

Der CO₂-Laser in der Stomatologie

Teil 1

Michael M. Bornstein¹, Valérie G. A. Suter¹,
Edouard Stauffer², Daniel Buser¹

¹ Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie,
Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern
² Pathologisches Institut der Universität Bern

Schlüsselwörter: CO₂-Laser, Stomatologie,
fotothermische Wirkung, Wundheilung, Biopsie

Korrespondenzadresse:

Dr. med. dent. Michael M. Bornstein
Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie
Zahnmedizinische Kliniken der Universität Bern
Freiburgstrasse 7, 3010 Bern
Tel. 031/632 25 04, Fax 031/632 98 84
E-Mail: michael.bornstein@zmk.unibe.ch

Seit seiner Entwicklung in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts hielt der CO₂-Laser schnell Einzug in die medizinische Forschung und fast alle operativen Gebiete der Medizin und der Zahnmedizin. In der zahnärztlichen Chirurgie wird er heutzutage vor allem zur Bearbeitung der oralen Weichgewebe eingesetzt. In der Behandlung von Mundschleimhautrekrankungen gilt der CO₂-Laser bei bestimmten Läsionen mittlerweile als Therapie der Wahl, bei anderen wird sein Einsatz weiterhin eher kritisch bewertet. Im vorliegenden ersten Teil einer zweiteiligen Übersichtsarbeit soll zunächst auf die Eigenarten der Wundheilung der Mundschleimhaut nach CO₂-Laser-Gebrauch im Vergleich zur Skalpellanwendung und auf die histopathologische Beurteilbarkeit von mit dem CO₂-Laser entnommenen Biopsien anhand aktueller Literatur eingegangen werden. Im zweiten Teil werden dann die einzelnen Indikationen zum CO₂-Laser-Einsatz in der Stomatologie eingehend besprochen.

(Texte français voir page 566)

Einleitung

Der erste funktionierende LASER, ein Akronym für «light amplification by stimulated emission of radiation», wurde bei den Hughes Research Laboratories in Malibu (Kalifornien, USA) von Theodore H. Maiman (MAIMAN 1960) entwickelt. Maiman arbeitete mit einem Rubinkristall und erzeugte damit am 16. Mai 1960 die ersten Laserstrahlen. Bereits vier Jahre später wurden mit dem Rubinlaser erste Versuche an extrahierten Zähnen durchgeführt: Bei Bestrahlungen mit 2–5 Joule wurden am Schmelz eine glasähnliche Verschmelzung und am Dentin eine Kraterbildung beobachtet (STERN & SOGNAES 1964). Bei Bestrahlungen mit 90 Joule und defokussiertem Laserstrahl konnte Karies oberflächlich, mit fokussiertem Laserstrahl in tieferen Schichten entfernt werden (GOLDMAN et al. 1964). Im darauf folgenden Jahr wurde der Rubinlaser erstmals intraoral an einem vitalen Zahn angewandt und der Patient verspürte weder Schmerz noch Hitze (GOLDMAN et al. 1965).

Der erste Gaslaser, ein Helium-Neon-Laser mit kontinuierlicher Strahlung, wurde in den Bell Telephone Laboratories in Murray Hill (New Jersey, USA) durch die Forschungsgruppe um Javan (JAVAN et al. 1961) konstruiert. In gleichen Labor entwickelte Patel (PATEL 1964a, 1964b) den ersten CO₂-Laser, welcher mit reinem CO₂-Gas funktionierte. Der Effekt des CO₂-Lasers auf den Zahn wurde erstmals 1968 beschrieben: Zwar ergab sich der beabsichtigte beziehungsweise erhoffte kariespräventive Verschluss von Fissuren durch Verschmelzung von synthetischem Hydroxyapatit mit dem Zahnschmelz nicht, es konnten jedoch Farb- sowie Strukturveränderungen am Schmelz und am Dentin sowohl makro- wie mikroskopisch beobachtet werden (LOBENE et al. 1968). In den frühen Siebzigerjahren konnte doch noch ein kariespräventiver Effekt gezeigt werden: Zähne, welche mit einem CO₂-Laser einer Leistungsdichte von 13–50 J/cm² bestrahlt werden, demineralisieren dank spezifischen Oberflächenveränderungen beim anschließenden Eintauchen in eine demineralisierende Lösung weniger als nicht

bestrahlte Kontrollzähne (STERN et al. 1972). In der Medizin liessen Tierexperimente schon bald den klinischen CO₂-Lasereinsatz zur Weichgewebechirurgie als Möglichkeit erscheinen (MULLINS et al. 1968, GOLDMAN et al. 1970, POLANYI et al. 1970, HALL 1971, HALL et al. 1971, HALL et al. 1973). Nach Tierexperimenten an Hundestimmbändern (JAKO 1972) wurde der CO₂-Laser erstmals am Larynx bei 15 Patienten angewandt (STRONG & JAKO 1972). Vier Jahre später berichtete dieselbe Gruppe bereits über 1000 Einsätze des CO₂-Lasers bei 560 Patienten auf dem Gebiet der Otolaryngologie, inklusive der Mundhöhle (STRONG et al. 1976). Seither sind unzählige Publikationen – Fallberichte, Fall-Kontrollstudien, retro- sowie prospektive Studien – erschienen, die über die verschiedenen Einsatzgebiete des CO₂-Lasers in der Mundhöhle und speziell in der Stomatologie berichten.

