

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie und Aufnahme
Westdeutsche Kieferklinik
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Heinrich-Heine Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. J. Becker

Der Einfluss fluoreszenz-gesteuerter Er:YAG-Laserstrahlung auf
parodontal geschädigte Wurzeloberflächen

Dissertation

**Zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnmedizin
Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf**

vorgelegt von

Saskia Janßen-Venghaus

2006

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Bernd Nürnberg
Dekan

Referent: Priv.-Doz. Dr. Schwarz

Korreferent: Prof. Dr. Zimmer

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Definition	1
1.2 Häufigkeit	1
1.3 Ursachen und zusätzliche Risikofaktoren	2
1.4 Symptome	4
1.5 Diagnose	6
1.6 Therapie	9
1.6.1 Ziel der Therapie	9
1.6.2 Initialbehandlung	10
1.6.3 Geschlossene Kürettage	10
1.6.4 Parodontalchirurgie	11
1.6.5 Laserbehandlung als neue Therapieform	13
1.6.6 Aufbau und Funktionsweise des Lasers	18
1.7 Zielsetzung und Arbeitshypothese	22
2. Material und Methode	23
2.1 Voraussetzungen	23
2.2 Durchführung	24
2.3 Messung verbliebener subgingivaler Konkremente	28
2.4 Histomorphometrische Bestimmung der Wurzeloberflächenstruktur	29
3. Ergebnisse	32
3.1 Flächen residualer subgingivaler Konkremente	32
3.2 Behandlungszeit	35
3.3 Oberflächenveränderungen	36
4. Diskussion	39

Abbildungsverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
Literaturverzeichnis	VII
Lebenslauf	XIV
Danksagung	XV
Abstract.....	XVI

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Risikofaktoren der Parodontitis	3
Abb. 2: Gingivitis	4
Abb.3: Parodontitis.....	6
Abb. 4: Klassifikation der Parodontalerkrankungen.....	8
Abb. 5: Grundlegender Aufbau eines Lasers	20
Abb. 6: Verteilung klinischer Parameter nach Randomisierung	25
Abb. 7: Er:YAG-Laser KEY3 [®] von KaVo	26
Abb. 8: Tiefenmessung der Oberflächenveränderung.....	30
Abb. 9: Messung verbliebener Konkremeente	32
Abb. 10: Zusammenhang von Taschentiefe und Flächen verbliebener Konkremente.....	34
Abb. 11: Behandlungszeiten	35
Abb. 12: Tiefe der Oberflächenveränderungen	36
Abb. 13: Einfluß verschiedener Behandlungsverfahren auf die Oberflächenmorphologie.....	38

Abkürzungsverzeichnis

C	Cementum
CAL	Clinical Attachment Level
CPITN	Community Periodontal Index of Treatment Needs
D	Dentin
ERL	Erbium:Yttrium Aluminium Granat Laser
Er:YAG	Erbium:Yttrium Aluminium Granat
GaAlAs	Gallium Aluminium Arsenid
GaAs	Gallium Arsenid
GR	Gingiva Recession
HeNe	Helium Neon
Ho:YAG	Holmium:Yttrium Aluminium Granat
InGaAsP	Indium Gallium Arsenid Phosphat
Nd:YAG	Neodym:Yttrium Aluminium Granat
PD	Probing Pocket Depth
PDL	Parodontales Ligament
PSI	Parodontaler Screening Index
RSC	Flächen residualer Konkremente
SRP	Scaling and Root Planing
UC	Untreated Control Group
VUS	Vector TM Ultrasonic System

1. Einleitung

1.1 Definition

Parodontitis ist eine durch Mikroorganismen verursachte, lokale Entzündung des Parodonts¹. Im Gegensatz zur Gingivitis, einem entzündlichen Prozess des Zahnfleisches, geht diese mit einem zusätzlichen bindegewebigen Attachmentverlust und Knochenabbau, sowie der Umwandlung des Saumepithels in ein Taschenepithel einher. Die Gingivitis ist häufig Vorstufe der Parodontitis, wobei nicht aus jeder Gingivitis eine Parodontitis entstehen muss. (Hellwig et al. 1999, Wolf et al. 2004)

Während die Gingivitis manchmal sogar über Jahre auf einem konstanten Level bestehen kann, handelt es sich bei der Parodontitis um eine schubweise verlaufende Erkrankung, bei der sich akute Phasen (Exazerbation) mit inaktiven Phasen (Stagnation) abwechseln. In der akuten Phase nimmt die Anzahl der gramnegativen, anaeroben, motilen Keime zu. Diese spezifischen Keime sind in der Lage, parodontales Gewebe zu infiltrieren; dieses antwortet auf die mikrobielle Invasion mit der Ausbildung von Mikronekrosen, wodurch es Stück für Stück zu einem bindegewebigen und knöchernen Attachmentverlust kommt. In Phasen der Stagnation bleibt ein weiterer Verlust der bindegewebigen und knöchernen Strukturen aus. (Wolf et al. 2004)

1.2 Häufigkeit

Die Gingivitis gehört zu den häufigsten Infektionskrankheiten des Menschen, oftmals entwickelt sich daraus eine Parodontitis. So machen diese entzündlichen Formen ca. 90% aller marginalen Parodontopathien aus. Ab dem vierzigsten Lebensjahr

¹ Unter Parodontium versteht man sowohl das Gingiva-Epithel, als auch die knöchernen und bindegewebigen Strukturen des Zahnhalteapparates, die einen Zahn umgeben (Herforth 1997).

gehen mehr Zähne durch Parodontitis als durch Karies verloren. (Herforth 1997)

Vor allem in Lebensabschnitten, die mit hormonellen Umstellungen verbunden sind, wie z.B. der Pubertät oder einer Schwangerschaft, kann es verstärkt zum Ausbruch einer Parodontitis kommen, da die Reaktionslage des Gefäßbindegewebes ungünstig beeinflusst werden kann. (Herforth 1997)

1.3 Ursachen und zusätzliche Risikofaktoren

Hauptursache für die Entstehung einer Parodontitis bilden Mikroorganismen, die ober- und unterhalb des Zahnfleischrandes liegen. Neuere Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass nicht allein das Vorhandensein pathogener Bakterien, sondern auch diverse Wirtsfaktoren ausschlaggebend für den Ausbruch einer Parodontitis sind. Somit stellt die Parodontitis eine opportunistische Infektion dar, d.h. Keime werden erst dann für den Wirt pathogen, wenn gleichzeitig bestimmte Voraussetzungen, wie die weiter unten beschriebenen Risikofaktoren, gegeben sind. (Herforth 1997, Wolf et al. 2004)

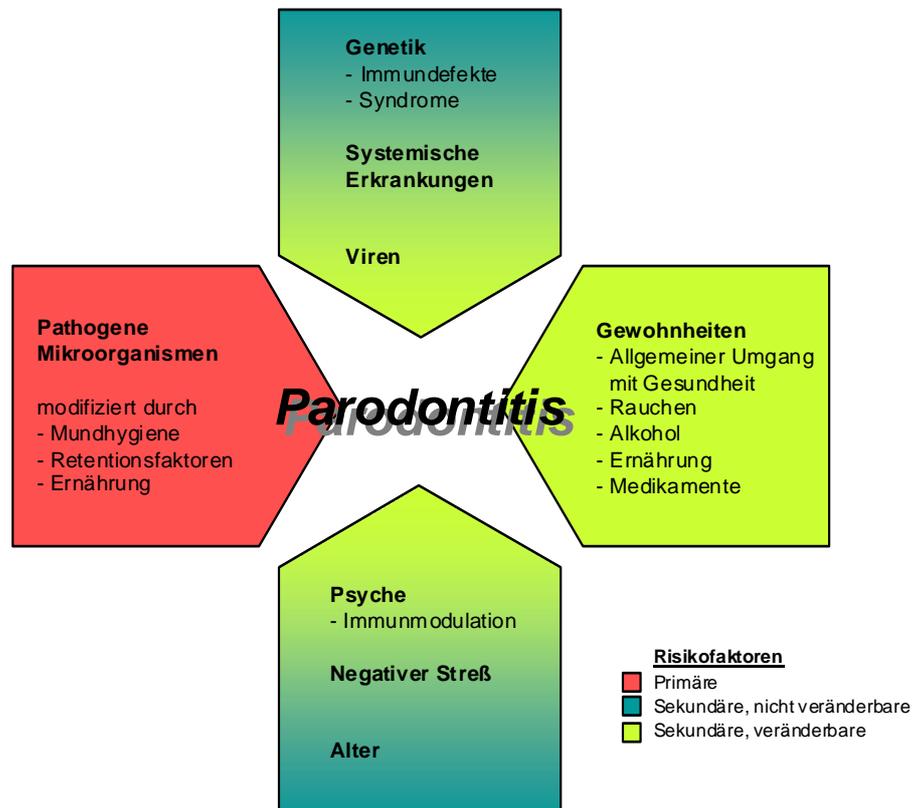
Zu den eine Parodontitis verursachenden Mikroorganismen gehören nach heutigem Kenntnisstand vor allem Gramnegative, u.a. *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, *Tannerella forsythensis* und *Porphyromonas gingivalis*, wobei sowohl die Menge als auch die Virulenz der Mikroorganismen entscheidend sind. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

Zwar bildet das Vorhandensein pathogener Keime eine unabdingbare Voraussetzung für die Entstehung einer Parodontitis, jedoch sind sekundäre Risikofaktoren ebenso wichtig für die Empfänglichkeit, den Krankheitsverlauf und den Schweregrad der Erkrankung. Dabei unterscheidet man zwischen genetischen Faktoren, wie Immundefekten oder Syndromen, verhaltensbedingten Faktoren, wie Rauchen oder Alkoholkonsum, und die Psyche beeinflussenden Faktoren, wie z.B. Stress. (Wolf et al. 2004)

Die folgende Abbildung 1 gibt einen Überblick über das multiple Zusammenspiel

ursächlicher Faktoren der Parodontitis.

Abb. 1: Risikofaktoren der Parodontitis²



So kann es beispielsweise im Fall von Immundefekten zu einer überschießenden oder ausbleibenden Immunantwort des Wirtes kommen. Das Immunsystem kann wiederum durch Stress negativ beeinflusst werden. (Wolf et al. 2004)

Der Konsum von Tabakprodukten, einem der veränderbaren Risikofaktoren, wirkt direkt schädigend auf das Parodont, da es unter anderem zu einer lokalen Reizung der Gingiva und einem reduzierten Stoffwechsel im Gewebe kommt. Auch ein Mangel an Speichel, Mundatmung oder Parafunktionen begünstigen die Entwicklung der Erkrankung. (Wolf et al. 2004)

² In Anlehnung an (Wolf et al. 2004).

Somit handelt es sich bei der Parodontitis also um ein Krankheitsbild, das durch multifaktorielle Ursachen ausgelöst wird. (Wolf et al. 2004)

1.4 Symptome

Zu den ersten Anzeichen einer Gingivitis gehört die Blutung auf Sondierung. Später folgen eine deutliche Rötung und entzündlich-ödematöse Schwellungen der Gingiva. Diese Symptome sind auf eine Erweiterung der Blutgefäße mit verstärkter Durchblutung und durchlässigen Gefäßwänden zurückzuführen. (Hellwig et al. 1999, Wolf et al. 2004)

Bei schweren Formen kann es zu spontanen Blutungen kommen, wobei jedoch sogar schwerste Ausprägungen der Gingivitis bei Behandlung im Gegensatz zur Parodontitis reversibel sein können. (Wolf et al. 2004)

Abbildung 2 zeigt die typischen Merkmale einer Gingivitis.

Abb. 2: Gingivitis



Es ist zu beachten, dass sowohl Gingivitis als auch Parodontitis, bedingt durch ihre Natur als chronische Erkrankungen, häufig zunächst schmerzfrei verlaufen und daher oftmals erst sehr spät erkannt werden. (Herforth 1997)

Zu den Hauptsymptomen einer Parodontitis gehören, neben der Entzündung der Gingiva, Knochenschwund und die Bildung einer echten Tasche. Echte Taschen gehen mit einem Attachmentverlust einher, wobei das Kriterium für eine echte Tasche die Tiefenproliferation des Saumepithels und dessen Umwandlung in ein Taschenepithel ist. Echte Taschen können in supraalveoläre Taschen, bei gleichmäßigem horizontalem Knochenschwund, und infraalveoläre Taschen, bei vertikalem Knochenschwund, unterteilt werden. (Wolf et al. 2004)

Findet man zu Beginn einer Parodontitis meist einen horizontalen Knochenabbau, so kommt es im weiteren Verlauf immer häufiger zu vertikalen Einbrüchen. Ausschlaggebend hierfür ist die Morphologie der Knochensepten, wobei der Knochenabbau zusätzlich durch schlechte Mundhygiene, Eng- oder Kippstände, Fehlbelastungen durch Funktionsstörungen oder spezifische Bakterien begünstigt wird. Von therapeutischer Wichtigkeit ist die Form der Knochentasche, da sie um so leichter zu therapieren ist, je weniger knöchernen Wände zerstört sind. (Wolf et al. 2004)

Kommt es im Bereich von Furkationen zu einem knöchernen Verlust, so stellt dieser Furkationsbefall eine zusätzliche Retentionsstelle für Mikroorganismen dar. (Wolf et al. 2004)

Darüber hinaus ist die Aktivität der Tasche von besonderer Bedeutung, da beispielsweise eine Blutung auf Sondierung oder Eiterabfluß Anzeichen für eine aktive Parodontitis sind. (Wolf et al. 2004)

Letztendlich können sowohl Zahnwanderungen als auch –kippen oder Lockerungen resultieren, letztere zum einen bedingt durch den massiven Verlust zahntragenden Gewebes, zum anderen durch die qualitative Veränderung desselben. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

Abbildung 3 zeigt einige klassische Merkmale der Parodontitis, wie z.B. Beläge, Zahnstein, Zahnfleischrückgang, Zahnwanderung und Zahnverlust.

