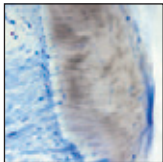


Klinische und histologische Evaluation eines Laser-assistierten Verfahrens zur Bildung eines neuen Attachments beim Menschen



Marc L. Nevins, DMD, MMSc¹/Marcelo Camelo, DDS²
 Peter Schupbach, PhD³/Soo-Woo Kim, DMD, MS⁴
 David M. Kim, DDS, DMSc⁵/Myron Nevins, DDS⁶

In dieser Studie wird das Heilungsergebnis eines Laser-assistierten Verfahrens zur Bildung eines neuen Attachments (LANAP, laser-assisted new attachment procedure) betrachtet. Es nahmen acht Patienten mit 12 zur Extraktion vorgesehenen Zähnen teil, die in eine LANAP-Behandlung des gesamten Mundes einwilligten. Das operative LANAP erfolgte in einem ersten Durchgang mit einem Faserquerschnitt von 360 µm, mit einer Leistung von 4,0 W, einer Energiedichte von 1965 mJ/mm², einer Pulsdauer von 100 µs und 20 Hz. Die Behandlung wurde vom Gingivasaum bis zur Taschenbasis parallel zur Wurzeloberfläche sowie lateral und apikal vorgenommen, um das erkrankte Taschenepithel zu entfernen. Die Zähne wurden aggressiv von Zahnstein befreit und die Wurzeln piezochirurgisch geglättet. Eine zweite Sitzung erfolgte mit einem Faserdurchmesser von 360 µm, einer Leistung von 4,0 W und einer Energiedichte von 1965 mJ/mm², einer Pulsdauer von 650 µs und einer Frequenz von 20 Hz vom apikalen Ende des Knochendefekts bis zum Gingivasaum. Nach neunmonatiger Heilung erfolgte eine En-bloc-Biopsie im Rahmen der Extraktion. Bei 10 Zähnen wurde histologisch die parodontale Wundheilung untersucht. Fünf Zähne wiesen eine parodontale Regeneration mit neuem Zement, Parodontalligament und Alveolarknochen auf. Ein Zahn hatte ein neues Attachment aus neugebildetem Zement und inserierenden Kollagenfasern und vier Zähne heilten mit einem langen Saume epithel. Das LANAP sollte weiter in klinischen Langzeitstudien untersucht werden, in denen die Stabilität der klinischen Ergebnisse mit derjenigen nach einer konventionellen Therapie verglichen wird. Die vorliegende Studie belegt, dass das LANAP eine parodontale Regeneration induzieren kann. (Int J Par Rest Zahnheilkd 2012;32:473-483.)

¹ Klinischer Assistenzprofessor, Division of Periodontology, Department of Oral Medicine, Infection and Immunity, Harvard School of Dental Medicine, Boston, Massachusetts, USA.

² Institute for Advanced Dental Studies, Belo Horizonte, Brasilien.

³ Schupbach Ltd, Service and Research Laboratory for Biomaterials, Histology, and Imaging, Horgen, Schweiz.

⁴ Research Fellow für Parodontologie, Division of Periodontology, Department of Oral Medicine, Infection and Immunity, Harvard School of Dental Medicine, Boston, Massachusetts, USA.

⁵ Assistenzprofessor, Division of Periodontology, Department of Oral Medicine, Infection and Immunity, Harvard School of Dental Medicine, Boston, Massachusetts, USA.

⁶ Kinischer außerordentlicher Professor, Division of Periodontology, Department of Oral Medicine, Infection and Immunity, Harvard School of Dental Medicine, Boston, Massachusetts, USA.

Korrespondenz an: Dr. Marc L. Nevins, 175 Cambridge Street #310, Boston, MA 02114, USA.
 Fax: +1 617-720-0836. E-Mail: marc_nevins@hms.harvard.edu

Der Einsatz der Lasertherapie in der Parodontologie wird auch weiterhin kontrovers beurteilt¹⁻³. Für die nicht operative und die operative parodontale und periimplantäre Therapie werden Laser unterschiedlicher Wellenlängen (635 bis 10600 nm) verwendet, z. B. der Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet-Laser (Nd:YAG-Laser), der Kohlendioxidlaser, der Diodenlaser und der Erbium:Yttrium-Aluminum-Garnet-Laser (Er:YAG-Laser)⁴⁻⁷. Entscheidend ist, dass die Laser verschiedener Wellenlänge abhängig von der Reflexion, Streuung und Absorption unterschiedlich tief in die Gewebe eindringen⁸. Daher muss jede Therapie jeweils mit einem bestimmten Laser untersucht werden. Laser unterschiedlicher Wellenlänge erreichen nicht grundsätzlich beim selben Verfahren dieselben Ergebnisse. Die Laser-assistierte Parodontaltherapie wird als Monotherapie durchgeführt⁹, adjuvant zur Zahnsteinentfernung und Wurzelglättung⁵, zur Wurzelkürrettage im Rahmen einer operativen oder nicht operativen Therapie^{9, 10} sowie im Rahmen von operativen Laser-assistierten Verfahren zur Schaffung eines neuen Attachments (LANAP)^{11, 12}.

Vordergründiges Ziel der Parodontaltherapie ist die Schaffung eines gesunden Parodonts mit einer Reduktion der Taschentiefe und Vergrö-

Berung des Attachments, am besten mithilfe der parodontalen Regeneration¹³. Die parodontale Regeneration ist definiert als die Schaffung eines neuen Attachmentapparats an zuvor erkrankten Wurzeloberflächen durch neuen Zement, ein neues Parodontalligament (PDL) und neuen Knochen¹³. Von zahlreichen regenerativen Therapien ist belegt, dass sie nahe einer Zahnsteinkerbe neue Parodontalstrukturen schaffen und damit diese Kriterien erfüllen¹³⁻¹⁹. Bei diesen Verfahren wird jeweils operativ Knochenersatzmaterial (autogen, allogenes oder xenogen) oder eine biologische Substanz (Wachstumsfaktor oder Amelogenin) mit oder ohne Barrieremembran eingebracht. In den meisten Berichten werden auch parodontale Lappenoperationen erwähnt. Mellonig et al.²⁰ beschrieben die Förderung der parodontalen Regeneration durch eine Kombination aus Scaling und Wurzelglättung mit einem Schmelzmatrix-Derivat im Rahmen einer nicht operativen/lappenlosen Therapie.

