zu schaffen. Bei dieser Schnitfführung wurde der Gingivasulkus der angrenzenden Zähne nicht einbezogen. Dann wurde ein subepitheliales Bindegewebsstransplantat in der Größe des Defekts mit einem einzelnen Schnitt¹⁴ aus dem Gaumen entnommen (Abb. 1c). Das Transplantat wurde in den Pouch eingebracht und mit einer nicht resorbierbaren Einzelknopfnahnt fixiert. Anschließend wurde der Pouch mit einer Naht verschlossen (Abb. 1d und 1e). In den ersten 10 Tagen postoperativ spülten die Patienten den Mund zweimal täglich für 30 s mit 0,2 % Chlorhexidindlösung und sie erhielten 3 x 500 mg Mefenaminsäure für mindestens vier Tage. Außerdem wurde für sieben Tage Amoxicillin in einer Dosis von 1 x 500 mg/d verordnet. Am siebten Tag nach dem Eingriff wurden die Fäden entfernt und die Zähne professionell gereinigt. Bei den Kontrollen einen, drei und fünf Monate post-

operativ erfolgten eine parodontale Untersuchung, eine professionelle Zahnreinigung und es wurden Fotos angefertigt.

Die operativ korrigierten Alveolarkammdefekte wurden entweder mit einer provisorischen Brücke oder mit einer provisorischen herausnehmbaren Prothese vor Schäden beim Kauen geschützt. Alle provisorischen Brücken wurden so angepasst, dass entzündliche Schwellungen des augmentierten Bereichs in der ersten Heilungswoche ausgeglichen wurden und der Wundbereich nicht komprimiert wurde. Im Studienprotokoll war vorgesehen, dass die Weichgewebekonditionierung erst nach fünfmonatiger Heilung erfolgen sollte. Zu diesem Zeitpunkt wurde mit den konventionellen Verfahren zur Gewebekonditionierung im Ponticbereich begonnen (Abb. 1f bis h).

Volumetrische Messungen

Vor der Weichgewebeaugmentierung sowie nach fünf Monaten wurden Polyvinylsiloxan-Abformungen (Express 2, 3M Espe) angefertigt. Ein erfahrener Labortechniker, der die Zielsetzung der Studie kannte, stellte anhand dieser Abformungen Gipsmodelle her. Die Modelle wurden mit einem 3D-Laserscanner (D250, 3Shape) erfasst und die so erstellten STL-Dateien in eine Software (Geomagic Studio, Geomagic) importiert, die daraus ein digitales Modell erstellte (Abb. 2a bis g). Bei jedem Patienten wurden die prä- und postoperativen Modelle mit einem Verfahren, das manuell ausgewählte Bereiche möglichst passgenau zuordnet, überlagert. Dazu wurden an jedem Modell ein Zahn mesial und distal der Zahnücke sowie ähnlich große vestibuläre und palatinale Flächen markiert. Anhand dieser Markierungen konnte die Software die beiden Modelle in



Abb. 1a Präoperativer intraoraler Befund. Die Zahnücke zeigt einen leichten bis mittelschweren Defekt.



Abb. 1b Präoperative okklusale Ansicht. Der Bereich muss für die Aufnahme des Pontics vorbereitet und der Weichgewebedefekt ausgeglichen werden.



Abb. 1c Entnahme eines Bindegewebs-transplantats aus dem Gaumen in Einzelschnitttechnik.



Abb. 1d Minimalinvasive Pouch-Technik.

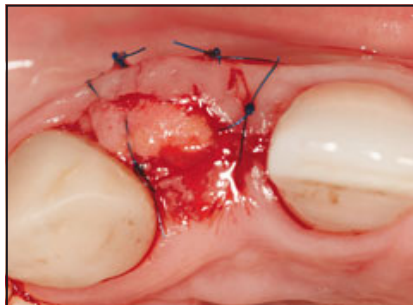


Abb. 1e Sicherung des Transplantats mit Einzelknopfnähten im Pouch mit partieller Exposition des Bindegewebs-transplantats.



