

Ultraschallgeräte, Anwendung in der Parodontologie. Eine Literaturübersicht



Zusammenfassung

Ultraschallenergie wird in der Zahnmedizin in verschiedenen Gebieten eingesetzt. Im Rahmen der Parodontologie waren Ultraschallgeräte anfänglich den Handinstrumenten unterlegen, da sie grobe Arbeitsenden und eine ungenügende Kühlung aufwiesen und damit nur supragingival angewendet werden konnten und andererseits nur eine geringe Taktilität zeigten. In den 80er Jahren dokumentierten wissenschaftliche Daten, dass bei einwurzligen Zähnen aus klinischer Sicht Ultraschallgeräte den Handinstrumenten ebenbürtig sind, ja in gewissen Punkten (Wundheilung, Handling, Substanzverlust) diese sogar übertreffen.

Das traditionelle Konzept der Behandlung der Wurzeloberflächen ist vermehrt durch das Konzept der Herstellung und Aufrechterhaltung der Gesundheit der parodontalen Weichgewebe abgelöst worden. Das mechanistische Vorgehen steht einem sog. parodontalen Debridement gegenüber, das eine biologisch akzeptable Wurzeloberfläche zum Ziel hat, aber das Ausmass (Art und Dauer) der Therapie vornehmlich von der biologischen Reaktion der Weichgewebe abhängig macht. In diesem Zusammenhang treten Ultraschallgeräte als non-invasive Hilfsmittel in der Parodontologie vermehrt in den Vordergrund. Die Vorteile wie Substanzschonung, ermüdungsfreies Arbeiten, kein Schärpen, bessere Zugänglichkeit sowie gute Spülung stehen den Nachteilen wie möglichen Nebeneffekten an Restaurationen und Behandler sowie einer geringeren Taktilität gegenüber. Trotzdem scheint der gezielte Einsatz der Ultraschallgeräte in der Parodontologie aufgrund neuer Erkenntnisse berechtigt. Ziel der vorliegenden Literaturübersicht ist es, die Entwicklung der wissenschaftlichen Ergebnisse aufzuzeigen.

Acta Med Dent Helv 3: 149–160 (1998)

Schlüsselwörter: Ultraschallgeräte, parodontales Debridement, Zahnstein, Scaling, Root planing

Zu Veröffentlichung angenommen: 16. Juni 1998

Korrespondenzadresse:

Dr. Marcel Iff, Zentrum für Zahnmedizin der Universität Basel, Klinik für Prothetik und Kaufunktionslehre, Petersplatz 14, CH-4051 Basel, Tel.: ++41 61 267 39 86, Fax: ++41 61 267 26 60

MARCEL IFF und CARLO P. MARINELLO

Klinik für Prothetik und Kaufunktionslehre, Zentrum für Zahnmedizin der Universität Basel.

Einleitung

Hauptziel einer Parodontalbehandlung bleibt die lebenslange Erhaltung der eigenen Dentition. Idealerweise sollte die vorgegebene Therapie 1) die Entzündung bekämpfen, 2) die Progression der Krankheit aufhalten, 3) das verlorene Parodont regenerieren, 4) Ästhetik und Patientenkomfort respektieren und 5) ein Milieu schaffen, das ein Rezidiv erschwert (LINDHE et al. 1997). Um diese Ziele zu erreichen, werden sowohl nicht-chirurgische wie chirurgische Therapieverfahren eingesetzt.

Das Verständnis für die Ätiologie und Pathogenese von Parodontalerkrankungen sowie deren Therapie ist in den letzten Jahren stark gewachsen (LINDHE et al. 1997). Frühe Konzepte basierten auf der *nicht-spezifischen Plaque-Hypothese*, welche davon ausging, dass Plaque eine homogene Bakterienmasse darstellt und dass der Schweregrad der Entzündung eine lineare Beziehung zur Menge der Plaque aufweist. Die nicht spezifische Plaque-Hypothese konnte jedoch nicht erklären, warum ein Teil der Patienten mit wenig Plaquebefall trotzdem weiteren Attachmentverlust aufwies. Gemäss der *spezifischen Plaque-Hypothese* gab es qualitative Unterschiede der Plaque bei gesunden und kranken Individuen bzw. Stellen. Es musste demzufolge eine für die Entstehung von Parodontalerkrankungen typische Bakterienflora identifizierbar sein. Frühe Gingivitisstudien zeigten effektiv, dass Plaque während der Maturation die Zusammensetzung ändert und dass die Pathogenität der Plaque weniger von deren Quantität als vielmehr von deren Maturation abhängig ist (LÖE et al. 1965, THEILADE et al. 1966). In der Folge wurde einerseits zwischen Plaqueorganismen, die mit parodontaler Gesundheit bzw. Krankheit verbunden sind, andererseits zwischen supra- und subgingivaler Plaque unterschieden (LISTGARTEN et al. 1984, SLOTS 1977 a, b). FINE et al. (1978 a, b) untersuchten adhärente und nicht-adhärente Plaque und dokumentierten diese bezüglich ihres pathogenen Potentials. Obwohl die

Menge adhärenter Plaque 4–5mal grösser war als diejenige der nicht-adhärenten Plaque, wurde das pathogene Potential der nicht-adhärenten Plaque um ein Vielfaches grösser eingestuft. Frühe Studien, die sich mit der professionellen Plaquekontrolle beschäftigten, zeigten, dass eine 2-wöchentliche Betreuung von Patienten zur Erhaltung der parodontalen Gesundheit beiträgt (AXELSSON & LINDHE 1974). Später wurde nachgewiesen, dass – bei den meisten Individuen, sofern eine entsprechende supragingivale Plaquekontrolle durchgeführt wird – auch ein grösseres Betreuungsintervall genügt, um Attachmentverlust zu verhindern (AXELSSON & LINDHE 1978, 1981). Die alleinige Entfernung von supragingivaler Plaque resultierte in einer limitierten klinischen und mikrobiologischen Antwort (CERCEK et al. 1983, CATON et al. 1989, KHO et al. 1985, BELTRAMI et al. 1987): unklar blieb die Auswirkung der persönlichen Mundhygiene auf die subgingivale Flora. SMULOW et al. (1983) fanden eine reduzierte Anzahl von Spirochäten und Bacteroides nach 3 Wochen täglicher professioneller supragingivaler Mundhygiene, während KHO et al. (1985) und BELTRAMI et al. (1987) angaben, dass die Mundhygiene keinen Einfluss auf subgingivale Bakterien hat, wenn die Taschentiefe 5 mm übersteigt. Neuere Resultate weisen darauf hin, dass die supragingivale Mundhygiene bei Taschen ≤ 5 mm einen positiven klinischen Effekt auf die subgingivale mikrobielle Situation hat (DAHLÉN et al. 1992, McNABB et al. 1992).

Zahlreiche Studien haben nachgewiesen, dass das Attachmentniveau auch bei Patienten mit mittelmässiger Mundhygiene aufrechterhalten werden kann, sofern sie sich in einem regelmässigen professionellen Recall befinden (ISIDOR & KARRING 1986, ISIDOR et al. 1984, PHILSTRÖM et al. 1981, RAMFJORD et al. 1982). Der Erfolg dieser Studien belegt, dass eine regelmässige Bearbeitung der subgingivalen Region die bakterielle Zusammensetzung stört und eine pathogene Komposition verhindert. Die spezifische Plaquehypothese wird unterstützt, indem mehr die Veränderung des ökologischen Gleichgewichtes als der Grad der Plaqueentfernung weiteren Attachmentverlust zu verhindern mag (GREENWELL et al. 1990).

In den 80er Jahren wurde neben der mikrobiologischen Situation auch die Wirtsantwort beleuchtet. Der Zusammenhang zwischen Parodontitis und einer gestörten Wirtsantwort wurde erkannt (LISTGARTEN 1986). Individuen unterscheiden sich bezüglich der Fähigkeit einer gezielten Immunantwort auf den bakteriellen Angriff. Die mikrobielle Zusammensetzung unterscheidet sich von einem Patienten zum andern, und innerhalb des gleichen Patienten bestehen Unterschiede an verschiedenen Stellen (SOCRANSKY & HAFFAJEE 1992). Individuen mit einer guten Immunantwort zeigen keinen Attachmentverlust trotz Anwesenheit von viel reifer Plaque, während andere mit wenig Plaque eine lokalisierte oder generalisierte Parodontitis aufweisen. Diese Ausgangslage hat insofern eine klinische Bedeutung, als auch im Rahmen der Therapie, dem *parodontalen Debridement*, ein individuelles Vorgehen, das auf der spezifischen Reaktion des Individuums basiert, angezeigt ist. Das parodontale Debridement bedeutet die Behandlung der gingivalen und parodontalen Entzündung, indem die Zahnoberfläche nur soweit mechanisch bearbeitet wird, als die Weichgewebe wieder in einen gesunden, entzündungsfreien Zustand zurückkehren (CORBET et al. 1993). Dies geschieht durch ein *supragingivales Debridement*, ein *subgingivales Debridement* und im Rahmen der Nachsorge durch eine einfache Plaqueentfernung, die auch als *Deplaquing* bezeichnet wird. Letzteres entspricht einer einfachen Störung des bakteriellen Ökosystems. Ziel ist es bei allen Vorgängen, auf minimal invasive Art und Weise und in Abhängigkeit der Wirtsantwort eine biologisch verträgliche Wur-

zeloberfläche zu erreichen, die zu gesunden, entzündungsfreien parodontalen Weichgeweben führt. Ziel der vorliegenden Literaturübersicht ist es, die Entwicklung der wissenschaftlichen Ergebnisse auf dem Gebiet des parodontalen Debridements mittels Ultraschallenergie aufzuzeigen.

Parodontales Debridement mit Ultraschallgeräten

Ein effektives parodontales Debridement kann durch Handinstrumente, Schall- und Ultraschallgeräte sowie mit maschinell angetriebenen Instrumenten (rotatorisch und translatorisch) erreicht werden; sämtliche Methoden haben die Reinigung der Wurzeloberfläche zum Ziel und führen zu ähnlichen klinischen Ergebnissen (BADERSTEN et al. 1981, 1984a, LOOS et al. 1987, LAURELL & PETERSSON 1988). Ultraschallgeräte zeichnen sich durch zahlreiche Vorteile aus: Ermüdungsfreies und effektives Vorgehen, feine stumpfe, wenig invasive Instrumente mit weniger Gewebstrauma, Spülung des Operationsfeldes und somit positive mikrobiologische Effekte (LEON & VOGEL 1987, OOSTERWAAL et al. 1987, THILO & BAEHNI 1987), allseitig wirkendes Arbeitsende mit guter Zugänglichkeit und kein Schärpen der Instrumente. Auf der andern Seite stehen folgende Nachteile: fehlende Anwendungssystematik, Aerosolbildung, permanentes Absaugen, weniger taktile Empfindung und mikroskopische Rauigkeit (DRAGOO & MARINELLO 1995).

Geräte, Arbeitsspitzen und Wirkungsweise

Ultraschallgeräte arbeiten mit Frequenzen von 18000–50000 Schwingungen pro Sekunde, wobei hochfrequenter elektrischer Strom in mechanische Schwingungen umgewandelt wird. Zwei prinzipiell verschiedene Typen werden unterschieden: magnetostruktiv und piezoelektrisch.

