

Andres Stricker, Ralf Gutwald, Nils Weyer, Emil Endreß

Über die Bedeutung des Periosts in der oralen Implantologie



Andres Stricker

PD Dr. med. Dr. med. dent.
Klinik für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie
Department für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde
Universitätsklinikum Freiburg
Hugstetter Str. 55
79106 Freiburg i. Breisgau
und
Zentrum für Implantolo-
gie, Parodontologie und
3D-Diagnostik
Wessenbergstr. 6
78462 Konstanz

Ralf Gutwald

Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Danube Private University
Fakultät Medizin/Zahn-
medizin
Steiner Landstr. 124
3500 Krems-Stein, Österreich

Nils Weyer

Dr. med. Dr. med. dent.
Kieferchirurgische Praxisklinik
und DVT Diagnostikzentrum
Fabrikstr. 10/1
73728 Esslingen

Emil Endreß

Dr. rer. nat.
Schneidweg 5
76534 Baden-Baden

Korrespondenzadresse:
PD Dr. Dr. Andres Stricker
E-Mail: andres.stricker@
uniklinik-freiburg.de

Manuskript

Eingang: 07.08.2017
Annahme: 15.10.2017

INDIZES *Augmentation, osteogene Potenz, Periost, Regeneration, Resorption*

Die Rolle des Periosts in der dentalen Implantologie wird in der Literatur kontrovers betrachtet. Meist wird dem Periost des Kiefers eine osteogene Potenz zugeordnet, ohne dass diese Eigenschaft biologisch hinterfragt wird. Bei genauerer Betrachtung scheint die embryologische Herkunft und das Alter des Periosts eine erhebliche Rolle zu spielen. Neueren Studien zufolge verliert das Kieferperiost durch Alterung seine osteogene Potenz. Des Weiteren werden durch die Ablösung des Periostes an der Knochenoberfläche Resorptionen induziert. Es können berechtigte Zweifel gegen das Dogma, dass das Periost in der periimplantologischen Augmentation die beste Membran darstelle, erhoben werden. Die aktuelle Literatur unterstützt eher das Bild einer periostogenen Potenz des neu etablierten Knochens.

■ Einleitung

Als funktionelles Bindeglied ermöglicht das Periost die Kraftübertragung von den Muskeln auf das Knochengerüst. Es ist in zwei Schichten aufgebaut¹: Aus der äußeren kollagenreichen fibrösen Schicht sprießen Sharpey'sche Fasern in den Knochen² und sorgen für mechanische Stabilität. Die innere Kambiumschicht trägt während des Wachstums neben mesenchymalen Progenitorzellen auch Osteoblasten und Fibroblasten und besitzt ein regeneratives Potenzial. Sie wird jedoch mit zunehmendem Alter dünner und weist am erwachsenen Knochen keine Osteoblasten mehr auf¹. Als differenzierbare Zellen bleiben wenige Progenitorzellen in einer einzellagigen Kambiumschicht³ sowie Perizyten in Verbindung mit den Gefäßendothelzellen übrig^{1,4}. In welche Richtung diese Zellen differenzieren, ist an dieser Stelle noch nicht vorgegeben³. Wie der Übersichtsartikel zeigen soll, wird das regenerative Potenzial des adulten Kieferperiosts, das nach einer Verletzung beziehungsweise einem chirurgischen Eingriff eleviert wurde, vermutlich überschätzt.

■ Tierexperimentelle Untersuchung

An 12 Göttinger Minischweinen wurde der Einfluss der Periostelevation untersucht⁵. In der Kontrollseite wurde durch Präparation eines Mukoperiostlappens die bukkale Lamelle vollständig denudiert (MPF-Gruppe, Abb. 1). Auf der Testseite erfolgte die Präparation eines Mukosalappens, hier wurde das Periost an der bukkalen Lamelle belassen (MF-Gruppe, Abb. 2). Nach Bone-Splitting und Aufdehnung der bukkalen Lamelle (s. Abb. 1b und 2b) wurden Implantate mit der Schulter auf Knochenniveau in den Spalt gesetzt (s. Abb. 1c und 2c).

Nach einer Einheilzeit von 6 und 12 Wochen erfolgte die histologische und histomorphometrische Analyse an 8 respektive 4 Tieren (s. Abb. 1d, e und 2d, e). Vermessen wurden das vertikale Knochenniveau mit höchstem knöchernen Kontakt an der Implantatoberfläche, die bukkale Knochenbreite auf Höhe der Implantatschulter (W0) sowie 2 mm (W2) und 4 mm apikal (W4) davon und der prozentuale Knochen-Implantat-Kontakt (BIC).