Abb.3: Parodontitis



Die Parodontitis ist selten eine generalisierte Erkrankung. Vielmehr sind häufig einzelne Zahngruppen geschädigt, allen voran die Oberkiefer-Molaren und Frontzähne. (Wolf et al. 2004)

1.5 Diagnose

Zur Untersuchung einer Parodontitis gehört neben der ausführlichen Anamnese zunächst die Messung der Sondierungstiefe, wobei allein die Messung dieser mit Hilfe einer PA-Sonde kein Maß für den Attachmentverlust ist. Sie gibt nur dann Auskunft über den Attachmentverlust, wenn die Margo der Gingiva auf normaler Höhe, entlang der Schmelz-Zement-Grenze, verläuft. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

Weiterhin wird der Grad der Furkationsbeteiligung mit Hilfe einer gebogenen Sonde gemessen, um sich einen Überblick über freiliegende Wurzelabschnitte zu verschaffen. (Wolf et al. 2004)

Ergänzend zu diesen Untersuchungen wird ein vollständiger Röntgenstatus angefertigt, um vor allem den Verlauf des interdentalen Knochens beurteilen zu können. Dabei kann es durchaus zu Differenzen zwischen den röntgenologischen und den klinisch messbaren Ergebnissen kommen. (Schweizer & Rateitschak 1972, Wolf et al. 2004)

Fakultativ kann ein mikrobieller Test durchgeführt werden, der eine Keimbestimmung ermöglicht. Mit Hilfe dieser Bestimmung kann gegebenenfalls eine ergänzende Antibiotika-Therapie auf den spezifischen Bakterientypus ausgerichtet werden. Da diese Testmethoden jedoch sehr zeitaufwendig und kostspielig sind, sind sie hauptsächlich bei Patienten mit aggressiver Parodontitis, systemischen Erkrankungen oder bei schwer einzustufenden Fällen indiziert. Außerdem können Tests durchgeführt werden, bei denen Blut bzw. Sulkusflüssigkeit auf spezielle Marker untersucht werden, die Auskunft über bestimmte Wirtsfaktoren geben können. (Wolf et al. 2004)

Hilfreich sowohl für epidemiologische Untersuchungen, aber auch für die individuelle Diagnostik eines Patienten, ist die Erhebung bestimmter Indizes. Zu diesen gehört der Plaqueindex, der durch die Erfassung gingivaler Beläge wichtig für die Feststellung einer Gingivitis ist und Auskunft über die Mundhygiene des Patienten gibt. Auch der Gingivaindex ist von großer Bedeutung. Er bestimmt die Blutung nach Sondierung und gibt somit Auskunft über das Vorhandensein einer Entzündung. Weiterhin ist noch der CPITN³ zu erwähnen, der einerseits den Schweregrad der Gingivitis bzw. Parodontitis erhebt, andererseits diesem die notwendige Therapie zuordnet. Für die zahnärztliche Praxis ist mittlerweile jedoch der PSI⁴, eine Modifizierung des CPITN, von größerer Bedeutung. Er gibt dem Behandler rasch

³ Community Periodontal Index of Treatment Needs

⁴ Parodontaler Screening Index

Auskunft über den Zustand des Parodonts und erleichtert die Entscheidungsfindung in Bezug auf die zu wählenden Therapiemaßnahmen. (Wolf et al. 2004)

All diese Indizes haben den Vorteil, dass sie objektiv und reproduzierbar sind. Sie geben auch im Verlauf einer Therapie Auskunft über deren Erfolg und die Motivation des Patienten. (Wolf et al. 2004)

Die alte Klassifikation teilte die parodontalen Erkrankungen in fünf Gruppen ein und gliederte sie vor allem nach dem Alter des Patienten bei Erkrankungsbeginn und nach dem Verlauf der Krankheit. (Wolf et al. 2004)

Seit 1999 gibt es eine neue Aufteilung in acht Hauptformen der Parodontalerkrankungen. Diese werden nochmals unterteilt nach ihrer Ausbreitung, ob lokalisiert oder generalisiert, und nach ihrem jeweiligen Schweregrad. (Wolf et al. 2004)

Abb. 4: Klassifikation der Parodontalerkrankungen⁵

Typ	Klassifikation 1999 der Parodontalerkrankungen
I	gingivale Erkrankungen
II	chronische Parodontitis
III	aggressive Parodontitis
IV	Parodontitis als Manifestation einer Systemerkrankung
V	nekrotisierende Parodontalerkrankungen
VI	Abszesse des Parodonts
VII	Parodontitis im Zusammenhang mit endodontischen Läsionen

⁵ (Wolf et al. 2004)

Die etablierte Gingivitis kann je nach Ausprägung in eine leichte, mittlere oder schwere Form differenziert werden. Während es bei der leichten Gingivitis lediglich zu einer geringen Rötung und Schwellung sowie dem Verlust der Stippelung der Gingiva kommt, zeichnet sich die mittelschwere Form durch deutliche Rötung, eine ödematöse Schwellung und Blutung bei Sondierung aus. Bei der schweren Variante werden diese Symptome zusätzlich von interdentalen Ulzerationen und Spontanblutungen begleitet. (Wolf et al. 2004)

Pathohistologisch nimmt im Verlauf von leichter zu schwerer Form das Entzündungszellinfiltrat stetig zu, kollagenes Bindegewebe geht dabei zugrunde. Das Saumepithel wandelt sich Stück für Stück in ein Taschenepithel um. (Wolf et al. 2004)

Zu den wichtigen Parodontitisformen gehören die chronische und die aggressive Form. Während die chronische Parodontitis etwa 85-95% aller Parodontalerkrankungen ausmacht, entfallen auf die aggressive Form lediglich 5-15%. Meist liegt die chronische Form lokalisiert, hauptsächlich an den Molaren, vor. In beinahe allen Fällen ist die konventionelle, nicht-chirurgische Therapie erfolgreich. Die aggressive Parodontitis tritt häufig schon bei sehr jungen Patienten auf und ist durch eine rasche Abfolge aus Stagnation und Exazerbation gekennzeichnet. Charakteristisch ist ein generalisierter Befall, sowie ein schneller Knochenrückgang. Therapeutisch kommt meistens eine Kombination aus instrumenteller Reinigung und systemischer Antibiotikagabe zur Anwendung. (Wolf et al. 2004)

1.6 Therapie

1.6.1 Ziel der Therapie

Bei der Behandlung einer Parodontitis steht die Beseitigung der supra- und subgingivalen Beläge, sowie die Schaffung sauberer, glatter Wurzeloberflächen im Vordergrund. Diese glatte Oberfläche bietet einerseits weniger Plaque-Retentionsstellen, andererseits erleichtert sie die Ausbildung eines neuen

Attachments. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

1.6.2 Initialbehandlung

Zur Erreichung dieses Ziels bedient man sich zunächst der Initialbehandlung, bei der mit einer ausführlichen Mundhygieneinstruktion und der Motivation des Patienten begonnen wird. Während dieser Phase lässt sich bereits die Compliance des Patienten einschätzen, die für einen Behandlungserfolg von großer Bedeutung ist. Dabei ist der Patient darauf aufmerksam zu machen, dass erkrankte Areale besonders schnell zu Blutungen neigen, aber besonders diese bei der täglichen Zahnpflege nicht geschont werden dürfen. Begleitend zur häuslichen Mundhygiene sollte dem Patienten der Einsatz antimikrobiell wirkender Spüllösungen, wie zum Beispiel Chlorhexidinpräparate, empfohlen werden. (Hellwig et al. 1999, Wolf et al. 2004)

Um dem Patienten die häusliche Mundhygiene überhaupt möglich zu machen, müssen vom Zahnarzt die Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Dazu gehören neben einer professionellen Zahnreinigung beispielsweise die Entfernung von Plaque-Retentionsstellen, wie überstehende Füllungsrän­der, oder die Beseitigung anderer Störungsfelder im Mundraum. (Wolf et al. 2004)

1.6.3 Geschlossene Kürettage

Nach abgeschlossener Initialbehandlung schließt sich konventionell die geschlossene Kürettage an. Dabei handelt es sich um ein nicht-chirurgisches Verfahren, welches bei leichten und mittelschweren Parodontitisformen mit Sondierungstiefen bis ca. 6 mm indiziert ist. Es wird nach dem so genannten SRP-Verfahren⁶ vorgegangen. Beim *deep scaling* werden weiche und harte Belege von der Wurzeloberfläche entfernt. Gleiches gilt für die oberflächlich gelegene endotoxinhaltige Wurzelzementschicht, deren Vorhandensein andernfalls eine

⁶ Scaling and Root Planing

Anheftung des parodontalen Halteapparates am Wurzelzement erschweren würde. Daraufhin erfolgt die Glättung der Wurzeloberfläche sowie abschließend die Ausschälung des Taschenepithels und des infizierten Gewebes. Durchgeführt wird dieses geschlossene Verfahren meist mit speziellen Parodontalinstrumenten, den Küretten. Diese entsprechen mit ihren unterschiedlichen Krümmungen der Zahnmorphologie. Wird lediglich die Wurzelreinigung bzw. -glättung angestrebt, so sind die einseitig geschliffenen Gracy-Küretten ausreichend. Im Gegensatz zu den beidseitig geschliffenen Universalküretten eignen sie sich allerdings nicht zur Ausräumung des Taschenepithels. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

Vorteil dieses gewebeschonenden Verfahrens, im Gegensatz zum chirurgisch offenen, ist die relativ geringe Blutungsneigung und die geringere Gingivaschrumpfung. Da die geschlossene Kürettage ohne Sicht ausgeführt werden muss, erfordert sie vom Behandler jedoch ein sehr genaues Tastgefühl. Durch systematisches Vorgehen von Quadrant zu Quadrant, unter Berücksichtigung aller Zahnflächen, kann gewährleistet werden, dass keine Wurzelpartie übersehen wird. (Rateitschak et al. 1984, Wolf et al. 2004)

1.6.4 Parodontalchirurgie

Bei schweren Formen der Parodontitis, mit besonders tiefen Taschen und nicht zugänglichen Wurzelabschnitten (z.B. Furkationsbeteiligung), sind dem nicht-chirurgischen Vorgehen jedoch Grenzen gesetzt. Liegen noch aktive Taschen vor, kommt die Parodontalchirurgie zum Einsatz, die eine Wurzelreinigung unter Sicht ermöglicht). Mit Hilfe des chirurgischen Eingriffs versucht man die Regeneration parodontaler Gewebe anzuregen. (Hellwig et al. 1999, Wolf et al. 2004)

Knochenersatzmaterialien und Matrixproteine werden immer häufiger angewendet, wobei der Erfolg dieser Methoden von Patient zu Patient unterschiedlich ist. Gleichzeitig können auch Krankheitssymptome und -folgen, wie z.B. Knochendefekte, korrigiert werden. Dies erleichtert dem Patienten zukünftig vor allem die interdentale Mundhygiene. Weiterhin kann durch die Modellierung des

alveolaren Knochens und geeignete Lappenrepositionierung der Gingivaverlauf modelliert werden. Dies hat sowohl eine bessere Ästhetik als auch eine einfachere Mundhygiene zur Folge. (Wolf et al. 2004)

Vorausgehen muss der Parodontalchirurgie stets eine Vorbehandlung mit Motivation, Instruktion und professioneller Zahnreinigung. Insbesondere die Kooperationsbereitschaft des Patienten und dessen aktive Mitarbeit während der Initialphase sind Grundvoraussetzungen für den sinnvollen Einsatz chirurgischer Maßnahmen. Günstig ist eine bereits durchgeführte geschlossene Therapie, da verminderte Resttaschen, eine geringere Menge an subgingivalen Belägen und geringere Blutungen den chirurgischen Eingriff, wenn überhaupt noch notwendig, erleichtern. Generell ist zu beachten, dass diese Therapieform sehr zeitaufwendig und anstrengend für den Behandler ist. Zudem führt jeder Eingriff zu einem lokalen Trauma beim Patienten, so dass die Behandlung auf die Zähne mit aktiven Resttaschen beschränkt werden sollte. (Hellwig et al. 1999, Wolf et al. 2004)

Die Entscheidung über die Anwendung der Parodontalchirurgie ist im Wesentlichen von drei Faktoren abhängig:

- Typ der Parodontitis, in diesem Fall die aggressive Form
- hoher Schweregrad der Parodontitis und
- ungünstige Morphologie von Zahn und Kieferknochen,

wobei allerdings nicht notwendigerweise alle drei Faktoren gleichzeitig vorliegen müssen. Es existiert eine Vielzahl von chirurgischen Verfahren zur Behandlung der Parodontitis, die häufig auch bei einem Patienten miteinander kombiniert werden müssen. Zu diesen gehören unter anderem die Access-Flap-Operationen, zu denen auch der modifizierte Widmann-Lappen zählt. Ziel ist hierbei die Freilegung der erkrankten Wurzeloberfläche durch Lappenbildung. Ebenfalls werden Keilexzisionen im Bereich von endständigen bzw. einzeln stehenden Zähnen durchgeführt, da die dort liegenden Taschen für die manuelle Reinigung häufig schwer zugänglich sind.

Die regenerativen Methoden versuchen mit Hilfe von Knochen, Knochenersatzmaterialien, Barrieremembranen oder Matrixproteinen verloren gegangenes Gewebe wiederaufzubauen. Schließlich besteht noch die Möglichkeit der resektiven Eingriffe, zu denen Gingivektomie und Gingivoplastik gehören. Erstere ist heute nur noch selten gebräuchlich, wesentlich häufiger werden regenerative Verfahren eingesetzt. Dagegen findet die Gingivoplastik bei der Abtragung und Modellierung hyperplastischer Gingiva auch heute noch Anwendung. (Wolf et al. 2004)

Abschließend ist festzuhalten, dass nur bei einer kleinen Gruppe der Patienten mit parodontalen Erkrankungen schwere Destruktionen vorliegen, die komplexe parodontalchirurgische Maßnahmen rechtfertigen. (Hellwig et al. 1999)

1.6.5 Laserbehandlung als neue Therapieform

Auf der Suche nach alternativen Therapiemöglichkeiten wurde schon kurz nach der Erfindung des Lasers dessen Anwendbarkeit in der Zahnmedizin erprobt. Bereits 1964 wurde die Wirkung des Lasers an Schmelz und Dentin experimentell untersucht, wobei anfangs CO₂-Laser zum Einsatz kamen, welche unerwünschte thermische Schädigungen an der Pulpa hervorriefen. So brachten unzureichende Leistungen oder mangelhafte Applikatoren starke Einschränkungen bei der klinischen Anwendung mit sich. Lange Zeit konnte sich der Laser in der Zahnmedizin nicht durchsetzen, da es an ausreichend vielen Studien fehlte, die seine Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren verdeutlichten. Mittlerweile wird systematischer untersucht, in welchen Bereichen der Zahnheilkunde der Laser sinnvoll zum Einsatz gebracht werden kann und welchen Anforderungen er in diesen entsprechen muss. So bedient man sich schon seit längerem, beispielsweise in der Oralchirurgie, hauptsächlich des CO₂-Lasers (Wellenlänge 10,6 µm), des Nd:YAG-Lasers⁷ (Wellenlänge 1.064 nm) und des Diodenlasers (Wellenlänge 810 nm). Da

⁷ Neodym:Yttrium Aluminium Granat

die Strahlung des CO₂-Lasers schon in den obersten Gewebeschichten aufgrund ihrer hohen Absorption in Wasser absorbiert wird, erhält man eine hohe, gut kontrollierbare Schneidleistung im Weichgewebe. Außerdem führen diese Systeme aufgrund von Koagulationen der Blutgefäße zu einem blutarmen Operationsfeld. Weiterhin wird ihnen ein hohes bakterizides Potenzial zugeschrieben. (Melcer et al. 1984, Moritz et al. 1998, Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999, Rechmann 2002, Schwarz et al. 2005)

Direkter oder indirekter Kontakt des Laserstrahls mit Knochen oder Zahnhartsubstanz muss jedoch strengstens vermieden werden, da es ansonsten zu thermischen Schädigungen kommen kann. Außerdem scheint der Nd:YAG-Laser für die Entfernung von Konkrementen an parodontal geschädigten Zähnen ungeeignet zu sein, da bei der Laseranwendung auch erhebliche Zement- bzw. Dentinschädigungen festgestellt wurden. Lediglich begleitend zur konventionellen Therapie kann der Diodenlaser sinnvoll eingesetzt werden, wobei Untersuchungen ergaben, dass mit dem Diodenlaser keine effektive Konkremententfernung weder in in-vivo- noch in in vitro-Studien gelang. Vielmehr führte der Einsatz dieses Lasertyps in vivo zu Schäden an den oberflächlichen Strukturen der Zahnhartsubstanz. (Radvar et al. 1995, Israel et al. 1997, Moritz et al. 1998, Schwarz et al. 2003b)

Demgegenüber gewinnt der Er:YAG⁸-Laser mit einer Wellenlänge von 2,94 µm in der Zahnmedizin zunehmend an Bedeutung. Hierbei handelt es sich um einen von Zharikov et al. im Jahr 1974 vorgestellten Festkörperlaser, dessen Wellenlänge mit der maximalen Absorption in Wasser übereinstimmt. Der Er:YAG-Laser erreicht die Ablation von Gewebesubstanz dadurch, dass der Wassergehalt im Gewebe bei Absorption kurzer Laserpulse einen sprungartigen Übergang vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand erfährt. Durch die resultierende Ausdehnung des Wassers wird kurzzeitig ein genügend hoher Druck erzeugt, um Gewebesubstanz abzutragen. Entscheidend für die zur Ablation benötigte Energiemenge ist dabei nicht die Verdampfungswärme der höherschmelzenden Gewebesubstanz, sondern