Magnetostruktives Prinzip

Magnetostruktive Effekte wurden erstmals von James P. Joule 1847 beschrieben (CLARK 1969): Er stellte Längenveränderungen an ferromagnetischen Metallstäben im wechselnden Magnetfeld fest. Nach diesem Prinzip arbeitende Instrumente haben einen ferromagnetischen Stab (Ni-Co-Legierung) oder ein Bündel Metall-Lamellen im Handstück, die direkt mit der Arbeitsspitze verbunden sind. Wird das Handstück mit Strom versorgt, wird ein magnetisches Feld aufgebaut, das an der Spitze 18000–45000 Schwingungen pro Sekunde erzeugt. Heutige Geräte vermögen die Frequenz in Abhängigkeit des Anpressdruckes konstant zu halten (Autotuning). Das wechselnde Magnetfeld erzeugt neben der Wärme, die bei der Bearbeitung zwischen der Arbeitsspitze und dem Zahn auftritt, auch Wärme im Handstück, die durch eine gute Wasserkühlung abgeführt werden muss.

Piezoelektrisches Prinzip

Pierre Curie (1880) erzeugte bei Kristallen, die er unter Druck setzte, elektrische Ströme (CLARK 1969). Nach dem umgekehrten Prinzip funktionieren die piezoelektrischen Geräte. Eine kristalline Struktur (Kristall, Keramikstab), die sich im Handstück befindet, erfährt eine Längenveränderung aufgrund eines wechselnden elektrischen Stromes. Dadurch können 25000–50000 lineare Schwingungen pro Sekunde erzeugt werden. Bei piezoelektrischen Systemen entsteht Wärme nur zwischen Arbeitsspitze und Zahn.

Arbeitsspitzen

Ursprünglich wurden Ultraschallgeräte zur Kavitätenpräparation entwickelt (CATUNA 1953). ZINNER (1955) beschrieb erstmals die Anwendung in der Parodontologie. Anfänglich waren die Arbeitsspitzen grob, kantig und teilweise scharf geschliffen. Diese Arbeitssenden eigneten sich nicht für das subgingivale parodontale Debridement, da sie – in Abhängigkeit von der Amplitude, der Frequenz, der Zeit, des Anpressdruckes und der Auflagefläche – Schaden an der Wurzeloberfläche anrichten konnten (CLARK 1969). Heute stehen grazile Arbeitsspitzen zur Verfügung, die bezüglich Grösse und Form Parodontalsonden angepasst sind und teilweise eine Innenkühlung aufweisen (DRAGOO 1992, JOTIKASTHIRA et al. 1992, COPULOS et al. 1993). Neuerdings wird versucht, mit diamantierten Ansätzen eine effizientere Wurzelreinigung zu erreichen (YUKNA et al. 1997). Kugelförmige Arbeitssenden wurden für den Furkationsbereich (ODA & ISHIKAWA 1989) und für tiefe Taschen (KAWANAMI et al. 1988) entwickelt. Die Ansätze waren Handinstrumenten und konventionellen Ultraschallansätzen aufgrund der besseren Zugänglichkeit überlegen. Bislang existieren wenige Studien, die die klinischen Ergebnisse auf der Basis der unterschiedlichen Instrumentenspitzen dokumentieren.

Mechanische Wirkung

Die primäre Wirkung der Ultraschallgeräte beruht auf einer mechanischen Schwingung der Arbeitsspitze im Raum, was bei Berührung der Wurzel zur Zersetzung und Entfernung von Konkrementen führt. Die Schwingung ist primär von der Frequenz und der Amplitude, aber auch von der Form und der Länge der Spitze abhängig. Die Schwingung ist meist linear kreisförmig, was eine gleichmässige Wirksamkeit nach allen Seiten zur Folge hat und gerade für schwierig zugängliche Stellen (Furkationen) ausgenutzt werden kann. Die Amplitude der Schwingung kann 7–28 μm (WALMSLEY et al. 1984), 30–60 μm (CHAPPLE et al. 1995) bzw. 60–100 μm (ZITTERBART 1987) betragen und ist abhängig von der Einstellung des Gerätes.

Kavitation

Neben dem mechanischen Effekt der Schwingungen zeigt auch die Spülung per se eine Wirkung (WALMSLEY et al. 1984, 1988, 1990). Ultraschallwellen geben ihre Energie (Schwingungen) von Teilchen zu Teilchen weiter. In Flüssigkeiten breiten sie sich radial (Wellen an der Wasseroberfläche) aus, während sie sich in festen Stoffen nur linear ausbreiten können. Trifft eine Welle auf ein anderes Medium auf, so wird ein Teil der Wellen reflektiert und ein Teil geht weiter. Je nach Medium wird Energie in Form von Wärme frei. In Flüssigkeiten führen diese linearen, longitudinalen Wellen zu einer Pulsierung von Gasblasen. Die zusätzlichen nichtlinearen Wellen führen zu einem Platzen dieser Blasen, unter Freisetzung grosser Energiemengen, was zu Schockwellen mit Temperaturerhöhung führt (LAIRD & WALMSLEY 1991). Diese Kavitationseffekte sind abhängig von der Art der Arbeitsspitze, deren Ausrichtung zur Wurzeloberfläche und der Amplitude (WALMSLEY et al. 1988). Die Kavitationseffekte sind in der Richtung der Spülflüssigkeit wirksam (WALMSLEY et al. 1990) und können biologisches Gewebe zerreißen und so hilfreich bei der Entfernung von Plaque sein (WALMSLEY et al. 1984, 1988, 1990), aber auch Verletzungen der Gingiva verursachen (WALSH & WALMSLEY 1991).

Akustische Mikroströmung

Ultraschallfelder erzeugen innerhalb von Flüssigkeiten zeitunabhängige, ständig in einer Richtung verlaufende Flüssigkeitsströmungen in der Nähe von schwingenden Objekten (Luftblasen, Instrumentenspitze). Dieser Nebeneffekt hat als charakteristisches Muster innere und äussere Wirbel und erzeugt einen hydrodynamischen Stress, welcher einen erosiven Effekt hat (WALMSLEY et al. 1990).

Effekt von Ultraschallgeräten auf die Zahnhartsubstanzen

Wurzelzement

Scaling und Root planing dienen der supra- und subgingivalen Plaque- und Zahnsteinentfernung. Die Haftmechanismen des Zahnsteines sind Anhaftung in Unterschnitten, kutikuläres Attachment und direkte Anhaftung (SELVIG 1970, CANIS et al. 1979). Dieser enge Verbund bereitet bei der Zahnsteinentfernung Probleme, indem mechanisch eine substanzfordernde Therapieform gewählt werden muss, die bezüglich Invasivität kaum kontrolliert werden kann (SHERMAN et al. 1990a). Die Zementdicke der Zahnwurzel ist abhängig von der Lokalisation und vom Alter (SCHROEDER 1987). Sie schwankt zwischen 50 μm im zervikalen Bereich beim Jugendlichen und 585 μm im apikalen Bereich beim 70jährigen Patienten (SCHROEDER 1987). Viele Studien zeigen, dass bei konventioneller Therapie viel Wurzelzement entfernt wird (VAN VOLKINBURG et al. 1976, O'LEARY 1986, COLDIRON et al. 1990). Bei 40 Arbeitszügen mit Handinstrumenten schwankte der Substanzverlust je nach Anpressdruck zwischen 148 μm –343 μm (ZAPPA et al. 1991). Im Vergleich zu den Handinstrumenten schnitten die Ultraschallgeräte deutlich besser ab. Während Periodiamanten, Universalküretten und Aircaler bei mittlerem Anpressdruck einen Substanzverlust von ca. 100 μm aufwiesen, hatten Ultraschallgeräte nur 11 μm Zement entfernt (RIIZ et al. 1991). Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen des Wurzelzementes zeigten eine gleichmässige Oberfläche nach Ultraschalltherapie (MOSKOW et al. 1964, JONES et al. 1972) und eine glattere Oberfläche mit deutlich höherem Substanzabtrag bei Handinstrumenten (PAMEIJER et al. 1972). Ultraschallgeräte schnitten bei mittlerer Leistung bezüglich Zahnsteinentfernung und Wurzeloberflächenverletzung etwa gleich ab wie Schallscaler, bei maximaler Leistung waren jedoch mehr Zementabplatzungen zu beobachten (LIE & LEKNES 1985). Eine kürzlich durchgeführte Untersuchung wies darauf hin, dass die vollständige Entfernung von Zement das Potential der Zementogenese reduzieren könne; das Zement sollte geschont werden, damit genügend Zementoblasten übrig bleiben, um neues Zement zu bilden (FUKAZAWA & NISHIMURA 1994). Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass Ultraschallgeräte bezüglich Destruktion des Wurzelzementes weniger invasiv sind.

Endotoxin

Im Zement von parodontal befallenen Zähnen konnten zytotoxische Produkte bakterieller Herkunft, sogenannte Endotoxine, nachgewiesen werden (HATFIELD & BAUMHAMMERS 1971, ALEO et al. 1974, DALY et al. 1982, WILSON et al. 1986). Endotoxine sind Lipopolysaccharide von Zellwänden oder Zelldetritus von gramnegativen Bakterien, die die Wundheilung negativ beeinflussen können (HATFIELD & BAUMHAMMERS 1971, ALEO et al. 1974, 1975). Zudem wurde angenommen, dass das Endotoxin

ins Zement penetriert (JONES & O'LEARY 1978). Damit wurde die Forderung unterstützt, das endotoxinhaltige Wurzelzement zu entfernen (SCHAFFER et al. 1964, DALY et al. 1982). Endotoxine penetrierten aber höchstens 3–7 µm ins Zement (DALY et al. 1982) und hafteten nur leicht an der Wurzeloberfläche (NAKIB et al. 1982, HUGHES & SMALES 1986). Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass Endotoxin zwar routinemässig an parodontitisbefallenen Wurzeloberflächen gefunden wurde, jedoch sowohl mit einfacher Spülung (MOORE et al. 1986) oder Reinigung mittels Gumminäpfchen (NYMAN et al. 1986, 1988) als auch mit einer Ultraschallbehandlung (NISHIMINE & O'LEARY 1979, CHECCHI & PELLICIONI 1988, SMART et al. 1990) entfernt werden konnte. CHECCHI & PELLICIONI (1988) fanden eine Wiederanheftung von Fibroblasten an einer parodontitischen Wurzel, die minimal mit einem Ultraschallgerät behandelt worden war. Zusammenfassend scheint es, dass Ultraschallinstrumente fähig sind, Endotoxine von der Wurzeloberfläche zu entfernen, ohne dass gezielt Zement oder Dentin abgetragen wird.

Zahnstein

Obwohl subgingivaler Zahnstein mit erhöhter Progression von parodontalen Läsionen assoziiert ist (ANERUD et al. 1991), ist er per se nicht pathogen, sondern stellt nur einen Schlupfwinkel für Bakterien dar. Im Anschluss an ein Scaling bleibt immer Restzahnstein zurück, selbst wenn unter Sicht gearbeitet wird (EATON et al. 1985, CAFFESSE et al. 1986, BUCHANAN & ROBERTSON 1987). Gründe sind eine unsystematische Bearbeitung der Wurzeloberfläche, eine komplexe Taschenmorphologie (75% des Taschenfundus werden mit Instrumenten nicht erreicht; RATEITSCHAK-PLÜSS et al. 1992) und zahlreiche untersichgehende Zementlaken (SCHROEDER & RATEITSCHAK-PLÜSS 1983, ADRIAENS et al. 1988, RATEITSCHAK-PLÜSS et al. 1992). Diese subgingivale Restzahnsteinmenge korreliert mit der anfänglichen Taschentiefe (WAERHAUG 1978, RABBANI et al. 1981, CAFFESSE et al. 1986, BUCHANAN & ROBERTSON 1987, SHERMAN et al. 1990a). Restzahnstein ist unter klinischen Bedingungen bei geschlossener Therapie schwer nachweisbar. In einer Studie bezeichneten erfahrene Parodontologen 77% der Wurzeloberflächen mit Restzahnstein als zahnsteinfrei, während 12% der zahnsteinfreien Oberflächen als falsch positiv gewertet wurden (SHERMAN et al. 1990a).