Die vorliegende zweiteilige Übersichtsarbeit hat zum Ziel, die Anwendungsmöglichkeiten des CO₂-Lasers im Bereich der Stomatologie anhand der aktuellen Literatur zu diskutieren und darzulegen, wobei sowohl tierexperimentelle als auch klinische Studien berücksichtigt werden. Die Arbeit soll zudem detailliert auf die Eigenarten der Wundheilung der Mundschleimhaut nach CO₂-Laser-Gebrauch im Vergleich zur Skalpellanwendung, auf die histopathologische Beurteilbarkeit von mit dem CO₂-Laser entnommenen Biopsien sowie auf die typischen Einsatzgebiete des CO₂-Lasers in der Stomatologie eingehen.

Wirkung des CO₂-Lasers auf das orale Weichgewebe

Der CO₂-Laserstrahl wird auf Spiegeln und Metalloberflächen reflektiert ohne einen Effekt auf dem bestrahlten Objekt zu hinterlassen – im oralen Weichgewebe wird er hingegen absorbiert. Nur absorbiertes Licht hat einen Gewebefekt und kann therapeutisch genutzt werden. Der CO₂-Laser hat bei der Wellenlänge von 10,6 µm sein Absorptionsmaximum in Wasser. Da das orale Weichgewebe einen sehr hohen Wassergehalt hat, eignet sich der CO₂-Laser optimal für das Abtragen und Schneiden von Weichgewebeläsionen. Nicht zu vernachlässigen ist zudem die Absorption des CO₂-Laserstrahls im Hydroxyapatit (COLUZZI 2000), weshalb bei laserchirurgischen Eingriffen im Munde die Zahnoberflächen stets sorgfältig geschützt werden müssen.

Nebst der Gewebeart und der Wellenlänge des jeweiligen Lasers beeinflussen die Leistungsdichte und die Dauer der Anwendung des CO₂-Lasers den Effekt im Gewebe. Die Wirkungen einer steigenden Leistungsdichte auf das Gewebe werden grob in drei Gruppen eingeteilt: Die *photochemischen*, die *thermischen* und die *ionisierenden* Wirkungen. In der Stomatologie werden hauptsächlich die photothermischen Wirkungen ausgenutzt.

Bei der Absorption des Laserlichts in der oralen Mukosa wird Wärmeenergie erzeugt, es kommt zu so genannten photothermischen Effekten. Gewebetemperaturen ab 40–45 °C bewirken eine Deaktivierung von Enzymen, was nach etwa 25 Minuten zu irreversiblen Zellschäden führt (VAN HILLEGERSBERG 1997). Bei Temperaturen zwischen 60 °C und 100 °C werden Proteine denaturiert, Koagulation und Zellnekrosen treten auf. Ab 100 °C siedet das Wasser, und es kommt zur Vaporisation von flüssigen Zellkomponenten und Interzellularsubstanz. Bei weiter steigender Temperatur karbonisiert das Gewebe, und ab 300 °C kommt es zur Verdampfung aller Gewebekomponenten mit Rauchentwicklung (HORCH 1992, FULLER 1997, POKORA 2001).

Bei sehr hohen Leistungsdichten und kurzen Pulsdauern finden ionisierende Prozesse statt, zu welcher die Fotoablation und die

Fotodisruption zählen. Bei der Fotoablation wird das Gewebe explosionsartig verdampft. Bei der Fotodisruption kommt es durch einen lawinenartigen Anstieg freier Elektronen und Ionen im Laserstrahl zur Entstehung eines Plasmas und zur Ausbreitung einer Schockwelle, die zum Beispiel für Lithotripsien eingesetzt werden kann. Diese Effekte lassen sich jedoch mit einem CO₂-Laser nicht optimal erzielen (DRETLER 1988, DÖRSCHHEL et al. 1994, ROMANOS 1999).

Die Dauer der Lasereinwirkung und die Art der Abgabe der Laserenergie variieren je nach Betriebsmodus des Lasers. So kann ein CO₂-Laser im Dauerstrichbetrieb (*continuous wave/cw*), im Impulsbetrieb (*chopped mode, superpulse mode*) oder im freilaufenden Pulsbetrieb (*free running pulse, pulsed mode*) arbeiten. Beim Dauerstrichbetrieb wird der Laserstrahl kontinuierlich emittiert, und das Gewebe kann ohne Unterbrechung bestrahlt werden. Beim Impulsbetrieb wird der Laserstrahl in regelmäßigen Abständen unterbrochen. Beim freilaufenden Pulsbetrieb emittiert der Laser Pulse, welche eine Leistung von mehreren 1000 Watt haben, deren Dauer aber im Mikrosekundenbereich liegen. Eine Unterbrechung der Laserstrahlwirkung ermöglicht eine bessere Ableitung der Hitze, und die Zone der thermischen Effekte am Wundrand wird verkleinert (LIPPERT et al. 1994, WILDER-SMITH et al. 1995, WILDER-SMITH et al. 1997, GUTKNECHT 1999).