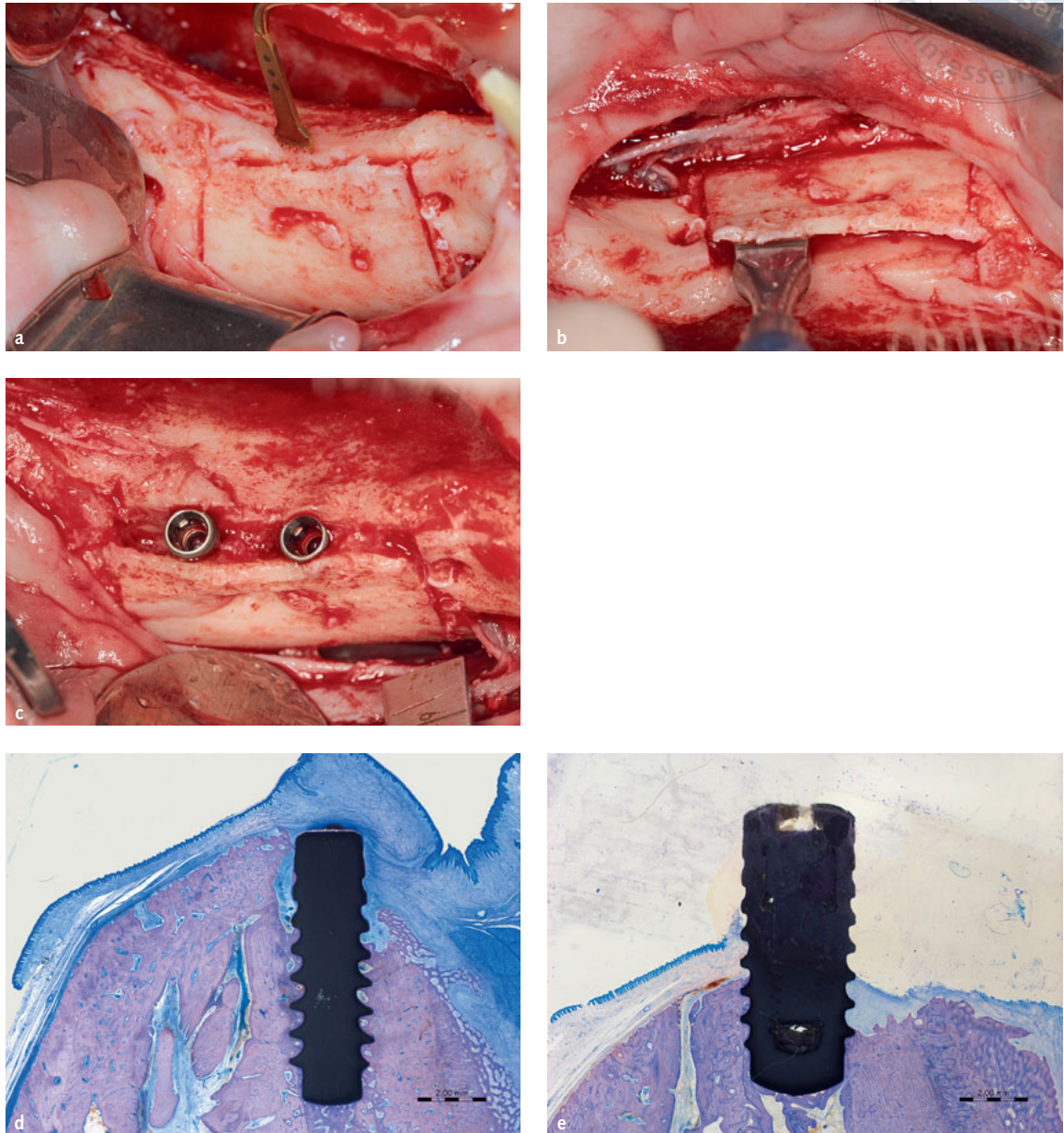


Abb. 1a bis e Exemplarische Darstellung aus der Gruppe des Mukoperiostlappens: a) freiliegender Kieferknochen mit abgelöstem Periost nach Lappenpräparation, b) Ridge-Splitting des atrophien Kieferknochens, c) Zustand nach Aufdehnung der Knochenlamelle und Implantation, d) histologische Darstellung nach 6 Wochen, e) extremer Knochenabbau 12 Wochen nach Ridge-Splitting bei abgelöstem Periost.

Postoperativ gingen in der MPF-Gruppe 4 der 16 Implantate verloren, während in der MF-Gruppe alle 16 Implantate osseointegriert waren.

In der histologischen und histomorphometrischen Analyse zeigte sich nach 6 Wochen ein signifikant besserer Erhalt des Knochniveaus in der MF-Gruppe im Vergleich zur MPF-Gruppe sowohl bukkal als auch lingual ($P < 0,001$).

Die bukkale Knochenstärke an der Implantat-schulter war größer in der MF-Gruppe verglichen mit

der MPF-Gruppe ($P < 0,001$). Nach 12 Wochen war der Knochen signifikant höher in der MF-Gruppe gegenüber der MPF-Gruppe.

Somit konnte geschlussfolgert werden, dass in diesem Bone-Splitting-Modell der bukkale Knochen signifikant besser erhalten war, wenn das Periost an der bukkalen Lamelle belassen wurde⁵.