Abb. 1f Okklusale postoperative Ansicht nach der Gewebekonditionierung. Nach der Augmentation kann ein ovales Brückenglied verwendet werden.



Abb. 1g (links) Kontrolle eine Woche nach der Zementierung einer Adhäsivbrücke für den Ersatz des lateralen Schneidezahns und eines Laminat-Veneers am Eckzahn. (Mit frdl. Genehmigung von Giovanna Vaglio, DMD.)

Abb. 1h (rechts) Kontrolle nach einem Jahr. Im Vergleich zu Abb. 1g hat die Weichgewebeshöhe am Brückenglied zugenommen.



einem Koordinatensystem automatisch ausrichten und überlagern. Das Best-Fit-Alignment verwendete zur initialen Ausrichtung 300 zufällig ausgewählte Punkte. Anschließend wurde die Probengröße automatisch auf 1500 Punkte erhöht und die Ausrichtung weiter verfeinert, bis die endgültige Überlagerung erreicht war

(Abb. 2f). Die zusammengeführten Modelle wurden als WRP-Datei gespeichert und mit der Mass-Software für grafische Vergleiche digitaler Modelle (Geomagic Qualify, Geomagic) analysiert. Vor den Messungen wurden die präoperativen Modelle als Referenzen und die postoperativen Modelle als Test festgelegt. Um das

Ergebnis der Augmentation zu beurteilen, wurde bei jedem Patienten an der vestibulären Seite der Zahnücke eine Region of Interest festgelegt und die Volumenänderungen in diesem Bereich evaluiert (Abb. 2c bis e). Wegen der individuellen anatomischen Abweichungen war die Region of Interest nicht bei allen Patienten



Abb. 2a Digitales präoperatives Modell nach dem Scannen und Importieren der Daten in die Software.

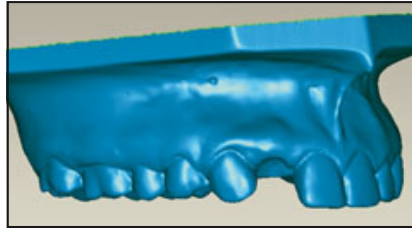


Abb. 2b Digitales Modell 5 Monate postoperativ.

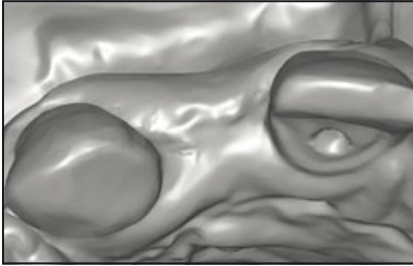


Abb. 2c Okklusale Ansicht des virtuellen präoperativen Modells.

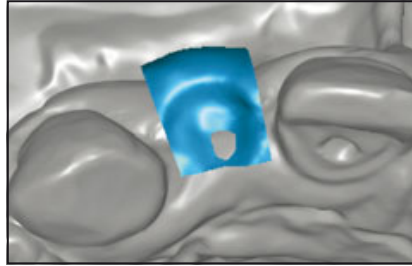


Abb. 2d Okklusale Ansicht der Volumenzunahme des Weichgewebes in der Überlagerung mit dem präoperativen Modell.

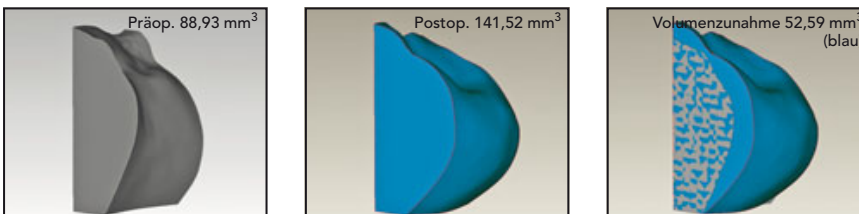


Abb. 2e (links) Präoperatives (präop.) Volumen in der Region of Interest des Patienten. Dieser Bereich war unter den Patienten nicht deckungsgleich, wurde aber beim jeweiligen Patienten zu beiden Zeitpunkten untersucht. (Mitte) Entsprechendes postoperatives (postop.) Volumen. (rechts) Überlagerung der beiden Volumina. Die Zunahme der Alveolarkammkontur ist deutlich zu erkennen (dunkelblau).