Viele Studien verglichen die Effektivität der Zahnsteinentfernung zwischen Ultraschallgeräten und Handinstrumenten. Einige stellten keinen Unterschied fest (STENDE & SCHAFFER 1961, JONES et al. 1972, HUNTER et al. 1984, BREININGER et al. 1987, KEPIC et al. 1990), bei anderen schnitten die Schall- und Ultraschallscaler besser ab als die Handinstrumente (GELLIN et al. 1986, DRAGOO 1992). Die grössere Effektivität wurde auf die grazileren Arbeitspitzen bei den Ultraschallinstrumenten zurückgeführt, die tiefer in die Tasche eindringen und sich besser den schwierigen makromorphologischen Gegebenheiten des Taschenfundus anpassen können (DRAGOO 1992). Zusammenfassend scheint es, dass weder mit Hand- noch mit Ultraschallinstrumenten eine vollständige Entfernung des Zahnsteins von der Wurzeloberfläche möglich ist (BUCHANAN & ROBERTSON 1987, KEPIC et al. 1990). Dies scheint in den meisten Fällen klinisch zu genügen (SHERMAN et al. 1990b). Eine fast vollständige Plaqueentfernung wird jedoch erreicht (BREININGER et al. 1987). Die Auswirkungen der Restzahnsteinmenge auf die klinischen Ergebnisse sind im Abschnitt *Klinische Studien* aufgezeichnet.

Wurzeloberflächenrauigkeit

Wurzelrauigkeitsmessungen können histologisch (ROSENBERG & ASH 1974, VAN VOLKINBURG et al. 1976, PLAGMANN et al. 1988),

mikroskopisch oder rasterelektronenmikroskopisch (BELTING & SPJUT 1964, JONES et al. 1972, PAMEIJER et al. 1972, VAN VOLKINBURG et al. 1976, MEYER & LIE 1977, BYE et al. 1986, BENFENATI et al. 1987, CLARK 1990, GARNICK & DENT 1989) oder profilometrisch (KERRY 1967, ROSENBERG & ASH 1974, VAN VOLKINBURG et al. 1976, BYE et al. 1986, SCHLAGETER et al. 1996) erfolgen.

Frühere Studien deuteten darauf hin, dass Rauigkeitswerte von Wurzeloberflächen, die mit Ultraschallgeräten – im Vergleich zu Handinstrumenten – bearbeitet worden waren, grösser sind (STENDE & SCHAFFER 1961, BELTING & SPJUT 1964, ALLEN & RHOADS 1963, KERRY 1967, JONES et al. 1972, ROSENBERG & ASH 1974, VAN VOLKINBURG et al. 1976, MEYER & LIE 1977, HUNTER et al. 1984, BYE et al. 1986). Nach Anwendung von Ultraschallgeräten wurde deshalb eine Wurzelglättung mit Handinstrumenten gefordert (STENDE & SCHAFFER 1961, KERRY 1967). In wenigen Untersuchungen waren die Resultate der Messungen beider Instrumente identisch (GARNICK & DENT 1989, SCHLAGETER et al. 1996), oder die Ultraschallgeräte zeigten sogar geringere Rauigkeitswerte (PAMEIJER et al. 1972, DRAGOO 1992, JOTIKASTHIRA et al. 1992). Aufgrund der fehlenden Standardisierung ist ein Vergleich der Studienresultate nicht sinnvoll. Sowohl bei den Handinstrumenten als auch bei Ultraschallgeräten spielte der Instrumententyp (ZITTERBART 1987), die applizierte Krafterwirkung (ZAPPA et al. 1991, CLARK 1990, ZITTERBART 1987) und die Art der Arbeitsenden (CLARK 1990) eine wichtige Rolle. Dies zeigte sich z.B. im Vergleich von zwei verschiedenen Ultraschallansätzen (Cavitron EWPP und TFI-1000), bei denen der grazilere Ansatz deutlich weniger Oberflächenveränderungen verursachte (CLARK 1990).

Rauigkeitsunterschiede, wie sie in vitro gemessen werden, sind in der Klinik mittels zahnärztlicher Sonden kaum unterscheidbar (JONES et al. 1972, BYE et al. 1986). Wurde die Wurzeloberfläche einmal instrumentell bearbeitet, konnte Zahnstein, Zement und Dentin kaum voneinander unterschieden werden (JONES et al. 1972). Zudem muss davon ausgegangen werden, dass jegliches parodontale Debridement zu einer Verletzung der Integrität der Wurzeloberfläche führen kann (JONES et al. 1972, LINDHE et al. 1997). Trotzdem gilt das Erreichen einer sogenannt glatten Wurzeloberfläche aus rein praktisch-klinischen Gründen nach wie vor als zu erreichendes klinisches Ziel bzw. als klinischer Indikator für eine saubere Wurzeloberfläche (LINDHE et al. 1997). Im Rahmen einer Tierstudie wurde gezeigt, dass die Wurzeloberflächenrauigkeit die subgingivale Plaquekolonisation beeinflusst (LEKNES et al. 1994); umgekehrt gaben QUIRYNEN & BOLLEN (1995) an, dass eine höhere Rauigkeit zwar die Plaqueakkumulation fördert, dass aber die subgingivale Rauigkeit nicht mit der supragingivalen gleichgesetzt werden könne. Gerade das Ziel der glatten Wurzeloberfläche wird heute von verschiedenen Autoren in Frage gestellt (GENCO et al. 1990, KIESER 1990). Da eine rauhere Wurzeloberfläche in gewissen Studien weder mit einem gingivalen Entzündungsindex noch mit der Plaqueakkumulation korrelierte (ROSENBERG & ASH 1974), wurde ihr teilweise auch aus klinischer Sicht eine untergeordnete Bedeutung beigemessen. Als Indikator für eine saubere Wurzeloberfläche kann somit die Weichgewebshelung bzw. -reaktion dienen (CORBET et al. 1993). Die Heilung nach Parodontaltherapie bei verschiedenen Wurzelrauigkeiten zeigte keinen Unterschied sowohl bezüglich parodontalen Parametern (KHATIBLOU & GHODOSSI 1983, OBERHOLZER & RATEITSCHAK 1996) als auch histologisch bezüglich Saumepithellänge (PLAGMANN et al. 1988). Es wird zudem davon ausgegangen, dass eine höhere Rauigkeit – aufgrund einer grösseren Oberfläche – als gute Voraussetzung für ein Gewebattachment dient (BENFENATI

et al. 1987). In diesem Zusammenhang wird in der Literatur auch die Frage aufgeworfen, inwieweit das Vorhandensein eines Smear layers die Anheftung von Zellen beeinflusst (ITO et al. 1993). Handinstrumente scheinen im Vergleich zu Ultraschallinstrumenten bevorzugt einen Smear layer zu hinterlassen (GANTES et al. 1992). Zusammenfassend betrachtet bleiben die Begriffe «glatt» bzw. «rauh» noch genauer zu definieren und damit der Einfluss der Rauigkeit auf das klinische Resultat nach wie vor als Kontroverse bestehen.

Schmelz

Wenige Untersuchungen wurden am Schmelz durchgeführt. Dieser sollte kaum verletzt werden, da er weniger der direkten Bearbeitung ausgesetzt wird und allenfalls durch Nachbearbeitung poliert werden kann. Trotzdem muss in Abhängigkeit von der Form der Arbeitsspitze und der Frequenz des Gerätes mit Kratzern an der Schmelzoberfläche gerechnet werden (PLAGMANN et al. 1989, ALLEN & RHOADS 1963, BELTING & SPIJT 1964). Schmelzdefekte waren halb so tief wie Wurzeloberflächendefekte (ALLEN & RHOADS 1963, TOPOLL et al. 1989) und abhängig von der Wasserkühlung und dem Anpressdruck (ALLEN & RHOADS 1963).

Furkationen

Bei vielen klinischen Studien wurden mehrwurzlige Zähne nicht eingeschlossen (BADERSTEN et al. 1981, 1984a, b, 1985, 1987). Die schwierigen makromorphologischen und anatomischen Verhältnisse der Furkationen wie das Vorhandensein von Schmelzperlen, Erhebungen im Furkationsdach, Einziehungen der Wurzel in bis zu 100% der Fälle (BOWER 1979b) sowie die Tatsache, dass 60% der Furkationseingänge enger sind als eine Kurette (BOWER 1979a), schaffen bei Molaren eine besondere Situation. Die Langzeitprognose von furkationsbefallenen Zähnen ist dementsprechend auch schlechter (HIRSCHFELD & WASSERMAN 1978, MCFALL 1982) als die Prognose einwurzliger Zähne. Bei mehrwurzligen Zähnen scheinen Ultraschallgeräte den Handinstrumenten bezüglich des parodontalen Debridements überlegen zu sein (HUNTER et al. 1984, MATIA et al. 1986). Bei Furkationsgrad I waren die Handinstrumente den Ultraschallgeräten bezüglich Reduktion beweglicher Stäbchen und Spirochäten sowie der Sulcusflüssigkeitsmenge ebenbürtig. Bei Furkationsgrad II und III waren die Ultraschallgeräte aber signifikant effektiver (LEON & VOGEL 1987). Die Reduktion der Mikroorganismen war im Furkationsbereich (Furkationsgrad II) nach erfolgter Therapie geringer als bei einwurzligen Zähnen. Eine Rekolonisation von Mikroorganismen fand somit im Furkationsbereich schneller wieder statt (LOOS et al. 1988, LEON & VOGEL 1987). Neuere Arbeitsspitzen (Kugelform) scheinen im Furkationsbereich effektiv zu sein (ODA & ISHIKAWA 1989), obwohl mit solchen Ansätzen höhere Oberflächendefekte zu erwarten sind. Da das Furkationsdach nur schwer zugänglich ist, scheinen Ultraschallgeräte – insbesondere in engen Furkationen – die Handinstrumente zu übertreffen (MATIA et al. 1986). Handinstrumente weisen im Schnitt ein 1 mm breites Arbeitssende auf und erreichen – wenn überhaupt – das Furkationsdach nur knapp. Die morphologischen Probleme der Furkation erlauben es kaum, mit herkömmlicher Instrumentierung ein adäquates Resultat zu erreichen (BOWER 1979a, b). Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass Ultraschallinstrumente im Furkationsbereich bezüglich Reduktion der Mikroflora (LEON & VOGEL 1987) und bezüglich Entfernung von Zahnstein (ODA & ISHIKAWA 1989, PATTERSON et al. 1989, TAKACS et al. 1993) bei geschlossener und offener Therapie (KEPIC et al. 1990) der Handinstrumentation überlegen sind.