Ärzte und Patienten fordern weniger invasive Behandlungsverfahren zur parodontalen Regeneration. Aufgrund der unterschiedlichen klinischen Zuverlässigkeit der verfügbaren Therapien ist die Behandlung des gesamten Mundes mit einem regenerativen Verfahren ungewöhnlich, selbst wenn alle Zähne parodontal erkrankt sind. Die Parodontalerkrankung wird insgesamt nicht ausreichend behandelt, weil sich Patienten und Ärzte auf die negativen Aspekte der parodontalen Lappenoperation, wie Schmerzen, eine Rezession, Zahnüberempfindlichkeit und postoperative Beschwerden, konzentrieren¹². Die minimalinvasive Laser-assistierte Parodontaltherapie nach dem patentierten LANAP-Protokoll wurde zwar für die Behandlung empfohlen, es gibt aber nur

wenige klinische Studien zu ihrer Effizienz und Zuverlässigkeit. Außerdem gibt es kaum Informationen über die Biologie der Wundheilung bei diesem Verfahren.

In der vorliegenden Untersuchung wird histologisch die Heilung nach einer minimalinvasiven Laser-assistierten parodontalchirurgischen Therapie (LANAP) betrachtet.

Material und Methode

Die Patienten für die vorliegende prospektive klinische Einzelcenter-Studie wurden zwischen dem 1. Mai und 30. Juni 2010 aufgenommen. Sie stimmten der Studienteilnahme schriftlich gemäß der Deklaration von Helsinki aus dem Jahr 1975 in der revidierten Fassung von 2000 zu. Insgesamt wurden bei acht Patienten 12 parodontale Defekte mit fortgeschrittener Parodontitis ermittelt. Einschlusskriterien waren ein Alter von 18 bis 70 Jahren und mindestens ein zur Extraktion vorgesehener Zahn mit einer Sondierungstiefe ≥ 7 mm und radiologischen Hinweisen auf einen knöchernen Defekt mit einer Tiefe von ≥ 4 mm. Ausschlusskriterien waren kongenitale oder metabolische Knochenerkrankungen, eine immunsuppressive Therapie oder Krankheiten mit Auswirkungen auf die Wundheilung, aktiver Raucherstatus (in den letzten sechs Monaten vor Studienbeginn) sowie eine im Studienverlauf geplante oder bereits bestehende Schwangerschaft. Auch Patienten unter einer aktiven parodontalchirurgischen Behandlung oder nach Scaling und Wurzelglättung in den letzten 12 Monaten durften nicht an der Studie teilnehmen.

Beim Screening-Besuch wurden die Einschlusskriterien überprüft, die Anamnese erhoben und extra- sowie intraoral Untersuchungen durchgeführt. Die Studienzähne sowie die

primären Studienbereiche wurden vor der operativen Sitzung festgelegt und klinische Ausgangsmessungen durchgeführt. Die LANAP-Therapie des gesamten Mundes erfolgte jeweils an einem Zahnbogen je Sitzung.

Klinische Messungen und Validierung der Zahnsteinkerbe

Vor der Aufnahme der Patienten in die Studie nahm der Parodontaluntersucher an einer Kalibrierungssitzung teil, bei der die Sondierungs- und Rezessionstiefe gemessen und der Attachmentlevel berechnet wurden. Die Intra- und Inter-Untersucher-Reliabilität lag im vorab festgelegten Rahmen mit einer Reproduzierbarkeit von $> 90\%$.

Vor Studienbeginn wurde an sechs zur Extraktion vorgesehenen Zähnen von Patienten, die nicht mit dem LANAP-Protokoll behandelt wurden, mit ihrer Zustimmung eine Studie zur Zahnsteinvalidierung durchgeführt. Vor der Extraktion wurde mit einer Parodontalsonde und einer Sichelsonde Nr. 23 die Zahnsteinhöhe ertastet und mit einem Nr.-1/2-Rundbohrer bei hoher Geschwindigkeit an der apikalsten Stelle eingekerbt, die mit dem Handinstrument zu erreichen war. Es erfolgte keine Lappenabhebung. Die Kerbe befand sich auf der Wurzeloberfläche und reichte durch den Zahnstein in den Zement. Dann wurden die Zähne extrahiert, fotografiert und in Formalin gelegt. Anschließend wurde licht- und rasterelektronenmikroskopisch bestätigt, dass apikal der Kerbe Zahnstein vorhanden war. Er reichte durchschnittlich $2,23 \pm 1,28$ mm über die Kerbe hinaus. Dies bedeutet, dass die Wurzeloberfläche apikal des klinisch erkannten und markierten Zahnsteins betroffen war.

Chirurgisches Vorgehen

Die minimalinvasive parodontale Lasertherapie wurde folgendermaßen mit einem Nd:YAG-Laser (PerioLase MVP-7, Millennium Dental Technologies) vorgenommen: An den Studienzähnen wurden vor der Lokalanästhesie gemäß dem Kalibrierungsprotokoll klinisch Sondierungstiefe, Rezessionstiefe, Mobilität und Furkationsgrad ermittelt. Anschließend wurde mit einem Nr.-1/2-Rundbohrer mit hoher Geschwindigkeit auf Höhe der apikalen Ausdehnung des Zahnsteins auf der Wurzel eine horizontale Kerbe platziert und für weitere Berechnungen die Lage dieser Kerbe zur Schmelz-Zement-Grenze gemessen. Der Laser wurde zunächst mit einer Leistung von 4,0 W, einer Pulsdauer von 100 µs und einer Frequenz von 20 Hz eingesetzt und vom Gingivasaum aus parallel zur Wurzeloberfläche bis zur Taschenbasis sowie nach lateral und apikal geführt, um erkranktes Taschenepithel zu entfernen und die Tasche zu dekontaminieren. Dies erfolgte bei allen Taschen aller Zähne im Ober- und Unterkiefer. Die Zähne wurden mit piezochirurgischen Instrumenten aggressiv von Zahnstein befreit und die Wurzeln geglättet. An jeder Wurzeloberfläche wurden bei wiederholten Reinigungsgängen vier oder fünf Piezo-Ansätze (Piezon Master 400, EMS und Piezosurgery, Mectron) verwendet, bis die Wurzeln glatt waren und es keine tast- oder sichtbaren Hinweise mehr auf Zahnstein gab. Dieses Vorgehen kann die Tiefe der zuvor platzierten Kerbe beeinflussen, sodass eine weitere Messung zur Bestätigung der Lage der Kerbe erforderlich ist. Die Wurzelpräparation erfolgte vom koronalen Bereich bis zur Basis des knöchernen Defekts und auch an der eingekerbten Wurzeloberfläche. Nach Abschluss der Wurzelpräparation wurde auf Höhe