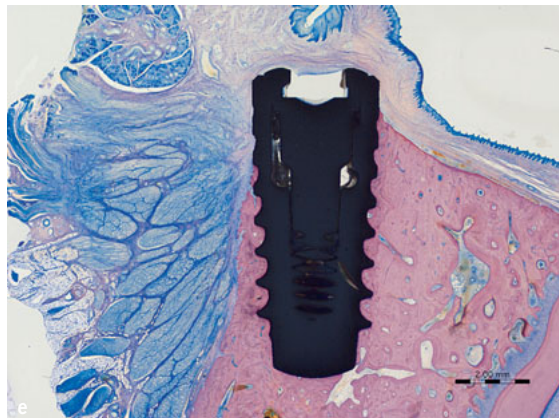
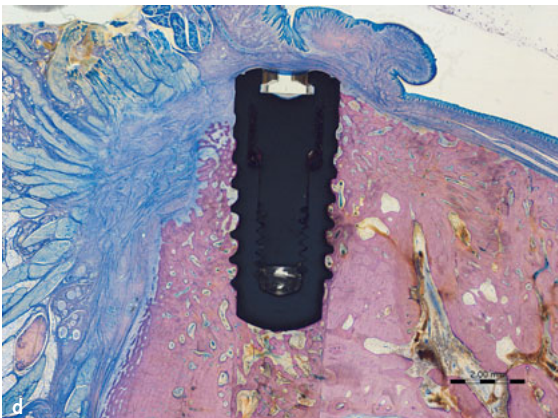
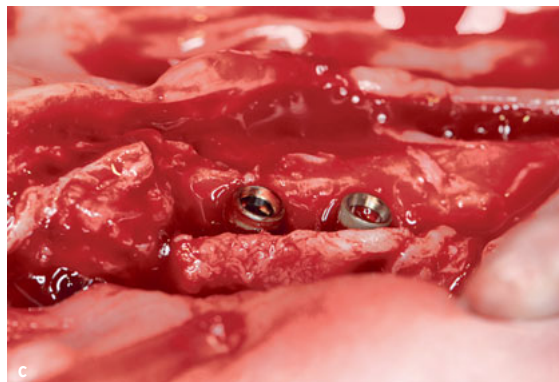
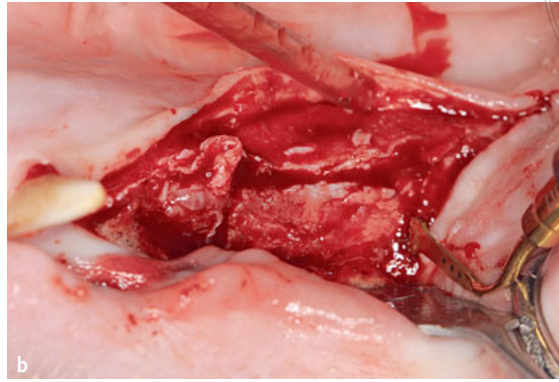
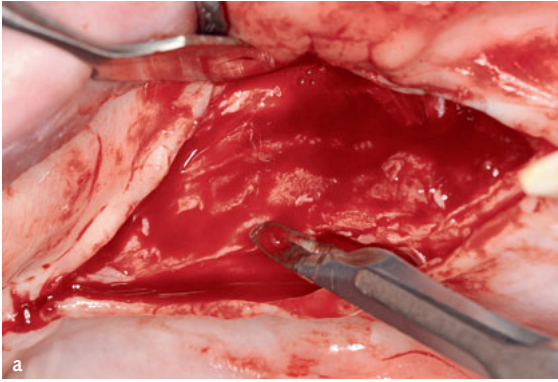


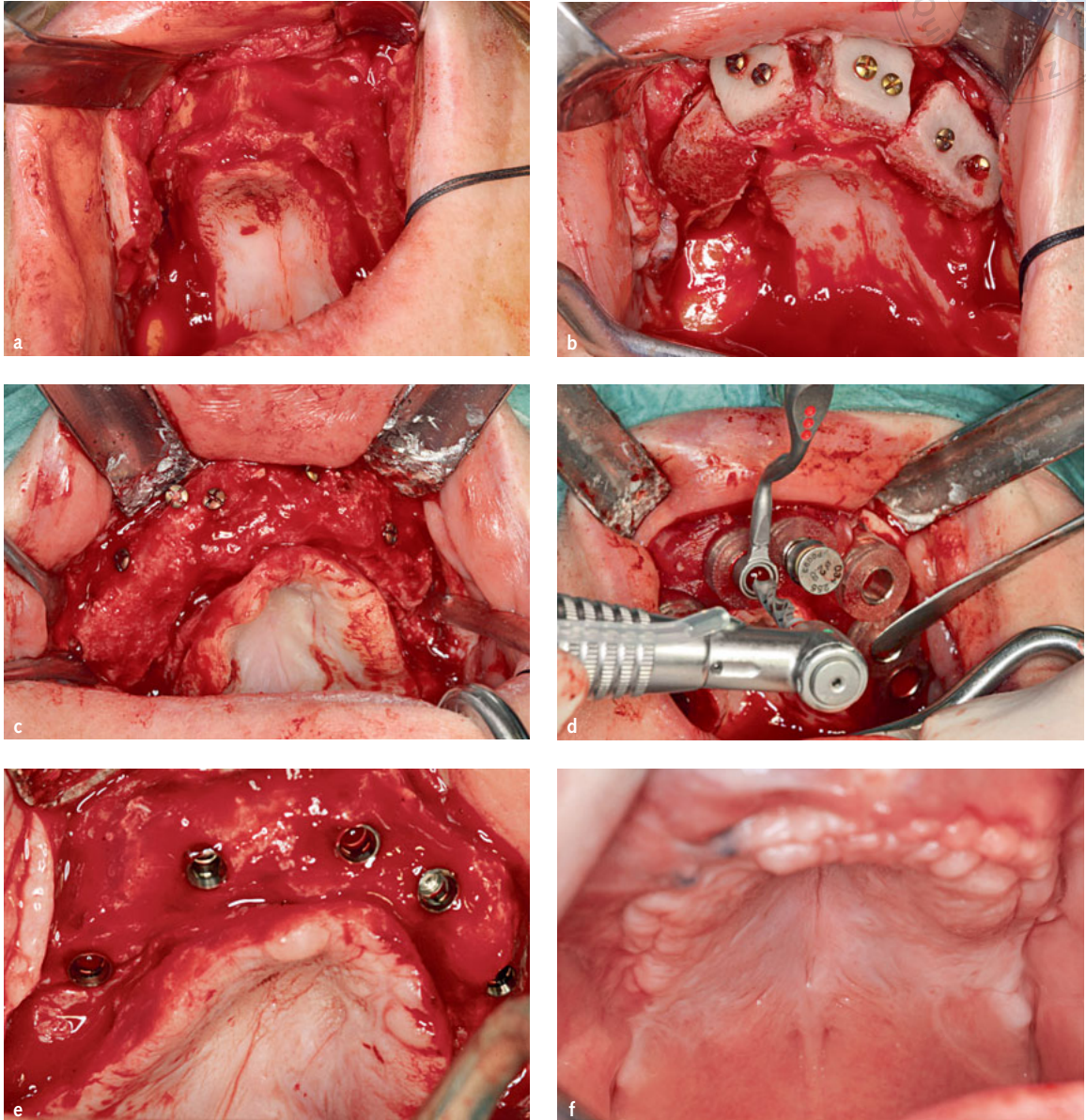
Abb. 2a bis e Exemplarische Darstellung aus der Gruppe des Mukosalappens: a) Darstellung des periostbedeckten Kieferknochens, b) Ridge-Splitting des atrophien Kieferknochens, c) Zustand nach Aufdehnung der Knochenlamelle und Implantation, d) histologische Darstellung nach 6 Wochen, e) moderater Knochenabbau 12 Wochen nach Ridge-Splitting bei erhaltener Periostdeckung.