⁸ Erbium:Yttrium Aluminium Granat

die wesentlich niedrigere Verdampfungswärme des Wassers. Dieser Vorgang wird als thermo-mechanische Ablation bezeichnet. (Zharikov et al. 1975, Hibst & Keller 1989, Keller & Hibst 1989, Israel et al. 1997, Gutknecht 1999, Schwarz et al. 2005)

Die Gefahr der thermischen Überhitzung der Gewebe wird durch eine zusätzliche Wasserkühlung verhindert, welche einerseits direkt das Gewebe kühlt und andererseits durch Absorption eine überschüssige Laserenergie reduziert. Außerdem hat die extrem hohe Absorption des Er:YAG-Lasers in Wasser eine Minimierung der thermischen Nebenwirkungen in Gestalt von Überhitzung im angrenzenden Gewebe zur Folge. (Schwarz et al. 2005)

Durch seine im Millisekundenbereich liegende Pulsdauer wird keine optimale Blutstillung erreicht, da größere Blutgefäße nicht koagulieren können. Andererseits ermöglicht gerade diese extrem kurze Pulsdauer die Bearbeitung von Zahnhartsubstanz ohne eine Schädigung der Pulpa zur Folge zu haben. Zusätzlich macht die Pulsdauer den Er:YAG-Laser zum einzigen Typen, der bisher in der Lage ist, Knochen zu schneiden. Speziell für die nicht-chirurgische Bearbeitung parodontaler Taschen wurde eine meißelförmige Faserspitze entwickelt. (Rechmann 2002, Schwarz et al. 2005)

Zunächst ergaben verschiedene in-vitro-Untersuchungen der letzten Jahre, dass der Er:YAG-Laser die Entfernung von Konkrementen an parodontal geschädigten Zähnen ermöglicht, ohne dabei allerdings selektiv vorzugehen. So gelang es Aoki et al (1994) zum ersten Mal, die Wirksamkeit des Er:YAG-Lasers in einer in vitro-Studie unter Beweis zu stellen. Zum Einsatz kam der gepulste Er:YAG-Laser mit verschiedenen Energieeinstellungen und mit bzw. ohne zusätzliche Wasserkühlung. Bei einer Energieeinstellung von 30 mJ/Puls und 10 Hertz im Kontaktmodus, unterstützt durch eine zusätzliche Wasserkühlung, konnte die Entfernung von subgingivalen Konkrementen festgestellt werden. Allerdings wurden stellenweise nicht nur Konkreme, sondern auch Zement und Dentin abgetragen. Die eingesetzte Wasserkühlung erwies sich als geeignet zur Vermeidung thermischer Schäden. (Aoki et al. 1994)

Weitere Versuche zeigten, dass sowohl eine niedrige Energieeinstellung als auch die richtige Handhabung der Laserspitze die Gefahr der Zement- oder sogar Dentinbeschädigung minimieren. So stellten Folwaczny et al. (2001) den geringsten Zementabtrag bei einem Anstellwinkel der Faserspitze von 15° zur Zahnoberfläche fest. (Folwaczny et al. 2000, 2001)

Vergleiche zwischen dem Er:YAG-Laser und dem Ultraschallscaling wiesen beiden eine gleich gute Konkremententfernung, dem Laser jedoch den höheren Zementabtrag zu. Dieser lag durchschnittlich bei 15 bis 30 µm, maximal sogar bei 80 µm mit daraus resultierender Dentinfreilegung. (Aoki et al. 2000)

Während mehrfach festgestellt wurde, dass es bei in vitro-Experimenten durch den Er:YAG-Laser zu Kraterbildungen und Zementbeschädigungen kam, konnte jedoch keine Veränderung der chemischen Struktur der Wurzelproteine ausgemacht werden. (Gaspirc & Skaleric 2001)

Um nun die Auswirkung des Er:YAG-Lasers am Zahn, umgeben vom natürlichen Parodontium, zu untersuchen, wurden einige Studien durchgeführt, die die Veränderung der Oberflächenmorphologie des Zahnes nach Lasereinsatz sowohl in vitro als auch in vivo miteinander vergleichen. Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes wurden diese Strukturveränderungen anhand einer definierten Skala bewertet. Während die in vitro behandelten Wurzeloberflächen je nach Höhe der Energieeinstellung unterschiedlich stark ausgeprägte Oberflächenveränderungen aufwiesen, bei 180 mJ sogar mit Dentinbeteiligung, konnte bei den in vivo behandelten Zähnen eine glatte und homogene Oberflächenstruktur festgestellt werden. Die Faserspitze hinterließ bei den in vivo behandelten Zähnen, im Gegensatz zur in vitro-Gruppe, keine erkennbaren Spuren. (Schwarz et al. 2001a)

Eine weitere in vivo / in vitro Studie vergleicht unter anderem den Er:YAG-Laser mit konventionellen Handinstrumenten in Bezug auf die Effizienz der Konkremententfernung. Dabei konnte für beide nach morphometrischer Bestimmung der verbliebenen Konkreme ein ähnlich hohes Leistungsniveau festgestellt

werden. (Schwarz et al. 2003b)

Im Gegensatz dazu gibt es eine in situ-Studie, die nach konventionellem Scaling und Wurzelglätten eine bessere Konkremententfernung im Vergleich zur Behandlung mit dem Er:YAG-Laser ermittelt. Allerdings konnte nach der Behandlung mit Handinstrumenten eine höhere Oberflächenrauigkeit mit defekten Zementarealen beobachtet werden. All diese in vivo / in vitro-Vergleiche lassen vermuten, dass sich das Ablationsverhalten des Er:YAG-Lasers in vivo anders darstellt als in vitro. Möglicherweise ist die bei in vivo behandelten Zähnen auftretende Blutung für die differierenden Ergebnisse verantwortlich. (Eberhard et al. 2003)

Bezüglich der Beeinflussung der Zellproliferation durch den Er:YAG-Laser ergab eine in vivo-Untersuchung, dass nach Laserbestrahlung und anschließender Kultivierung in einer Lösung aus humanen PDL⁹-Fibroblasten eine höhere Zellproliferation stattfand als nach dem Einsatz von Handinstrumenten oder dem Ultraschallgerät. Vermutlich ist der so genannte *smear layer*, welcher sich nach Ultraschall- bzw. handinstrumenteller Behandlung als Schicht auf der Zahnhartsubstanz auflagert, für die verminderte Zellproliferation verantwortlich. Dieser *smear layer* ist nach Laseranwendung nicht zu finden, was ein Grund für die höhere Biokompatibilität des Lasers sein könnte.¹⁰ (Polson et al. 1984, Takeda et al. 1999, Schwarz et al. 2003a, Theodoro et al 2003)

Zwar konnte in mehreren Studien die bakterizide Wirkung des Er:YAG-Lasers nachgewiesen werden, jedoch scheint diese dem konventionellen SRP nicht überlegen zu sein. (Folwaczny et al. 2002b)

Eine weitere Studie vergleicht den Er:YAG-Laser mit Handinstrumenten, indem sowohl vor als auch nach der jeweiligen Behandlung verschiedene Indizes erhoben werden. Resultat dieser Untersuchung war eine deutliche Verbesserung der Parameter Blutung auf Sondierung, Taschentiefe und klinisches Attachmentniveau

⁹ Parodontales Ligament

¹⁰ Zum Thema der erneuten Gewebeanlagerung an behandelte Wurzeloberflächen vgl. allgemein (Albair et al. 1982) und (Lopez 1984).

in Folge der Behandlung mit dem Er:YAG-Laser. Zusätzliches Ergebnis dieser Studie war eine deutliche Zeitersparnis bei Benutzung des Lasers: die Laseranwendung benötigte lediglich etwa zwei Drittel der Zeit, die zur handinstrumentellen Reinigung erforderlich war. (Schwarz et al. 2001b)

Dass es sich bei der Behandlung durch den Laser um eine gute Alternative handelt, wird auch durch eine Patientenumfrage bestätigt. Insgesamt wurde die Laserbehandlung als deutlich angenehmer empfunden. Dies nicht zuletzt aufgrund eines deutlichen geringeren Schmerzniveaus als bei der manuellen Reinigung. (Moritz et al. 1997, Schwarz et al. 2005)

Um nun all diese positiven Eigenschaften des Er:YAG-Lasers bei der Therapie parodontal erkrankter Zähne nutzen zu können, wurde nach einem System gesucht, welches dem Laser die Unterscheidung zwischen subgingivalen Konkrementen und gesundem Wurzelzement ermöglichen sollte. Nach neueren Erkenntnissen soll ein speziell entwickelter Diodenlaser der Wellenlänge 655 nm diese Differenzierung gewährleisten. Das Prinzip dieses Diodenlasers beruht auf einer Autofluoreszenz bakterieller Stoffwechselprodukte, welche durch die Wellenlänge 655 nm hervorgerufen wird. Eine bereits vorliegende in vitro-Studie wies diesem Detektionssystem eine bessere Erkennung subgingivaler Konkremente als der PA-Sonde zu. (Folwaczny et al. 2004, Kurihara et al. 2004)

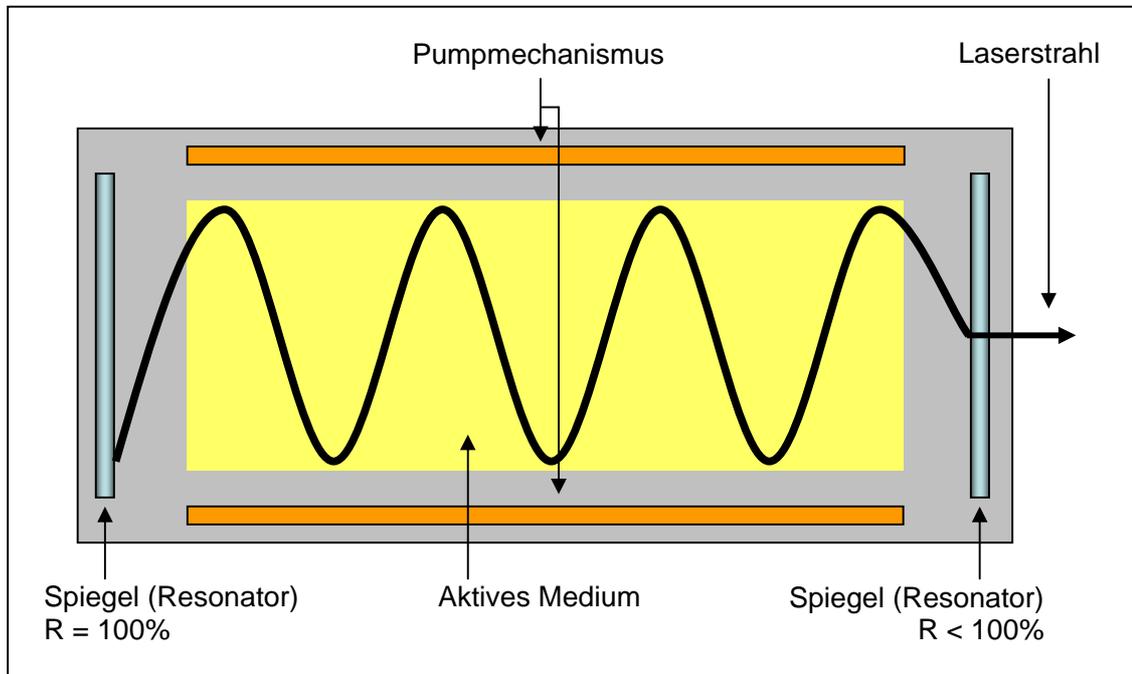
Schließlich wurde dieser Detektor in einen Er:YAG-Laser integriert, wobei der Er:YAG-Laser nur so lange aktiv ist, wie er ein positives Signal vom Diodenlaser bekommt. Dieser Mechanismus ermöglicht eine selektive Ablation durch den Er:YAG-Laser unter Schonung konkrementfreier Wurzelanteile.

1.6.6 Aufbau und Funktionsweise des Lasers

Die Abkürzung Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, dt. Lichtverstärkung durch induzierte Strahlungsemission) beschreibt im Wesentlichen die gesteuerte Wechselwirkung zwischen Photonen und Elektronen in der Hülle von

Atomen. Durch die Zuführung von Energie, das so genannte Pumpen, werden die Elektronen eines Atoms auf ein energetisch höheres Niveau befördert. Den physikalischen Gesetzen folgend würde ein solchermaßen angeregtes Elektron unter Energieabgabe wieder auf sein stabiles Energieniveau zurückkehren. Dieser Vorgang wird als spontane Emission von Strahlung bezeichnet. Bei der induzierten Emission von Strahlung werden die bereits angeregten Atome erneut von Photonen getroffen, dadurch fallen die Elektronen ebenfalls von ihrem energetisch höheren Level auf ihr Ursprungsniveau zurück. Dabei wird ein Photon emittiert, das in seinen Eigenschaften mit dem die Emission auslösenden Photon übereinstimmt. Dies bedeutet, dass beide Photonen über die gleiche Wellenlänge verfügen (Monochromasie), die Wellen räumlich und zeitlich phasengleich sind (Kohärenz) und parallel verlaufen (Kollimation). Die emittierte Energie wird in Form eines gebündelten Lichtstrahls nach außen geführt. Um die Wirkung zu verstärken, bewirken Spiegel im Inneren des Lasers einen mehrfachen Umlauf im Rahmen der stimulierten Emission, so dass möglichst viele Elektronen zur Energieabgabe angeregt werden. (Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999, Rechmann 2002)

Grundsätzlich besteht ein Laser aus dem Lasermedium, einem Spiegelsystem und einem Pumpmechanismus. (Romanos et al. 1999)

Abb. 5: Grundlegender Aufbau eines Lasers¹¹

Nach dem verwendeten Lasermedium unterscheidet man zwischen (Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999)

- Festkörperlaser (Er:YAG, Nd:YAG, Ho:YAG, Rubin)
- Flüssigkeitslaser (Farbstofflaser)
- Gaslaser (CO₂, Argonlaser, HeNe-Laser)
- Halbleiterlaser (Diodenlaser).

Der Festkörperlaser besteht aus dem Wirtskristall Yttrium-Aluminium-Granat (YAG), der mit optisch aktiven Ionen in Gestalt seltener Erden (Neodymium, Holmium, Erbium) besetzt ist. Die Anregungsenergie kann beim Festkörperlaser in sehr kurzer Zeit abgegeben werden, was eine extrem hohe Leistungsdichte ermöglicht. (Gutknecht 1999)

¹¹ In Anlehnung an (Gutknecht 1999).