der Parodontalligaments (PDL) ein Piezo-Spitzenansatz (EMS) oder ein Nr.-11-Parodontalmesser um die Zähne geführt, um die restlichen Fasern stumpf abzubereiten und um die Vaskularisierung der Wunde im Parodontalbereich zu stimulieren. Die zweite Laserung erfolgte mit einer Leistung von 4,0 W, einer Pulsdauer von 650 µs und einer Frequenz von 20 Hz vom apikalen Rand des Defekts bis zum Gingivasaum. Dieses Vorgehen wurde im Ober- und Unterkiefer angewandt.

Unmittelbar postoperativ wurde mit selektivem Schleifen und extra- oder intrakoronaler Schienung der Zähne die Okklusion angepasst, eventuell wurden wiederholt Sitzungen anberaumt, um eine Zahnmobilität auszuschließen. Die Patienten erhielten postoperativ folgende Anweisungen und Medikamente: für vier Wochen zweimal tägliche Mundspülung mit Chlorhexidin 0,12 %, für sieben Tage orale Antibiotika (Amoxicillin 500 mg) alle acht Stunden und antiphlogistische Analgetika zur Schmerzlinderung bei Bedarf (Ibuprofen 600 mg, alle sechs Stunden). Das Zähneputzen wurde so modifiziert, dass das Fibringerinnsel geschont wurde. Die Patienten sollten in den ersten zwei Wochen postoperativ nur die Koronalfächen der Zähne putzen.

Nach sieben, 14, 28, 42 und 56 Tagen stellten sich die Patienten zur Nachbehandlung und Mundhygieneunterweisung vor. Die Operationsbereiche wurden inspiziert und vorsichtig mit chlorhexidingetränkten Kompressen gereinigt, die Zähne wurden supragingival gesäubert. Nach 2,5, 4, 5,5, 7 und 8,5 Monaten erfolgte eine Prophylaxe mit Remotivation zur Mundhygiene. Röntgenkontrollen wurden nach 5,5 und neun Monaten vorgenommen.

Nach neun Monaten wurde eine En-bloc-Biopsie der Studienzähne

durchgeführt. Vor der Lokalanästhesie wurden im gesamten Mundraum klinische Messungen vorgenommen, einschließlich der Sondierungstiefe, Rezessionstiefe, Mobilität und des Furkationsgrads. Über dem Studienbereich wurden koronal an den Zähnen Führungsrinnen für die histologische Präparation angelegt. Jeder Studienzahn wurde wie bereits beschrieben¹⁷ en bloc mit dem umgebenden Weich- und Hartgewebe entfernt. Die Biopsiebereiche wurden mit regenerativen Verfahren rekonstruiert. Anschließend sollten Implantate gesetzt und mit Restaurationen versorgt werden. Die Biopsate wurden in 10%igem Formalin gelagert.

Mikrocomputertomografie

Die Proben wurden mittels hochauflösender Mikrocomputertomografie (Mikro-CT; μ CT 40, Scanco Medical) im Multislice-Mode untersucht. Jeder Bilddatensatz enthielt etwa 600 Mikro-CT-Schnittbilder. Die Proben wurden in hoher x-, y- und z-Auflösung von 16 μ m gescannt. Anhand der Bilddatensätze wurden mit einer speziellen Software (Scanco Medical) dreidimensionale Ansichten der Proben erzeugt.

Lichtmikroskopie

Aus den fixierten Proben wurden mit der Technik von Donath und Breuner nicht demineralisierte Schliffpräparate hergestellt²¹. Dazu wurden sie über mindestens neun Tage bei Standardtemperatur und -druck unter konstantem Schütteln in einer aufsteigenden Alkoholreihe dehydriert. Anschließend wurde wurden die Proben über mindestens 12 Tage bei Standardtemperatur und -druck

unter konstantem Schütteln mit einer abgestuften Alkoholserie und Technovit-7200-VLC-Einbettkunststoff (Heraeus Kulzer) infiltriert und dann für jeweils 24 Stunden bei Standardtemperatur und -druck unter konstantem Schütteln nacheinander in drei Behälter mit 100 % Technovit 7200 VLC gegeben.

Nach der Dehydrierung und Infiltration wurden die Proben in Technovit 7200 VLC eingebettet und mit Licht (450 nm) für 10 Stunden polymerisiert, wobei die Temperatur konstant maximal 40 °C betrug.

Die polymerisierten Blöcke wurden in Längsrichtung entlang der Orientierungsrillen, die der Operateur mit einer Exakt-Schneideeinheit (Exakt) platziert hatte, geschnitten. Die Schnitte wurden mit einem Schneid-Schleif-Instrument auf 150 μ m heruntergeschliffen und dann mit einer Mikroschleifeinheit auf eine Dicke von 30 bis 50 μ m reduziert. Die abschließende Politur erfolgte mit 0,1- μ m-Diamantpaste.

Die Schnitte wurden mit Sander-son RBS (Methylenblau und Kaliumpermanganat) gefärbt, mit Deckplättchen versehen und lichtmikroskopisch sowie unter dem Polarisationsmikroskop untersucht.