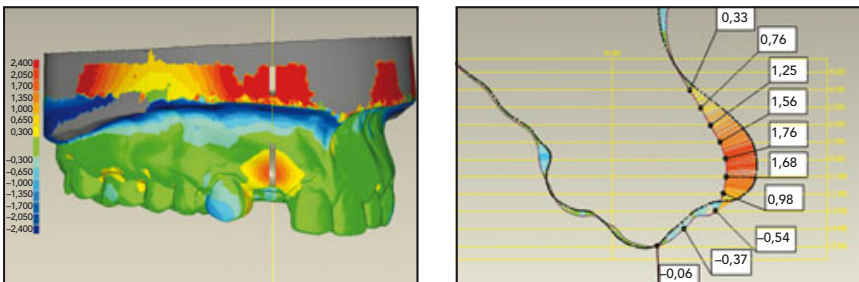


Abb. 2f (links) Digitales Modell nach Überlagerung. Die grünen Bereiche belegen die perfekte Ausrichtung und Überlagerung der Modelle. Die volumetrischen Änderungen im untersuchten Operationsbereich werden durch die Farbabstufungen deutlich. Die Farben von Gelb bis Rot entsprechen der unterschiedlichen Volumenzunahme, die Farben von Hell- bis Dunkelblau einer Volumenabnahme. Deutlich zu erkennen ist die Farbveränderung im transplantierten Bereich. In der Mitte der Zahnlücke ist die Ebene zu erkennen, in der die beiden Modelle zweidimensional verglichen wurden.

Abb. 2g (rechts) Zweidimensionaler Vergleich der überlagerten Modelle in der Mitte der Zahnlücke senkrecht zum Alveolarkamm. Der Abstand zwischen dem prä- und postoperativen Weichgewebeprofil wurde in Millimetern gemessen. Die Messungen erfolgten beginnend an der Spitze des Alveolarkamms nach apikal im Abstand von 1 mm über eine Länge von 10 mm.

deckungsgleich, sie wurde aber für jeden Patienten bei beiden Messzeitpunkten evaluiert. Außerdem wurden für jedes überlagerte Modell in der Mitte der Zahnlücke und im rechten Winkel zum Alveolarkamm zweidimensionale labiopalatinale Schnitte angefertigt. Anschließend wurde der Abstand zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Weichgewebeprofil ermittelt, indem ausgehend von der Spitze des Alveolarkamms an jedem Millimeter über 10 mm in apikaler Richtung eine Messung erfolgte (Abb. 2g).

Statistische Auswertung

Die postoperativen Veränderungen des Weichgewebeprofiles wurden mit deskriptiver Statistik dargestellt.

Ergebnisse

Alle operierten Bereiche heilten komplikationslos und konnten mit der geplanten Restauration versorgt werden. Alle Patienten waren mit dem ästhetischen Ergebnis zufrieden. Fünf Monate nach der Transplantation hatte das Weichgewebesvolumen um durchschnittlich $35,9 \text{ mm}^3$ (Bereich: $12,8$ bis $52,59 \text{ mm}^3$) zugenommen. Bei allen Patienten wurde eine Zunahme des Weichgewebesvolumens beobachtet (Tabelle 1 und Abb. 3), die jedoch bei einem Patienten nur minimal ausfiel. Die Abstandsmessungen zwischen dem präoperativen und dem postoperativen vestibulären Weichgewebeprofil sind in Tabelle 2 und in Abbildung 3 zusammengefasst. Die Messungen wurden nach den Veränderungen in den 5 mm direkt am Transplantat ab den ersten Millimetern apikal und koronal dazu aufgeschlüsselt. Im Augmentationsbereich betrug der Abstand zwischen dem präoperativen und dem post-