Werden die Effekte des Lasers histologisch betrachtet, so können drei verschiedene Zonen erkannt werden. Eine Zone der Karbonisation umgibt die kraterförmige Gewebeverdampfung. Darauf folgt eine Nekrose- bzw. Koagulationszone und anschliessend eine Ödemzone, welche fließend in morphologisch unauffälliges Gewebe übergeht (HORCH 1992, KRÜSS 1995, LIPPERT et al. 1995) (Abb. 1, 2). Die Ausdehnung der Zonen hängt von der Gewebeoberfläche (zum Beispiel feucht oder blutig), der Zusammensetzung des Gewebes und den Laserparametern (wie Leistungsdichte und Betriebsmodus) ab. So werden in der Literatur für die Ausdehnung der Nekrosezone Werte zwischen 110 µm (POGREL et al. 1990) und 1000 µm (LUOMANEN 1987a) angegeben. Klinische Bedeutung erlangt die Nekrosezone dadurch, dass sie unter anderem für die Blutleere im Operationsfeld, das heisst für eine gute Arbeitssicht, verantwortlich ist (Abb. 3–6). Mit dem CO₂-Laser können Blutgefässe bis zu einem Durchmesser von 0,5 mm verschlossen werden (STRONG & JAKO 1972, LIPPERT et al. 1995).

Die Wundheilung der Mundschleimhaut: CO₂-Laser vs. Skalpellinzision

Die Wundheilung der Mundschleimhaut nach CO₂-Laseranwendung und nach Skalpellinzision wurde anhand histologischer Beobachtungen in tierexperimentellen Untersuchungen beschrieben und verglichen (FISHER et al. 1983, LUOMANEN 1987b, LIBOON et al. 1997, BRYANT et al. 1998). Ähnliche Studien an der Mundschleimhaut von Menschen sind in der gesamten Literatur kaum zu finden. Eine Studie vergleicht jedoch anhand elektronenmikroskopischer Analysen von Biopsien menschlicher Mundschleimhaut detailliert die Wundheilung nach Lasereinsatz mit der nach Skalpellinzision (CHOMETTE et al. 1991).

Die Entzündungsreaktion

Eine Verzögerung der Entzündungsreaktion bei Laserwunden im Vergleich zu Skalpellwunden wird in der Literatur wiederholt festgestellt (FISHER et al. 1983, LUOMANEN 1987b, CHOMETTE et al. 1991). Die Intensität der Entzündungsreaktion wird sehr unterschiedlich beschrieben: Sie wird von Fisher (FISHER et al. 1983)

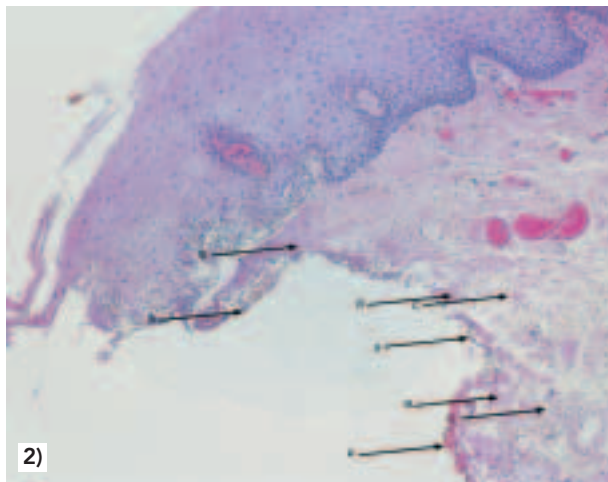
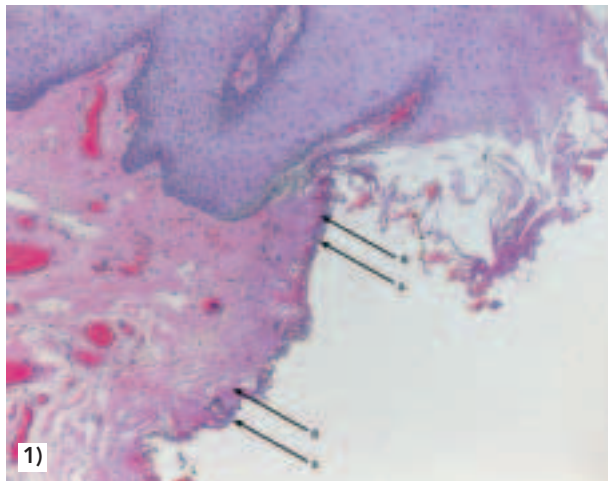


Abb. 1 und 2 Histopathologisches Präparat einer fibrösen Hyperplasie nach CO₂-Laserexzision mit 4 Watt im Dauerstrich-Betrieb (Hämatoxylin/Eosin; Original-Vergrößerung: ×10). Erkennbar sind: Karbonisationszone (A), Nekrose-/Koagulationszone (B), Ödemzone (C).

Fig. 1 et 2 Préparation histopathologique d'une dysplasie fibreuse après excision par laser au CO₂; puissance du laser 4 watts, en mode continu (hématoxyline-éosine; grossissement original: 10×). A noter la zone de carbonisation (A), la zone de nécrose/coagulation (B) et la zone d'œdème (C).

bei den Laserwunden insgesamt als mild bezeichnet und auch Chomette (CHOMETTE et al. 1991) beobachtete, dass die Entzündungsreaktion nach einer Laserinzision nie die Intensität derjenigen nach Skalpellinzision erreichte. Luomanen (LUOMANEN 1987b) hingegen beobachtete am 2. Tag nach der Laserinzision ein ausgeprägtes Infiltrat von Entzündungszellen und auch Liboon (LIBOON et al. 1997) stellte am 3. Tag eine deutlich grössere Ausdehnung der Entzündungsreaktion nach Laser- als nach Skalpellinzision fest. Nach einer Woche wird in letzterer Studie eine ähnlich grosse Ausdehnung der Entzündung bei beiden Wundtypen beschrieben, und nach zwei Wochen war die Entzündungsreaktion beendet (Tab. I, II).