Beim Farbstofflaser werden Farbstoffe beispielsweise durch eine Entladungslampe bestrahlt. Die Moleküle des Farbstoffs absorbieren dieses so genannte Pumplicht und strahlen in der Folge kohärentes Licht ab. Farbstofflaser finden eher in der Augenheilkunde bzw. der Dermatologie Anwendung. (Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999)

Bei den Gaslasern liegen meist Gemische aus verschiedenen Gasen als aktives Medium vor, sie werden durch einen optischen Pumpmechanismus oder eine elektrische Entladung angeregt. Der CO₂-Laser ist der bekannteste unter den Gaslasern. (Romanos et al 1999)

Zu den Halbleiterlasern oder Diodenlasern gehören z.B. der GaAlAs (Gallium-Aluminium-Arsenid)-Laser oder der GaAs (Gallium-Arsenid)-Laser. Derartige Halbleiter sind Kristalle, die aus periodisch angeordneten Atomen bestehen und eine elektrische Leitfähigkeit besitzen, welche zwischen Isolatoren und Metallen liegt. Obwohl diese Art der Laser recht klein ist, können sie relativ hohe Energieleistungen erreichen. (Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999)

Das Spiegelsystem (optischer Resonator) bewirkt die Oszillation des Lichtes im Lasermedium und daraus resultierend eine lawinenartige Verstärkung des Emissionsvorganges. (Gutknecht 1999)

Der Pumpmechanismus kann beispielsweise mittels elektrischer, chemischer oder optischer Einwirkung die unterschiedlichen, oben beschriebenen Lasermedien anregen. (Romanos et al. 1999)

Bei der Abgabe des Laserstrahles unterscheidet man im Wesentlichen zwischen der kontinuierlichen Leistungsabgabe (Dauerstrich-Betrieb) und der gepulsten Leistungsabgabe, bei der in sehr kurzen Pulsdauern sehr hohe Leistungen erreicht werden. Beide Betriebsmodi werden vom Pumpmechanismus und dem Lasermedium bestimmt. Während beispielsweise der Er:YAG-Laser im gepulsten Betriebsmodus mit sehr kurzer Pulsdauer benutzt wird, findet der CO₂-Laser sowohl im gepulsten als auch im Dauerstrichmodus Anwendung. (Gutknecht 1999, Romanos et al. 1999, Rechmann 2002)

1.7 Zielsetzung und Arbeitshypothese

Ziel der vorliegenden Studie ist es nun, das in 1.6.5 vorgestellte Lasersystem, bestehend aus Dioden- und Er:YAG-Laser, erstmals unter klinischen Bedingungen zu testen. Es wurden zur Extraktion vorgesehene, parodontal stark geschädigte Zähne ausgewählt und mit dem Lasersystem vor der Extraktion bei verschiedenen Energieeinstellungen behandelt. Konventionelle Handinstrumente, ein Ultraschallsystem und eine unbehandelte Gruppe von Zähnen dienten als Vergleichsgruppen. Einerseits soll in dieser Studie die Effektivität des Lasersystems bei verschiedenen Energiestufen getestet werden, indem die verbliebenen Konkremente morphometrisch bestimmt werden. Außerdem soll mit Hilfe histomorphometrischer Untersuchungen festgestellt werden, ob diese Art der Parodontaltherapie zu morphologischen Veränderungen der Zahnoberfläche führt. Neben neuen Erkenntnissen über das vorliegende Detektionsverfahren soll die Studie auch Aufschluß über eine geeignete Energieeinstellung des Er:YAG-Lasers geben.

Hypothese der Arbeit

- Das Leistungsniveau des Er:YAG-Lasers ist durch die Integration des Diodenlasers als unterstützendes und steuerndes Detektionssystem dem VectorTM-System und der handinstrumentellen Reinigung in Bezug auf die zu untersuchenden Kriterien, also beispielsweise Grad der Konkremententfernung und Ausmaß der Erhaltung der natürlichen Zahnstrukturen, überlegen.
- Die Untersuchung positioniert den Er:YAG-Laser als probates Mittel zur Behandlung parodontal geschädigter Zähne.

2. Material und Methode

2.1 Voraussetzungen

Die vorliegende Studie vergleicht drei verschiedene Therapieverfahren, die Behandlung mit Laser, Ultraschall und Handinstrumenten, zur Reinigung parodontal geschädigter Zähne. Daran nahmen insgesamt 12 Patienten der Westdeutschen Kieferklinik an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, davon 5 Männer und 7 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 44,8 Jahren, teil. Bei diesen stand die Extraktion mehrerer parodontal geschädigter, nicht erhaltungswürdiger, einwurzeliger Zähne bevor. Insgesamt wurden 72 Zähne in die Studie einbezogen. Patienten mit systemischen Erkrankungen, welche die Therapie beeinflussen könnten, wurden im Vorfeld von der Untersuchung ausgeschlossen. Außerdem mussten die zur Studie zugelassenen Zähne der Patienten die folgenden Kriterien erfüllen:

- Das Vorhandensein von Taschentiefen > 6 mm an mindestens zwei Zahnflächen (mesio-bukkal / mesio-lingual und disto-bukkal / disto-lingual), gemessen von der Grenze der Gingiva bis zum Taschenboden.
- Weiterhin durften die Wurzeloberflächen weder Karies noch Oberflächenbeschädigungen aufweisen.
- Es sollte in den letzten zwölf Monaten vor Durchführung der Studie keine Parodontalbehandlung erfolgt sein.
- Schließlich wurden keine Zähne mit Wurzelfrakturen oder anderen Anomalien zugelassen.

Vor Beginn der Studie wurden die Patienten über den gesamten Ablauf aufgeklärt und es wurden seitens der Patienten Einverständniserklärungen unterzeichnet.

Zudem wurde die Studie durch die Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität genehmigt.

2.2 Durchführung

Alle Behandlungsschritte wurden durch den gleichen erfahrenen Behandler durchgeführt, der mit allen drei Therapieverfahren bestens vertraut war. Zunächst wurden die zu extrahierenden Zähne einer professionellen Zahnreinigung unterzogen, um sie von supragingivalen Belägen zu befreien. Mit Hilfe einer kleinen, diamantierten Kugel (Durchmesser 1 mm) wurden die Zähne jeweils auf ihrer mesialen und distalen Wurzeloberfläche auf Höhe der gingivalen Grenze markiert. Diese Einkerbung legte den höchsten Punkt der Instrumentierung fest und war in späteren Untersuchungsschritten stets auffindbar. Alle nachfolgenden therapeutischen Schritte wurden unter Lokalanästhesie durchgeführt. Schließlich wurden die teilnehmenden Zähne nach dem Zufallsprinzip auf die nachfolgenden Testgruppen und eine Kontrollgruppe aufgeteilt.

Gruppe 1-3: Er:YAG-Laser (KEY3[®], KaVo, Biberach, Deutschland) mit drei verschiedenen Energieeinstellungen (100 mJ/Puls, 120 mJ/Puls, 140 mJ/Puls) [ERL 1-3]

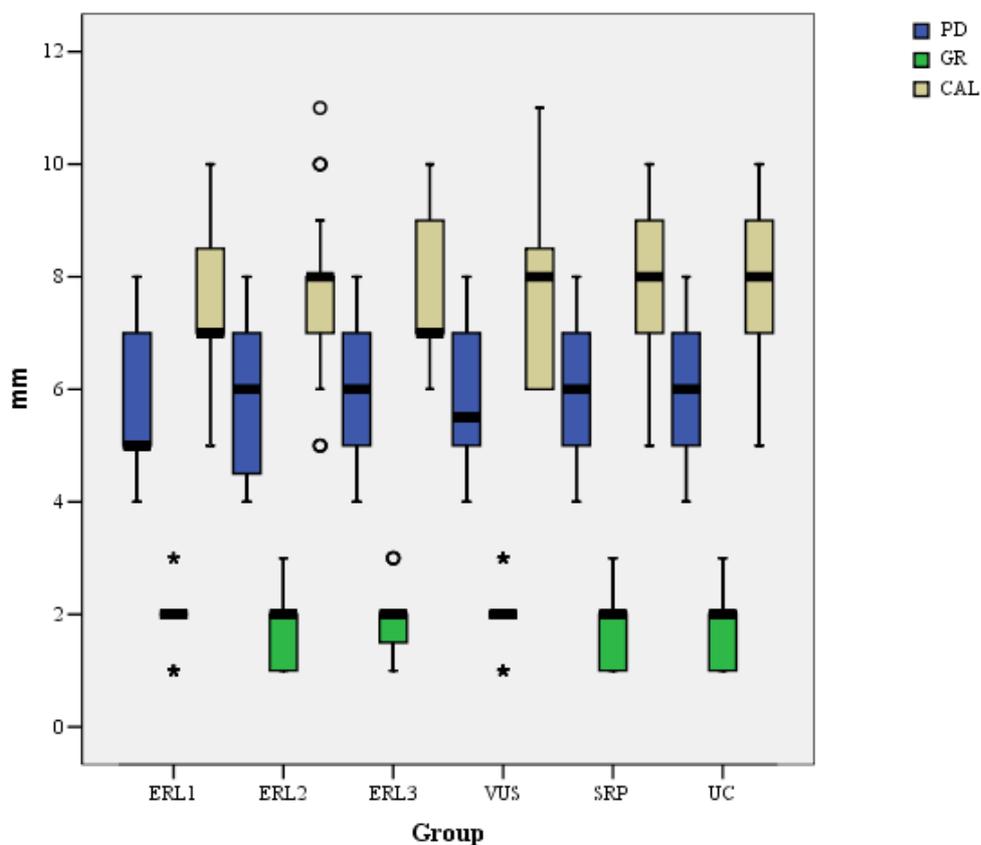
Gruppe 4: Ein spezielles Ultraschallsystem (Vector[™], Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland) [VUS]

Gruppe 5: Konventionelle Handinstrumente, Gracy-Küretten (Hu-Friedy Co., Chicago, Illinois, USA) [SRP]

Gruppe 6: Unbehandelte Kontrollgruppe [UC]

Der Randomisierungsprozeß, ausgeführt auf Basis eines computergenerierten Verteilungsprotokolls, führte in allen Gruppen zu vergleichbaren, durchschnittlichen klinischen Parametern, z.B. Taschentiefe (probing pocket depth, PD), Gingivarezession (gingiva recession, GR) oder klinisches Attachmentlevel (clinical attachment level, CAL). Die Verteilung der Parameter wird in Abbildung 6 dargestellt.

Abb. 6: Verteilung klinischer Parameter nach Randomisierung



Zum Einsatz kam ein Er:YAG-Laser, der im nicht sichtbaren, mittleren infraroten Spektralbereich eine Wellenlänge von 2,94 μm emittiert. Der Laser läuft mit einer Pulsdauer im Millisekundenbereich. Es wurde ein speziell für die parodontale Therapie entwickeltes Handstück (P2061, KaVo, Biberach, Deutschland) mit

Wasserkühlung, sowie eine meißelförmige Quarz-Glas-Faserspitze („blue tip“, KaVo, Biberach, Deutschland) mit einer Größe von 0,4 x 1,65 mm und einem Übertragungsfaktor von 0,85 verwendet. Die Energieeinstellungen lagen bei (1) 100 mJ/Puls, (2) 120 mJ/Puls und (3) 140 mJ/Puls jeweils mit einer Anzahl von 10 Pulsen/Sekunde. Die zugehörige Energie pro Puls lag an der Faserspitze bei (1) 85 mJ/Puls, (2) 102 mJ/Puls und (3) 119 mJ/Puls (Energiedichte pro cm² (1) 12,8 J, (2) 15,4 J und (3) 18,0 J). Die Instrumentierung erfolgte in parallelen Bahnen von koronal nach apikal mit einem Anstellwinkel der Faserspitze von 15° bis 20° zur Wurzeloberfläche.

Abb. 7: Er:YAG-Laser KEY3[®] von KaVo¹²



Die Aktivierung des Therapielasers ist dabei an ein positives Fluoreszenzsignal, das über einen InGaAsP-Diodenlaser erfasst wird, gekoppelt. Hierzu emittiert der

¹² KaVo, Biberach, Deutschland (Internetseite, 02.08.2006):
http://www.kavo.com/img_content/produkte/therapie_instrumente/laser3/laser3.jpg

Diodenlaser Strahlung in Form von rotem Licht mit einer Wellenlänge von 655 nm. Der Diodenlaserstrahl wird mit dem oben beschriebenen Handstück und der prismatisch geschnitten Glas-Faserspitze auf die Wurzeloberfläche aufgebracht. In der Folge löst die Strahlung Fluoreszenz in der bestrahlten, mineralisierten Substanz aus. Die Laserstrahlung wird in einer zentralen Faser zur meißelförmigen Glas-Faserspitze geleitet. Zusätzlich sind weitere Glasfasern um diesen zentralen Strang gruppiert, die das fluoreszierende Licht aufnehmen, das von dem bestrahlten Gewebe abgegeben wird. Die Laserbehandlung wird dann beendet, wenn das fluoreszierende Signal ausbleibt.

Während der Dauer der Therapie wurden sowohl vom Behandler als auch von Patient und Assistenz die vorgeschriebenen Schutzbrillen mit Filterwirkung getragen.

In der Vergleichsgruppe (4) fand ein speziell entwickeltes Ultraschallsystem Anwendung, wobei die Einstellung nach Herstellerangaben erfolgte. Dieses besitzt für die Bearbeitung parodontal geschädigter Zähne eine spezielle metallische Arbeitsspitze. Die vom Motor des Handstücks erzeugten Schwingungen werden über einen ringförmigen Resonanzkörper auf die Instrumentenachse umgelenkt. Dadurch entsteht eine lineare Instrumentenbewegung axial parallel zur Wurzeloberfläche, Taumelbewegungen werden verhindert. Die Energie des Instrumentes wird durch die die Spitze umgebende Hülle aus Wasser in die subgingival liegende Tasche weitergeleitet. Dabei wird das Wasser nicht als Aerosol versprüht, sondern zirkuliert um das Instrument und entfernt so gelöste Konkremente aus der Tasche. In Kombination mit dem Vector™ wird ein polierend wirkendes Fluid¹³ aus Hydroxylapatitpartikeln (< 10 µm) verwendet. Diese Partikel sollen für eine glatte Oberfläche sorgen.

Zur konventionellen Behandlung wurde ein Gracy-Küretten-Satz (Hu-Friedy Co., Chicago, Illinois, USA) benutzt. Diese einseitig geschliffenen Handinstrumente passen sich mit ihren unterschiedlichen Abwinklungen möglichst gut den verschiedenen Wurzelformen an und werden als Ziehinstrumente benutzt.

¹³ Vector™ Fluid Polish (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland)

Sowohl in Gruppe (4) als auch in Gruppe (5) beendete der erfahrene Behandler die Therapie, sobald die Wurzeloberfläche als gereinigt und geglättet bestimmt wurde. Um dieses festzustellen wurde in der VectorTM-Gruppe mit einer zugehörigen VectorTM-Sonde die Wurzeloberfläche vorsichtig abgetastet. Gleiches wurde mit einer Parodontalsonde (PCP12, Hu-Friedy Co., Chicago, Illinois, USA) bei den handinstrumentell gereinigten Zähnen durchgeführt.

In allen drei Gruppen wurde jeweils die Zeit gemessen, die zur Reinigung der mesialen und distalen Wurzelflächen benötigt wurde. Zum Schluß wurden die behandelten Zähne vorsichtig extrahiert, ohne dabei die zu untersuchenden Flächen zu beschädigen.

2.3 Messung verbliebener subgingivaler Konkremente

Unmittelbar nach der Extraktion wurden alle Zähne vorsichtig in physiologischer Kochsalzlösung gesäubert. Für die weitere Auswertung wurden Bilder der mesialen und distalen Zahnflächen mit Hilfe einer auf einem binokulären Mikroskop (Olympus BX50, Olympus, Hamburg, Deutschland) montierten Digitalkamera (Nikon D100, Nikon GmbH, Düsseldorf, Deutschland) angefertigt. Die digitalen Aufnahmen (Vergrößerung x40) wurden mit einem speziellen Programm (SIS analySIS AutoSoftware 3.2, Soft imaging System GmbH, Münster, Deutschland) ausgewertet. Die Flächen mit verbliebenen Konkrementen wurden in ein Verhältnis zur gesamten instrumentierten mesialen oder distalen Wurzeloberfläche gesetzt. Zur Bestimmung der gesamten instrumentierten Wurzeloberfläche wurden die vorher angebrachten Einkerbungen als die maximale koronale und die Überreste parodontalen Ligamentes als die maximale apikale Ausdehnung verwendet. Alle Messungen wurden durch einen erfahrenen, geblindeten Untersucher durchgeführt.