Rasterelektronenmikroskopie mit Rückstreuelektronen

Für die Rasterelektronenmikroskopie wurden die Proben auf Aluminiumhalter geklebt. Die zu untersuchende Oberfläche wurde mit Diamantpasten hochglanzpoliert und mit Ultraschallreiniger gründlich gereinigt. Anschließend wurde die polierte Oberfläche mit einem SCD-500 Sputter Coater (Bal-Tec) mit einer 6 nm dicken Karbonschicht gesputtert. Die Untersuchung erfolgte mit einem Zeiss-Supra-VP-40-Rasterelektronen-

Tabelle 1 Klinische Ergebnisse (mm) der Studienzähne zu Beginn und nach neun Monaten

Patient	Zahnnr.*	Studienbeginn			9 Monate			PD-Reduktion	CAL-Zunahme
		PD	Rezession	CAL	PD	Rezession	CAL		
1	34	9	0	9	3	4	7	6	2
2	41	8	2	10	3	5	8	5	2
2	45	14	2	16	4	5	9	10	7
3	34	10	0	11	7	4	8	3	3
3	33	10	0	10	5	2	7	5	3
4	15	10	2	12	8	2	10	2	2
5	36	16	0	16	6	1	7	10	9
5	33	12	0	12	4	3	7	8	5
5	45	9	0	9	6	1	7	3	2
6	26	9	2	11	4	2	6	5	5
7	46	8	0	8	4	3	7	4	1
8	27	10	0	10	6	0	6	4	4
Mittelwert		10,4	0,7	11,2	5,0	2,7	7,4	5,4	3,8
Standardabweichung		2,43	0,98	2,55	1,60	1,61	1,16	2,64	2,38

PD = Sondierungstiefe; CAL = klinischer Attachmentlevel.
 *FDI-Zahnschema.

mikroskop mit backscattered Electrons (BSE-REM).

Ergebnis

In diese Studie wurden acht Patienten mit insgesamt 12 zur Extraktion und histologischen Untersuchung vorgesehenen Zähnen aufgenommen. Alle behandelten Bereiche heilten komplikationslos ab und es traten keine unerwünschten Wirkungen der LANAP-Behandlung auf. Die mittlere je Patient verwendete Gesamtenergie betrug 6034 J, mit durchschnittlich 3344 J im Unterkiefer und 2691 J im Oberkiefer. Bei manchen Patienten nahm die Sensibilität der Zähne in den ersten vier Wochen nach dem Eingriff zu, normalisierte

sich aber danach wieder. Es gab keine klinischen oder histologischen Anzeichen von Wurzelschäden durch die Lasertherapie. Der mittlere klinische Attachmentlevel (CAL) betrug bei den zwölf Studienzähnen initial $11,2 \pm 2,50$ mm, die Sondierungstiefe (PD) $10,4 \pm 2,43$ mm und die Rezessionstiefe $0,7 \pm 0,98$ mm. Nach neun Monaten hatte der CAL durchschnittlich um $3,8 \pm 2,38$ mm zu- und die PD um $5,4 \pm 2,64$ mm abgenommen. Dadurch entstanden postoperativ ein mittlerer CAL von $7,4 \pm 1,16$ mm, eine mittlere PD von $5,0 \pm 1,60$ mm und eine Rezessionstiefe von $2,7 \pm 1,61$ mm (Tabelle 1).

Die 12 Zähne wurden mittels Mikro-CT untersucht und dann zur histologischen Evaluation präpariert. Zwei Zähne splitteten während

Tabelle 2 Histologische Analyse der Studienzähne	
Patient (Zahnnr. *)	Heilungsmechanismus
1 (34)	Regeneration
2 (41) 2 (45)	Langes Saumepithel Neues Attachment
3 (34) 3 (33)	Langes Saumepithel Langes Saumepithel
4 (15)	Langes Saumepithel
5 (36) 5 (33)	Regeneration Regeneration
6 (26)	Regeneration
8 (27)	Regeneration

*FDI-Zahnschema.

der histologischen Präparation und konnten daher nicht mikroskopisch beurteilt werden. Die parodontale Wundheilung koronal der Zahnsteinkerbe zeigte bei fünf Zähnen eine parodontale Regeneration, also die Neubildung von Zement, Parodontalligament und Alveolarknochen (Tabelle 2). Ein Zahn wies einen neuen Attachmentapparat mit neuem Zement und neuen einstrahlenden Kollagenfasern auf und vier Zähne heilten über das Saumepithel.

Insgesamt vier Zähne bei drei Patienten heilten über ein langes Saumepithel und einer von ihnen wies neuen Zement und ein Reattachment apikal der Zahnsteinkerbe auf. Zwei Zähne (Patient 3, unterer linker Eckzahn und erster Prämolare), die mit einem langen Saumepithel heilten, werden als Fallbeispiel vorgestellt. Weder die postoperativen periapikalen Röntgenbilder noch das Mikro-CT wiesen eine knöcherne

Füllung der Knochendefekte nach (Abb. 1a bis c). Histologisch zeigte sich ein langes Saumepithel bis zur Höhe der Zahnsteinkerbe (Abb. 1d und 1e) ohne neugebildeten Zement oder neuen Knochen.

Bei drei Zähnen mit Furkationsbeteiligung wurde eine parodontale Regeneration koronal der Zahnsteinkerbe belegt. Einer dieser Zähne wies eine Grad-III-Furkation auf (Patient 6, oberer linker erster Molar) und zwei Zähne zeigten klinisch Grad-II-Furkationen (Patient 3, unterer linker erster Molar und Patient 8, oberer linker zweiter Molar), die jedoch operativ als Grad-III-Furkationen eingestuft wurden. Obwohl keine der Furkationen geschlossen oder in der Ausprägung reduziert wurde, wiesen sie eine signifikante Zunahme des CAL und histologische Zeichen einer Regeneration auf.

Der untere linke erste Prämolare von Patient 1 wies bei Studienbe-



Abb. 1a Ausgangssituation: Periapikale Röntgenaufnahme der Knochendefekte.