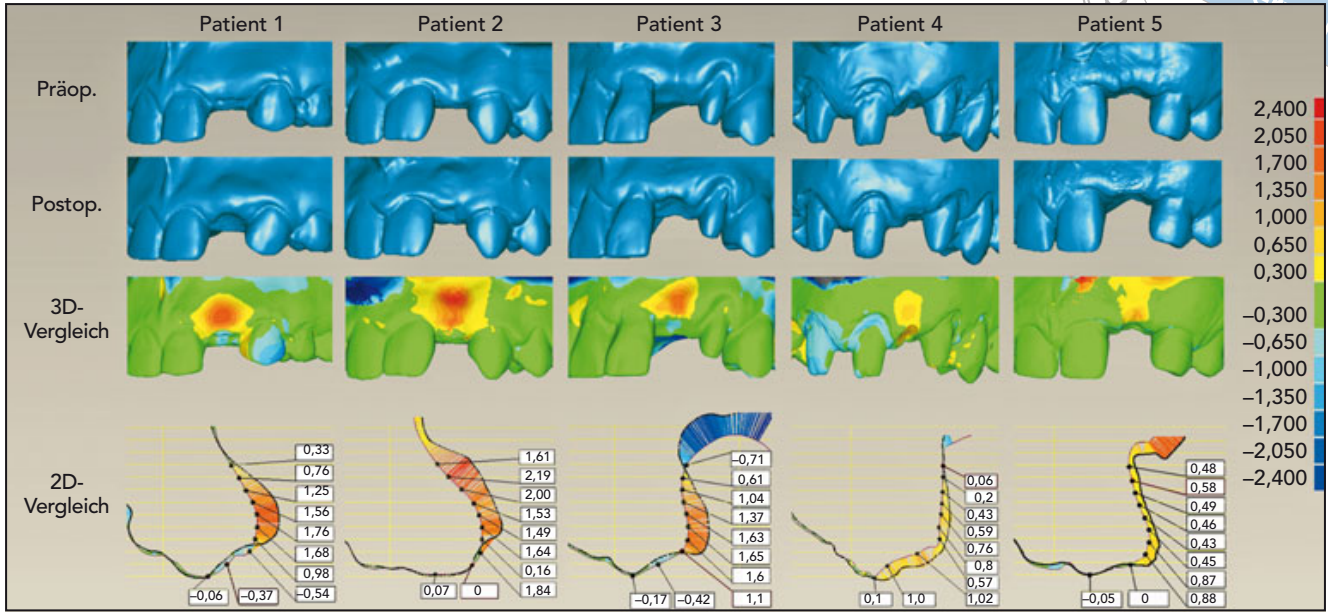


Abb. 3 Auszüge der präoperativen (präop.) und postoperativen (postop.) Modelle, die den Bereich mit der Weichgewebeaugmentation zeigen. Außerdem werden die überlagerten Modelle und der zweidimensionale (2D) Schnitt in der Mitte der Zahnlücken gezeigt. Zur besseren Darstellung wurden die Bilder gespiegelt; sie umfassen jedoch die rechten und linken zentralen Schneidezähne.

operativen vestibulären Profil 0,16 bis 2,00 mm (Tabelle 2 und Abb. 3).