Effekt von Ultraschallgeräten auf die parodontalen Weichgewebe Weichgewebe, Heilung

Über den Einfluss von Ultraschall auf das Weichgewebe sind relativ wenig Kenntnisse vorhanden. Untersuchungen bezüglich der Wundheilung wurden an Biopsien durchgeführt (EWEN 1961, SCHAFFER et al. 1964, SANDERSON 1966, BHASKAR et al. 1972, BIAGINI et al. 1988). Im Tierversuch konnte gezeigt werden, dass bereits nach fünf Sekunden Bearbeitung mit einem Ultraschallgerät das Epithel entfernt war und dass Teile des Kollagens zerstört waren. Nach zehn Tagen waren die Wunden wieder geheilt, neues Kollagen und Epithel gebildet (EWEN 1961). Es war kein Zusammenhang zwischen der Ultraschallenergie und einem potentiellen Gewebsdefekt feststellbar. Bei humanen Probanden war nach Ultraschallbehandlung das orale Sulkusepithel entfernt. Stellen mit Kollagenfaserbündeldefekten, Koagulationen und unregelmässigen Fibroblastenzellkernen waren im Mikroskop sichtbar (EWEN 1961). Das Taschenepithel wurde sowohl von Handinstrumenten als auch von Ultraschallarbeitsspitzen zu 60–80% entfernt (NADLER 1962, SANDERSON 1966). Handinstrumente entfernen zudem mehr Bindegewebe (SANDERSON 1966). Generell wurde nach Ultraschallbehandlung sowohl klinisch als auch histologisch und biochemisch eine schnellere Heilung als nach Handinstrumentation beobachtet (SCHAFFER et al. 1964, NADLER 1962, BHASKAR et al. 1972, WALSH & WAITE 1978). Handinstrumente zeigten vier bis zwölf Tage nach der Therapie ein grösseres Infiltrat an Entzündungszellen (SANDERSON 1966). Im Rasterelektronenmikroskop konnten nach fünf Tagen erste Reparaturanzeichen gesehen werden (BIAGINI et al. 1988). Die Autoren stellten aber keinen signifikanten Heilungsunterschied zwischen den beiden Behandlungsmodalitäten fest (BIAGINI et al. 1988).

Mikroflora

Das parodontale Debridement mittels Ultraschall führt aufgrund der guten Spülwirkung und der Ultraschallvibrationen zu einer starken Bakterienreduktion. Betroffen sind insbesondere gramnegative Bakterien und Spirochäten, die empfindlich auf Ultraschallvibrationen reagieren (LEADBETTER & HOLT 1974, OLSEN & SOCRANSKY 1981, THILO & BAEHNI 1987). Nach einem subgingivalen Debridement verschiebt sich die bakterielle Zusammensetzung der subgingivalen Plaque weg von den beweglichen Stäbchen zu einem grösseren Anteil von Kokken (THORNTON & GARNICK 1982, THILO & BAEHNI 1987, MOUSQUÈS et al. 1980). Auch im Furkationsbereich (Befall Grad II und III) waren Unterschiede zwischen den verschiedenen Therapieformen feststellbar (LEON & VOGEL 1987). Die Gesamtplaquemenge wurde bei Ultraschallbehandlung um ca. 90% reduziert, die Spirochäten waren nach 60 Sekunden Therapiedauer nicht mehr nachweisbar (BAEHNI et al. 1992). Einige Studien fanden keinen Unterschied zwischen Handinstrumenten und Ultraschallgeräten (THORNTON & GARNICK 1982, OOSTERWAAL et al. 1987).

Antimikrobielle Spülmittel (Antiseptika)

Da Bakterien an unbearbeiteten Wurzeloberflächen in Resorptionslakunen (SCHROEDER & RATEITSCHAK-PLÜSS 1983, ADRIAENS et al. 1988) und im Dentin (ADRIAENS et al. 1988) zurückbleiben, ist theoretisch eine exzessive Entfernung von Zahnhartsubstanz notwendig, um die gesamte Bakterienflora zu eliminieren. Deshalb wurden häufig antimikrobielle Spülmittel wie Chlorhexi-

din (TAGGART et al. 1990, REYNOLDS et al. 1992), Wasserstoffperoxid (ROSLING et al. 1986) und Jodlösungen (ROSLING et al. 1986) im klinischen Einsatz empfohlen. Es zeigte sich, dass antimikrobielle Spüllösungen nur einen geringen zusätzlichen Effekt gegenüber Wasser aufwiesen und damit nur als Adjuvans zur mechanischen Reinigung und Spülwirkung betrachtet werden müssen (GREENSTEIN 1990). Im Rahmen der Ultraschallinstrumentierung erreichte die Spüllösung bei einer Sondierungstiefe von bis zu 9 mm in 100% der Fälle den Taschenfundus (NOSAL et al. 1991). Eine positive Auswirkung auf die Infektiosität des Aerosols darf angenommen werden.

Klinische Studien

Schon früh konnte gezeigt werden, dass Ultraschallgeräte ebenso effektiv sind bei der Gingivitisbehandlung wie Handinstrumente (DONZÉ et al. 1973). Der Entzündungsgrad, die Sulkusflüssigkeitsrate und der Plaqueindex konnten nach einmaliger Behandlung deutlich verbessert werden. Bei der Behandlung von 4–6 mm tiefen Taschen mit Ultraschallgeräten und Handinstrumenten im Split-mouth-Verfahren konnte gezeigt werden, dass nach einer Beobachtungszeit von 8 Wochen kein klinischer Unterschied bezüglich Taschentiefenreduktion feststellbar war (TORFASON et al. 1979). Mit einer ganzen Reihe von Untersuchungen wiesen BADERSTEN et al. (1981, 1984a, b, 1985, 1987) nach, dass auch über eine Beobachtungszeit von 13 bis 48 Monaten kein klinischer Unterschied bezüglich Plaqueindex, Blutung auf Sondierung, Sondierungstiefe, Gingivale Rezession und Attachmentlevel auftritt. In den einzelnen Studien konnten die Autoren keinen Unterschied bezüglich Therapieerfolg feststellen bei moderater Parodontitis von 4–6 mm Taschentiefe (BADERSTEN et al. 1981), bei fortgeschrittener Parodontitis mit Taschentiepen >7 mm (BADERSTEN et al. 1984a), bei einmaligem und wiederholtem Instrumentieren (BADERSTEN et al. 1984b). Einzig die klinische Fertigkeit des Behandlers schien einen Einfluss auf das Ergebnis zu haben (BADERSTEN et al. 1985). Auch im Vergleich zur chirurgischen Therapie (Lappenoperation) schnitt die geschlossene Therapie mit Ultraschallgerät und Jodspüllösung über eine Beobachtungszeit von 12 Monaten gleich gut ab (FORABOSCO et al. 1996). Diamantierte Ultraschallansätze arbeiteten gleich effektiv wie Handinstrumente und normale Ultraschallansätze bezüglich Zahnsteinentfernung, benötigten jedoch geringfügig weniger Zeit (YUKNA et al. 1997).

Wissenschaftliche Untersuchungen haben zusammenfassend gezeigt, dass die Wurzeloberflächenreinigung mittels Ultraschalls bezüglich Effizienz und klinischer Heilungsantwort den Handinstrumenten mindestens ebenbürtig (BADERSTEN et al. 1984, HUNTER et al. 1984, KEPIC et al. 1990), teilweise überlegen ist (DRAGOO 1992). Bei all diesen Studien wurden Ultraschallgeräte für die Primärbehandlung eingesetzt. Obwohl Fakten wie Substanzschonung, erhöhter Patientenkomfort und Spülwirkung schon im Rahmen der Primärbehandlung von Bedeutung sind, muss ihr Nutzen gerade im Rahmen der Nachsorge hervorgehoben werden.

Nebeneffekte

Temperaturanstieg

Messungen, die in vitro an Kupferringen oder an extrahierten Zähnen durchgeführt wurden (WITTE et al. 1978, KOCHER et al. 1992), zeigten eine Temperaturerhöhung, insbesondere bei reduzierter Wasserkühlung. Ein unerwünschter Temperaturanstieg an der Wurzeloberfläche ist nur bei falscher Anwendung

der Ultraschallgeräte (fehlende Arbeitsbewegungen, ungenügende Kühlung) zu erwarten. Bei den innengekühlten Ansätzen stellt der Temperaturanstieg kein Problem dar. Diese Innenkühlung muss jedoch über eine vergrößerte Dimension der Arbeitsspitze erkauft werden.

Hörveränderungen

Inwieweit Ultraschallgeräte Hörveränderungen verursachen können, wurde in der Literatur nur wenig untersucht. Beim Patienten können die Schallwellen über die Luft oder ossär auf das Innenohr übertragen werden: Audiogramme, die vor und nach einer Ultraschallbehandlung im Oberkiefer erstellt wurden, zeigten eine leichte, kurzfristige Hörverschiebung (MÖLLER et al. 1976). Nicht untersucht hingegen wurden Hörveränderungen bei Zahnärzten und Dentalhygienikerinnen, die deutlich länger den Schallwellen ausgesetzt sind.

Patienten mit Herzschrittmacher

Bei magnetostriktiven Geräten waren Interferenzen mit dem Herzschrittmacher möglich, wenn mit defekten elektronischen Geräten manipuliert wurde (defekte Aussenabschirmung eines Rasierapparates, JACQUIÉRY & BURKHART 1993) oder wenn Ultraschallgeräte im Abstand von nur 1–3 Zentimetern an den Herzschrittmacher gehalten wurden (ADAMS et al. 1982). Keine Interferenzen sind bei piezoelektrischen Geräten zu erwarten (ADAMS et al. 1982, JACQUIÉRY & BURKHART 1993). SIMON et al. (1975) stellten keinen Einfluss von zahnärztlichen Geräten – auch Ultraschallgeräten – auf Herzschrittmacher fest. Das Council on Dental Materials, Instruments and Equipment empfiehlt, keine Ultraschallgeräte bei Patienten oder Zahnärzten mit Herzschrittmachern zu verwenden (Council on Dental Materials, Instruments and Equipment 1985).

Bakteriämie

Bei parodontalen Eingriffen werden bis zu 80% Bakteriämien ausgelöst (KORN & SCHAFFER 1962, BANDT et al. 1964), wobei Handinstrumente und Ultraschallgeräte gleiche Effekte zeigten (BANDT et al. 1964). Es wurde verschiedentlich versucht, die Bakteriämierate zu reduzieren (KORN & SCHAFFER 1962), was mit einer antiseptischen Spülung vor der Therapie am besten gelang (FINE et al. 1996). Die Autoren zeigten, dass mit einer subgingivalen Listerinspülung 90% der vermehrungsfähigen Bakterien (Aerobier und Anaerobier) reduziert werden (FINE et al. 1996). Die American Heart Association empfiehlt diese subgingivale Spülung zusammen mit einer systemischen Endokarditisprophylaxe bei Risikopatienten, da 92% der Endokarditisprophylaxemisserfolge aufgrund eines dentalen Eingriffes erfolgen (FINE et al. 1996).

Aerosol

Bei jeglichem Arbeiten mit Ultraschallgeräten, die mit Wasserspray gekühlt werden, entsteht ein Aerosol. Dieses Aerosol ist deutlich feiner als das Aerosol bei Hand- und Winkelstücken und besteht aus ca. 5 µm kleinen Wassertröpfchen, die Speichel, Blut, Pilze, orale Bakterien und deren Bestandteile enthalten können (LARATO et al. 1967). Zwischen piezoelektrischen und magnetostriktiven Geräten bestand kein Unterschied in der Aerosolbildung (GROSS et al. 1992). Diese feinen Aerosole konnten bis 30 m weit getragen werden (GRENIER 1995). Vor allem das Praxispersonal und der behandelnde Zahnarzt sind betroffen. Hohe Kontaminationswerte wurden an der Nase, am Kopf, an der Brust, an den Armen und am Mundschutz des Behandlers sowie der Assistenz festgestellt (BENTLEY et al. 1994).