2.4 Histomorphometrische Bestimmung der Wurzeloberflächenstruktur

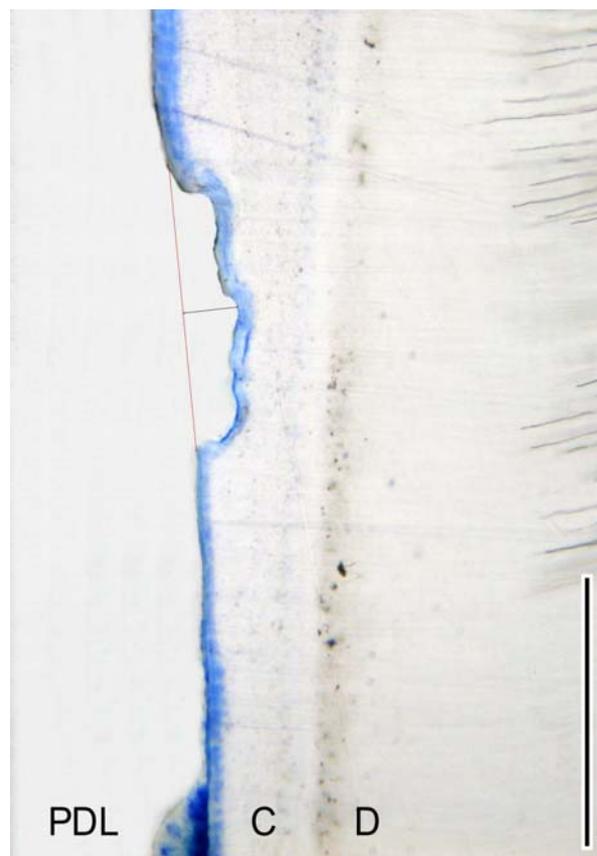
Um die Oberflächenstruktur auf Veränderungen zu untersuchen, wurden zunächst alle Zähne mit Hilfe einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert und in Methylmethacrylat (MMA, Technovit 7200, Heraeus Kulzer, Wehrheim, Deutschland) eingelegt. Dies diente der Vorbereitung nicht entkalkter Schnitte. Nach 18 bis 24 Stunden waren die Proben komplett polymerisiert. Die Schnitte wurden entlang der Längsachse in mesio-distaler Richtung unter Benutzung einer Diamantdrahtsäge (Exakt[®], Apparatebau, Norderstedt, Deutschland) ausgeführt. Als Ergebnis lagen pro Zahn drei Schnitte mit einer Dicke von schätzungsweise 500 µm vor. Anschließend wurden alle Objekte mit Acrylkleber auf einer undurchsichtigen Plexiglasscheibe befestigt und auf eine Enddicke von etwa 40 µm geschliffen. Alle Präparate wurden mit Toluidinblau eingefärbt. Zur histomorphometrischen Bestimmung wurden Bilder mit einem Lichtmikroskop (BX 50), das mit einer Videokamera (SIS Color View3, Soft imaging System GmbH) verbunden war, in 200facher Vergrößerung angefertigt. Die Digitalaufnahmen wurden mit einem Softwareprogramm (SIS analySIS Auto Software 3.2, Soft imaging System GmbH) ausgewertet. Folgende Parameter wurden histomorphometrisch erhoben:

- Ausmaß der Oberflächenveränderung
- Tiefe der Oberflächenveränderung
- Dentinfreilegung

Sowohl das Ausmaß der Oberflächenveränderung als auch der Grad der Dentinfreilegung wurden beschrieben als prozentualer Anteil der Strecke zwischen der koronal liegenden Einkerbung und dem apikalen Rand des parodontalen Gewebeattachments. Die Tiefe der Oberflächenveränderung wurde mittels Zeichnung einer geraden Linie gemessen, die den oberen Rand des jeweiligen

Kraters lotrecht mit dem tiefsten Punkt verband (Vgl. Abb. 8). Alle Untersuchungsschritte wurden durch einen erfahrenen und geblindeten Untersucher durchgeführt.

Abb. 8: Tiefenmessung der Oberflächenveränderung¹⁴



¹⁴ PDL = Parodontales Ligament, C = Zement, D = Dentin

Reproduzierbarkeit der Ergebnisse des Untersuchers

Fünf Zähne bzw. Schnitte wurden zur Kalibrierung des Untersuchers verwendet. Dabei bewertete der Untersucher die Objekte zweimal in einem Abstand von 48 Stunden. Sofern beide Messungen Ergebnisse mit einer Übereinstimmung von mehr als 90% erbrachten, wurde die Kalibrierung akzeptiert.

Statistische Analyse

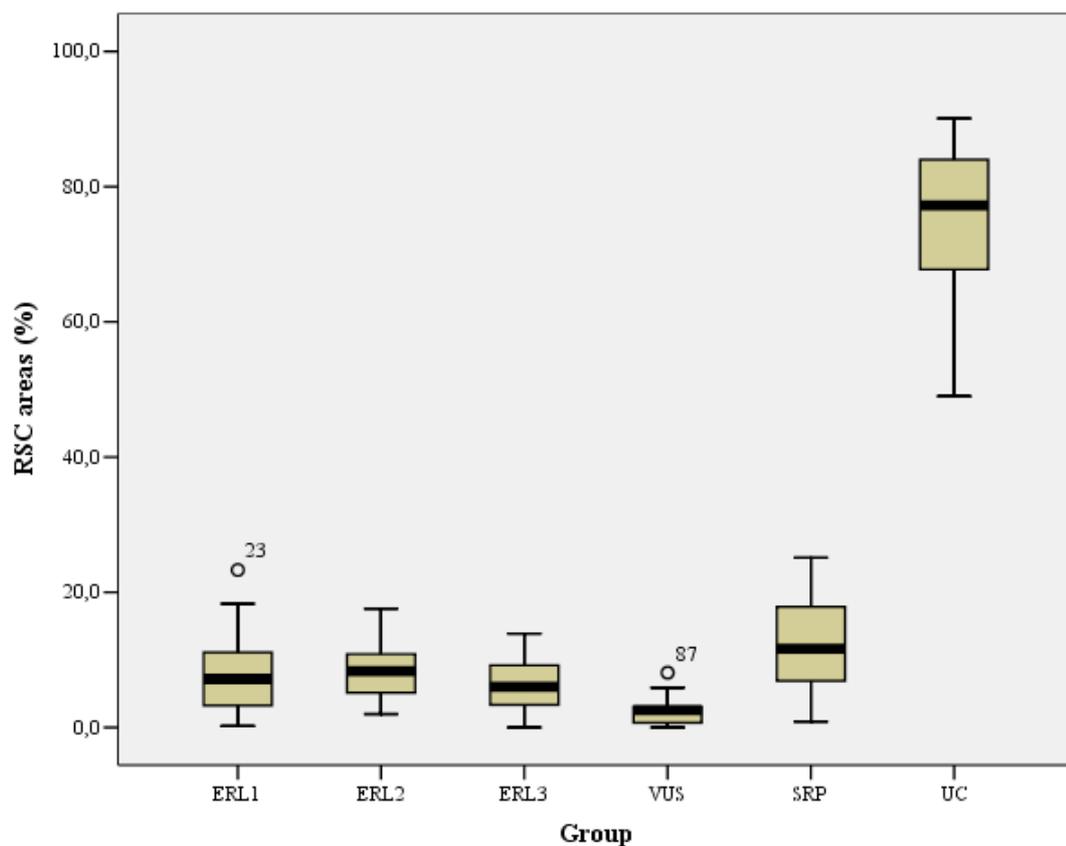
Für die statistische Analyse wurde ein Softwarepaket (SPSS 12.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) eingesetzt, welches einen Patienten als statistische Einheit definierte. Mittelwerte und Standardabweichungen von Taschentiefe, Gingivarezession, klinischem Attachmentlevel, Flächen residualer Konkreme, der Tiefe der Veränderungen der Wurzeloberfläche und der Behandlungszeit wurden für jeden Zahn eines jeden Patienten berechnet. Die Datenreihen wurden auf Normalverteilung mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test untersucht. Da keine Normalverteilung festgestellt werden konnte, wurde der nicht-parametrische Kruskal-Wallis-Test für mehrere unabhängige Objekte durchgeführt, um zu ermitteln, ob Taschentiefe, Gingivarezession, klinischer Attachmentlevel, Flächen residualer Konkreme, die Tiefe der Veränderungen der Wurzeloberfläche und die Behandlungszeit zwischen der Kontroll- und den Testgruppen variierten. Da signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei den Flächen residualer Konkreme, der Tiefe der Wurzeloberflächenveränderung und der Behandlungszeit (jeweils $p < 0,001$) festgestellt wurden, kam der Mann-Whitney-U-Test zum paarweisen Gruppenvergleich zur Anwendung. Die Ergebnisse mit $p < 0,05$ wurden als statistisch signifikant angesehen.

3. Ergebnisse

3.1 Flächen residualer subgingivaler Konkreme

Die Mittelwerte der Flächen verbliebener subgingivaler Konkreme werden in Abbildung 9 dargestellt.

Abb. 9: Messung verbliebener Konkreme¹⁵



Im Allgemeinen führten alle Behandlungsmethoden zu statistisch signifikant

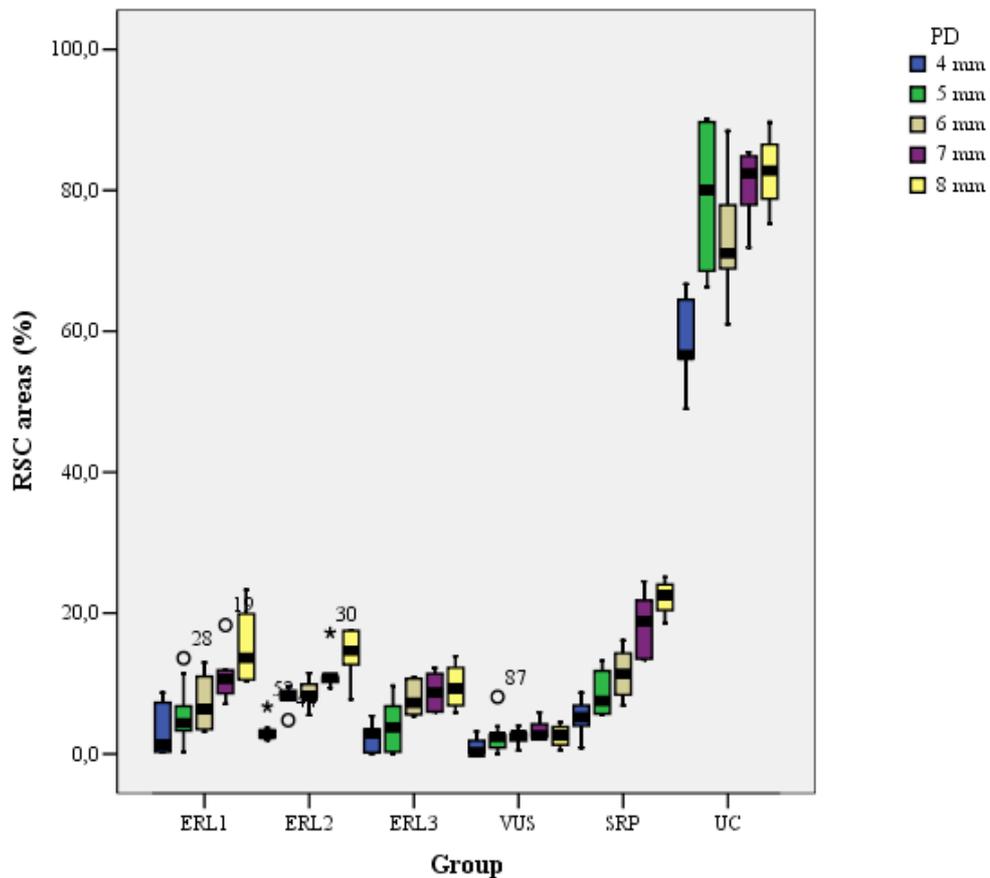
¹⁵ RSC = Flächen residualer Konkreme

geringeren Flächen residualer subgingivaler Konkreme als bei den unbehandelten Zähnen der Kontrollgruppe (jeweils $p < 0,001$). Unter den behandelten Zähnen wurden die größten Anteile von Flächen verbliebener subgingivaler Konkreme auf mesialen und distalen Wurzeloberflächen beim Einsatz von Handinstrumenten, gefolgt vom Er:YAG-Laser (1-3) und der Ultraschallgruppe, festgestellt. Dabei lag der Mittelwert für Flächen residualer Konkreme nach der Behandlung mit Handinstrumenten bei $12,5 \pm 6,9\%$. In den Er:YAG-Lasergruppen waren die mittleren Flächen mit verbliebenen Konkrementen im Vergleich zu den Handinstrumenten mit $7,8 \pm 5,8\%$, $8,6 \pm 4,5\%$ und $6,2 \pm 3,9\%$ statistisch signifikant kleiner ($p = 0,010$; $0,046$; $0,001$). Obwohl die Mittelwerte tendenziell die niedrigste Ausprägung in der Er:YAG-Lasergruppe (3) zeigten, waren die Unterschiede zu den Gruppen (1) und (2) statistisch nicht signifikant ($p = 0,403$; $0,056$). Die mit Ultraschall behandelten Wurzeloberflächen zeigten einen Mittelwert der Flächen residualer Konkreme von $2,4 \pm 1,8\%$. Dieses Ergebnis war statistisch signifikant niedriger im Vergleich zu Handinstrumenten und den Gruppen des Er:YAG-Lasers (jeweils $p < 0,001$).¹⁶

Die Mittelwerte der Flächen verbliebener subgingivaler Konkreme in Bezug auf die Taschentiefe sind in Abbildung 10 dargestellt.

¹⁶ Vgl. hierzu Abb. 9

Abb. 10: Zusammenhang von Taschentiefe und Flächen verbliebener Konkrementte



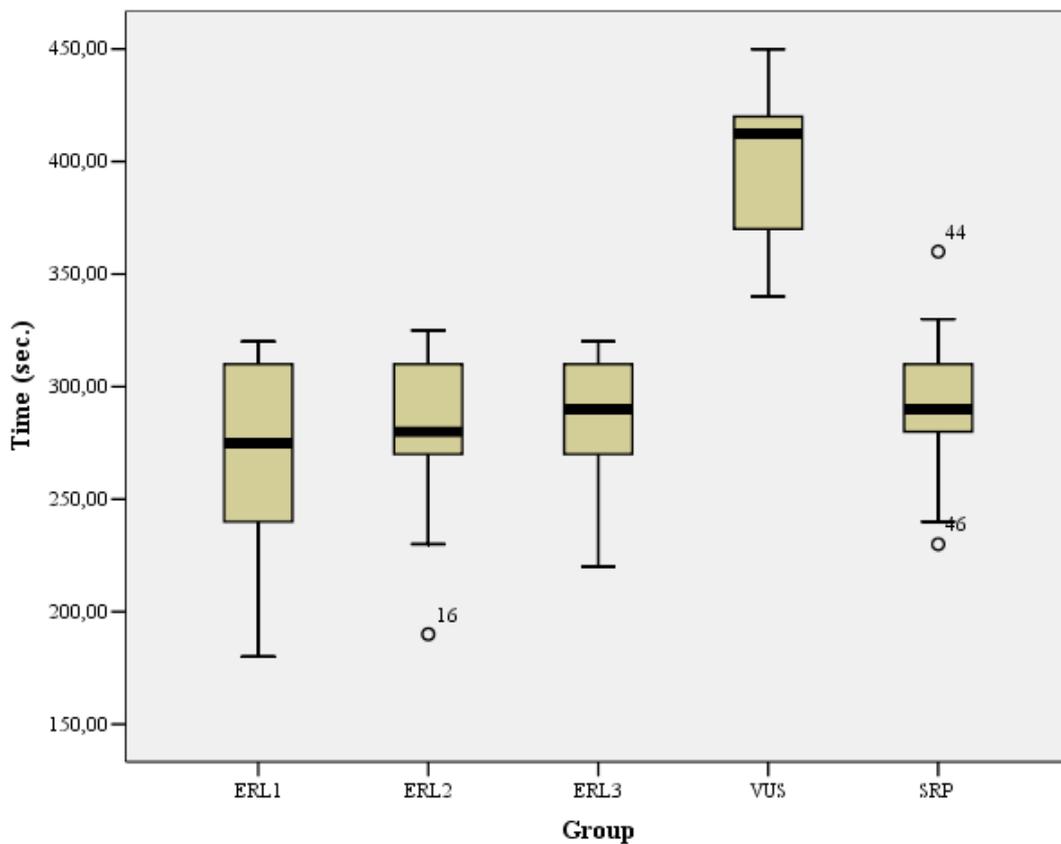
Das Ausmaß residualer Konkrementte scheint sowohl bei den Er:YAG-Lasergruppen als auch bei der Handinstrumentengruppe direkt mit der Taschentiefe zu korrelieren, wobei dieser Zusammenhang am wenigsten in der Er:YAG-Lasergruppe (3) ausgeprägt war. Im Gegensatz dazu wiesen die mit Ultraschall behandelten Objekte unabhängig von der Taschentiefe vergleichbar große Flächen mit residualen Konkrementen auf.¹⁷

¹⁷ Vgl. hierzu Abb. 10

3.2 Behandlungszeit

Die mittlere Behandlungszeit in den verschiedenen Gruppen zeigt Abbildung 11.