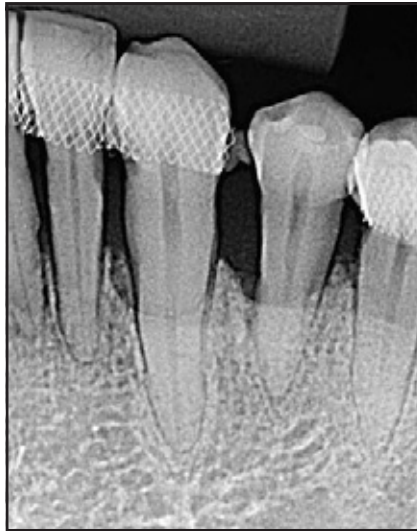


Abb. 1b Röntgenologische Persistenz der Knochendefekte nach der Behandlung.



Abb. 1c Bestätigung des persistierenden Defekts im Mikro-CT.

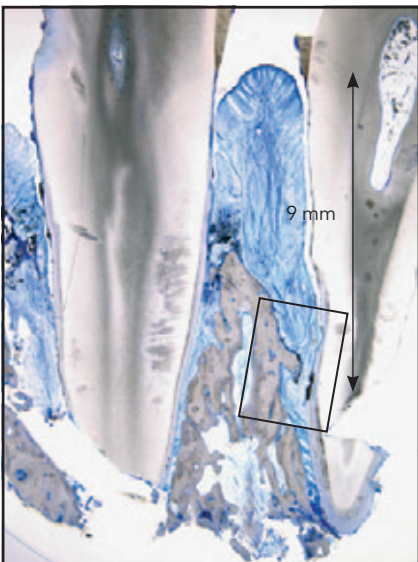
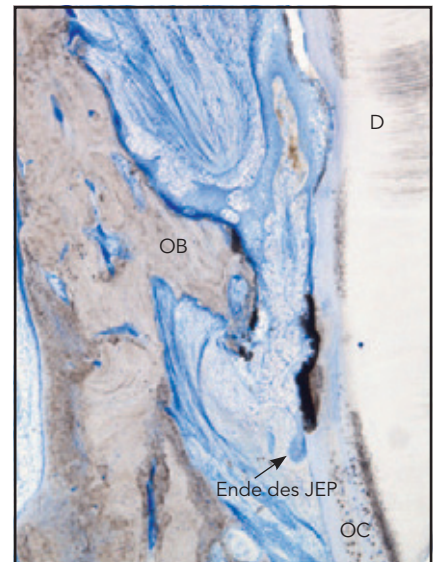


Abb. 1d (links) Histologische Panoramaansicht zur Beurteilung der Heilung und Vermessung der Kerbe, um ihre Lage zu bestätigen. Die Heilung erfolgte über ein langes Saumepithel.

Abb. 1e (rechts) Die stärkere Vergrößerung zeigt ein langes Saumepithel, das bis zur Zahnsteinkerbe reicht. OB = alter Knochen, D = Dentin, JEP = Saumepithel, OC = alter Zement.



ginn einen CAL von 9 mm und eine Taschentiefe von 9 mm auf. Nach neun Monaten hatte der CAL um 2 mm zugenommen, die Rezessionstiefe betrug 4 mm und die restliche Sondierungstiefe 3 mm. Das Mikro-CT stellte die Zahnsteinkerbe

problemlos dar und konnte daher zur Festlegung der histologischen Orientierungspunkte verwendet werden (Abb. 2a und 2b). Auf Höhe der Zahnsteinkerbe bestand ein Auswuchs von neuem Zement, der mit dem benachbarten PDL und dem

neuen Alveolarknochen nach koraln reichte (Abb. 2b).

Auf der Mesialfläche eines oberen linken ersten Prämolaren (Patient 6) fand sich ein tiefer Knochen defekt mit einem CAL von 11 mm und einer PD von 9 mm bei Studien-

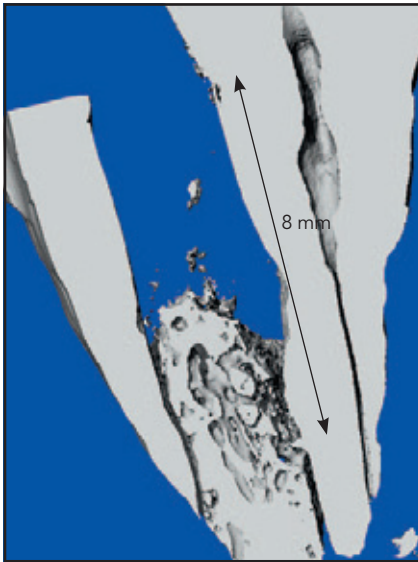


Abb. 2a (links) Mikro-CT mit einer Kerbe, die 8 mm von der Schmelz-Zement-Grenze entfernt war. Der Defekt approximal der Wurzeloberfläche ist signifikant mit Knochen ausgefüllt.

Abb. 2b (rechts) Die Histologie bestätigte das Mikro-CT. Zu erkennen sind neuer Zement (NC), Parodontalligament (PDL) und neuer Knochen (NB) im Sinne einer parodontalen Regeneration. Das Epithel war auf den Bereich koronal der Regeneration (Ende des JEP) begrenzt. Man erkennt die zervikale Einkerbung der Wurzeloberfläche durch die ausgedehnte Wurzelglättung zum Entfernen starker Zahnsteinablagerungen. OB = alter Knochen, JEP = Saumepithel.

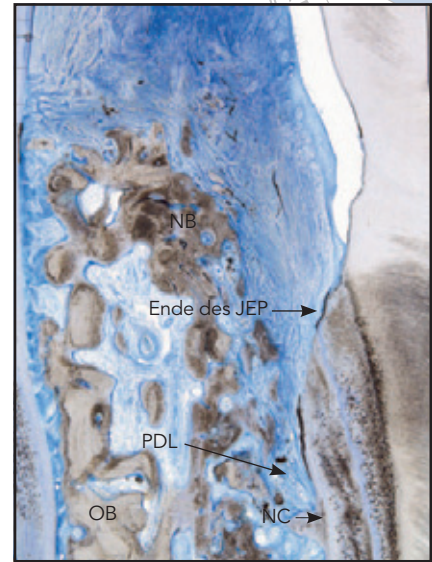


Abb. 3a Linker oberer erster Molar mit initialem CAL von 11 mm, PD von 9 mm und Grad-III-Furkation.