Der Patient wies hohe Kontaminationen auf der Brust auf (BENTLEY et al. 1994).

Spezielle Vorsicht gilt bei alten und immungeschwächten Patienten, da die Gefahr einer durch orale Mikroorganismen verursachten Lungenentzündung besteht (BENTLEY et al. 1994, ADA COUNCIL ON DENTAL PRACTICE 1996). Es ist jedoch möglich, Aerosole im Hinblick auf ihre Kontagiosität zu reduzieren. Mit einer Chlorhexidin-Mundspülung von 30–60 Sekunden konnte eine Reduktion der Gesamtkeimzahl von bis zu 94% erreicht werden (MUIR et al. 1978, VEKSLER et al. 1991, FINE et al. 1992, 1993, ESCHMANN-SPEER et al. 1997). Mit einer subgingivalen Spülung wurden 90% der wachstumsfähigen Bakterien reduziert (FINE et al. 1992, 1993), bei guter Mundhygiene des Patienten war die Kontamination deutlich niedriger (BENTLEY et al. 1994). Durch eine spezielle Absaugvorrichtung direkt am Ultraschallgerät (für Dentalhygienikerinnen geeignet) konnte das Aerosol in vitro um 95% reduziert und der Behandlungskomfort erhöht werden (HARREL et al. 1996, HARREL 1996). In vivo konnte das Aerosol auf diese Art und Weise um ca. den Faktor 20 reduziert werden (KING et al. 1997).

Restorationen

Keramikoberflächen verlieren ihre Integrität bei der Bearbeitung durch Ultraschallgeräte. Sowohl im Profilometer als auch im Rasterelektronenmikroskop waren Kratzer feststellbar. Es wurde empfohlen, die Bearbeitung der Porzellanoberfläche möglichst zu vermeiden (LEE et al. 1995). Edelmetalle wurden in Abhängigkeit ihrer Vickers-Härte durch Ultraschallinstrumente verändert (CUTLER et al. 1995). Amalgam (GORFIL et al. 1989, RAJSTEIN & TAL 1984, HOHENWALD et al. 1987, SIVERS & JOHNSON 1989) und Komposit (ARCORIA et al. 1992, BJORNSON et al. 1990) schienen unter der Anwendung von Ultraschall nur geringen Veränderungen zu unterliegen. Restorationen im allgemeinen und der Randbereich im speziellen sollten jedoch bei der professionellen Mundhygiene geschont werden. Spezielle Richtlinien gelten für die Bearbeitung von Implantatoberflächen (RAPLEY et al. 1990, SPEELMAN et al. 1992, MARINELLO et al. 1993).

Knochen

Knochendefekte verursacht mit Ultraschallskalpell heilten gleich gut wie Defekte, die mit Knochenmeissel erzeugt wurden (MCFALL et al. 1961, HORTON et al. 1975). Im Tiermodell zeigte sich, dass der Knochenverlust nach Parodontaloperationen gleich gross war wie bei der Anwendung von Küretten oder Ultraschallgeräten zur Wurzelglättung (GLICK & FREEMAN 1980). Somit können Ultraschallgeräte intraoperativ auch im Knochenbereich eingesetzt werden, sofern eine genügende Kühlung vorhanden ist (MCFALL et al. 1961, HORTON et al. 1975).

Schlussfolgerungen

Fortschritte bei der Konstruktion von Arbeitsspitzen mit einer besseren Zugänglichkeit analog diagnostischer Instrumente und ein neues Verständnis der Gewebsantwort in der parodontalen Therapie erlauben heute den Einsatz von maschinell betriebenen Scalern auch in der Tiefe der Tasche. Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wurzeloberflächenreinigung mittels Ultraschalls bezüglich Effizienz und klinischer Heilungsantwort den Handinstrumenten mindestens ebenbürtig (BADERSTEN et al. 1981, 1984a, b, HUNTER et al. 1984, KEPIC et al. 1990), teilweise überlegen ist (DRAGOO 1992). Bei all diesen Studien wurden Ultraschallgeräte für die Primärbehandlung eingesetzt. Obwohl Fakten wie Substanzschonung, erhöh-

ter Patientenkomfort und Spülwirkung schon im Rahmen der Primärbehandlung von Bedeutung sind, muss ihr Nutzen gerade im Rahmen der Nachsorge hervorgehoben werden.

Zu den Vorteilen ultraschallbetriebener Instrumente gehören unter anderem 1) ein ermüdungsfreies, druckloses und damit physiologisches Arbeiten, 2) ein wenig destruktives Vorgehen (keine Weichteilverletzung durch grobe, scharfe Instrumente), 3) ein gut gespültes und teilweise konstant antiseptisch durchflutetes Arbeitsfeld, 4) arbeitsspezifische, abgerundete Instrumente, die den individuellen anatomischen Gegebenheiten (Furkationen, Einziehungen) angepasst sind und 5) nicht zuletzt ein erhöhter Patientenkomfort. Demgegenüber stehen Nachteile wie 1) eine bislang fehlende Systematik der Anwendung (Art, Reihenfolge und Adaptation der Ansätze), 2) die Aerosolbildung, 3) reduziertes taktiles Gefühl und 4) die Möglichkeit – bei inadäquater Anwendung – einer ungünstigen Veränderung der Wurzeloberfläche und/oder des Randbereiches von Restaurationen. Zudem fehlen teilweise Angaben bezüglich 1) der idealen Schwingfrequenz, 2) der effizientesten Form der Instrumentenspitzenbewegung und 3) der Bedeutung von Art und Menge der Spülflüssigkeit.

Summary:

Iff M, Marinello C P: **Ultrasonics in periodontology: A literature review** (in German). Acta Med Dent Helv: 149–160 (1998)

Today ultrasonic instruments are regularly used in the various fields of dentistry: restorative dentistry (preparation), prosthetic dentistry (sonic cementation), endodontics (root canal preparation), oral surgery (retrograde root filling), but especially, in periodontology.

However, when compared to hand instruments which are used for periodontal debridement, ultrasonic instruments still have had a reduced interest. The reasons were thick tips and inadequate cooling processes. Therefore they could only be used in supragingival applications. When compared to hand instruments, the root surface profile after ultrasonic treatment was noted to be rough, which was viewed as disadvantageous. Scientific results from the 1980s documented that from a clinical point of view, ultrasonic instruments were equal to hand instruments and, in some aspects, even superior (e.g., wound healing, handling, decreased substance loss on the root surface). The debridement of the root surface (scaling and root planing) is one of the technically most difficult and demanding treatment modality in dentistry. The goal in periodontal treatment remains the creation of a surface free of concretions. The traditional concept of periodontal treatment is increasingly being replaced by that of creating, maintaining and following-up healthy periodontal tissues. The mechanical concept ("excision to healthy tissue") is weighed against a periodontal debridement, which also aims for a root surface as clean as possible; however the extent (type and duration) and the type of mechanical procedure depends upon the biological reaction of the soft tissue. The goal of periodontal debridement is a biologically-acceptable root surface while protecting healthy dental tissues (non-invasive), especially the root cementum. In this context, ultrasonic instruments are becoming increasingly important as non-invasive tools in periodontology. The advantages, including non-invasive, mechanically fatigue-free procedures, no sharpening, improved access to deep pockets and furcations, as well as rinsing of the periodontal pockets must be compared to possible disadvantages, such as side effects for restorations and drawbacks for

the clinician. Nevertheless, based on the latest scientific results, it appears that specific uses of ultrasonic instruments in periodontology are indeed appropriate. The purpose of this present review is to demonstrate the developmental course of the scientific results in the area of periodontal debridement with ultrasonic instruments.

Résumé

De nos jours, les instruments ultrasoniques sont utilisés régulièrement dans plusieurs domaines de la médecine dentaire: restaurations (pour la préparation), prothèse (scellement sonique), endodontie (préparation canalaire), chirurgie buccale (obturation canalaire rétrograde), mais, spécialement, en parodontie. Cependant, en ce qui concerne le débridement parodontal, les instruments à base ultrasonique avaient un intérêt réduit par rapport aux instruments manuels. Ceci à cause des embouts trop épais et d'un système de refroidissement inadéquat, qui limitaient leur emploi aux régions supragingivales. En comparaison avec les instruments à main, le profil de surface des racines après traitement ultrasonique s'avérait rugueux, ce qui a été considéré comme un inconvénient.

Les résultats scientifiques des années 80 ont documenté que du point de vue clinique, les instruments ultrasoniques étaient tout aussi valables que les instruments à main et, sous quelques aspects, même supérieurs (par exemple en ce qui concerne la cicatrisation, la maniabilité, la perte de substance minime à la surface des racines). Le débridement de cette surface («scaling» et «root planing») représente une des modalités techniques les plus difficiles et exigeantes en médecine dentaire, le but de toute thérapie parodontale étant l'élimination de tout concrètement. Le concept traditionnel de traitement parodontal est de plus en plus remplacé par celui de créer et maintenir à long-terme des tissus sains. Le concept mécanique («excision étendue au tissu sain») a été opposé au débridement parodontal, qui, tout en visant l'obtention d'une surface radulaire aussi propre que possible, limite l'étendue (type et durée) et le type de procédure mécanique en fonction de la réaction biologique des tissus mous. Le but du débridement parodontal est donc une surface radulaire biologiquement acceptable, ménageant les tissus dentaires sains, surtout le cément (procédé non-invasif). Dans ce contexte, les instruments ultrasoniques deviennent de plus en plus importants comme outils non-agressifs en parodontie. Ils présentent les avantages d'une procédure non-invasive et mécaniquement exempte de phénomènes de fatigue, comme le fait qu'il ne faut pas aiguïser les instruments, que l'accès aux furcations et poches profondes est facilité, avec un rinçage automatique des poches. Quant aux possibles inconvénients, il s'agit par exemple des effets secondaires sur les restaurations et de certains désavantages pour le clinicien. Néanmoins, en se basant sur les résultats scientifiques les plus récents, il apparaît que l'utilisation spécifique d'instruments ultrasoniques en parodontie peut être considérée comme appropriée. Le but de la présente revue est précisément de montrer le développement de ces résultats dans le domaine du débridement par les instruments ultrasoniques.