Die Reepithelisation

Die vollständige Reepithelisation der Wunde wurde von Fisher (FISHER et al. 1983) bei den Skalpellwunden zu einem früheren Zeitpunkt (14. Tag) als bei den Laserwunden (28. Tag) beobach-



Abb. 3 Fibröse Hyperplasie an der Zungenspitze vor der Exzision mit dem CO₂-Laser: Der Haltefaden (Seralon 4-0) traumatisiert das fragile Gewebe im Hinblick auf die histopathologische Beurteilbarkeit weniger als eine chirurgische Pinzette.

Fig. 3 Hyperplasie fibreuse de la pointe de la langue avant excision par laser au CO₂: le fil de rétraction (Seralon 4-0) traumatise moins le tissu concerné qu'une précelle chirurgicale quant à la fiabilité de l'interprétation histopathologique.

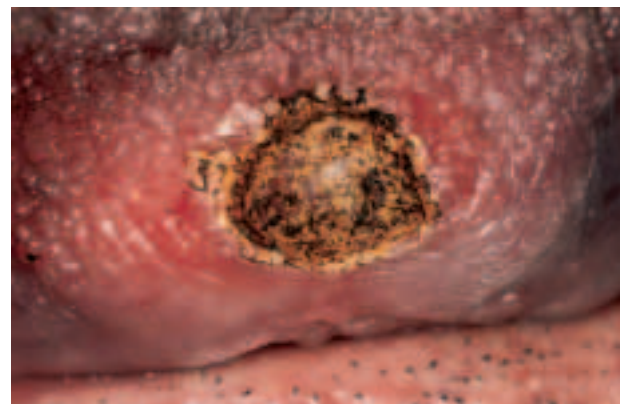


Abb. 4 Die Zungenspitze nach Entfernung der fibrösen Hyperplasie mit dem CO₂-Laser (Leistung: 4 W, cw): Es imponiert eine blutungsfreie, karbonisierte Oberfläche.

Fig. 4 La pointe de la langue après excision par laser au CO₂ (puissance 4 watts, mode c/w). A noter la surface carbonisée, exempte de saignement.

tet, während bei der Arbeitsgruppe um Bryant (BRYANT et al. 1998) die Reepithelisation bei beiden Wundtypen gleichzeitig beendet war (14. Tag). Eine andere Untersuchung zeigte, dass die Reepithelisation bei den Skalpellwunden am 3. Tag weiter fortgeschritten als bei den Laserwunden, nach einer Woche bei beiden Wundtypen identisch und nach vier Wochen bei allen Präparaten ein intaktes Epithel vorhanden war (LIBOON et al. 1997) (Tab. I, II).

Die Neovaskularisation

Mittels histoenzymatischer Methoden und lichtmikroskopischer Beobachtungen der Neovaskularisation bei Biopsien der menschlichen Mundschleimhaut wurde festgestellt, dass in den ersten vier Tagen nach Inzision bei Laserwunden im Gegensatz zu Skalpellwunden nur vereinzelte neue Gefässe auftraten (CHOMETTE et al. 1991). Bei einer anderen tierexperimentellen Studie wurden die vorhandenen Gefässe in beiden Wundtypen



Abb. 5 Fibröse Hyperplasie am Planum buccale rechts vor der Exzision mit dem CO₂-Laser.

Fig. 5 Hyperplasie fibreuse au niveau du plancher buccal du côté droit avant excision par laser au CO₂.

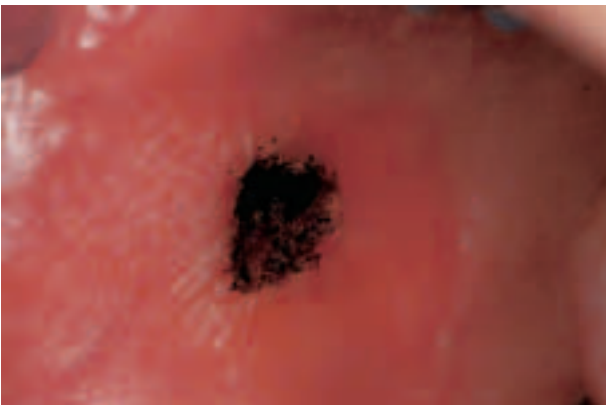


Abb. 6 Das Planum buccale rechts nach Entfernung der fibrösen Hyperplasie mit dem CO₂-Laser (Leistung: 3–4 W, cw): Es imponiert eine blutungsfreie, karbonisierte Oberfläche.

Fig. 6 Le plancher buccal après excision de l'hyperplasie fibreuse par laser au CO₂ (puissance 3–4 watts, mode c/w). A noter la surface carbonisée, exempte de saignement.

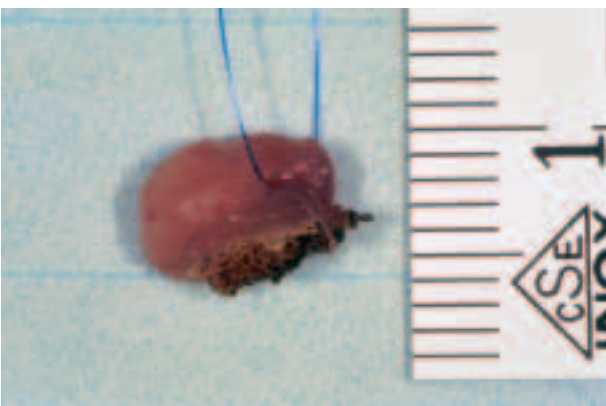


Abb. 7 Fibröse Hyperplasie an der Zungenspitze nach der Exzision mit dem CO₂-Laser (vgl. Abb. 3, 4): Deutlich ist ein Sicherheitsabstand des Exzisesates von etwa 1 mm zu erkennen.