Abb. 3b Röntgenbefund eines tiefen Knochendefekts auf der mesialen Oberfläche mit Verdacht auf Invasion der Furkation vor der Behandlung.

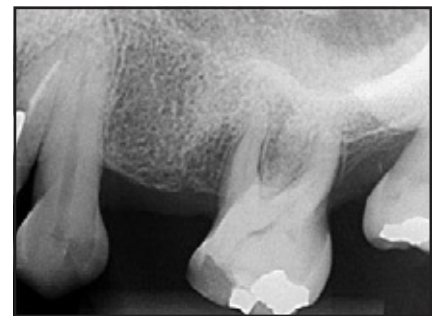


Abb. 3c Die postoperative Röntgenaufnahme zeigt eine Knochenfüllung und bessere Prognose.

beginn (Abb. 3a und b). Die postoperative Röntgenaufnahme zeigt die knöcherne Füllung des Defekts (Abb. 3c) und einen Anstieg des CAL um 5 mm ohne Rezession (postoperative Messwerte: CAL = 6 mm, PD = 4 mm). Histologisch fand sich approximal der mesialen Wurzeloberfläche neugebildeter Knochen (Abb. 3d). Die stärkere Vergrößerung zeigte mehrere Millimeter koronal der Zahnsteinkerbe eine di-

cke Schicht aus neuem Zement mit einstrahlenden Sharpey-Fasern, die das PDL zum benachbarten Alveolarknochen kreuzten (Abb. 3e). Auf der Zementoberfläche waren Zementoblasten zu erkennen (Abb. 3f und g). Das BSE-REM-Bild bestätigte die Befunde der Lichtmikroskopie und stellte auch die mehrschichtige Wurzelstruktur dar, einschließlich des Dentins, des alten und neuen Zements (Abb. 3h).

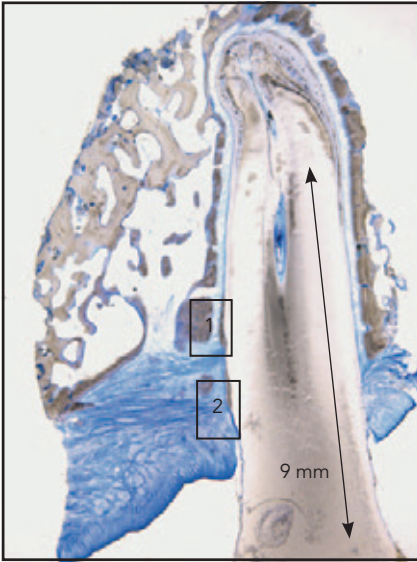


Abb. 3d Panoramaaufnahme der knöchernen Füllung eines Knochendefekts mit parodontaler Regeneration. Auch hier beträgt die Entfernung zwischen Kerbe und Schmelz-Zement-Grenze 9 mm.

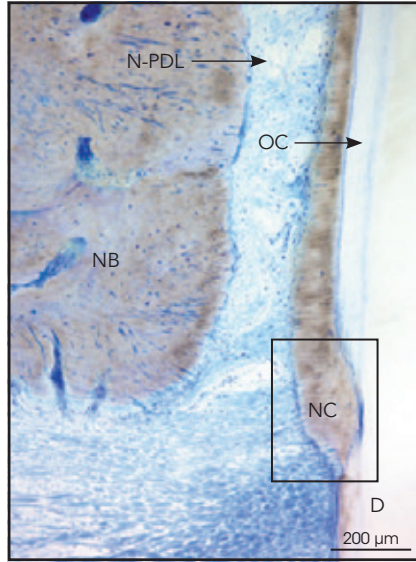


Abb. 3e Stärkere Vergrößerung von Kasten 1 aus Abbildung 3d mit einer Schicht aus neuem Zement (NC) am koronalen Defektende mit angrenzendem Parodontalligament (N-PDL) und neuem Knochen (NB) im Sinne einer parodontalen Regeneration. OC = alter Zement, D = Dentin.

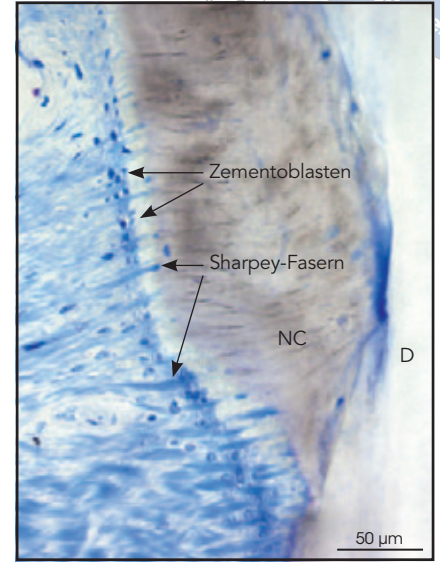


Abb. 3f In den neuen Zement inserierende Sharpey-Fasern und Zementblasten (Vergrößerung des Kastens von Abb. 3e). NC = neuer Zement, D = Dentin.