Abb. 11: Behandlungszeiten

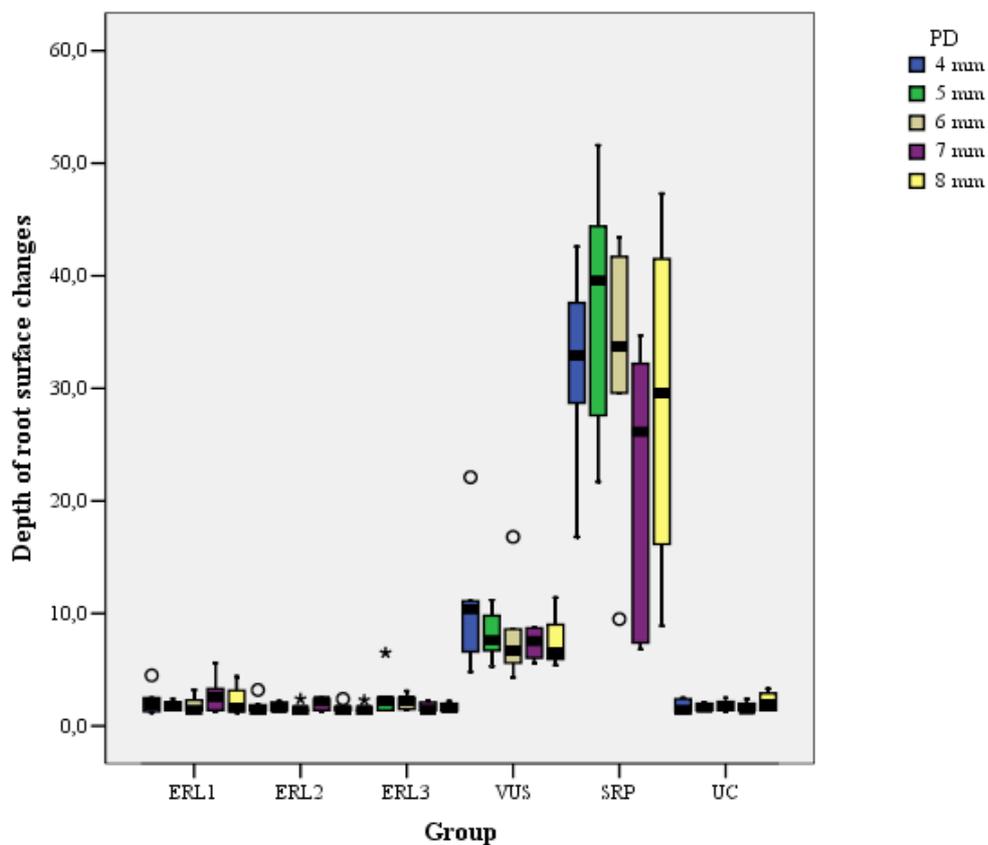


Die statistische Analyse ergab, dass die für die Instrumentierung der Wurzeloberflächen benötigte Zeit in der Ultraschallgruppe statistisch signifikant länger war als in den Er:YAG-Lasergruppen und der Gruppe der mit Handinstrumenten behandelten Zähne (jeweils $p < 0,001$). Die Unterschiede zwischen den Gruppen (1), (2), (3) und (5) waren statistisch nicht signifikant (jeweils $p > 0,05$).

3.3 Oberflächenveränderungen

Abbildung 12 stellt die Ergebnisse der histomorphometrischen Untersuchungen, welche die Tiefe der Wurzeloberflächenveränderungen in der Kontroll- bzw. den Testgruppen bestimmen, dar.

Abb. 12: Tiefe der Oberflächenveränderungen



Im Allgemeinen konnte bei den Zähnen der unbehandelten Kontrollgruppe unterhalb von Arealen mit residualen Konkrementen keine Oberflächenveränderung festgestellt werden (vgl. Abb. 13a). Im Gegensatz dazu wiesen alle mit Handinstrumenten bearbeiteten Zähne auffällige Veränderungen der Oberflächenmorphologie auf. Diese variierten von flachen Kratzern über Spalten und Rillen mit einer minimalen Tiefe von 6,8 μm bis hin zu scharfkantigen,

kraterähnlichen Defekten mit einer maximalen Tiefe von 51,6 μm . Insgesamt bedeckten diese beinahe 65% der behandelten Wurzeloberfläche. Die Defekte befanden sich hauptsächlich in der Zementschicht, es kam jedoch auch an einigen Stellen zur Dentinfreilegung. Die verbleibende Fläche schien gleichmäßig gereinigt, ohne erwähnenswerte Veränderungen der Oberfläche (Vgl. Abb. 13b). Die statistische Analyse ergab, dass die durchschnittliche Tiefe der Oberflächenveränderungen in der Gruppe der Handinstrumente signifikant größer war als in den anderen Testgruppen bzw. der Kontrollgruppe (jeweils $p < 0,001$). Dagegen zeigten die mit dem Ultraschall behandelten Oberflächen eine homogene, glatte Struktur, es konnte keine Kraterbildung nachgewiesen werden. Allerdings wiesen alle Zähne leichte oberflächliche Unregelmäßigkeiten auf, die fast die gesamte instrumentierte Wurzeloberfläche bedeckten. Diese Unregelmäßigkeiten besaßen eine maximale Tiefe von 22,1 μm (Vgl. Abb. 13c). Ungeachtet der Energieeinstellung hinterließ der Er:YAG-Laser eine glatte, homogene Oberfläche, ohne sichtbare Spuren der benutzten Faserspitze. Im Allgemeinen kam es nicht zu einem Abtrag der Zementschicht, was darauf schließen lässt, dass die subgingivalen Konkremente beinahe selektiv entfernt wurden. Gelegentlich traten leichte oberflächliche Veränderungen der Wurzeloberfläche auf, die nur ca. 15% des instrumentierten Bereiches überzogen. Diese Unregelmäßigkeiten besaßen maximal eine Tiefe von 5,6-6,5 μm (Er:YAG-Laser (1) - (3), $p > 0,05$ jeweils verglichen mit der unbehandelten Gruppe (Vgl. Abb. 13d)). Die statistische Untersuchung ergab weiterhin, dass die durchschnittliche Tiefe der Oberflächendefekte in der mit dem VectorTM behandelten Gruppe signifikant größer war, als in der Kontrollgruppe bzw. den drei mit dem Laser behandelten Gruppen (jeweils $p < 0,001$). Mit Hilfe einer histomorphometrischen Untersuchung konnten thermische Schäden, wie Karbonisation, Schmelzen oder Brechen, in allen Testgruppen ausgeschlossen werden (Vgl. Abb. 13b-d).

Abb. 13: Einfluß verschiedener Behandlungsverfahren auf die Oberflächenmorphologie



Abb. 13a: Unbehandelte Kontrollgruppe mit residualen Konkrementen



Abb. 13b: Kraterähnliche Defekte nach SRP-Behandlung



Abb. 13c: Leichte Unebenheiten nach VUS-Behandlung



Abb. 13d: Glatte Wurzeloberfläche infolge Behandlung mit dem ER:YAG-Laser, unabhängig von der Energieeinstellung

4. Diskussion

Parodontale Erkrankungen, wie die Parodontitis und die Gingivitis, gehören im Erwachsenenalter zu den am häufigsten auftretenden oralen Erkrankungen. Bei der entzündlichen Erkrankung des Zahnhalteapparates, der so genannten Parodontitis, kommt es zu einem Verlust von bindegewebigem und knöchernem Attachment und somit in letzter Konsequenz zum Verlust des Zahnes. Die Entstehung einer Parodontitis lässt sich im Allgemeinen auf einen multifaktoriellen Ursachenkomplex zurückführen. Dazu gehören pathogene Mikroorganismen, eine unkontrollierte wirtseigene Abwehrreaktion (Immunantwort), sowie verschiedene externe Faktoren, wie beispielsweise Rauchen, Alkoholkonsum, Ernährungssituation und Mundhygiene.

Primäres Ziel der Parodontitistherapie ist immer die Reduktion der pathogenen Keime als einen der auslösenden Faktoren der Erkrankung. Zudem müssen im Rahmen der Behandlung glatte Wurzeloberflächen geschaffen werden, um eine erneute Anlagerung des parodontalen Gewebes zu ermöglichen. Dabei ist jedoch zu betonen, dass der bis zum Zeitpunkt der Behandlung eingetretene Attachmentverlust irreversibel ist.

Die Keimreduktion erfolgt im Allgemeinen mittels handinstrumenteller Reinigung der Wurzeloberflächen im chirurgisch offenen oder geschlossenen Verfahren. Folgen der Instrumentierung mit Küretten können gingivale Rezessionen und postoperative Zahnhalsüberempfindlichkeiten sein. Zudem scheint die handinstrumentelle Reinigung der Wurzeloberflächen meist unvollständig und zeitintensiv zu sein. (Claffey et al. 1988, Kopic et al. 1990, Tammaro et al. 2000, Schwarz et al. 2001b)

Daneben kommen alternativ auch konventionelle Ultraschallsysteme zum Einsatz, deren Hitzeentwicklung an der Arbeitsspitze und Aerosolbildung während der Behandlung als nachteilig anzusehen sind. (Holbrook et al. 1978, Nicoll & Peters 1998)

Der Wunsch nach einer effektiven und für den Patienten schonenderen Behandlungsmethode, sowie der Versuch, die oben angeführten Probleme bei konventionellen Therapieformen zu lösen, führten dazu, dass der Laser vor einigen Jahren in der Zahnheilkunde Einzug hielt.

Zu den generellen Vorteilen der Laserbehandlung gegenüber den herkömmlichen chirurgischen Techniken zählen die hohe Präzision bei mikrochirurgischen Eingriffen, die Möglichkeit des berührungslosen, sterilen Operierens sowie nur vergleichsweise geringe Blutungen im Operationsfeld. (Gutknecht 1999)

Zahlreiche Studien untersuchten die Anwendbarkeit verschiedener Lasertypen, wie zum Beispiel CO₂-Laser, Diodenlaser oder Nd:YAG-Laser, für die vielfältigen Aufgaben in der Zahnheilkunde. Während der Einsatz von Lasern in diversen Anwendungsgebieten der Zahnmedizin erfolgreich war, wiesen jedoch die meisten Laser in der experimentellen Erprobung für die Parodontaltherapie mehr oder weniger gravierende Mängel auf, sei es beispielsweise in Form von Aufschmelzungen des Wurzelzementes oder Oberflächenbeschädigungen. (Radvar et al. 1995, Israel et al. 1997, Schwarz et al. 2003b)

Der Er:YAG-Laser dagegen erscheint zur parodontalen Anwendung besser als andere Lasertypen geeignet zu sein. Bereits vorliegende in vivo-Studien belegen, dass die Behandlung mit dem Er:YAG-Laser eine glatte und homogene Wurzeloberflächenmorphologie erzeugt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass der Er:YAG-Laser eine ernsthafte Alternative zur klassischen Behandlung der Wurzeloberfläche mittels Handinstrumenten darstellen könnte. (Schwarz et al. 2001a, 2001b)

In der vorliegenden Studie wird die Fähigkeit des Er:YAG-Lasers zur Entfernung von subgingivalen Konkrementen in Verbindung mit einem neuartigen Detektionssystem untersucht. Dabei kommt als Detektionseinheit ein Diodenlaser mit einer Wellenlänge von 655 nm zum Einsatz, der das Vorhandensein von Konkrementen auf der Wurzeloberfläche erkennt und den Er:YAG-Laser entsprechend steuert. Zudem soll der Diodenlaser eine Unterscheidung von Konkrementflächen und

Wurzelzement ermöglichen und somit Schädigungen der gesunden Zahnhartsubstanz minimieren.

Flächen residualer Konkreme

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben gezeigt, dass alle untersuchten Systeme zu einer Reinigung der Wurzeloberfläche parodontal erkrankter Zähne führten. Dabei hatte die Anwendung des VectorsTM mit seiner speziell für parodontal geschädigte Zähne entwickelten Arbeitsspitze und dem polierenden Fluid das geringste Ausmaß verbleibender Konkreme zur Folge. Direkt darauf folgte der Er:YAG-Laser mit ähnlichen Ergebnissen bei wechselnden Energieeinstellungen. Die schlechtesten Resultate wurden in der Gruppe der mit Handinstrumenten behandelten Zähne erzielt. Dort wurden deutlich größere Flächen residualer Konkreme ermittelt.

Diese Feststellungen sind jedoch konträr zu der von Eberhard et al. (2003) durchgeführten Untersuchung. Bei gleicher Arbeitszeit erzielte die handinstrumentelle Reinigung deutlich bessere Ergebnisse als die Laserbehandlung. Dieser Unterschied relativierte sich jedoch, wenn dem Er:YAG-Laser eine längere Behandlungszeit eingeräumt wurde. (Eberhard et al. 2003)

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Vollständigkeit der Konkremententfernung nach Scaling and Root Planing im Allgemeinen mittels Einsatz einer PA-Sonde geprüft wird. Sherman et al. (1990) zeigten in einer Studie auf, dass die mittels taktilen Ertastens erbrachten Ergebnisse deutlich von der mikroskopischen Kontrolluntersuchung abwichen. So wurden in der klinischen Bewertung lediglich 18,8% der untersuchten Wurzeloberflächen als mit subgingivalen Konkrementen behaftet festgestellt, wohingegen die darauf folgende mikroskopische Kontrolle auf 57,7% aller Flächen residuale subgingivale Konkreme vorfand. (Sherman et al. 1990)

Darüber hinaus war die klinische Übereinstimmung in Bezug auf die Ermittlung von Konkrementen durch taktiles Ertasten sowohl bei verschiedenen Behandlern als auch bei Wiederholung durch den gleichen Behandler äußerst gering. So lag die maximale Übereinstimmung zweier Behandler unmittelbar nach der Handinstrumentierung lediglich bei 59,1%. Die wiederholte Prüfung durch den gleichen Behandler im Abstand von drei Monaten erbrachte eine Übereinstimmung von 89,5% im besten Falle. Die mangelhafte Genauigkeit der klinischen Bewertung der Konkremententfernung bei Einsatz von Sonden wurde beispielsweise auch von Jones et al. (1972) bestätigt. (Jones et al. 1972, Sherman et al. 1990)

Der hohe Wirkungsgrad des Er:YAG-Lasers in Verbindung mit einem Detektionssystem wurde bereits in einer früheren Studie von Schwarz et al. (2003b) belegt. Hier führte der Einsatz des Lasers zu einer selektiven Entfernung von Konkrementen auf einem Niveau, das vergleichbar der Behandlung mit Handinstrumenten war. So waren 24% der mesialen und distalen Wurzeloberflächen nach Laserbehandlung noch mit Rückständen belegt, im Vergleich zu 22% bei Handinstrumenten. (Schwarz et al. 2003b)

Die vorliegende Studie dagegen weist einen Vorteil des Er:YAG-Lasers bei der Konkremententfernung nach (6,2% bis 8,6% Flächen verbliebener Konkremente je nach Energieeinstellung des Lasers gegenüber 12,5% bei Handinstrumenten). Diese unterschiedlichen Ergebnissen könnten in dem Umstand begründet sein, dass der Zeitpunkt des Abschlusses der Behandlung in der vorliegenden Studie allein durch das Detektionssystem bestimmt wurde, während in der Vergleichsstudie die Prüfung der Konkrementfreiheit mit Hilfe einer parodontalen Sonde durchgeführt wurde. Dies könnte zu den oben bereits beschriebenen Problemen bei der Feststellung des Grades der Konkremententfernung durch Einsatz einer Sonde geführt haben.