Fig. 7 Hyperplasie fibreuse de la pointe de la langue après excision par laser au CO₂ (cf. fig. 3 et 4). A noter la marge de sécurité d'environ 1 mm autour de la préparation excisée.

während 28 Tagen immunohistologisch untersucht: Nach zwei Tagen waren deutlich mehr Gefässe bei den Skalpell- als bei den Laserwunden vorhanden; am 11. Tag wurde bei den meisten Laserwunden bereits eine moderate Anzahl Blutgefässe, bei einigen gar eine grosse Anzahl beobachtet (LUOMANEN 1987b).

Die Myofibroblasten

Klinische Erfahrungen zeigen, dass Laserwunden mit einer geringeren Kontraktion und Narbenbildung als Skalpellwunden heilen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte die beobachtete geringere Anzahl Myofibroblasten beim Heilungsprozess von Laserwunden im Vergleich zu Skalpellwunden sein (FISHER et al. 1983, CHOMETTE et al. 1991, ZEINOUN et al. 2001) (Tab. III).

Die Gewebeelastizität

Durch Messungen des Gewicht-Spannungsverhältnisses an der Oberlippenschleimhaut von Hunden wurde gezeigt, dass das Gewebe sechs Wochen nach Laservaporisation um den Faktor 1,75 weniger elastisch als vor dem Eingriff war. Nach der Skalpell-Exzision war die Oberlippenschleimhaut um den Faktor 3 weniger elastisch. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde gefolgert, dass bei Lasereingriffen die elastischen Eigenschaften der Schleimhaut besser erhalten bleiben als nach einer chirurgischen Exzision (ROODENBURG et al. 1990).

Die histopathologische Beurteilbarkeit von Biopsieentnahmen mit dem CO₂-Laser

Stomatologische Läsionen, bei denen ein Verdacht auf dysplastische oder maligne Transformation besteht, müssen biopsiert und histopathologisch untersucht werden. Biopsien dienen auch dazu, klinische Verdachtsdiagnosen histopathologisch zu verifizieren. Bei kleinen Läsionen wird normalerweise eine Exzisionsbiopsie vollzogen. Bei ausgedehnten Läsionen werden eine oder mehrere verdächtige Stellen für die mikroskopische Untersuchung entnommen; man spricht von Inzisionsbiopsien. Biopsien können konventionell mit dem Skalpell oder auch mit dem CO₂-Laser gewonnen werden.

Nur wenige Studien haben die Beurteilbarkeit von mit Laser entnommenen Gewebeproben gegenüber konventionellen, mit dem Skalpell durchgeführten Biopsien verglichen. In einer Arbeit aus den 90er-Jahren wurde der Einfluss der thermischen Schädigung auf die histopathologische Beurteilbarkeit bei 25 mittels CO₂-Laser entnommenen Mundschleimhautexzisaten untersucht (FLEINER et al. 1993). Folgende Parameter wurden beurteilt: Die Zellatypie, die Epitheldysplasie, die Basalmembran und der Resektionsrand. Die Resultate zeigen, dass die drei ersten Parameter in ihrer Beurteilbarkeit durch die Laserexzision nicht beeinflusst werden. Der Resektionsrand ist auf Grund der thermischen Schädigung – bei diesen Untersuchungen zwischen 0,3 und 0,9 mm – nicht oder nur unzureichend beurteilbar. Auf Grund dieser Resultate wurde gefolgert, dass, wenn bei der Laserbiopsie ein Sicherheitsabstand von 1 mm eingehalten wird, eine sichere histopathologische Beurteilbarkeit des gesamten Areals möglich ist (Abb. 7). Auch Luomanen (LUOMANEN 1989) beobachtete, dass der CO₂-Laser nur eine sehr schmale und limitierte Schädigung der Randzone im histologischen Präparat hinterlässt und daher zur Biopsieentnahme geeignet erscheint. Dagegen wurde in einer neueren Arbeit anhand von histologischen Bildern gezeigt, dass thermische Artefakte entlang der gelaserten Randzone zytologische Atypien simulieren und zu einer falschen Diagnose führen können (EVERSOLE 1997).

Tab. I Tierexperimentelle Untersuchungen der Wundheilung nach Laser- und nach Skalpellinzision: Histologische Beobachtungen der Entzündungsreaktion und der Reepithelisation