■ Klinische Falldarstellung

Gerade bei komplexen implantologischen Eingriffen ist es wichtig, im Rahmen der Freilegungsoperation das Periost um die augmentierten Implantate so intakt wie möglich zu belassen. In diesem vorliegenden klinischen Fall wurde bei hochgradiger Alveolarkammatrophie im Oberkiefer umfassend vertikal und transversal mit Knochenblocktransplantaten aus der Beckenschaufel aug-

mentiert (Abb. 3a und b). Im Vorfeld dieses Eingriffs wurde mit virtueller Implantatplanung (CoDiagnostix, Fa. Dental Wings, Chemnitz) die Implantatposition für eine teleskopgetragene abnehmbare Vollprothese festgelegt. Nach 3 Monaten wurde bei neu geschaffenen vertikalen und horizontalen Dimensionen die geplante Implantatposition mittels Navigationsschablone intraoperativ bei der dann durchgeführten enossalen Implantation übertragen (s. Abb. 3c bis e).

Abb. 3a bis f Klinische Falldarstellung: a) hochgradige Alveolarkamm-atrophie im Oberkiefer, b) nach Präparation eines Mukoperiostlappens und sorgfältiger basaler Periostschlitzung erfolgte das Fixieren der Beckentransplantate für die vertikale und transversale Onlayaugmentation. c) Klinische Situation nach Abklappen eines Mukoperiostlappens mit den eingehheilten Knochentransplantaten 3 Monate nach Augmentation d) Implantatinsertion nach Vorgabe der Navigationsschablone. e) Z. n. Implantation 3 Monate nach Augmentation, f) Weichgewebesituation nach weiteren 3 Monaten.



Nach weiteren 3 Monaten der Implantateinheilung wurde sorgfältig bei der Freilegungsoperation darauf geachtet, das Periost um die augmentierte Implantatregion intakt zu lassen, um chirurgisch initiierte Resorptionsprozesse im Augmentationsbereich zu minimieren (s. Abb. 3g). Die Verbreiterung der defizitären keratinisierten Gingiva erfolgte mittels freier Schleimhauttransplantate (s. Abb. 3h). Nach weiteren 6 Wochen wurden die Implantate mit Teleskopen versorgt.

Die klinische Kontrolle nach 3 Jahren zeigt stabile befestigte Schleimhaut um die Teleskope, die mit okklusionsgerechter abnehmbarer Vollprothese gut zu reinigen sind (s. Abb. 3i). Die radiologische

Aufnahme zeigt 3 Jahre nach Implantatversorgung eine stabile perimplantäre Situation des Hartgewebes (s. Abb. 3j).

■ Diskussion

■ Osteogenese

Für das Wachstum des Knochens spielt das Periost vor allem in der perichondralen Ossifikation eine Rolle, so z. B. in der embryonalen Wachstumsphase oder bei der Kallusbildung nach Knochenfraktur. Der Gesichtsschädel und die Mandibula unterliegen

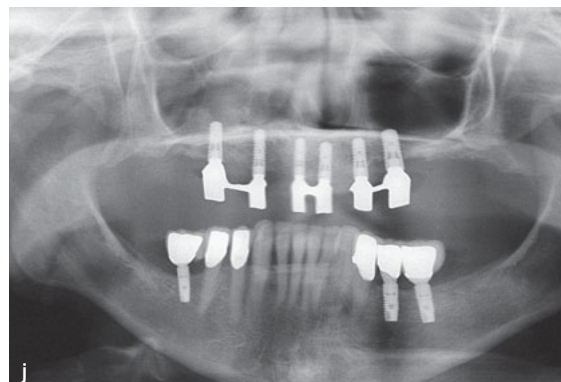
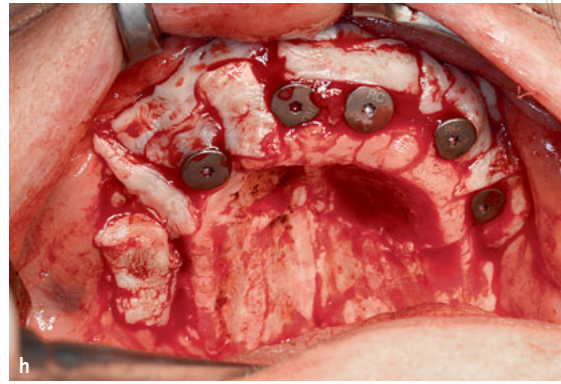
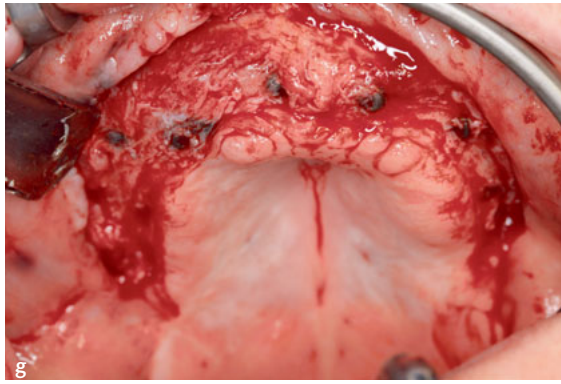