Diskussion

Die volumetrische Analyse der oralen Gewebe hat sich von der groben visuellen Inspektion^{12,15,16} über die kompliziertere optische Projektionsanalyse nach Moiré⁷ bis zur aktuellen 3D-Erfassung mit dem Laserscanner¹⁷⁻¹⁹ weiterentwickelt. Der in dieser Studie verwendete Laserscanner war bis auf ±6 µm genau und die Messwerte bis auf ±10 µm reproduzierbar. Er galt als ausreichend genau für den digitalen Workflow zur Fertigung von Brücken²⁰. Interessant ist zudem, dass die vom Scanner gelieferten Daten vollständig mit handelsüblicher Software ausgewertet werden konnten. Die lineare und volumetrische Analyse mithilfe eines Laserscanners galt noch vor Kurzem als ein Verfahren, dessen Anwendung auf akademische Studien beschränkt ist⁹. Die Hard- und Software für eine derartige Analyse wird jedoch künftig

Tabelle 1		Labiales Volumen (mm ³) vor und 5 Monate nach der subepithelialen Bindegewebstransplantation		
Patient	Präoperativ	Postoperativ	Volumenzunahme	
1	88,93	141,52	52,59	
2	204,88	254,22	49,34	
3	135,25	171,85	36,60	
4	172,24	200,62	28,38	
5	276,00	288,80	12,80	
Mittelwert	175,46	211,40	35,94	
SA	70,87	59,97	16,20	

SA = Standardabweichung.

immer leichter verfügbar sein. Die Genauigkeit der verwendeten Software wurde vom US National Institute of Standards and Technology (NIST) und der deutschen Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) untersucht. Das NIST bescheinigte der Software – bezogen auf den offiziellen Referenzwert – eine Genauigkeit von < 10⁻⁴ µm für Position und Radius und 10⁻⁴ Bogensekunden (1/36000 Grad) für den Neigungswinkel²¹. Das PTB ermittelte – bezogen auf den off-

fiziellen Referenzwert – eine Präzision von < 0,1 µm bei Längenmessungen und von 0,1 Bogensekunden²².

Für die Augmentation von Ponticbereichen wurden mehrere Verfahren beschrieben^{12,15,23,24}, über deren Ergebnisse aber in der aktuellen Literatur kaum etwas zu finden ist²⁵. Ein möglicher Grund dafür könnten die erheblichen Einschränkungen bei der quantitativen Beurteilung der intraoralen Weichgewebetopografie mit konventionellen Mitteln sein⁹.

Tabelle 2 Abstand (mm) zwischen dem präoperativen und postoperativen Verlauf des vestibulären Profils

	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Mittelwert	SA
Krestaler Bereich							
1	-0,06	0,07	-0,17	0,10	-0,05	-0,02	0,11
2	-0,37	0,00	-0,42	1,00	0,00	0,04	0,57
3	-0,54	1,84	1,10	1,02	0,88	0,86	0,87
Augmentierter Bereich							
4	0,98	0,16	1,60	0,57	0,87	0,84	0,53
5	1,68	1,64	1,65	0,80	0,45	1,24	0,58
6	1,76	1,49	1,63	0,76	0,43	1,21	0,58
7	1,56	1,53	1,37	0,59	0,46	1,10	0,53
8	1,25	2,00	1,04	0,43	0,49	1,04	0,64
Apikaler Bereich							
9	0,76	2,19	0,61	0,20	0,58	0,87	0,77
10	0,33	1,61	-0,71	0,06	0,48	0,35	0,84

SA = Standardabweichung.

In der hier vorgestellten Studie ergab sich nach der horizontalen Pouch-Technik eine Zunahme des Weichgewebevolumens, die fünf Monate postoperativ quantitativ 3D-volumetrisch gemessen wurde. Die quantitativen Messungen konzentrierten sich zunächst auf die Volumenänderungen im ästhetischen Bereich. Aus klinischer Sicht sind diese Volumenänderungen jedoch schwer zu interpretieren und können auch in einem Bereich auftreten, der bei der späteren prothetischen Versorgung keine Rolle spielt. Daher wurde die postoperative horizontale Volumenänderung der Alveolarkammkontur in Millimetern gemessen. Dazu wurde eine Ebene festgelegt, die mit vertikalen Schnitten den Bereich der größten Defekte auf den überlagerten Modellen definierte (Abb. 2f). Auf diesen Schnitten wurden die zweidimensionalen Profiländerungen – beginnend an der Spitze des Alveolarkamms – über eine Distanz von 10 mm für jeden Millimeter evaluiert. Die Augmentation, die mithilfe der horizontalen Pouch-Technik erreicht wurde, konzentrierte sich auf