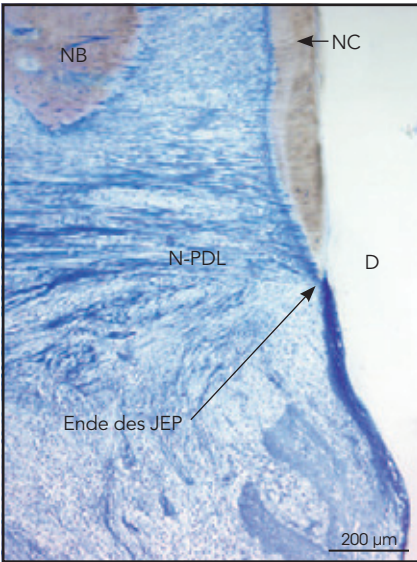
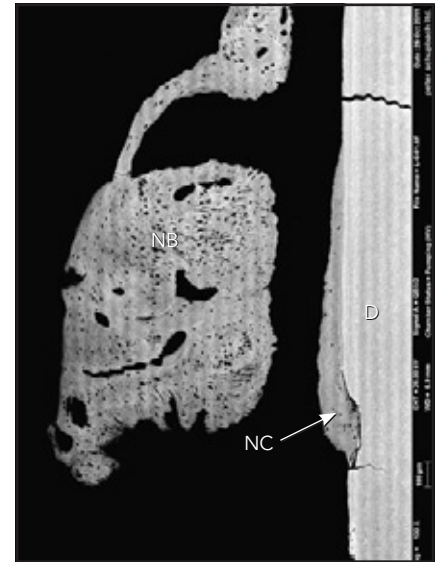


Abb. 3g (links) Wiederherstellung des natürlichen Status der suprakrestalen Umgebung mit suprakrestal inserierenden Kollagenfasern in den neuen Zement (NC), unmittelbar apikal des Saumepithels (JEP) (stärkere Vergrößerung von Kasten 2 aus Abb. 3d). NB = neuer Knochen, N-PDL = neues Parodontalligament, D = Dentin.

Abb. 3h (rechts) Das BSE-REM-Bild bestätigte die histologischen Befunde mit Darstellung von Schichten aus Dentin (D), altem und neuem Zement (NC) auf der Wurzeloberfläche. NB = neuer Knochen.



Diskussion

Die vorliegende Studie belegt nach mikroinvasiver Parodontaltherapie mittels LANAP eine parodontale Regeneration neben den Zahnsteinkerben an zuvor erkrankten Wurzeloberflächen. An sechs der 10 untersuchten Zähne fanden sich Zeichen der Regeneration: an fünf Zähnen eine parodontale Regeneration und an einem ein neues Attachment. Selbst bei einer Furkationsbeteiligung besserte sich der parodontale Zustand. So fanden sich bei drei Zähnen mit Grad-III-Furkationen Hinweise auf eine gewisse parodontale Regeneration.

Die einzige bislang veröffentlichte histologische Betrachtung des LANAP-Protokolls stammt von Yukna et al.²² und umfasst sechs mit LANAP behandelte Zähne, an denen sich ein neues Attachment mit neuem Zement und inserierenden Kollagenfasern bildete. Die mit Scaling und Wurzelglättung behandelten Zähne heilten über ein langes Saumepithel, und eine Stelle wies eine minimale Menge an neuem Zement auf. Allerdings gibt es wichtige Unterschiede im Behandlungsprotokoll, wie die neunmonatige Heilungszeit in der vorliegenden Studie im Vergleich zu nur drei Monaten in der Studie von Yukna et al.²². Zudem wurde in der vorliegenden Studie der gesamte Mund mit dem LANAP-Protokoll behandelt. Yukna et al. hatten hingegen ein Split-mouth-Design gewählt und behandelten nur die Studienzähne mit Laser oder Scaling und Wurzelglättung, außerdem führten sie die Wurzelpräparation nur koronal der Zahnsteinkerbe durch. In der vorliegenden Studie wurde die Wurzelpräparation mit intensiver Wurzelglättung mit Piezo-Ultraschallinstrumenten vorgenommen, vom koronalen Bereich bis zum PDL. Interessant ist, dass in der Studie von

Yukna et al.²² neuer Zement und ein neues Attachment nachgewiesen wurden, obwohl keine Wurzelpräparation über die Kerbe hinaus erfolgte, sodass vermutlich zusätzliche Toxine oder Zahnstein vorhanden waren. Frühere Studien wiesen histologisch beim Menschen Zeichen einer Regeneration mit neuem Zement über älterem Zement, Dentin und Zahnstein sowie Zahnschmelz im Furkationsbereich nach^{14, 19}.

Die Validierung der Kerbenplat-zierung war erforderlich, weil die bislang akzeptierte Definition alleine visuell erfolgte. Die Validierung bestätigte, dass die Kerbe auch präoperativ lappenlos anhand taktiler Befunde mit einem Rundbohrer Nr. 1/2 und Hochgeschwindigkeitsinstrumenten gesetzt werden kann. Die Vermessung der Kerbe und die Mikro-CT dienen dazu, die Kerbenlage zu bestätigen und unterstützen die histologische Beurteilung.

Die LANAP-Therapie ist ein sicheres Verfahren, das zu einer deutlichen parodontalen Regeneration führt. Abgesehen von einer dentalen Hypersensitivität und einer Gingivarezession traten keine unerwünschten Effekte und keine Schäden der Wurzeloberflächen auf²³. Ohne eine histologische Untersuchung wäre die Evaluation des biologischen Potenzials dieses Operationsverfahrens nicht möglich, die aber für die Kombination der klinischen und radiologischen Beurteilung sowie für das Heilungspotenzial entscheidend ist.

Seit Kurzem konzentrieren sich die klinische Forschung und Entwicklung auf minimalinvasive Operationsverfahren²⁴⁻²⁷. So wiesen Cortellini und Tonetti eine bessere Wundstabilität nach einem modifizierten minimalinvasiven Operationsverfahren (M-MIST) nach. Dieses Verfahren erhöhte die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich das Blutkoagulum stabilisiert und somit als Grundlage der

regenerativen Wundheilung dient²⁸. Diese Ergebnisse wurden durch eine prospektive Vergleichsstudie von M-MIST mit und ohne Anwendung von Schmelzmatrix-Derivat (EMD) weiter gestützt²⁹. Die Ergebnisse waren in beiden Gruppen ähnlich mit einer Zunahme des CAL um $4,1 \pm 1,4$ mm in der M-MIST-Kontrollgruppe und $4,1 \pm 1,2$ mm in der EMD/M-MIST-Gruppe. Die bessere Wundstabilität hängt direkt mit den Ergebnissen der parodontalen Wundheilung zusammen. Dies ähnelt dem mikroinvasiven LANAP-Verfahren. Nach der ersten Laserung werden die Gewebe gelockert und vorsichtig abgehoben, um die Wurzeloberfläche mit schwacher Vergrößerung (in dieser Studie 4,5-fach) zu betrachten. Bei der zweiten Laserung wird das Blutkoagulum gefördert, das die Grundlage für die parodontale Wundheilung bildet.