Studie	FISHER et al. 1983	LUOMANEN 1987b	LIBOON et al. 1997	BRYANT et al. 1998
Gewebe	Wangenschleimhaut von Spürhunden	Zungenschleimhaut von Ratten	Zungen- und Wangenschleimhaut von Schweinen	Mundschleimhaut von Hunden
Laserparameter	Dauerstrichbetrieb, P = 10 W/20 W	Dauerstrichbetrieb, P = 10 W, PD = 5000 W/cm ²	Dauerstrichbetrieb, P = 10 W, Zielpunktdurchmesser = 0,3 mm	Impulsbetrieb, P = 5 W, Pulsdauer = 0,1 s, mit Operationsmikroskop und Microscan micropositionier (CAST-System), Zielpunktdurchmesser = 0,8 mm
Zeitpunkte der Gewebeentnahmen	Unmittelbar, 2., 4., 7., 10., 14., 28., 42. Tag	Unmittelbar, 6 h, 2., 11., 28. Tag	Unmittelbar, 3., 7., 14., 28., 42. Tag	Unmittelbar, 3., 7., 14. Tag
Entzündungsreaktion nach Laserinzision	4. Tag: maximales, aber mildes Infiltrat von polymorphkernigen Leukozyten	Infiltrat von Entzündungszellen: 6 h: kein bzw. mild bis moderat 2. Tag: stark bis sehr stark 11. Tag: mild bis stark	3. Tag: maximal, grosse Ausdehnung, polymorphkernige Leukozyten 7. Tag: Ausdehnung identisch Skalpell, mononukleäre Leukozyten 14. Tag: beendet	3. Tag: Immigration von Entzündungszellen
Entzündungsreaktion nach Skalpellinzision	Unmittelbar nach Inzision: Auftreten von polymorphkernigen Leukozyten	Infiltrat von Entzündungszellen: 6 h: mild bis stark 2. Tag: mild bis stark 11. Tag: kein oder mild bis moderat	3. Tag: maximal, kleine Ausdehnung, polymorphkernige Leukozyten 7. Tag: Ausdehnung identisch Laser, mononukleäre Leukozyten 14. Tag: beendet	k. A.
Reepithelisationsdauer Laser	28. Tag	k. A.	28. Tag	14. Tag
Reepithelisationsdauer Skalpell	14. Tag	k. A.	28. Tag	14. Tag

k. A. = keine Angaben P = Leistung PD = Leistungsdichte s = Sekunde

Tab. II Wundheilung nach Laser- und Skalpellinzision bei der Mundschleimhaut von Menschen: Elektronenmikroskopische Beobachtungen der Entzündungsreaktion

Studie	CHOMETTE et al. 1991
Gewebe	Mundschleimhaut von Menschen
Laserparameter	Dauerstrichbetrieb, P = 25 W, Zielpunktdurchmesser = 0,5 mm
Zeitpunkte der Gewebeentnahmen	2 h, 24 h, 4. Tag
Entzündungsreaktion nach Laserinzision	2 h: Kein Exsudat 24 h: wenige polymorphkernige Leukozyten und Makrophagen; verzettelte ödematöse und fibrinöse Exsudate 4. Tag: diskrete Entzündungsreaktion, hauptsächlich Makrophagen; bleibende fibrinöse Ablagerungen
Entzündungsreaktion nach Skalpellinzision	2 h: markantes Exsudat und perivaskulär viele polymorphkernige Leukozyten und Makrophagen 24 h: viele polymorphkernige Leukozyten und Makrophagen in der Lamina propria; viele perivaskuläre Fibrinablagerungen 4. Tag: persistierende Entzündungszellen und Fibrinablagerungen

P = Leistung h = Stunde

In einer aktuellen Arbeit wurden neben histologischen auch histochemische und immunzytologische Methoden angewandt, um die Beurteilbarkeit von Laserbiopsien einzuschätzen (VITALE et al. 2001). In dieser Studie wurden CO₂-Laser- mit Elektrochirurgie-Biopsien verglichen. Die Autoren hielten fest, dass sich der CO₂-Laser für die Inzisions- und Exzisionsbiopsie eignet, da er scharfe Wundränder erzeugt, die Morphologie des Nachbargewebes erhält und gute hämostatische Effekte gewährleistet.

CO₂-Laser-Indikationen in der Stomatologie

Der CO₂-Laser ermöglicht es durch seine photothermische Wirkung, das Gewebe auf andere Art und Weise als das Skalpell zu schneiden beziehungsweise ablativ abzutragen. Somit unterscheiden sich der CO₂-Laser und das Skalpell einerseits in ihrer Anwendung, und andererseits verläuft die postoperative Phase der Wundheilung verschieden. Um einen CO₂-Laser anzuwenden, müssen seine technischen Eigenschaften, physikalischen Prinzipien, biologischen Auswirkungen und die Anwendungsprinzipien dem Benutzer bekannt sein und verstanden werden.

Der CO₂-Laser eignet sich nicht zur Therapie sämtlicher stomatologischer Erkrankungen. Daher wird nach der Befundaufnahme und dem Stellen einer Verdachts-/Arbeitsdiagnose eine sorgfältige Planung der weiteren therapeutischen Schritte gefordert. Neben der eigentlichen Planung des Eingriffes mit dem

Tab. III Auftreten und Anzahl von Myofibroblasten bei Laser- und bei Skalpellwunden

Studie	FISHER et al. 1983	CHOMETTE et al. 1991	ZEINOUN et al. 2001
Gewebe	Wangenschleimhaut von Spürhunden	Mundschleimhaut von Menschen	Zungenschleimhaut von Ratten
Untersuchungsmethode	Lichtmikroskopische Beobachtungen nach Haematoxylin/Eosin und van Gieson Färbung der Präparate	Elektronenmikroskopische Beobachtungen	Zählen der Myofibroblasten im Lichtmikroskop im Bereich der grössten Dichte nach immunzytochemischer Markierung von α -Aktin und Vimentin
Skapellinzision	Unmittelbar nach Inzision: viele 10. Tag: maximal, parallele Ausrichtung zur Oberfläche	4. Tag: viele, subepithelial	3. Tag: maximal, am Wundrand lokalisiert Ab dem 3. Tag: rasche Abnahme bis zum Verschwinden am 6. Tag
Laserinzision	Unmittelbar nach Inzision: wenige Im Verlauf der Wundheilung: wenige, meist im subepithelialen Gewebe, ungeordnet 28. Tag: dünnes Band, unterhalb des Epithels	Bei einigen Präparaten: vereinzelte subepitheliale Zellen zeigen andeutungsweise die Differenzierung zu Myofibroblasten	3. Tag: wenige, am Wundrand lokalisiert 4. Tag: maximal, aber viel geringer als Skapell Ab dem 4. Tag: langsame Abnahme bis zum Verschwinden am 14. Tag

CO₂-Laser muss der Patient vorgängig über die Vor- und Nachteile der Therapie, die alternativen Möglichkeiten sowie die Kosten (Pflichtleistung gemäss KVG?) aufgeklärt werden.