den Bereich von 4 bis 8 mm. Trotz dieser lediglich lokalen Augmentation konnten bei allen fünf Patienten ovale Brückenglieder eingesetzt werden (Abb. 3). Die oberen 3 mm des Weichgewebes waren deswegen kaum augmentiert, weil die Pouch-Inzision tiefer lag. Zu diesem Ergebnis kamen auch Garber und Rosenberg, die dieses Verfahren daher auch nur für horizontale Alveolarkammdefekte empfehlen¹². In der hier vorgestellten Studie nahm das horizontale Weichgewebeprofil in der Höhe von 4 bis 8 mm, also dem am stärksten augmentierten Bereich, um 0,16 bis 2 mm zu. Die relativ geringe Gewebzunahme bei Patient 5 lässt sich durch die begrenzte Dicke des Bindegewebes aus dem harten Gaumen²⁶ und das Pouch-Design erklären. Es wird daher unbedingt empfohlen, präoperativ die Weichgewebedicke am Gaumen durch transmukosales Sondieren abzuklären. Bei unzureichender Dicke sollte eine andere Spenderstelle erwogen werden (z. B. Tuberositas). Wegen der begrenzten Länge der horizontalen Inzision und der fehlenden vertikalen Entlastungs-

schnitte konnte der Pouch sich nur eingeschränkt ausdehnen. Die hier vorgestellten Daten bestätigen, dass dieses Verfahren nur für die Korrektur von leichten bis mittelschweren Klasse-I-Defekten^{10,11} in Einzelzahnlücken geeignet ist.

Die durchgeführte volumetrische Evaluation in dieser Studie war nicht invasiv, strahlungsfrei und erforderte nur einen geringen technischen Aufwand – letztlich sind nur ein Laserscanner und geeignete Software erforderlich. Mögliche Nachteile sind jedoch Ungenauigkeiten während der Abformung und der Modellherstellung. Bei einer direkten digitalen Abformung mit einem intraoralen Scanner wären Gipsmodelle überflüssig und die Weichgewebeanatomie wäre im klinischen Alltag leichter zu beurteilen. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der digitalen dentalen Workflows ist vorhersehbar, dass die beschriebene Technik zum Vergleich intraoraler Konturen und Volumina viele Nutzer finden wird. Sie kann auch basierend auf Daten von direkten digitalen Abformungen oder mittels dreidimensionaler Kno-

chenmodelle angewendet werden, die mithilfe der digitalen Volumetomografie erstellt wurden

Danksagungen und Interessenerklärung

Dr. O. González-Martín und Dr. M. Veltri waren 2010 Scholars des International Team for Implantology (ITI) an der Universität Genf (Stipendium der ITI Foundation, Basel, Schweiz). Die Autoren danken Dr. Giovanna Vaglio für die restaurative Rekonstruktion bei einem der Patienten. Außerdem danken sie Prof. Christos Katsaros und Dr. Pawel von der Universität Bern für die Bereitstellung des Scanners. Weiterhin danken sie Dr. Alexander Johner für seine wertvollen Vorschläge bezüglich des Studienprotokolls. Diese Studie wurde zum Teil vom Fonds der SSO für zahnmedizinische Forschung Projekt Nr. 232 finanziert. Die Autoren geben bezogen auf diese Studie keine Interessenkonflikte an.

