キャビテーション効果を用いたプラーク除去に関する研究 (I)

西 門 忍 田 中 秀 高 池 田 康 男
長 田 豊 加 藤 伊 八

長崎大学歯学部歯科保存学第二講座

(主任: 加藤伊八教授)

(平成 6 年 3 月 22 日受付)

A Study on Plaque Removal by Ultrasonic Cavitation (I)

Shinobu NISHIKADO, Hidetaka TANAKA, Yasuo IKEDA,
Yutaka OSADA and Ihachi KATO

Department of Periodontology, Nagasaki University School of Dentistry

1-7-1, Sakamoto, Nagasaki, 852, Japan

(Chief: Prof. Ihachi KATO)

The present study was designed to investigate the possibility of using ultrasonic cavitation as a new method of plaque control. For this reason, we developed and tested 20 different types of tips capable of generating ultrasonic cavitation around the oscillating tips in water and removing artificial plaque deposited on the surface of artificial teeth surface. Each tip was distinguished by its position and/or angle of curvature. The following results were obtained by using these tips. First, the position and angle of curvature of affected the amplitude and the area of an artificial plaque removed. Second, there was no significant correlation

between the angle of curvature of a tip and the plaque removal area. Third, the area of plaque removal increased as the amplitude of the tip increased to a constant value (approximately 30 μm) and reached a plateau. Lastly, plaque removal was most effective with a distance of 2-3 mm between the tip and the artificial tooth surface. At greater distances, the plaque removal area was decreased. Some of the tips were capable of removing of plaque up to 6 mm in diameter.

These findings suggested that improvements in the tips and the device used in this study may enable effective plaque control.

Key words: Ultrasonic, Cavitation, Plaque removal

要旨: 本研究は超音波振動時に発生するキャビテーション効果をプラークコントロールに応用することを目的として行った。すなわち超音波発生装置として市販の超音波スケーラー本体と、水中で超音波振動によりキャビテーションを発生する試作チップ 20 種類を用い、チップの形態および人工歯面との距離と人工プラークの除去効果について基礎的実験を行った。

プラーク除去用チップの屈曲位置と屈曲角度を変えることにより人工プラークの除去面積と振動振幅の大きさは変化することがわかった。しかし、チップの屈曲角度と人工プラークの除去面積の間には一定の関係は認められなかった。また、振動振幅の大きさがある一定値 (約 30 μm) までは人工プラークの除去面積は増加するが、その値を超えるとほとんど増加しないことがわかった。

さらに、チップと人工歯面との距離と人工プラークの除去面積の関係をみると、その距離が 2~3 mm のとき最

も高い除去効果が認められ、それ以上の距離になると除去面積は減少するが、約6 mm までは除去可能なチップも存在することが確認された。

以上のことから、今回20種類の試作チップについてプラーク除去効果を調べた結果、キャビテーション効果をプラークコントロールに応用できる可能性が示唆された。

索引用語：超音波、キャビテーション、プラーク除去

緒 言

歯周疾患の治療においてプラークコントロールは最も重要な予防ならびに治療法の一つである¹⁾。現在この方法として、歯ブラシや歯間ブラシを使った物理的方法や、抗菌剤²⁾や酵素製剤等³⁾を使用した化学的方法が主流となっている。しかし、いずれの方法も患者側の要因（歯列状態、器用さ等）や、複雑な歯の形態による器具の到達性に左右され十分な効果を得るに至らないのが現状である。

近年、精密機器および医療器具の洗浄に超音波振動時に発生するキャビテーション効果（cavitation, 空洞現象）が広く応用され、その有効性が注目されている^{4,5)}。

著者らは、口腔内のプラークコントロールにこのキャビテーション効果が応用可能となれば、歯面に器具をまったく接触させず、患者側の要因や器具の到達性に左右されにくい新しいプラークコントロール法が開発できるものと考えた。そこで今回はその基礎的実験として、超音波発生装置として市販の超音波スクレーターの本体を用い、水中で超音波振動によりキャビテーションが発生するプラーク除去用のチップを試作し、これらのチップの形態と人工歯面との距離が人工プラークの除去効果にどのように影響するかについて検討を行った。