In der Literatur findet man für folgende Mundschleimhautläsionen Studien (prospektiv/retrospektiv), Fallserien oder einzelne Fallberichte, bei denen der Einsatz des CO₂-Lasers untersucht beziehungsweise beschrieben wird:

- Leukoplakien
- Orale Lichen planus (OLP)
- Benigne Weichgewebe- und Speicheldrüsentumoren
- Reizbedingte Gewebemehrbildungen
- Ankyloglossie
- Speichelretentions- und Extravasationszysten
- Medikamentös bedingte Gingivahyperplasien
- Läsionen bei Herpes-simplex-Virus (HSV), zum Beispiel Herpes labialis
- Rezidivierende aphthöse Stomatitis (RAS)

Im zweiten Teil dieser Literaturübersicht soll zu den obengenannten Läsionen die vorhandene Literatur besprochen und dargelegt werden, wo sich der CO₂-Laser als Therapiemittel eignet, und bei welchen seine Anwendung weiterhin kritisch betrachtet werden sollte.

Abstract

Since its development in the early 60s of the last century, the CO₂ laser has been rapidly introduced into medical research and almost every surgical speciality in medicine and dentistry. In dental surgery it is mainly used for oral soft tissue applications. For the treatment of some stomatologic lesions the CO₂ laser is looked upon as the treatment method of choice, while for other lesions the evidence for its use is still not sufficient. The first part of this review discusses the typical aspects of wound healing in oral soft tissues following the application of a CO₂ laser and will focus on histopathological issues of biopsies taken with a CO₂ laser as compared to conventionally performed biopsies. The second part will review indications for the use of the CO₂ laser for the therapy of stomatologic lesions.

Literatur

BRYANT G L, DAVIDSON J M, OSSOFF R H, GARRETT C G, REINISCH L: Histologic study of oral mucosa wound healing: a compar-

ison of a 6.0- to 6.8-micrometer pulsed laser and a carbon dioxide laser. *Laryngoscope* 108: 13–17 (1998)

CHOMETTE G, AURIOL M, LABROUSSE F, VAILLANT J M: Influence du rayonnement laser CO₂ sur les modalités morphologiques de la cicatrisation cutaneo-muqueuse en chirurgie stomatologique. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 92: 1–7 (1991)

COLUZZI D J: An overview of laser wavelengths used in dentistry. *Dent Clin North Am* 44: 753–765 (2000)

DÖRSCHEL K, ERTL T, MÜLLER G: Physikalische Grundlagen des Lasereinsatzes in der Zahnheilkunde. In: ZUHRT R: Laseranwendung in der Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde. *Ecomed, Landsberg*, pp 5–11 (1994)

DRETTLER S P: Laser lithotripsy: a review of 20 years of research and clinical applications. *Lasers Surg Med* 8: 341–356 (1988)

EVERSOLE R: Laser artifacts and diagnostic biopsy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 83: 639–640 (1997)

FISHER S E, FRAME J W, BROWNE R M, TRANTER R M: A comparative histological study of wound healing following CO₂ laser and conventional surgical excision of canine buccal mucosa. *Arch Oral Biol* 28: 287–291 (1983)

FLEINER B, LÜTTGES J, HOFFMEISTER B: Histologische Beurteilbarkeit von Mundschleimhautveränderungen nach CO₂-Laserektomie. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 53–55 (1993)

FULLER T A: Physical considerations of surgical lasers. In: CLAYMAN L, KUO P: Lasers in maxillofacial surgery and dentistry. Thieme, New York, pp 1–9 (1997)

GOLDMAN L, HORNBY P, MEYER R, GOLDMAN B: Impact of the laser on dental caries. *Nature* 203: 417 (1964)

GOLDMAN L, GRAY J A, GOLDMAN J, GOLDMAN B, MEYER R: Effect of laser beam impacts on teeth. *J Am Dent Assoc* 70: 601–606 (1965)

GOLDMAN L, ROCKWELL R J, NAPRSTEK Z, SILER V E, HOFER R, HOBEIKA C, HISHIMOTO K, POLANYI T, BREDEMEIER H C: Some parameters of high output CO₂-Laser experimental surgery. *Nature* 228: 1344–1345 (1970)

GUTKNECHT N: Lasertherapie in der zahnärztlichen Praxis: Die Anwendungen unterschiedlicher Lasertypen in ihren jeweiligen Spezialgebieten. *Quintessenz*, Berlin, pp 32–34 (1999)

HALL R R: The healing of tissues incised by a carbon-dioxide laser. *Brit J Surg* 58: 222–225 (1971)

HALL R R, BEACH A D, BAKER E, MORISON P C A: Incision of tissue by carbon dioxide laser. *Nature* 232: 131–132 (1971)