Literatur

- Pietrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent* 1967;17:21–27.
- 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.
- Araújo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol* 2005;32:212–218.
- Araújo MG, Lindhe J. Ridge alterations following tooth extraction with and without flap elevation: An experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:545–549.
- Pini-Prato GP, Cairo F, Tinti C, Cortellini P, Muzzi L, Mancini EA. Prevention of alveolar ridge deformities and reconstruction of lost anatomy: A review of surgical approaches. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:434–445.
- Seibert JS, Salama H. Alveolar ridge preservation and reconstruction. *Periodontol* 2000 1996;11:69–84.
- Esposito M, Grusovin MG, Felice P, Karatzopoulos G, Worthington HV, Coulthard P. Interventions for replacing missing teeth: Horizontal and vertical bone augmentation techniques for dental implant treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; (4):CD003607.
- Studer SP, Lehner C, Bucher A, Schärer P. Soft tissue correction of a single-tooth pontic space: A comparative quantitative volume assessment. *J Prosthet Dent* 2000;83:402–411.
- Ronay V, Sahrman P, Bindl A, Attin T, Schmidlin PR. Current status and perspectives of mucogingival soft tissue measurement methods. *J Esthet Restor Dent* 2011;23:146–156.
- Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full thickness onlay grafts. Part I. Technique and wound healing. *Compend Contin Educ Dent* 1983;4:437–453.
- Seibert JS. Reconstruction of deformed, partially edentulous ridges, using full thickness onlay grafts. Part II. Prosthetic/periodontal interrelationships. *Compend Contin Educ Dent* 1983;4:549–562.
- Garber DA, Rosenberg ES. The edentulous ridge in fixed prosthodontics. *Compend Contin Educ Dent* 1981;2:212–223.
- Miller SC. *Textbook of Periodontia*. 3rd ed. Philadelphia: Balkeston, 1950.
- Lorenzana ER, Allen EP. The single-incision palatal harvest technique: A strategy for esthetics and patient comfort. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:297–305.
- Langer B, Calagna L. The subepithelial connective tissue graft. *J Prosthet Dent* 1980;44:363–367.
- Allen EP, Gainza CS, Farthing GG, Newbold DA. Improved technique for localized ridge augmentation. A report of 21 cases. *J Periodontol* 1985;56:195–199.
- Thoma DS, Jung RE, Schneider D, et al. Soft tissue volume augmentation by the use of collagen-based matrices: A volumetric analysis. *J Clin Periodontol* 2010;37:659–666.
- Thomason JM, Ellis JS, Jovanovski V, Corson M, Lynch E, Seymour RA. Analysis of changes in gingival contour from three-dimensional co-ordinate data in subjects with drug-induced gingival overgrowth. *J Clin Periodontol* 2005;32:1069–1075.
- Schneider D, Grunder U, Ender A, Hämerle CHF, Jung RE. Volume gain and stability of peri-implant tissue following bone and soft tissue augmentation: 1-year results from a prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res* 2011;22:28–37.
- Persson A, Andersson M, Odén A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touchprobe scanner. *J Prosthet Dent* 2006;95:194–200.
- Report of Special Test. NIST Test No: 681/280055-10. Gaithersburg, MD: United States Department of Commerce, 2010. Available at: <http://support1.geomagic.com/ics/support/DLRedirect.asp?fileNum=90520&deptID=5668>. Accessed 4 June 2014.
- Report of Evaluation Software for Coordinate Measuring Machines. Reference No. PTB-5.32-4016481. Braunschweig, Germany: PTB, 2005. Available at: <http://support1.geomagic.com/ics/support/DLRedirect.asp?fileNum=90521&deptID=5668>. Accessed 4 June 2014.
- Stein RS. Pontic-residual ridge relationships: A research report. *J Prosthet Dent* 1966;16:251–285.
- Abrams L. Augmentation of the deformed residual edentulous ridge for fixed prosthesis. *Compend Contin Educ Gen Dent* 1980;1:205–213.
- Thoma DS, Benić GI, Zwahlen M, Hämerle CH, Jung RE. A systematic review assessing soft tissue augmentation techniques. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(suppl 4):146–165.
- Studer SP, Allen EP, Rees TC, Kouba A. The thickness of masticatory mucosa in the human hard palate and tuberosity as potential donor sites for ridge augmentation procedures. *J Periodontol* 1997;68:145–151.