Abb. 3g bis j Klinische Falldarstellung: g) Implantatfreilegung mittels Mukosalappen unter Intaktklassung des Periosts und somit ohne Denudierung des augmentierten Knochens. h) Verbreiterung der defizitären keratinisierten Gingiva mittels freier Schleimhauttransplantate simultan bei Freilegung, i) klinische Situation mit stabilem Weichgewebe nach 3 Jahren, j) radiologische Aufnahme 3 Jahre nach prothetischer Versorgung der im Onlaygraft verankerten Implantate.

größtenteils der desmalen oder direkten Osteogenese. Tierexperimentell konnte gezeigt werden, dass Periostzellen je nach Körperregion ein unterschiedliches Regenerationspotenzial besitzen⁶. Im Mausmodell sorgten Periostzellen aus der Mandibula in der Tibia für eine desmale Ossifikation, während Periostzellen aus der Tibia in der Mandibula für eine chondrale Ossifikation sorgten⁶.

Bei der desmalen Knochenbildung gehen im mesenchymalen Bindegewebe unter Verdichtung Osteoblasten hervor, die Osteoid (90 % Kollagen I) sezernieren, welches anschließend mineralisiert wird⁷. Einige der Osteoblasten werden eingekapselt und differenzieren zu Osteozyten, die den Knochenstoffwechsel mitregulieren, während gleichzeitig Blutgefäße einwachsen und weitere Mesenchymzellen zu Knochenmarkszellen differenzieren⁷. Dieser zunächst spongiöse Verbund verdichtet sich und verbraucht osteogenes Bindegewebe, bis es an der Oberfläche schließlich zur Ausbildung der Kompakta kommt⁷. An der Oberfläche verbleiben nicht ossifizierende Bindegewebeschichten, die schließlich zu Periost werden⁷.

Alterung

Faktoren wie Belastung, Alter, Stoffwechsel, Erkrankungen etc. haben offenbar Einfluss auf die Periostbeschaffenheit. Die Sharpey'schen Fasern dringen im jungen Gewebe steil und tief in den Knochen ein, zum Teil auch bis in die Spongiosa². Sie fixieren das Periost ähnlich wie das parodontale Ligament den Zahn am Knochen. Eventuell wirken sie mechanisch auf Knochenzellen und damit regulierend für den Knochenstatus und auch zum Schutz vor Überlastung. Im Alter nehmen der Anteil der Fasern, die Eindringtiefe und der Eindringwinkel ab. Zudem verkalken die Fasern teilweise und scheinen in ihrer Funktionalität eingeschränkt⁸.

Trauma

Chirurgische Eingriffe mit Periostabhebung und Trauma des Periosts scheinen ebenfalls einen Einfluss auf die Beschaffenheit zu haben. Die gut vaskularisierte Knochenhaut trägt einerseits über die Canales perforantes und Foramina nutricia wesentlich zur Ernährung und Erhaltung des Knochens bei und sorgt andererseits über die Innervation für entsprechende



Rückmeldungen bezüglich der Belastung⁷. Eine histologische Studie am Hund legte nahe, dass das Periost nach Abheilung mit steigendem Grad des Traumas eine bis zur Hälfte geringere Dicke aufweist⁹. Die Lappenelevation stellt allein bereits ein Trauma dar, das wegen der kompromittierten Blutversorgung in den Volkmann'schen Kanälen zur Hypoxie und damit teils zu Nekrosen führt⁹. Die anschließende Angiogenese war gleichzeitig gekennzeichnet durch eine erhöhte Gefäßdichte und begleitet von typischen Umbauerscheinungen⁹.

Die Induktion von Resorption nach Denudierung des Kieferknochens gilt heute als unumstritten. Reduktion von Trauma und die Vermeidung von Deperiostierung werden in der Literatur mittlerweile regelmäßig als Erfolgsfaktoren für die Regeneration des Alveolarkamms genannt¹⁰. Eine zusätzliche Deperiostierung nach Extraktion zeigte am Hundemodell im Schnitt ca. 0,7 mm mehr Resorption im bukkalen Bereich¹¹. Durch Techniken zur Socket-Preservation waren die Volumenverluste zwar teils zu kompensieren, doch die Resorption der bukkalen Wand konnte nicht vollständig verhindert werden. Den Autoren zufolge liegt der Fokus des Weichgewebemanagements nach heutiger Erkenntnis im Erhalt des Volumens und in der Verbesserung der Weichgewebeverhältnisse für verzögerte Implantation. Stricker et al. beobachteten in einer tierexperimentellen Vergleichsstudie an Minischweinen einen massiv stärkeren Knochenabbau nach Ablösung des Periosts sowohl bukkal wie auch lingual beim Ridge-Splitting⁵.