Literatur

ADA COUNCIL ON SCIENTIFIC AFFAIRS AND ADA COUNCIL ON DENTAL PRACTICE: Infection control recommendations for dental office and the dental laboratory. *J Am Dent Assoc* 127: 672-680 (1996)

- ADAMS D, FULFORD N, BEECHY J, MACCARTHY J, STEPHENS M: The cardiac pacemaker and ultrasonic scalers. *Br Dent J* 152: 171-173 (1982)
- ADRIAENS P A, EDWARDS C A, DE BOEVER J A, LOESCHE W J: Ultrastructural observations on bacterial invasion in cementum and radicular dentin of periodontally diseased human teeth. *J Periodontol* 59: 493-503 (1988)
- ALEO J J, DE RENZIS F A, FARBER P A, VARBENCOEUR A P: The presence and biologic activity of cementum bound endotoxin. *J Periodontol* 45: 672-675 (1974)
- ALEO J J, DE RENZIS F A, FARBER P A: In vitro attachment of human gingival fibroblasts to root surfaces. *J Periodontol* 46: 639-645 (1975)
- ALLEN E F, RHOADS R H: Effects of high speed periodontal instruments on tooth surface. *J Periodontol* 34: 352-356 (1963)
- ANERUD A, LÖE H, BOYSON H: The natural history and clinical course of calculus formation in man. *J Clin Periodontol* 18: 160-170 (1991)
- ARCORIA C J, GONZALES J P, VITASEK B A, WAGNER M J: Effects of ultrasonic instrumentation on microleakage in composite restorations with glass ionomer liners. *J Oral Rehabil* 19: 21-29 (1992)
- AXELSSON P, LINDHE J: The effect of a preventive programme on dental plaque, gingivitis and caries in schoolchildren. Results after one and two years. *J Clin Periodontol* 1: 126-138 (1974)
- AXELSSON P, LINDHE J: Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. *J Clin Periodontol* 5: 133-151 (1978)
- AXELSSON P, LINDHE J: Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. Results after 6 years. *J Clin Periodontol* 8: 239-248 (1981)
- BADERSTEN A, NILVEUS R, EGELBERG J: Effect of nonsurgical periodontal therapy. I. Moderately advanced periodontitis. *J Clin Periodontol* 8: 57-72 (1981)
- BADERSTEN A, NILVEUS R, EGELBERG J: Effect of nonsurgical periodontal therapy. II. Severely advanced periodontitis. *J Clin Periodontol* 11: 63-76 (1984a)
- BADERSTEN A, NILVEUS R, EGELBERG J: Effect of nonsurgical periodontal therapy. III. Single versus repeated instrumentation. *J Clin Periodontol* 11: 114-124 (1984b)
- BADERSTEN A, NILVEUS R, EGELBERG J: Effect of nonsurgical periodontal therapy. IV. Operator variability. *J Clin Periodontol* 12: 190-200 (1985)
- BADERSTEN A, NILVEUS R, EGELBERG J: 4-year observations of basic periodontal therapy. *J Clin Periodontol* 14: 438-444 (1987)
- BAEHNI P, THILO B, PERNET D: Effects of ultrasonic and sonic scalers on dental plaque microflora in vitro. *J Clin Periodontol* 19: 455-459 (1992)
- BANDT C L, KORN N A, SCHAFFER E M: Bacteremias from ultrasonic and hand instrumentation. *J Periodontol* 35: 214-215 (1964)
- BELTING C M, SPJUT P J: Effects of high-speed periodontal instruments on the root surface during subgingival calculus removal. *J Am Dent Assoc* 69: 578-584 (1964)
- BELTRAMI M, BICKEL M, BAEHNI P C: The effect of supragingival plaque control on the composition of the subgingival microflora in human periodontitis. *J Clin Periodontol* 14: 161-164 (1987)
- BENFENATI M P, MONTESANI M T, BENFENATI S P, NATHANSON D: Scanning electron microscope: An SEM study of periodontally instrumented root surface, comparing sharp, dull, and damaged curettes and ultrasonic instruments. *Int J Periodont Rest Dent* 7: 50-67 (1987)

- BENTLEY C D, BURKHART N W, CRAWFORD J J: Evaluating spatter and aerosol contamination during dental procedures. *J Am Dent Assoc* 125: 579–584 (1994)
- BHASKAR S N, GROWER M F, CUTRIGHT D E: Gingival healing after hand and ultrasonic scaling – Biochemical and histologic analysis. *J Periodontol* 43: 31–34 (1972)
- BIAGINI G, CHECCHI L, MICCOLI M C, VASI V, CASTALDINI C: Root curettage and gingival repair in periodontitis. *J Periodontol* 59: 124–129 (1988)
- BJORNSSON E J, COLLINS D E, ENGLER W O: Surface alteration of composite resins after curette, ultrasonic and sonic instrumentation: an in vitro study. *Quintessence-Int.* 21: 642–646 (1990)
- BOWER R C: Furcation morphology relative to periodontal treatment. Furcation entrance architecture. *J Periodontol* 50: 23–27 (1979a)
- BOWER R C: Furcation morphology relative to periodontal treatment. Furcation root surface anatomy. *J Periodontol* 50: 366–374 (1979b)
- BREININGER D R, O'LEARY T J, BLUMENSHINE R V H: Comparative effectiveness of ultrasonic and hand scaling for the removal of subgingival plaque and calculus. *J Periodontol* 58: 9–18 (1987)
- BUCHANAN S A, ROBERTSON P B: Calculus removal by scaling/root planing with and without surgical access. *J Periodontol* 58: 159–163 (1987)
- BYE F L, GHILZON R S, CAFFESSE R G: Root surface roughness after the use of different modes of instrumentation. *Int J Periodont Rest Dent* 6: 36–47 (1986)
- CAFFESSE R G, SWEENEY P L, SMITH B A: Scaling and root planing with and without periodontal flap surgery. *J Clin Periodontol* 13: 205–210 (1986)
- CANIS M F, KRAMER G M, PAMEIJER C M: Calculus attachment. *J Periodontol* 50: 406–415 (1979)
- CATON J, BOUWISMA O, POLSON A, ESPELAND M: Effect of personal oral hygiene and subgingival scaling on bleeding interdental gingiva. *J Periodontol* 60: 84–90 (1989)
- CATUNA M C: Sonic energy, a possible dental application. *Ann Dent* 12: 100 (1953)
- CERCEK J F, KIGER R D, GARRETT S, EGELBERG J: Relative effects of plaque control and instrumentation on the clinical parameters of human periodontal disease. *J Clin Periodontol* 10: 46–56 (1983)
- CHAPPLE I L C, WALMSLEY A D, SAXBY M S, MOSCROP H: Effect of instrument power setting during ultrasonic scaling upon treatment outcome. *J Periodontol* 66: 756–760 (1995)
- CHECCHI L, PELLICIONI A: Hand versus ultrasonic instrumentation in the removal of endotoxins from root surfaces in vitro. *J Periodontol* 59: 398–402 (1988)
- CLARK S M: The ultrasonic dental unit: A guide for the clinical application of ultrasonic in dentistry and in dental hygiene. *J Periodontol* 40: 621–629 (1969)
- CLARK S M: The influence of two ultrasonic tips on root surfaces-in vivo. *Gen Dent* 38: 125–128 (1990)
- COLDIRON N B, YUKNA R A, WEIR J, CAUDILL R F: A quantitative study of cementum removal with hand curettes. *J Periodontol* 61: 293–299 (1990)
- COPULOS T A, LOW S B, WALKER C B, TREBILOCK, HEFTI A F: Comparative analysis between a modified ultrasonic tip and hand instruments on clinical parameters of periodontal disease. *J Periodontol* 64: 694–700 (1993)
- CORBET E F, VAUGHAN A J, KIESER J B: The periodontally-involved root surface. *J Clin Periodontol* 20: 402–410 (1993)
- COUNCIL ON DENTAL MATERIALS, INSTRUMENTS AND EQUIPMENT: Status report on professional scaling and stain-removal devices. *J Am Dent Assoc* 111: 801–802 (1985)
- CUTLER B J, GOLDSTEIN G R, SIMONELLI G: The effect of dental prophylaxis instruments on the surface roughness of metals used for metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 73: 219–222 (1995)
- DAHLÉN G, LINDHE J, SATO K, HANAMURA H, OKAMOTO H: The effect of supragingival plaque control on the subgingival microbiota in subjects with periodontal disease. *J Clin Periodontol* 19: 802–809 (1992)
- DALY C G, SEYMOUR G J, KIESER J B, CORBET E F: Histological assessment of periodontally involved cementum. *J Clin Periodontol* 9: 266–274 (1982)
- DONZÉ Y, KRÜGER J, KETTERL W, RATEITSCHAK K H: Treatment of gingivitis with cavitron or hand instruments: A comparative study. *Helv Odont Acta* 17: 31–37 (1973)
- DRAGOO M R: A clinical evaluation of hand and ultrasonic instruments on subgingival debridement. Part I. With unmodified and modified ultrasonic inserts. *Int J Periodont Rest Dent* 12: 311–323 (1992)
- DRAGOO M R, MARINELLO C P: Handbook for scaling and root planing with power driven instruments. Renaissance Publishing, Tempe, USA (1995)
- EATON K A, KIESER J B, DAVIES R M: The removal of root surface deposits. *J Clin Periodontol* 12: 141–152 (1985)
- ESCHMANN-SPEER C, LANGE D E, MUELLER R F: Reduktion des Keimgehaltes behandlungsbedingter zahnärztlicher Aerosole. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 436–438 (1997)
- EWEN S J: The ultrasonic wound – Some microscopic observations. *J Periodontol* 32: 315–321 (1961)
- FINE D H, TABAK L, OSHRAIN H, SALKIND A, SIEGEL K: Studies in plaque pathogenicity. I. Plaque collection and limulus lysate screening of adherent and loosely adherent plaque. *J Periodontol Res* 13: 17–23 (1978a)
- FINE D H, TABAK L, SALKIND A, OSHRAIN H: Studies in plaque pathogenicity. II. A technique for the specific detection of endotoxin in plaque samples using the limulus lysate assay. *J Periodontol Res* 13: 127–133 (1978b)
- FINE D H, MENDIETA C, BARNETT M L, FURGANG D, MEYERS A, OLSHAN A, VINCENT J: Efficacy of preprocedural rinsing with an antiseptic in reducing viable bacteria in dental aerosols. *J Periodontol* 63: 821–824 (1992)
- FINE D H, YIP J, FURGANG D, BARNETT M L, OLSHAN A M, VINCENT J: Reducing bacteria in dental aerosols: Pre-procedural use of an antiseptic mouthrinse. *J Am Dent Assoc* 124: 56–58 (1993)
- FINE D H, KORIK I, FURGANG D, MYERS R, OLSHAN A, BARNETT M L, VINCENT J: Assessing pre-procedural subgingival irrigation and rinsing with an antiseptic mouthrinse to reduce bacteremia. *J Am Dent Assoc* 127: 641–646 (1996)
- FORABOSCO A, GALETTI R, SPINATO S, COLAO P, CASOLARI C: A comparative study of a surgical method and scaling and root planing using the Odontoson®. *J Clin Periodontol* 23: 611–614 (1996)
- FUKAZAWA E, NISHIMURA K: Superficial cemental curettage: its efficacy in promoting improved cellular attachment on human root surfaces previously damaged by periodontitis. *J Periodontol* 65: 168–176 (1994)
- GANTES B G, NILVEUS R, LIE T, LEKNES K N: The effect of hygiene instruments on dentin surfaces: Scanning electron microscopic observation. *J Periodontol* 63: 151–157 (1992)
- GARNICK J J, DENT J: A scanning electron micrographical study of root surfaces and subgingival bacteria after hand and ultrasonic instrumentation. *J Periodontol* 60: 441–447 (1989)