Nach unserem Wissensstand existieren keine weiteren in vivo-Studien, die die Auswirkung der Behandlung mit dem Er:YAG-Laser im Zusammenspiel mit einem Detektionssystem bzw. der Handinstrumentierung auf die Entfernung subgingivaler Konkremente vergleichen.

Korrelation mit Taschentiefe

In der vorliegenden Studie stellte sich heraus, dass das Ausmaß residualer subgingivaler Konkreme bei der Behandlung mit Handinstrumenten beziehungsweise dem Er:YAG-Laser mit der Taschentiefe korrelierte. Dabei war der Anteil der verbliebenen Konkreme um so größer, desto tiefer die vorhandene Tasche war. Dies wird von Caffesse et al. (1986) bestätigt, der einen Zusammenhang zwischen Taschentiefe und dem Wirkungsgrad der Konkremententfernung bei handinstrumenteller Reinigung nachweisen konnte. So stieg der Anteil konkrementbehafteter Flächen von 13,6% in Taschen mit einer Tiefe von 1-3 mm über 56,8% bei 4-6 mm tiefen Taschen auf 67,7% in Taschen tiefer 6 mm. (Caffesse et al. 1986)

Buchanan & Robertson (1987) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis bei der Bestimmung der Wirkung von Handinstrumenten zur Wurzeloberflächenreinigung mit und ohne chirurgischem Zugang. Hier wurde nach handinstrumenteller Behandlung bei Taschen mit mehr als 8 mm Tiefe eine mittlere Fläche verbliebener Konkreme von rund 45% beobachtet. Auch Rateitschak-Plüss et al. (1992) stellten trotz grundsätzlich guter Reinigungsfähigkeit der Handinstrumente deren Limitierung bei schwer zugänglichen Taschen fest, da die Kürette nicht bis zum Boden der Tasche vordringen konnte. Dies war in verschiedenen starken Ausprägungen in 75% der untersuchten Zahnoberflächen der Fall. (Buchanan & Robertson 1987, Rateitschak-Plüss et al. 1992)

Das Ausmaß der Flächen residualer Konkreme steht somit offensichtlich in einer direkten Beziehung zur Taschentiefe. Diese Relation trifft sowohl bei den Handinstrumenten, als auch bei den drei Er:YAG-Lasergruppen zu. Allerdings weist der Er:YAG-Laser mit der Energieeinstellung von 140 mJ den geringsten Grad der Korrelation auf.

Eberhard et al. (2003) stellten dagegen keinen Zusammenhang zwischen anfänglicher Taschentiefe und Grad der Konkremententfernung bei Einsatz von Handinstrumenten und Er:YAG-Laser fest. Der eingesetzte Er:YAG-Laser verfügte

nicht über ein Feedback-System wie in der vorliegenden Studie. (Eberhard et al. 2003)

Im Gegensatz zu der oben gemachten Feststellung war eine Korrelation zwischen Taschentiefe und residualen subgingivalen Konkrementen bei der Behandlung mit dem VectorTM-System nicht zu erkennen. Vielmehr war das Ausmaß der verbliebenen Konkreme bei verschiedenen tiefen Taschen auf einem annähernd gleichen Niveau. Dieser Umstand ist möglicherweise auf zwei Faktoren zurückzuführen. Zum einen könnte die metallene Kürettenspitze eine bessere taktile Ertastung ermöglichen, zum anderen kann angenommen werden, dass die während der Behandlung auftretenden hydrodynamischen Kräfte des Gerätes in Kombination mit dem Einsatz des polierend wirkenden Fluids eine Entfernung der Konkreme selbst in tiefen Taschen ermöglichen.

Wie bereits eingehend angeführt, erreichte das VectorTM-System in der vorliegenden Studie den höchsten Reinigungsgrad auf den untersuchten Wurzeloberflächen mit 2,4 +/- 1,8% Flächen verbliebener Konkreme.

Dagegen ermittelten Hartschen & Frentzen (2002) eine höhere Effizienz in Bezug auf die Reinigung von Wurzeloberflächen bei Handinstrumenten im Vergleich zur Verwendung des VectorsTM. Braun et al. (2005a) kommen ebenfalls zu der Aussage, dass die Handinstrumentierung zu einer besseren Konkremententfernung führt als der Einsatz des VectorsTM. Allerdings gab es deutliche Performanceunterschiede des VectorsTM, je nachdem welche Arbeitsspitze zum Einsatz kam. So führte die Verwendung einer metallischen Kürette zu einem besseren Reinigungseffekt als der Einsatz einer metallischen Sonde. (Hartschen & Frentzen 2002, Braun et al. 2005a)

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich bei beiden Studien um in vitro-Untersuchungen handelt und dass sich dementsprechend die Ergebnisse nicht unmittelbar auf eine in vivo-Situation übertragen lassen. Die in der vorliegenden Studie ermittelte höhere Effizienz des VectorsTM könnte auf das Vorhandensein einer parodontalen Tasche unter in vivo-Versuchsbedingungen zurückzuführen sein. Erst in einem solchen geschlossenen Umfeld entfalten die hydrodynamische Kräfte

des Ultraschallsystems ihre volle Wirkung und dürften somit eine höhere Reinigungseffizienz erzielen.

Behandlungszeit

Die Auswertung der Behandlungszeit in den verschiedenen Untersuchungsgruppen ergab, dass der Er:YAG-Laser, unabhängig von der gewählten Energieeinstellung, eine annähernd gleiche Behandlungszeit wie die Handinstrumentierung benötigte. Für alle vier Gruppen lag der Mittelwert bei rund 280 Sekunden. Der Einsatz des VectorsTM dagegen erforderte eine Behandlungszeit, die mit durchschnittlich 415 Sekunden deutlich höher lag.

Der zeitliche Nachteil des VectorsTM im Vergleich zur handinstrumentellen Reinigung wird auch von Braun et al. (2005a) in der bereits oben angeführten in vitro-Untersuchung bestätigt. (Braun et al. 2005a)

Grundsätzlich ist eine kürzere Behandlungszeit sowohl für den Patienten als auch für den Behandler von Vorteil, da es Ziel der Behandlung sein sollte, ein möglichst schonendes und dabei doch effektives Verfahren mit möglichst geringen Belastungen für den Patienten zum Einsatz zu bringen.

Oberflächenveränderungen

Der Grad der unerwünschten Veränderungen der Oberflächenstruktur des Zahnes war durch starke Unterschiede in Abhängigkeit vom eingesetzten Behandlungsverfahren geprägt.

Dabei erwies sich der Er:YAG-Laser als die für die Zahnhartsubstanz schonendste Behandlungsmethode. So ließen sich nach dessen Einsatz nur gelegentliche Veränderungen der Wurzeloberfläche feststellen. Dies betraf nur knapp ein Siebtel des instrumentierten Bereiches. Ein Abtrag der Zementschicht konnte fast immer vermieden und somit eine schonende und zielgerichtete Behandlung erreicht werden. Insgesamt erzeugte der Er:YAG-Laser eine homogene und glatte Wurzeloberfläche, unabhängig von der gewählten Energieeinstellung. Eine frühere

Untersuchung von Schwarz et al. (2003b) bestätigt diese Feststellung. Hier war eine Unterscheidung behandelter und unbehandelter Wurzeloberflächen in Bezug auf die Oberflächenmorphologie nicht möglich, was für den äußerst geringen beziehungsweise nicht vorhandenen Schädigungsgrad des Er:YAG-Lasers spricht. Zudem konnten keine Spuren der eingesetzten Faserspitze nachgewiesen werden. (Schwarz et al. 2001a, Schwarz et al. 2003b)

Eberhard et al. (2003) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis und berichten im direkten Vergleich über einen hohen Grad der Freilegung von Dentin in Folge der Behandlung mit Handinstrumenten, welche nach der Verwendung des Er:YAG-Lasers nicht auftrat. Auch in der vorliegenden Studie kam es durch die handinstrumentelle Reinigung der Wurzeloberflächen zu deutlichen Beschädigungen des Wurzelzements und dementsprechend teilweise zu einer Freilegung des Dentins. Insgesamt kam es auf 65% der behandelten Wurzeloberflächen zu unerwünschten Veränderungen in Form von Kratzern, Rillen und kraterähnlichen Defekten. Diese Feststellungen werden von Schwarz et al. (2003b) bestätigt. (Eberhard et al. 2003, Schwarz et al. 2003b)

Im Vergleich zu den Handinstrumenten zeigten die mit dem VectorTM behandelten Zähne keine tiefe Kraterbildung, dafür jedoch leichte oberflächliche Unregelmäßigkeiten, die nahezu 100% der instrumentierten Fläche bedeckten. Mit einer maximalen Tiefe von 22,1 µm waren diese Veränderungen zwar deutlich geringer als bei der handinstrumentellen Reinigung, waren jedoch andererseits etwas tiefer als nach dem Einsatz des Er:YAG-Lasers.

Die Herstellung einer homogeneren Oberfläche bei der Behandlung mit dem VectorTM ohne die für Handinstrumente charakteristischen Bearbeitungsspuren wurde auch von Hartschen & Frentzen (2002) festgestellt. (Hartschen & Frentzen 2002)

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass das Ausmaß des Wurzelabtrags bei der VectorTM-Behandlung von dem benutzten Fluid abhängig ist. So zeigten Braun et al.

(2005b), dass die Verwendung eines abrasiven Fluids im Durchschnitt zu einem doppelt so hohen Abtrag von Wurzelsubstanz führte, als dies mit dem polierenden Fluid der Fall war. Im erstgenannten Fall lag ein ähnlich hoher Abtrag wie beim Einsatz von Handinstrumenten vor. (Braun et al. 2005b)

Die vorgenannten Ergebnisse in Verbindung mit den Resultaten der vorliegenden Studie legen den Schluss nahe, dass vom klinischen Standpunkt die Anwendung des Ultraschallsystems VectorTM zusammen mit einem polierenden Fluid zur Erhaltung des Wurzelzementes indiziert zu sein scheint.

Konklusion

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Er:YAG-Laser in Verbindung mit einem Diodenlaser der Wellenlänge 655 nm als Feedback-System und einer modifizierten meißelförmigen Faserspitze (Bluetip) für die Lokalisierung und Entfernung subgingivaler Konkreme deutlich effektiver als die handinstrumentelle Reinigung zu sein scheint.

Diese Unterschiede in der Effizienz der Reinigung könnten durch mehrere Faktoren erklärt werden. Zum einen ist hervorzuheben, dass die durch die Strahlung des Diodenlasers mit einer Wellenlänge von 655 nm induzierte Laserfluoreszenz eine verlässliche Identifikation subgingivaler Konkreme ermöglicht. Dieser Umstand wurde im Fall extrahierter Zähne beispielsweise von Folwaczny et al. (2002a, 2004) nachgewiesen. Auch Krause et al. (2003) kommen zu dem Schluss, dass der Einsatz eines Diodenlasers mit der oben genannten Wellenlänge ein objektives Meßsystem zur Erkennung subgingivaler Beläge darstellt. (Folwaczny et al. 2002a, 2004, Krause et al. 2003)

Ebenso erscheint es einfacher, die Wurzeloberfläche mit einem größeren Laserfokus als mit einer kleineren Sondenspitze abzutasten. (Folwaczny et al. 2002a)

Darüber hinaus wurde die meißelförmige Faserspitze des Er:YAG-Lasers modifiziert. Damit sollte eine homogenere Übertragung des Laserstrahl an der Faserspitze

ermöglicht werden. Dies führte selbst bei niedrigen Energieeinstellungen zu einem effektiven Abtrag subgingivaler Konkremente (vgl. dazu Abbildung 9).

Fasst man die Ergebnisse der vorliegenden Studie zusammen, so scheint der Er:YAG-Laser mit einer Energieeinstellung von 140 mJ und 10 Hz in Kombination mit dem vorgestellten Detektionssystem eine geeignete Alternative zur Therapie parodontal erkrankter Zähne zu sein, wobei eine gewisse Einschränkung für den Einsatz in tiefen Taschen zu machen ist, womit sich die vorab formulierte Hypothese (vgl. 1.6.5) als nicht in vollem Umfang zutreffend erwiesen hat. Nichtsdestotrotz spricht die Fähigkeit des Er:YAG-Lasers, subgingivale Konkremente selektiv und effektiv abzutragen und dadurch neben dem gewünschten Reinigungseffekt auch eine Schonung der Wurzeloberflächen zu erreichen, für seinen Einsatz in der Parodontitisbehandlung. Allerdings müssen die Auswirkungen und sichere Anwendbarkeit dieses modifizierten Systems in weiteren Studien nachgewiesen werden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass der Er:YAG-Laser und der VectorTM, im Gegensatz zum konventionellen Scaling and Root Planing mit Hilfe von Küretten, nicht nur eine effektivere Entfernung subgingivaler Konkremente ermöglichen, sondern auch die natürlichen Wurzeloberflächenstrukturen in einem hohen Maße erhalten.

Literaturverzeichnis

Albair, W.B.; Cobb, C.M.; Killooy, W.J. (1982) Connective tissue attachment to periodontally diseased roots after citric acid demineralization. *Journal of Periodontology* **53**, 515-526.

Aoki, A.; Ando, Y.; Watanabe, H.; Ishikawa, I. (1994) In vitro studies on laser scaling of subgingival calculus with an Erbium:YAG laser. *Journal of Periodontology* **65**, 1097-1106.

Aoki, A.; Miura, M.; Akiyama, F.; Nakagawa, N.; Tanaka, J.; Oda, S.; Watanabe, H.; Ishikawa, I. (2000) In vitro evaluation of Er:YAG laser scaling of subgingival calculus in comparison with ultrasonic scaling. *Journal of Periodontal Research* **35**, 266-277.

Braun, A.; Krause, F.; Frentzen, M.; Jepsen, S. (2005a) Efficiency of subgingival calculus removal with the VectorTM-system compared to ultrasonic scaling and hand instrumentation in vitro. *Journal of Periodontal Research* **40**, 48-52.

Braun, A.; Krause, F.; Frentzen, M.; Jepsen, S. (2005b) Removal of root substance with the VectorTM-system compared with conventional debridement in vitro. *Journal of Clinical Periodontology* **32**, 153-157.

Buchanan, S.A. & Robertson, P.B. (1987) Calculus Removal by Scaling / Root Planing with and without Surgical Access. *Journal of Periodontology* **March**, 159-163.