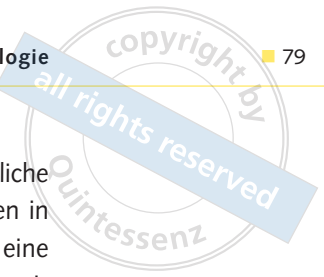
Ein möglicher Ansatz zur Reduktion des Traumas könnte die Präparation des Periosts mittels piezochirurgischer Methoden sein¹². Am Rattenschädel wurde bei Ablösung des Periosts mit der Piezosurgery-Technik im Vergleich zum Raspatorium ein weit weniger traumatischer Einfluss auf die Kapillardichte und Mikrozirkulation beobachtet¹². Doch nicht nur für ortständigen Knochen, sondern auch für Transplantate scheint die Denudierung folgenreich¹³. Am Kaninchen wurden auf der Calvaria Blocktransplantate aus der Beckenregion mit und ohne Belassen des Periosts aufgebracht und verglichen. Der Volumenverlust zeigte bei deperiostierten Transplantaten wesentlich höhere Werte mit histologisch nachweisbarer Beteiligung von Osteoklasten. Transplantate mit Periost zeigten natürlichen Umbau

ohne Osteoklastenbeteiligung und merklich weniger Resorption. Die Autoren vermuten, dass die gefäßreiche Knochenhaut durch schnellere Anastomose zum Überleben der im Knochenblock vorhandenen Zellen beiträgt¹³.

Melcher berichtete über die Rolle des Periosts im Rahmen der knöchernen Wundheilung am Scheitelbein von Ratten^{14,15}. Zellen aus dem ungestörten Periost in Nachbarschaft zu einem künstlich gesetztem knöchernem Defekt dienten demzufolge als Quelle für Osteoblasten, die in geringem Maße zur Knochenneubildung beitrugen. Dagegen konnten Zellen aus dem elevierten Periostlappen offenbar nicht zur Regeneration beitragen und eine Knochenneubildung blieb aus¹⁴. Der Autor konstatierte später, dass die osteogene Schicht des Periosts nach Reifung des Knochens zurück geht bis auf eine einzellige Kambiumschicht mit wenigen Progenitorzellen³. Bei Verletzung des Knochens müssen sich Progenitorzellen erst vermehren bevor sie differenzieren können. Würden sie sofort differenzieren, wäre die Schicht schnell aufgebraucht³. Daher sei die Wundheilung im Erwachsenen verzögert. Die Progenitorzellen können außerdem je nach Einfluss zu verschiedenen Zellen differenzieren. Melcher folgerte, dass nur Zellen eines ungestörten Periosts zur Knochenneubildung beitragen können, z. B. auch nach Elevation eines osteoperiostalen Lappens. Die Elevation eines mucoperiostalen Lappens dagegen zerstöre vermutlich den Großteil der Kambiumschicht³.

■ Osteogene Potenz

Um den möglichen Beitrag des Periosts an der Knochenneubildung im Unterkiefer zu untersuchen, wurden eine Deperiostierung und Anfrischung des Knochens an Affen vorgenommen¹⁶. Der Mukoperiostlappen wurde entweder über einem grobmaschigen Titanmesh allein oder einer Kombination von Titanmesh und PTFE-Barriere reponiert. Unter dem Volumen des Meshes konnte sich ein Blutkoagel für die Knochenneubildung stabilisieren. In der Gruppe ohne Barriere wurde ebenso wenig eine Knochenneubildung vom Periost aus beobachtet wie in der Gruppe mit Barriere. In beiden Fällen war neben einer vom ortständigen Knochen ausgehenden unvollständigen knöchernen Defektfüllung, die Ausbildung eines neuen Periostes an der neu etablierten



Knochenoberfläche zu erkennen. Das restliche Volumen zwischen Knochenoberfläche und Titanmesh wurde von Bindegewebe eingenommen.

In beiden Gruppen hatte sich nach 4 Monaten ein neues Periost auf der Knochenoberfläche organisiert. Ohne Barriere war das neue Periost charakterisiert durch eine einzelligige Innenschicht und flachen (inaktiven) Zellen, mit Barriere durch eine einzelligige Innenschicht mit cuboiden (aktiven) Zellen¹⁶. Der Mineralisierungsgrad innerhalb des etablierten Knochens war gleich, lediglich in der Gruppe mit Barriere zeigte sich mehr neues Knochenvolumen (77,2 vs. 68,6 %).

Zur Untersuchung, ob Transplantate aus unterschiedlichen Regionen ein ähnliches Potenzial für Knochenneubildung haben, wurden Perioststücke aus verschiedenen Bereichen von Kälbern in Mäuse transplantiert¹⁷. Dazu wurden Perioststücke sowohl aus dem desmalen Knochen von Schädel und Kiefer wie auch aus dem chondralen Knochen aus Becken und Fibula gewonnen und den Mäusen subkutan implantiert. Der Mineralisierungsgrad nach 20 Wochen zeigte für das Periost aus dem Bereich des Schädels das beste Ergebnis, gefolgt von Becken und Fibula, während der Mineralisierungsgrad nach Transplantation des Kieferperiosts kaum detektierbar war. Auch die knocheninduzierende Genexpression erwies sich am geringsten für das Periost aus der Kieferregion.

Gestützt werden diese Ergebnisse durch In-vitro-Zellversuche verschiedener Zelltypen aus Ratten¹⁸. Verglichen wurden Knochenmarkstromazellen, Osteoblasten und periostale Zellen aus der Calvaria. Im Vergleich zu den anderen Zelltypen war die alkalische Phosphatase-Aktivität nach 7 Tagen für Periostzellen kaum vorhanden, der Mineralisierungsgrad nach 3 Wochen wesentlich geringer. Lediglich die kollagene Matrixbildung nach 2 Wochen war vergleichbar. Immunhistochemisch fanden sich im Periost nur wenige Osteoprogenitorzellen.

■ Präklinische Vergleiche von Periost und Membran

In verschiedenen Tierstudien konnte ein positiver Effekt der Barrierefunktion von GBR-Membranen auf die Defektfüllung nach GBR-Maßnahmen festgestellt werden^{19–23}.