- GELLIN R G, MILLER M C, JAVED T, ENGLER W O, MISHKIN D J: The effectiveness of the Titan-S sonic scaler versus curettes in the removal of subgingival calculus. *J Periodontol* 57: 672–680 (1986)
- GENCO R J, GOLDMAN H M, COHEN D W: Contemporary periodontics, Mosby, St.Louis, pp. 401 (1990)
- GLICK D H, FREEMAN E: Postsurgical bone loss following root planing by ultrasonic and hand instruments. *J Periodontol* 51: 510–512 (1980)
- GORFIL C, NORDENBERG D, LIBERMAN R, BEN-AMAR A: The effect of ultrasonic cleaning and air polishing on the marginal integrity of radicular amalgam and composite resin restorations. An in vitro study. *J Clin Periodontol* 16: 137–139 (1989)
- GREENSTEIN G: Subgingival irrigation – an adjunct to periodontal therapy. Current status and future directions. *J Dent Hyg* 64: 389–397 (1990)
- GREENWELL H, BISSADA N F, WITTEWIT J W: Periodontics in general practice: professional plaque control. *J Am Dent Assoc* 121: 642–646 (1990)
- GRENIER D: Quantitative analysis of bacterial aerosol in two different dental clinic environments. *Appl Environm Microbiol* 3165–3168 (1995)
- GROSS K B, OVERMAN P R, COBB C, BROCKMANN S: Aerosol generation by two ultrasonic scalers and one sonic scaler. A comparative study. *J Dent Hyg* 66: 314–318 (1992)
- HARREL S K, BARNES J B, RIVERA-HIDALGO F: Reduction of aerosol by ultrasonic scalers. *J Periodontol* 67: 28–32 (1996)
- HARREL S K: Clinical use of an aerosol-reduction device with an ultrasonic scaler. *Contin Educ Dent* 17: 1185–1193 (1996)
- HATFIELD C G, BAUMHAMMERS A: Cytotoxic effects of periodontally involved surface of human teeth. *Archs Oral Biol* 16: 465–468 (1971)
- HIRSCHFELD L, WASSERMAN B: A long-term survey of tooth loss in 600 treated periodontal patients. *J Periodontol* 49: 225–237 (1978)
- HOHENWALD R, WESTERMANN H, DERMANN K: Einfluss der Ultraschall-Zahnsteinentfernung auf die Amalgamfüllung. *Dtsch Zahnärztl Z* 42: 105–108 (1987)
- HORTON J E, TARPELY T M, WOOD L D: The healing of surgical defects in alveolar bone produced with ultrasonic instrumentation, chisel, and rotary bur. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 39: 536–546 (1975)
- HUGHES F J, SMALES F C: Immunohistochemical investigation of the presence and distribution of cementum-associated lipopolysaccharides in periodontal disease. *J Periodont Res* 21: 660–667 (1986)
- HUNTER R K, O'LEARY T J O, KAFRAWY A H: The effectiveness of hand versus ultrasonic instrumentation in open flap root planing. *J Periodontol* 55: 697–703 (1984)
- ISIDOR F, KARRING T, ATTSTRÖM R: The effect of root planing as compared to that of surgical treatment. *J Clin Periodontol* 11: 669–681 (1984)
- ISIDOR F, KARRING T: Long-term effect of surgical and non-surgical periodontal treatment. A 5-year clinical study. *J Periodont Res* 21: 462–472 (1986)
- ITO K, NISHIKATA J, MURAI S: Effects of Nd:YAG laser radiation on removal of a root surface smear layer after root planing: a scanning electron microscopic study. *J Periodontol* 64: 547–552 (1993)
- JACQUIÉRY C, BURKHART F: Beeinflussbarkeit von Herzschrittmachern durch elektrische Geräte. *Schweiz. Monatsschr Zahnmed* 103: 987–992 (1993)
- JONES S J, LOZDAN J, BOYDE A: Tooth surfaces treated in situ with periodontal instruments. Scanning electron microscopic studies. *Brit Dent J* 132: 57–64 (1972)
- JONES W A, O'LEARY T J: The effectiveness of in vivo root planing in removing bacterial endotoxin from the roots of periodontally-involved teeth. *J Periodontol* 49: 337–342 (1978)
- JOTIKASTHIRA N E, LIE T, LEKNES K N: Comparative in vitro studies of sonic, ultrasonic and reciprocating scaling instruments. *J Clin Periodontol* 19: 560–569 (1992)
- KAWANAMI M, SUGAYA T, KATO S, IINUMA K, TATE T, HANNAN M A, KATO H: Efficacy of an ultrasonic scaler with a periodontal probe-type tip in deep periodontal pockets. *Adv Dent Res* 2: 405–410 (1988)
- KEPIC T J, O'LEARY T J, KAFRAWY A H: Total calculus removal: An attainable objective? *J Periodontol* 61: 16–20 (1990)
- KERRY G J: Roughness of root surfaces after use of ultrasonic instruments and hand curettes. *J Periodontol* 38: 340–346 (1967)
- KHATIBLOU F A, GHODOSSI A: Root surface smoothness or roughness in periodontal treatment. A clinical study. *J Periodontol* 54: 365–367 (1983)
- KHO P, SMALES F C, HARDIE J M: The effect of supragingival plaque control on the subgingival microflora. *J Clin Periodontol* 12: 676–686 (1985)
- KIESER J B: Periodontics: a practical approach 1st edition, Butterworth, London, pp. 435–436 (1990)
- KING T B, MUZZIN K B, BERRY C W, ANDERS L M: The effectiveness of an aerosol reduction device for ultrasonic scalers. *J Periodontol* 68: 45–49 (1997)
- KOCHER T, RIEDEL D, PLAGMANN H-C: In-vitro-Untersuchung zur Wärmeentwicklung bei verschiedenen Airscaler-Ansätzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 47: 289–291 (1992)
- KORN N A, SCHAEFFER E M: A comparison of the postoperative bacteremias induced following different periodontal procedure. *J Periodontol* 33: 226–230 (1962)
- LAIRD W R E, WALMSLEY A D: Ultrasound in dentistry. Part 1 – biophysical interactions. *J Dent* 19: 14–17 (1991)
- LARATO D C, RUSKIN P F, MARTIN A: Effect of an ultrasonic scaler on bacterial counts in air. *J Periodontol* 38: 550–554 (1967)
- LAURELL L, PETERSSON B: Periodontal healing after treatment with either the Titan-S sonic scaler or hand instruments. *Swed Dent J* 12: 187–192 (1988)
- LEADBETTER E R, HOLT S C: Influence of sonication on cultivable microbiota of dental plaque. *J Dent Res* 53: 106 (Abstr 208) (1974)
- LEE S, LAI Y, MORGANO S M: Effects of ultrasonic scaling and periodontal curettage on surface roughness of porcelain. *J Prosthet Dent* 73: 227–232 (1995)
- LEKNES K N, LIE T, WIKESJO U M, BOGLE G C, SELVIG K A: Influence of tooth instrumentation roughness on subgingival microbial colonization. *J Periodontol* 65: 303–308 (1994)
- LEON L E, VOGEL R I: A comparison of the effectiveness of hand scaling and ultrasonic debridement in furcations as evaluated by differential dark-field microscopy. *J Periodontol* 58: 86–94 (1987)
- LIE T, LEKNES K: Evaluation of the effect on root surfaces of air turbine scalers and ultrasonic instrumentation. *J Periodontol* 56: 522–531 (1985)
- LINDHE J, KARRING T, LANG N P: Clinical periodontology and implant dentistry, Munksgaard, Copenhagen (1997)
- LISTGARTEN M A, LEVIN S, SCHIFTER C C, SULLIVAN P, EVIAN C I, ROSENBERG E S: Comparative differential dark-field microscopy of subgingival bacteria from tooth surfaces with recent evidence of recurring periodontitis and from nonaffected surfaces. *J Periodontol* 55: 398–401 (1984)