Caffesse, R.G.; Sweeney, P.L.; Smith, B.A. (1986) Scaling and root planing with and without periodontal flap surgery. *Journal of Clinical Periodontology* **13**, 205-210.

Claffey, N.; Loos, B.; Gantes, B.; Martin, M.; Heins, P.; Egelberg, J. (1988) The relative effects of therapy and periodontal disease on loss of probing attachment after root debridement. *Journal of Clinical Periodontology* **15**, 163-169.

Eberhard, J.; Ehlers, H.; Falk, W.; Acil, Y.; Albers, H.K.; Jepsen, S. (2003) Efficacy of subgingival calculus removal with Er:YAG laser compared to mechanical debridement: an in situ study. *Journal of Clinical Periodontology* **30**, 511-518.

Folwaczny, M.; Mehl, A.; Haffner, C.; Benz, C.; Hickel, R. (2000) Root Substance Removal With Er:YAG Laser Radiation at Different Parameters Using a New Delivery System. *Journal of Periodontology* **71**, 147-155.

Folwaczny, M.; Thiele, L.; Mehl, A.; Hickel, R. (2001) The effect of working tip angulation on root substance removal using Er:YAG-Laser radiation: an in vitro study. *Journal of Clinical Periodontology* **28**, 220-226.

Folwaczny, M.; Heym, R.; Mehl, A.; Hickel, R. (2002a) Subgingival Calculus Detection With Fluorescence Induced by 655 nm InGaAsP Diode Laser Radiation. *Journal of Periodontology* **73**, 597-601.

Folwaczny, M., Mehl, A.; Aggstaller, H.; Hickel, R. (2002b) Antimicrobial effects of 2.94 μm Er:YAG laser radiation on root surfaces: an in vitro study. *Journal of Clinical Periodontology* **29**, 73-78.

Folwaczny, M.; Heym, R.; Mehl, A.; Hickel, R. (2004) The Effectiveness of InGaAsP Diode Laser Radiation to Detect Subgingival Calculus as Compared to an Explorer. *Journal of Periodontology* **75**, 744-749.

Gaspirc, B. & Skaleric, U. (2001) Morphology, chemical structure and diffusion processes of root surface after Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation. *Journal of Clinical Periodontology* **28**, 508-516.

Gutknecht, N. Lasertherapie in der zahnärztlichen Praxis. 1.Aufl. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin (1999).

Hartschen, V.J. & Frentzen, M. (2002) Untersuchungen zu Effekten des Vector[®]-Systems im Vergleich zur konventionellen Ultraschall- und Handinstrumentation. *Parodontologie* **13/2**, 133-142.

Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T. Einführung in die Zahnerhaltung. 2. Aufl. Urban&Fischer, München (1999).

Herforth, A. Parodontologie für die zahnmedizinische Fachhelferin. 1. Aufl. Quintessenz-Verlags-GmbH, Berlin (1997).

Hibst, R. & Keller, U. (1989) Experimental Studies of the Application of the Er:YAG Laser on Dental Hard Substances: I. Measurement of the Ablation Rate. *Lasers in Surgery and Medicine* **9**, 338-344.

Holbrook, W.P.; Muir, K.F.; MacPhee, I.T.; Ross, P.W. (1978) Bacteriological investigation of the aerosol from ultrasonic scalers. *British Dental Journal* **144**, 245-247.

Israel, M.; Cobb, C.M.; Rossmann, J.A.; Spencer, P. (1997) The effects of CO₂, Nd:YAG and Er:YAG lasers with and without surface coolant on tooth root surfaces. An in vitro study. *Journal of Clinical Periodontology* **24**, 595-602.

Jones, S.J.; Lozdan, J.; Boyde, A. (1972) Tooth surfaces treated in situ with periodontal instruments. *British Dental Journal* **132**, 57-64.

Keller, U. & Hibst, R. (1989) Experimental Studies of the Application of the Er:YAG Laser on Dental Hard Substances: II. Light Microscopic and SEM Investigations. *Lasers in Surgery and Medicine* **9**, 345-351.

Kepic, T.J.; O'Leary, T.J.; Kafrawy, A.H. (1990) Total Calculus Removal: An Attainable Objective? *Journal of Periodontology* **61**, 16-20.

Krause, F.; Braun, A.; Frentzen, M. (2003) The possibility of detecting subgingival calculus by laser-fluorescence in vitro. *Lasers in Medical Science* **18**, 32-35.

Kurihara, E.; Koseki, T.; Gohara, K.; Nishihara, T.; Ansai, T.; Takehara, T. (2004) Detection of subgingival calculus and dentine caries by laser fluorescence. *Journal of Periodontal Research* **39**, 59-65.

Lopez, N.J. (1984) Connective Tissue Regeneration to Periodontally Diseased Roots, Planed and Conditioned With Citric Acid and Implanted Into the Oral Mucosa. *Journal of Periodontology* **55**, 381-390.

Melcer, J.; Chaumette, M.T. ; Melcer, F.; Dejardin, J.; Hasson, R.; Merard, R.; Pinaudeau, Y.; Weill, R. (1984) Treatment of Dental Decay by CO₂ Laser Beam: Preliminary Results. *Lasers in Surgery and Medicine* **4**, 311-321.

Moritz, A.; Gutknecht, N.; Doertbudak, O.; Goharkhay, K.; Schoop, U.; Schauer, P.; Sperr, W. (1997) Bacterial Reduction in Periodontal Pockets Through Irradiation with a Diode Laser: A Pilot Study. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery* **15**, 33-37.

Moritz, A.; Schoop, U.; Goharkhay, K.; Schauer, P.; Doertbudak, O.; Wernisch, J.; Sperr, W. (1998) Treatment of Periodontal Pockets With A Diode Laser. *Lasers in Surgery and Medicine* **22**, 302-311.

Nicoll, B.K. & Peters, R.J. (1998) Heat Generation During Ultrasonic Instrumentation of Dentin as Affected by Different Irrigation Methods. *Journal of Periodontology* **69**, 884-888.

Polson, A.M.; Frederick, G.T.; Ladenheim, S.; Hanes, P.J. (1984) The Production of a Root Surface Smear Layer by Instrumentation and its Removal by Citric Acid. *Journal of Periodontology* **August**, 443-446.

Radvar, M., Creanor, S.L.; Gilmour, W.H.; Payne, A.P.; McGadey, J.; Foye, R.H.; Whitters, C.J.; Kinane, D.F. (1995) An evaluation of the effects of an ND:YAG laser on subgingival calculus, dentine and cementum. An in vitro study. *Journal of Clinical Periodontology* **22**, 71-77.

Rateitschak, K.H.; Rateitschak, E.M.; Wolf, H.F. Parodontologie, in: Rateitschak, K.H. (Hrsg.): *Farbatlanten der Zahnmedizin Band 1*. 3 Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1984).

Rateitschak-Plüss, E.M.; Schwarz, J.P.; Guggenheim, R.; Düggelin, M.; Rateitschak, K.H. (1992) Non-surgical periodontal treatment: where are the limits? An SEM study. *Journal of Clinical Periodontology* **19**, 240-244.

Rechmann, P. Laser in der Oralchirurgie, 567-584, in: Reichart, P.A.; Hausamen, J.-E.; Becker, J.; Neukam, F. W.; Schliephake, H.; Schmelzeisen, R. (Hrsg.): *Curriculum Zahnärztliche Chirurgie Band 1*, 1. Aufl. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin (2002).

Romanos, G.; Deppe, H.; Ertl, T.; Gutknecht, N.; Purucker, P. Atlas der chirurgischen Laserzahnheilkunde. 1. Aufl. Urban & Fischer, München (1999).

Schwarz, F.; Pütz, N.; Georg, T.; Reich, E. (2001a) Effect of an Er:YAG Laser on Periodontally Involved Root Surfaces: an In Vivo and In Vitro SEM Comparison. *Lasers in Surgery and Medicine* **29**, 328-335.

Schwarz, F.; Sculean, A.; Georg, T.; Reich, E. (2001b) Periodontal Treatment With an Er:YAG Laser Compared to Scaling and Root Planing. A Controlled Clinical Study. *Journal of Periodontology* **72**, 361-367.

Schwarz, F.; Aoki, A.; Sculean, A.; Georg, T.; Scherbaum, W.; Becker, J. (2003a) In Vivo Effects of an Er:YAG Laser, an Ultrasonic System and Scaling and Root Planing on the Biocompatibility of Periodontally Diseased Root Surfaces in Cultures of Human PDL Fibroblasts. *Lasers in Surgery and Medicine* **33**, 140-147.

Schwarz, F.; Sculean, A.; Berakdar, M.; Szathmari, L.; Georg, T.; Becker, J. (2003b) In Vivo and In Vitro Effects of an Er:YAG Laser, a GaAlAs Diode Laser, and Scaling and Root Planing on Periodontally Diseased Root Surfaces: A Comparative Histologic Study. *Lasers in Surgery and Medicine* **32**, 359-366.

Schwarz, F.; Becker, J.; Sculean, A.; Aoki, A.; Folwaczny, M.; Jepsen, S. (2005) Therapie der Parodontitis und Periimplantitis mit dem Er:YAG-Laser. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* **60**, 135-147.

Schweizer, B. & Rateitschak, K.H. (1972) Zur Topographie des Knochenschwunds und der Zahnfleischtaschen bei Parodontitis. *Schweizerische Monatszeitschrift für Zahnheilkunde* **82**, 1075-1089.

Sherman, P.R.; Hutchens Jr., L.H.; Jewson, L.G.; Moriarty, J.M.; Greco, G.W.; McFall Jr., W.T. (1990) The Effectiveness of Subgingival Scaling and Root Planing - I. Clinical Detection of Residual Calculus. *Journal of Periodontology* **61**, 3-8.

Takeda, F.H.; Harashima, T.; Kimura, Y.; Matsumoto, K. (1999) A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *International Endodontic Journal* **32**, 32-39.

Tamaro, S.; Wennström, J.L.; Bergenholtz, G. (2000) Root-dentin sensitivity following non-surgical periodontal treatment. *Journal of Clinical Periodontology* **27**, 690-697.

Theodoro, L.H.; Haypek, P.; Bachmann, L.; Garcia, V.G.; Sampaio, J.E.C.; Zzell, D.M.; Eduardo, C. de P. (2003) Effect of Er:YAG and Diode Laser Irradiation on the Root Surface: Morphological and Thermal Analysis. *Journal of Periodontology* **74**, 838-843.

Wolf, H.F., Rateitschak, E.M.; Rateitschak, K.H. Parodontologie, in: Rateitschak, K.H. & Wolf, H.F. (Hrsg.): Farbatlant der Zahnmedizin Band 1. 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (2004).

Zharikov, E. V.; Zhecov; V. I.; Kulevskii, L. A.; Murina, T. M.; Osiko, V. V.; Prokhorov; A. M.; Savel'ev, A. D.; Smirnov, V. V.; Starikov, B. P.; Timoshechkin, M. I. (1975) Stimulated emission from Er³⁺-ions in yttrium aluminium garnet crystals at $\lambda=2.94\mu$. *Soviet Journal of Quantum Electronics* **4**, 1039-1040.

Lebenslauf

<u>Name</u>	Saskia Janßen-Venghaus
<u>Geburtsdatum</u>	11.08.1979
<u>Geburtsort</u>	Moers
<u>Familienstand</u>	verheiratet
<u>Ausbildung</u>	1990 – 1999 Julius-Stursberg-Gymnasium, Neukirchen-Vluyn
	1999 – 2005 Studium der Zahnmedizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
	2005 – 2007 Dissertation an der Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie und Aufnahme der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Priv.-Doz. Dr. F. Schwarz, der mir bereitwillig die Bearbeitung des Themas überlassen hat. Er hat die Entstehung dieser Arbeit intensiv und stets hilfsbereit begleitet.

Außerdem danke ich Frau Dr. K. Bieling, die stets ein offenes Ohr für meine Fragen hatte.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich während meines gesamten Bildungsweges unterstützt und gefördert haben und immer für mich da waren.

Mein größtes Dankeschön geht an meinen Mann Michael, der in den letzten sechseinhalb Jahren viel Geduld bewies und mich immer wieder ermutigte, weiterzumachen.

Hintergrund und Zielsetzung:

Da die Parodontitis eine weit verbreitete orale Erkrankung im Erwachsenenalter darstellt, wird kontinuierlich nach einem effektiven und für den Patienten schonenden Therapieansatz gesucht. Die vorliegende Studie vergleicht mehrere Alternativen zur Reinigung infizierter Wurzeloberflächen. Zum Einsatz kamen zum einen ein Er:YAG-Laser mit einem neuartigen, integrierten Detektionssystem (InGaAsP-Diodenlaser), zum anderen ein Ultraschallgerät (Vector™), sowie das konventionelle Scaling und Root Planing mittels Küretten. Die vorliegende Studie untersucht, in wieweit die jeweiligen Behandlungsmethoden subgingivale Konkremente hinterlassen bzw. die oberflächlichen Wurzelstrukturen beschädigen.

Studiendesign:

In die Studie wurden 72 parodontal geschädigte, einwurzelige, nicht mehr erhaltungswürdige und zur Extraktion vorgesehene Zähne einbezogen. Nach erfolgter professioneller Zahnreinigung und lokaler Anästhesie wurden die Zähne nach dem Zufallsprinzip auf sechs Untersuchungsgruppen (Er:YAG-Laser mit drei verschiedenen Energieeinstellungen, Ultraschallsystem Vector™, Handinstrumente und Kontrollgruppe) aufgeteilt.

Nach erfolgter Behandlung der mesialen und distalen Wurzeloberflächen wurden die Zähne beschädigungsfrei extrahiert und digitale Aufnahmen der Wurzeloberflächen angefertigt. Diese wurden mit Hilfe einer speziellen Software auf verbliebene subgingivale Konkremente untersucht. Zur Auswertung möglicher Oberflächenveränderungen wurden histo-morphometrische Analysen durchgeführt.

Ergebnisse:

In Bezug auf die Entfernung von subgingivalen Konkrementen, bewertet durch das Ausmaß der nicht gereinigten Flächen, erwies sich der Vector™ als am besten geeignet, gefolgt vom Er:YAG-Laser und den Handinstrumenten. Innerhalb der drei Laser-Gruppen konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden.

Die Analyse der Wurzeloberflächen ergab erhebliche Strukturveränderungen nach Einsatz der Handinstrumente, beispielsweise in Gestalt von Riefen und Kratern. Aus der Vector™-Behandlung resultierten bei einer überwiegend glatten Oberfläche leichte Unregelmäßigkeiten auf nahezu der gesamten Fläche. Diese Veränderungen blieben in den Lasergruppen beinahe vollständig aus, stattdessen erzeugte der Lasereinsatz eine glatte und homogene Oberfläche.

Während die durchschnittliche Behandlungszeit für den Er:YAG-Laser und die Handinstrumente vergleichbar lang war, erforderte die Reinigung der Wurzeloberflächen mit dem Vector™ eine etwas längere Behandlungsdauer.

Schlußfolgerung:

Der Er:YAG-Laser in Verbindung mit dem zugehörigen Detektionssystem hat sich als denkbare Alternative zur Entfernung subgingivaler Konkremente erwiesen. Obwohl die Reinigungswirkung, insbesondere in tiefen Taschen, hinter dem Ultraschallsystem Vector™ zurückbleibt, wirkt der Er:YAG-Laser durch die selektive Entfernung von Konkrementen schonender auf die Wurzeloberflächen ein. Der Einsatz von Handinstrumenten ist dagegen auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse als kritisch zu bewerten, da sowohl die Reinigungswirkung gegenüber den Vergleichsgruppen als geringer einzustufen ist und zudem Oberflächenveränderungen in einem unerwünschten Maße auftreten.