Kim et al. verglichen im Hundemodell künstliche Critical-Size-Defekte im Unterkiefer und stellten in Kontrolldefekten ohne weitere Maßnahmen eine Defektfüllung von einem Drittel, mit einem bovinen Knochenersatzmaterial zwei Drittel und mit der Kombination aus Knochenersatz und Kollagenmembran knapp 90 % nach 16 Wochen fest²². Auch der Vergleich verschiedener Membrantypen auf Basis von Polylactid, PTFE und Kollagen zeigte im Rattenmodell, dass die Knochenneubildung unter Membranen im Allgemeinen besser war als in der Kontrolle²³. Interessant war, dass die Regenerationskinetik mit einer zügig resorbierbaren Kollagenmembran initial schneller war als mit PTFE, nach 12 Wochen sich aber nicht von der nicht-resorbierbaren PTFE-Barriere unterschied. Dies legt nahe, dass die Forderung nach künstlicher Standzeitverlängerung von kollagenbasierten Membranen infrage gestellt werden darf. Simion et al. testeten die periimplantäre Defektfüllung in Abhängigkeit davon, ob das Weichgewebe allein von Implantaten oder zusätzlich mit einer PTFE-Barriere gestützt wurde²¹. Im Testgebiet war nach 6 Monaten Knochen bis in die Nähe der Barriere gewachsen, im Kontrollgebiet fand Knochenwachstum nur in der Nähe der Implantate statt. Periradikuläre Defekte nach Wurzelspitzenresektionen zeigten im Hundemodell weniger bindegewebiges Attachment und mehr neuen Knochen, parodontales Ligament und Zement, wenn die Läsion mit bovinem Knochenersatz und einer Kollagenmembran im Sinne der GTR abgedeckt wurde²⁰.

■ Klinische Relevanz

Eine kontrollierte klinische Studie zu Fenestrationsdefekten an Implantaten zeigte Regeneration unter ePTFE-Barrieren, dagegen keine Regeneration an mit originärem Periost bedeckten Defekten¹⁹. Hier spielt sicher auch der volumenstabilisierende Effekt der Barriermembran eine Rolle, jedoch sind den Autoren bis zum jetzigen Zeitpunkt keine Berichte über periostale Regeneration von Knochen an Implantaten bekannt. Ein Review über die Expositionsrate, Defektfüllung und Implantatüberlebensrate an periimplantären Dehiszenzdefekten konnte einen signifikant positiven Effekt von Membranen auf die Defektfüllung aufzeigen, sowohl bei der Deckung autologer Augmentate als auch für die Abdeckung



über Knochenersatzmaterial²⁴. Für autologe Blocktransplantate in der Anlagerungsosteoplastik wird heute zunehmend aufgrund der geringen Resorptionsrate die begleitend periphere Umlagerung mit Knochenersatz und simultane Abdeckung der Kortikalis mit einer dünnen Schicht Knochenersatz und Kollagenmembran als Standard diskutiert²⁵. Auch ein Review zu unterschiedlichen Techniken der Kammaugmentation bestätigt für die GBR ähnlich zuverlässige Ergebnisse wie für die Osteodistraction²⁶, in der das Wesen der desmalen Ossifikation optimal genutzt wird. In der lateralen Sinusbodenelevation wurden zum Teil ebenfalls höhere Knochenneubildungsraten unter Anwendung von Kollagenmembranen gezeigt²⁷. Meta-Studien zeigen, dass vor allem für schmale Sinuskonfigurationen und bei einer Fensterung in Höhe von simultan gesetzten Implantaten die Implantatüberlebensrate durch die Abdeckung mit Membranen positiv beeinflusst wird^{28,29}.

■ Schlussfolgerung

Das Periost des Kieferknochens ist eine dünne bindegewebige Doppelschicht für die mechanische Kopplung zwischen Muskeln und Knochen sowie die nutritive Versorgung des Knochens. Das Periost mit den eingelagerten Progenitorzellen besitzt ein regeneratives Potenzial, das aber im Alter nachlässt. Eine Elevation des Periosts vom Knochen führt zum Verlust der oberflächlichen Ernährung und setzt die osteoklastäre Resorption in Gang. Klinisch ist kein Nachweis einer osteogenen Potenz nach Elevation erbracht, eher lässt sich von einer periostogenen Potenz des neu etablierten Knochens sprechen. Das Periost sollte daher im Rahmen augmentativer oder implantologischer Maßnahmen so weit wie möglich am Knochen erhalten werden. Wo eine Elevation nötig ist, muss davon ausgegangen werden, dass Progenitorzellen zu Fibroblasten differenzieren können, und der Wettstreit zwischen ossärer und fibröser Defektfüllung zugunsten einer bindegewebigen Defektfüllung ausgehen wird. Aus diesem Grund sollte nach Denudierung die Indikationsstellung einer Membranapplikation sorgfältig erwogen werden.