- HALL R R, BEACH A D, HILL D W: Partial hepatectomy using a carbon-dioxide laser. *Brit J Surg* 60: 141–144 (1973)
- HORCH H H: Laser in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. In: VAHL J, VAN BENTHEM H: Laser in der Zahnmedizin. Quintessenz, Berlin, pp 43–61 (1992)
- JAKO G J: Laser surgery of the vocal cords: An experimental study with carbon dioxide lasers on dogs. *Laryngoscope* 82: 2204–2216 (1972)
- JAVAN A, BENNETT W R, HERRIOTT D R: Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture. *Phys Rev Lett* 6: 106–110 (1961)
- KRÜSS C: Vergleichende Untersuchungen zur Wundheilung an der Mundschleimhaut der Ratte nach Inzision mit dem Skalpell, dem CO₂- und dem Neodym-YAG-Laser. Med. Diss., Christian Albrechts-Universität, Kiel (1995)
- LIBOON J, FUNKHOUSER W, TERRIS D J: A comparison of mucosal incisions made by scalpel, CO₂ laser, electrocautery, and constant-voltage electrocautery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 116: 379–385 (1997)
- LIPPERT B M, WERNER J A, RUDERT H: Experimentelle und klinische Untersuchungen zur Schnittqualität des CO₂-Lasers bei unterschiedlichen Betriebsformen. In: WAIDELICH W, WAIDELICH R, HOFSTEITER A: Laser in der Medizin: Vorträge der 9. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Lasermedizin und des 11. Internationalen Kongresses Laser 93. Springer, Berlin, pp 341–342 (1994)
- LIPPERT B M, WERNER J A, RUDERT H: Tissue effects of CO₂ laser and Nd:YAG laser. *Adv Otorhinolaryngol* 49: 1–4 (1995)
- LOBENE R H, BHUSSRY R A J, FINE S: Interaction of carbon dioxide laser radiation with enamel and dentin. *J Dent Res* 47: 311–317 (1968)
- LUOMANEN M: Effect of CO₂ laser surgery on rat mouth mucosa. *Proc Finn Dent Soc* 83 Suppl 11–12: 1–76 (1987a)
- LUOMANEN M: A comparative study of healing of laser and scalpel incision wounds in rat oral mucosa. *Scand J Dent Res* 95: 65–73 (1987b)
- LUOMANEN M: The use of CO₂-Laser surgery for removal of multiple oral epithelial hyperplasias. *Proc Finn Dent Soc* 85: 41–46 (1989)
- MAIMAN T H: Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187: 493–494 (1960)
- MULLINS F, JENNINGS B, MCCLUSKY L: Liver resection with the continuous wave carbon dioxide laser: some experimental observations. *Am Surg* 34: 717–722 (1968)
- PATEL C K N: Interpretation of CO₂-optical maser experiments. *Phys Rev Lett* 12: 588–590 (1964a)
- PATEL C K N: Continuous-wave laser action on vibrational-rotational transitions of CO₂. *Phys Rev* 136: A1187–A1193 (1964b)
- POGREL M A, YEN C K, HANSEN L S: A comparison of carbon dioxide laser, liquid nitrogen cryosurgery, and scalpel wounds in healing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 69: 269–273 (1990)
- POKORA L: Lasers in dentistry: The various wavelengths and power density for good procedures of uses. In: SIMUNOVIC Z: Lasers in surgery and dentistry. Vitagraf, Rijeka, pp 701–709 (2001)
- POLANYI T G, BREDEMEIER H C, DAVIS T W JR: A CO₂-Laser for surgical research. *Med Biol Eng* 8: 541–548 (1970)
- ROMANOS G: Atlas der chirurgischen Laserzahnheilkunde. Urban & Fischer, München, pp 25–30 (1999)
- ROODENBURG J L, TEN BOSCH J J, BORSBOOM P C: Measurement of the uniaxial elasticity of oral mucosa in vivo after CO₂-laser evaporation and surgical excision. *Int J Oral Maxillofac Surg* 19: 181–183 (1990)
- STERN R H, SOGNAES R F: Laser beam effect on dental hard tissues. *J Dent Res* 43: 873 (1964)
- STERN R H, VAHL J, SOGNAES R F: Lased enamel: Ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser. *J Dent Res* 51: 455–460 (1972)
- STRONG M S, JAKO G J: Laser surgery in the larynx. Early clinical experience with continuous CO₂ laser. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 81: 791–798 (1972)
- STRONG M S, JAKO G J, VAUGHAN C W, HEALY G B, POLANYI T: The use of CO₂ laser in otolaryngology: a progress report. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 82: 595–602 (1976)
- VAN HILLEGERSBERG R: Fundamentals of laser surgery. *Eur J Surg* 163: 3–12 (1997)
- VITALE M C, BOTTICELLI A R, ZAFFE D, MARTIGNONE A, CISTERNINO A, VEZZONI F, SCARPELLI F: CO₂-Laser biopsies of oral mucosa: an immunocytological and histological comparative study. In: RECHMANN P, FRIED D, HENNIG T: Lasers in Dentistry VII, Proceedings of SPIE 4294, pp 139–144 (2001)
- WILDER-SMITH P, ARRASTIA A M, LIAW L H, BERNIS M: Incision properties and thermal effects of three CO₂ lasers in soft tissue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 79: 685–691 (1995)
- WILDER-SMITH P, DANG J, KUROSAKI T: Investigating the range of surgical effects on soft tissue produced by a carbon dioxide laser. *J Am Dent Assoc* 128: 583–588 (1997)
- ZEINOUN T, NAMMOUR S, DOUROV N, AFTIMOS G, LUOMANEN M: Myofibroblasts in healing laser excision wounds. *Lasers Surg Med* 28: 74–79 (2001)