- LISTGARTEN M A: A perspective on periodontal diagnosis. *J Clin Periodontol* 13: 175–181 (1986)
- LÖE H, THEILADE E, JENSEN S B: Experimentel gingivitis in man. *J Periodontol* 36: 177–187 (1965)
- LOOS B, KIGER R, EGELBERG J: An evaluation of basic periodontal therapy using sonic and ultrasonic scalers. *J Clin Periodontol* 14: 29–33 (1987)
- LOOS B, CLAFFEY N, EGELBERG J: Clinical and microbiological effects of root debridement in periodontal furcation pockets. *J Clin Periodontol* 15: 453–463 (1988)
- MARINELLO C P, KUNDERT E, ANDREONI C: Die Bedeutung der periimplantären Nachsorge für Zahnarzt und Patient. *Implantologie* 1: 43–57 (1993)
- MATIA J I, BISSADA N F, MAYBURY J E, RICCHETTI P: Efficiency of scaling of a molar furcation area with and without surgical access. *Int J Periodontics Restorative Dent* 6: 24–35 (1986)
- McFALL T A, YAMANE G M, BURNETT G W: Comparison of the cutting effect on bone of an ultrasonic cutting device and rotary burs. *J Oral Surg. Anesth and Hosp. D. Serv.* 19: 200–209 (1961)
- McFALL W T Jr.: Tooth loss in 100 treated patients with periodontal disease. A long-term study. *J Periodontol* 53: 539–549 (1982)
- MCNABB H, MOMBELLI A, LANG N P: Supragingival cleaning 3 times a week. The microbiological effects in moderately deep pockets. *J Clin Periodontol* 19: 348–356 (1992)
- MEYER K, LIE T: Root surface roughness in response to periodontal instrumentation studied by combined use of microroughness measurements and scanning electron microscopy. *J Clin Periodontol* 4: 77–91 (1977)
- MÖLLER P, GREVSTAD A O, KRISTOFFERSEN T: Ultrasonic scaling of maxillary teeth causing tinnitus and temporary hearing shifts. *J Clin Periodontol* 3: 123–127 (1976)
- MOORE J, WILSON M, KIESER J B: The distribution of bacterial lipopolysaccharide (endotoxin) in relation to periodontally involved root surfaces. *J Clin Periodontol* 13: 748–751 (1986)
- MOSKOW B S, RIDGEWOOD N J, BRESSMAN E, MILLBURN N J: Cemental response to ultrasonic and hand instrumentation. *J Am Dent Assoc* 68: 698–703 (1964)
- MOUSQUÈS T H, LISTGARTEN M A, PHILLIPS R W: Effect of scaling and root planing on the composition of the human subgingival microbial flora. *J Periodont Res* 15: 144–151 (1980)
- MUIR K F, ROSS P W, MACPHEE I T, HOLBROCK W P, KOWOLIK M J: Reduction of microbial contamination from ultrasonic scalers. *Br Dent J* 145: 76–78 (1978)
- NADLER H: Removal of crevicular epithelium by ultrasonic currettes. *J Periodontol* 33: 220–225 (1962)
- NAKIB N M, BISSADA N F, SIMMELINK J W, GOLDTINE S N: Endotoxin penetration into root cementum of periodontally healthy and diseased human teeth. *J Periodontol* 53: 368–378 (1982)
- NISHIMINE D, O'LEARY T J: Hand instrumentation versus ultrasonics in the removal of endotoxins from root surfaces. *J Periodontol* 50: 345–349 (1979)
- NOSAL G, SCHEIDT M J, O'NEAL R, VAN DYKE T E: The penetration of lavage solution into the periodontal pocket during ultrasonic instrumentation. *J Periodontol* 62: 554–557 (1991)
- NYMAN S, SARHAD G, ERICSSON I, GOTTFLOW J, KARRING T: Role of «diseased» root cementum in healing following treatment of periodontal disease. An experimental study in the dog. *J Periodont Res* 21: 496–503 (1986)
- NYMAN S, WESTFELT E, SARHAD G, KARRING T: Role of «diseased» root cementum in healing following treatment of periodontal disease. *J Clin Periodontol* 15: 464–468 (1988)
- OBERHOLZER R, RATEITSCHAK K H: Root cleaning or root smoothing. An in vivo study. *J Clin Periodontol* 23: 326–330 (1996)
- ODA S, ISHIKAWA I: In vitro effectiveness of a newly-designed ultrasonic scaler tip for furcation areas. *J Periodontol* 60: 634–639 (1989)
- O'LEARY T J: The impact of research on scaling and root planing. *J Periodontol* 57: 69–75 (1986)
- OLSEN I, SOCRANSKY S S: Ultrasonic dispersion of pure cultures of plaque bacteria and plaque. *Scand J Dent Res* 89: 307–312 (1981)
- OOSTERWAAL P J M, MATEE M I, MIKX F H M, VAN'T HOF M A, RENGGLI H H: The effect of subgingival debridement with hand and ultrasonic instruments on the subgingival microflora. *J Clin Periodontol* 14: 528–533 (1987)
- PAMEIJER C H, STALLARD R E, HIEP N: Surface characteristics of teeth following periodontal instrumentation: A scanning electron microscope study. *J Periodontol* 43: 628–633 (1972)
- PATTERSON M, EICK J D, EBERHART A B, GROSS K, KILLOY W J: The effectiveness of two sonic and two ultrasonic scaler tips in furcations. *J Periodontol* 60: 325–329 (1989)
- PHILSTRÖM B L, ORTIZ-CAMPOS C, McHUGH R B: A randomized four-year study of periodontal therapy. *J Periodontol* 52: 227–242 (1981)
- PLAGMANN H C, KOCHER T, ENGELSMANN U: Epitheliales Neu-Attachment nach Wurzeloberflächenbearbeitung mit verschiedenen Instrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* 43: 686–692 (1988)
- PLAGMANN H C, WARTENBERG M, KOCHER T: Schmelzoberflächenveränderungen nach Zahnsteinentfernung. *Dtsch Zahnärztl Z* 44: 285–288 (1989)
- QUIRYNEN M, BOLLEN C M: The influence of surface roughness and surface-free energy on supragingival plaque formation in man. *J Clin Periodontol* 22: 1–14 (1995)
- RABBANI G M, ASH M M, CAFFESSE R G: The effectiveness of subgingival scaling and root planing in calculus removal. *J Periodontol* 52: 119–123 (1981)
- RAJSTEIN J, TAL U: The effect of ultrasonic on the surface of Class V amalgam restoration – a scanning electron microscopy study. *J Oral Rehabil* 11: 299 (1984)
- RAMFJORD S P, MORRISON E C, BURGETT F G, NISSELE R R, SHICK R A, ZANN G J, KNOWLES J W: Oral hygiene and maintenance of periodontal support. *J Periodontol* 53: 26–30 (1982)
- RAPLEY J W, SWAN R H, HALLMON W W, MILLS M P: The surface characteristics produced by various oral hygiene instruments and materials on titanium implant abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 5: 47–52 (1990)
- RATEITSCHAK-PLÜSS E M, SCHWARZ J P, GUGGENHEIM R, DÜGGELIN M, RATEITSCHAK K H: Non-surgical periodontal treatment: where are the limits? *J Clin Periodontol* 19: 240–244 (1992)
- REYNOLDS M A, LAVIGNE C K, MINAH G E, SUZUKI J B: Clinical effects of simultaneous scaling and subgingival irrigation with chlorhexidine. Mediating influence of periodontal probing depth. *J Clin Periodontol* 19: 595–600 (1992)
- RITZ L, HEFTI A F, RATEITSCHAK K H: An in vitro investigation on the loss of root substance in scaling with various instruments. *J Clin Periodontol* 18: 643–647 (1991)
- ROSENBERG R M, ASH M M Jr.: The effect of root roughness on plaque accumulation and gingival inflammation. *J Periodontol* 45: 146–150 (1974)
- ROSLING B G, SLOTS J, CHRISTERSSON L A, GRÖNDAHL H G, GENCO R J: Topical antimicrobial therapy and diagnosis of subgingival bacteria in the management of inflammatory periodontal disease. *J Clin Periodontol* 13: 975–981 (1986)

- SANDERSON A D: Gingival curettage by hand and ultrasonic instruments: A histologic comparison. *J Periodontol* 37: 279–290 (1966)
- SCHAFFER E, STENDE G, KING D: Healing of periodontal pocket tissues following ultrasonic scaling and hand planing. *J Periodontol* 35: 140–148 (1964)
- SCHLAGETER L, RATEITSCHAK-PLÜSS E M, SCHWARZ J-P: Root surface smoothness or roughness following open debridement. An in vivo study. *J Clin Periodontol* 23: 460–464 (1996)
- SCHROEDER H E, RATEITSCHAK-PLÜSS E M: Focal root resorption lacunae causing retention of subgingival plaque in periodontal pockets. *Acta Parodontol* 12: 179–187 (1983)
- SCHROEDER H E: *Orale Strukturbilogie*. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart, pp. 157 (1987)
- SELVIG K A: Attachment of plaque and calculus to tooth surfaces. *J Periodont Res* 5: 8–18 (1970)
- SHERMAN P R, HUTCHENS L H Jr., JEWSON L G, MORIARTY J M, GRECO G W, MC FALL W T JR: The effectiveness of subgingival scaling and root planing. I. Clinical detection of residual calculus. *J Periodontol* 61: 3–8 (1990 a)
- SHERMAN P R, HUTCHENS L H Jr., JEWSON L G: The effectiveness of subgingival scaling and root planing. II. Clinical responses related to residual calculus *J Periodontol* 61: 9–14 (1990b)
- SIMON A B, LINDE B, BONNETTE G H, SCHLENTZ R J: The individual with a pacemaker in the dental environment. *J Am Dent Assoc* 91: 1224–1229 (1975)
- SIVERS J E, JOHNSON G K: Comparison of effects of ultrasonic and sonic instrumentation on amalgam restorations. *General Dentistry* 130–132 (1989)
- SLOTS J: The subgingival microflora and periodontal disease. *J Clin Periodontol* 6: 351–356 (1977a)
- SLOTS J: Microflora in the healthy gingival sulcus in man. *Scand J Dent Res* 85: 247–254 (1977b)
- SMART G J, WILSON M, DAVIES E H, KIESER J B: The assessment of ultrasonic root surface debridement by determination of residual endotoxin levels. *J Clin Periodontol* 17: 174–178 (1990)
- SMULOW J B, TURESKY S S, HILL R G: The effect of supragingival plaque removal on anaerobic bacteria deep periodontal pockets. *J Am Dent Assoc* 107: 737–742 (1983)
- SOCRANSKY S S, HAFFAJEE A D: The bacterial etiology of destructive periodontal disease: current concepts. *J Periodontol* 63: 322–331 (1992)
- SPEELMAN J A, COLLAERT B, KLINGE B: Evaluation of different methods to clean titanium abutments. A scanning electron microscopic study. *Clin Oral Impl Res* 3: 120–127 (1992)
- STENDE G W, SCHAFFER E M: A comparison of ultrasonic and hand scaling. *J Periodontol* 32: 312–314 (1961)
- TAGGART J A, PALMER R M, WILSON R F: A clinical and microbiological comparison of the effects of water and 0.02% chlorhexidine as coolants during ultrasonic scaling and root planing. *J Clin Periodontol* 17: 32–37 (1990)
- TAKACS V J, LIE T, PERALA D G, ADAMS D F: Efficacy of 5 machining instruments in scaling of molar furcation. *J Periodontol* 64: 228–236 (1993)
- THEILADE E, WRIGHT W H, BORGLUM-JENSEN S, LÖE H: Experimental gingivitis in man II. A longitudinal clinical and bacterial investigation. *J Periodontol Res* 1: 1–13 (1966)
- THILO B E, BAEHNI P C: Effect of ultrasonic instrumentation on dental plaque microflora in vitro. *J Periodont Res* 22: 518–521 (1987)
- THORNTON S, GARNICK J: Comparison of ultrasonic to hand instruments in the removal of subgingival plaque. *J Periodontol* 53: 35–37 (1982)
- TOPOLL H H, LANGE D E, HÜGELMEYER T, HANNEMANN D: Oberflächenveränderungen von Schmelz, Wurzelzement und Füllungen nach Einwirkung von Zahnreinigungsinstrumenten. *Dtsch Zahnärztl Z* 44: 387–390 (1989)
- TORFASON T, KIGER R, SELVIG K A, EGELBERG J: Clinical improvement of gingival conditions following ultrasonic versus hand instrumentation of periodontal pockets. *J Clin Periodontol* 6: 165–176 (1979)
- VEKSLER A E, KAYROUZ G A, NEWMAN M G: Reduction of salivary bacteria by pre-procedural rinses with chlorhexidine 0.12 %. *J Periodontol* 62: 649–651 (1991)
- VAN VOLKINBURG J W, GREEN E, ARMITAGE G C: The nature of root surfaces after curette, cavitrone and alpha-sonic instrumentation. *J Periodont Res* 11: 374–381 (1976)
- WAERHAUG J: Healing of the dento-epithelial junction following subgingival plaque control. II. As observed on extracted teeth. *J Periodontol* 49: 119–134 (1978)
- WALMSLEY A D, LAIRD W R E, WILLIAMS A R: A model system to demonstrate the role of cavitation activity in ultrasonic scaling. *J Dent Res* 63: 1162–1165 (1984)
- WALMSLEY A D, LAIRD W R E, WILLIAMS A R: Dental plaque removal by cavitation activity during ultrasonic scaling. *J Clin Periodontol* 15: 539–543 (1988)
- WALMSLEY A D, WALSH T F, LAIRD W R E, WILLIAMS A: Effects of cavitation activity on the root surface of teeth during ultrasonic scaling. *J Clin Periodontol* 17: 306–312 (1990)
- WALSH T F, WAITE I M: A comparison of postsurgical healing following debridement by ultrasonic or hand instruments. *J Periodont* 49: 201–205 (1978)
- WALSH T F, WALMSLEY A D: A new method to assess damaging effects on the gingival tissues of non-surgical instrumentation. *J Clin Periodontol* 18: 785–787 (1991)
- WILSON M, MOORE J, KIESER J B: Identity of limulus amoebocyte lysate-active root surface materials from periodontally involved teeth. *J Clin Periodontol* 13: 743–747 (1986)
- WITTE M, LANGE D E, BISPINCK H: Temperaturmessungen bei der Anwendung von zahnärztlichen Ultraschallgeräten. *Dtsch Zahnärztl Z* 33: 33–38 (1978)
- YUKNA R A, SCOTT J B, AICHELMANN-REIDY M E, LEBLANC D M, MAYER E T: Clinical evaluation of speed and effectiveness of subgingival calculus removal on single-rooted teeth with diamond-coated ultrasonic tips. *J Periodontol* 68: 436–442 (1997)
- ZAPPA U, SMITH B, SIMONA C, GRAF H, CASE D, KIM W: Root substance removal by scaling and root planing. *J Periodontol* 62: 750–754 (1991)
- ZINNER D D: Recent ultrasonic dental studies, including periodontia, without the use of an abrasive. *J Dent Res* 34: 748–749 (1955)
- ZITTERBART P A: Effectiveness of ultrasonic scalers: A literature review. *Gen Dent* 35: 295–297 (1987)