■ Literatur

1. Lin Z, Fateh A, Salem DM, Intini G. Periosteum: biology and applications in craniofacial bone regeneration. *J Dent Res* 2014;93:109–116.
2. Aaron JE. Periosteal Sharpey's fibers: a novel bone matrix regulatory system? *Front Endocrinol (Lausanne)* 2012;3:98.
3. Melcher AH. On the repair potential of periodontal tissues. *J Periodontol* 1976;47:256–260.
4. Allen MR, Hock JM, Burr DB. Periosteum: biology, regulation, and response to osteoporosis therapies. *Bone* 2004;35:1003–1012.
5. Stricker A, Fleiner J, Stübinger S, Schmelzeisen R, Dard M, Bosshardt DD. Bone loss after ridge expansion with or without reflection of the periosteum. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:529–536.
6. Leucht P, Kim JB, Amasha R, James AW, Girod S, Helms JA. Embryonic origin and Hox status determine progenitor cell fate during adult bone regeneration. *Development* 2008;135:2845–2854.
7. Junqueira LCU, Carneiro J, Schebler TH. Histologie: Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen unter Berücksichtigung der Histophysiologie. Heidelberg: Springer, 1996:202.
8. Al-Qtaitat A, Shore RC, Aaron JE. Structural changes in the ageing periosteum using collagen III immuno-staining and chromium labelling as indicators. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2010;10:112–123.
9. Cho EH, Park JC, Cha JK, Kim YT, Jung UW, Kim CS, Choi SH, Kim CK. Dimensional change of the healed periosteum on surgically created defects. *J Periodontal Implant Sci* 2011;41:176–184.
10. Pagni G, Pellegrini G, Giannobile WV, Rasperini G. Post-extraction alveolar ridge preservation: biological basis and treatments. *Int J Dent* 2012;2012:151030.
11. Fickl S, Zuhr O, Wachtel H, Bolz W, Huerzeler M. Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: a volumetric study in the beagle dog. *J Clin Periodontol* 2008;35:356–363.
12. Stoetzer M, Felgenträger D, Kampmann A, Schumann P, Rücker M, Gellrich NC, von See C. Effects of a new piezoelectric device on periosteal microcirculation after subperiosteal preparation. *Microvasc Res* 2014;94:114–118.
13. Park KD, Hong H, Jung S, Kook MS, Oh HK, Park H. Effect of periosteum attached to autogenous iliac block bone graft on bone resorption in rabbits. *J Craniofac Surg* 2015;26:642–646.
14. Melcher AH. Role of periosteum in the repair of wounds of the parietal bone in the rat. *J Bone Joint Surg Br* 1969;51:383.
15. Melcher AH. Wound healing in monkey (*Macaca irus*) mandible: effect of elevating periosteum on formation of subperiosteal callus. *Arch Oral Biol* 1971;16:461–464.
16. Weng D, Hürzeler MB, Quiñones CR, Ohlms A, Caffesse RG. Contribution of the periosteum to bone formation in guided bone regeneration. A study in monkeys. *Clin Oral Implants Res* 2000;11:546–554.
17. Matsushima S, Isogai N, Jacquet R, Lowder E, Tokui T, Landis WJ. The nature and role of periosteum in bone and cartilage regeneration. *Cells Tissues Organs* 2011;194:320–325.
18. Rosales-Rocabado JM, Kaku M, Kitami M, Akiba Y, Uoshima K. Osteoblastic differentiation and mineralization ability of periosteum-derived cells compared with bone marrow and calvaria-derived cells. *J Oral Maxillofac Surg* 2014;72:694.e1–9.
19. Dahlin C, Andersson L, Linde A. Bone augmentation at fenestrated implants by an osteopromotive membrane technique. A controlled clinical study. *Clin Oral Implants Res* 1991;2:159–165.

20. Britain SK, Arx Tv, Schenk RK, Buser D, Nummikoski P, Cochran DL. The use of guided tissue regeneration principles in endodontic surgery for induced chronic periodontic-endodontic lesions: a clinical, radiographic, and histologic evaluation. *J Periodontol* 2005;76:450–460.
21. Simion M, Dahlin C, Rocchietta I, Stavropoulos A, Sanchez R, Karring T. Vertical ridge augmentation with guided bone regeneration in association with dental implants: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:86–94.
22. Kim M, Kim JH, Lee JY, Cho K, Kang SS, Kim G, Lee MJ, Choi SH. Effect of bone mineral with or without collagen membrane in ridge dehiscence defects following premolar extraction. *In Vivo* 2008;22:231–236.
23. Gielkens PF, Schortinghuis J, de Jong JR, Raghoobar GM, Stegenga B, Bos RR. Vivosorb, Bio-Gide, and Gore-Tex as barrier membranes in rat mandibular defects: an evaluation by microradiography and micro-CT. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:516–521.
24. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24(Suppl):218–236.
25. von Arx T, Buser D. Horizontal ridge augmentation using autogenous block grafts and the guided bone regeneration technique with collagen membranes: a clinical study with 42 patients. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:359–366.
26. Aghaloo TL, Moy PK. Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement? *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22(Suppl):49–70.
27. Wallace SS, Froum SJ, Cho SC, Elian N, Monteiro D, Kim BS, Tarrow DP. Sinus augmentation utilizing anorganic bovine bone (Bio-Oss) with absorbable and nonabsorbable membranes placed over the lateral window: histomorphometric and clinical analyses. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25:551–559.
28. Wallace SS, Froum SJ. Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review. *Ann Periodontol* 2003;8:328–343.
29. Duttenhoefer F, Souren C, Menne D, Emmerich D, Schön R, Sauerbier S. Long-term survival of dental implants placed in the grafted maxillary sinus: systematic review and meta-analysis of treatment modalities. *PLoS One* 2013;8:e75357.

The importance of the periosteum in oral implantology

KEYWORDS *Augmentation, osteogenic potency, periosteum, regeneration, resorption*

There is controversy in the literature regarding the role of the periosteum in dental implantology. An osteogenic potency is usually assigned to the periosteum of the jaw without this property being biologically questioned. On closer examination, the embryologic origin and age of the periosteum seems to play a significant role. According to recent studies, the periosteum of the jaw loses its osteogenic potency by aging. Furthermore, resorption is induced by detachment of the periosteum from the bone surface. There may be legitimate doubts about the dogma that the periosteum is the best membrane in oral surgical augmentation. Rather, the current literature supports the concept of a periosteogenic potency of the newly established bone.