Schlussfolgerungen

Diese Studie liefert weitere Belege dafür, dass nach der LANAP-Behandlung eine parodontale Regeneration stattfinden kann. Wichtig ist, dass die apikale Zahnsteinkerbe eventuell nicht exakt so platziert wurde, wie es der Definition der parodontalen Regeneration entspricht.

Danksagung

Diese Studie wurde durch ein Forschungsstipendium von Millennium Dental Technologies finanziert.

Literatur

1. Cobb CM, Low SB, Coluzzi DJ. Lasers and the treatment of chronic periodontitis. *Dent Clin North Am* 2010;54:35–53.
2. Schwartz F, Aoki A, Sculean A, Becker J. The impact of laser application on periodontal and peri-implant wound healing. *Periodontology* 2000 2009;51:79–108.
3. Radvar M, MacFarlane TW, MacKenzie D, Whitters CJ, Payne AP, Kinane DF. An evaluation of the Nd:YAG laser in periodontal pocket therapy. *Br Dent J* 1996;180:57–62.
4. Gold SI, Vilardi MA. Pulsed laser beam effects on gingiva. *J Clin Periodontol* 1994;21:391–396.
5. Neil NM, Mellonig JT. Clinical efficacy of the Nd:Yag laser for combination periodontitis therapy. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1997;9(suppl):1–5.
6. Aoki A, Ando Y, Watanabe H, Ishikawa I. In vitro studies on laser scaling of subgingival calculus with an erbium:YAG laser. *J Periodontol* 1994;65:1097–1106.
7. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, et al. Treatment of periodontal pockets with a diode laser. *Lasers Surg Med* 1998;22:302–311.
8. Niemz, Markoff H. *Laser-Tissue Interaction, Fundamentals and Applications*, ed 3. New York: Springer, 2007:65.
9. Miyazaki A, Yamaguchi T, Nishikata J, et al. Effects of Nd:YAG and CO₂ laser treatment and ultrasonic scaling on periodontal pockets of chronic periodontitis patients. *J Periodontol* 2003;74:175–180.
10. Dilsiz A, Canakci V, Aydin T. The combined use of Nd:YAG laser and enamel matrix proteins in the treatment of periodontal infrabony defects. *J Periodontol* 2010;81:1411–1418.
11. Gregg RH, McCarthy DK. Laser ENAP for periodontal ligament regeneration. *Dent Today* 1998;17(11):86–89.
12. Gregg RH, McCarthy DK. Laser ENAP for periodontal bone regeneration. *Dent Today* 1998;17(5):88–91.
13. Garrett S. Periodontal regeneration around natural teeth. *Ann Periodontol* 1996;1:621–666.
14. Bowers GM, Chadroff B, Carnevale R, et al. Histologic evaluation of new attachment apparatus formation in humans. Part III. *J Periodontol* 1989;60:683–693.
15. Yukna RA, Mellonig JT. Histologic evaluation of periodontal healing in humans following regenerative therapy with enamel matrix derivative. A 10-case series. *J Periodontol* 2000;71:752–759.
16. Mellonig JT. Human histologic evaluation of a bovine-derived bone xenograft in the treatment of periodontal osseous defects. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:19–29.
17. Camelo M, Nevins ML, Schenk RK, et al. Clinical, radiographic, and histologic evaluation of human periodontal defects treated with Bio-Oss and Bio-Gide. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1998;18:321–331.
18. Nevins ML, Camelo M, Lynch SE, Schenk RK, Nevins M. Evaluation of periodontal regeneration following grafting intrabony defects with Bio-Oss collagen: A human histologic report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:9–17.
19. Camelo M, Nevins ML, Schenk RK, Lynch SE, Nevins M. Periodontal regeneration in human Class II furcations using purified recombinant human platelet-derived growth factor-BB (rhPDGF-BB) with bone allograft. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:213–225.
20. Mellonig JT, Valderrama P, Gregory HJ, Cochran DL. Clinical and histologic evaluation of non-surgical periodontal therapy with enamel matrix derivative: A report of four cases. *J Periodontol* 2009;80:1534–1540.
21. Donath K, Breuner G. A method for the study of undecalcified bones and teeth with attached soft tissues. The Säge-Schliff (sawing and grinding) technique. *J Oral Pathol* 1982;11:318–326.
22. Yukna RA, Carr RL, Evans GH. Histologic evaluation of an Nd:YAG laser-assisted new attachment procedure in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:577–587.
23. McGuire MK, Scheyer ET. Laser-assisted flapless crown lengthening: A case series. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31:357–364.
24. Harrel SK. A minimally invasive surgical approach for periodontal regeneration: Surgical technique and observations. *J Periodontol* 1999;70:1547–1557.
25. Harrel SK, Wilson TG, Nunn ME. Prospective assessment of the use of enamel matrix proteins with minimally invasive surgery. *J Periodontol* 2005;76:380–384.
26. Cortellini P, Tonetti MS. Minimally invasive surgical technique and enamel matrix derivative in intra-bony defects. I: Clinical outcomes and morbidity. *J Clin Periodontol* 2007;34:1082–1088.
27. Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R. Endoscopically assisted tunnel approach for minimally invasive corticotomies: A preliminary report. *J Periodontol* [epub ahead of print 26 September 2011].
28. Cortellini P, Tonetti MS. Improved wound stability with a modified minimally invasive surgical technique in the regenerative treatment of isolated interdental intrabony defects. *J Clin Periodontol* 2009;36:157–163.
29. Cortellini P, Tonetti MS. Clinical and radiographic outcomes of the modified minimally invasive surgical technique with and without regenerative materials: A randomized-controlled trial in intrabony defects. *J Clin Periodontol* 2011;38:365–373.