材料と方法

1. 実験材料

1) 超音波発生装置

超音波発生装置として市販の超音波スクレーター（ソルフィー®：（株）モリタ製作所、京都）の本体を用いた。

本装置はハンドピース内のセラミック振動子の圧電現象により超音波振動を起こす piezo 型発振を利用したものである。オートチューニング機構により先端のチップの形態や重量、付加の変化にかかわらず、常に

一定の共振周波数（ 27 ± 2 kHz）を維持できる機能を持っている。また、その超音波振動はハンドピースの長軸方向に発生し、先端に接続されたチップに伝達される。

2) 試作実験用チップ

実験用のチップは、本装置付属の5種類のチップのうち、水中でキャビテーションの発生を認めたスクレーリング用フラットチップ（長さ24 mm, 側面の幅2 mm, 重量約1.73 g）をモデルとして作製した。すなわちチップの材質はステンレス鋼 SUS 420 F, 長さ24 mm, 幅2 mm, 基部の厚さが2.2 mm, 先端の厚さが0.25 mm で重量が約1.74 g のテーパー付きの棒（図1）を基本型チップとした。この基本型チップの基部に屈曲を加え側面の変位を調べると、振動振幅がほとんど認められない「節」となる部位が3箇所（先端より3.6 mm, 12.6 mm, 24.0 mm の位置）、また変位が比較的大きい「腹」となる部位も3箇所（先端部, 先端より6.8 mm, 16.6 mm の位置）存在することがわかった。つまり、今回用いた実験用チップは、一端が固定端の片持ち棒の3次モードの固有振動を形成する。そこで固有振動の「節」の位置（チップ先端より24.0 mm と12.6 mm の位置）に、一次曲げ（角度 α ）および二次曲げ（角度 β ）を加えた形態の異なる20種類を試作し（図2）、熱処理を施し実験に供した。

一次曲げのチップは基本型チップの基部（「節」の位置, 先端より24.0 mm）での屈曲角度（ α ）を0°, 20°, 40°, 60°, 80°として5種類（No. 1~5）（図3）作製した。また一次曲げに加え、チップ先端より12.6 mm の位置（基部より1/2波長ずれた「節」の位置）に40°, 80°, 120°の角度で二次曲げまで行なったチップを、図4に示すような15種類（No. 6~20）作製した。

3) 人工プラークおよび人工歯面

人工プラークとして岸らの方法⁶⁾を改変し、Li-quitex®（Bonny社製）：フエキ糊（不易糊工業）：Poster color（サクラ）を体積比1：2：2に混合したものを使用した。これを#1000の耐水研磨紙にて表

図 1 屈曲前の実験用チップ

面粗さを一定にした白色の亚克力製平板に塗布，乾燥し，人工歯面として使用した。

実験装置は図5に示すように，人工歯面を水中で固定でき，実験用チップの背面と人工歯面が平行で，かつ一定間隔に保持することができる。この装置を用いて，チップの形態（チップの屈曲位置，屈曲角度）や人工歯面との距離がどのように人工プラークの除去効果に影響するかを検討するために以下の実験を行った。

2. 実験方法

1) チップと人工歯面の間隔を 3.0 mm として，各チップの人工プラークの除去面積を計測し，一次および二次曲げの角度との関係を調べた。

2) 20 種類の実験用チップの振動振幅を測定した。すなわちチップの先端より 12.6 mm (3/4 波長分) の位置まで 0.5 mm 間隔でチップ側面の振動振幅と方向（角度）を実体顕微鏡を用いて測定した。そしてチップ側面に対する垂直成分の平均をそのチップの振動振幅 (μm) とし，人工プラーク除去面積，屈曲位置および屈曲角度との関係を調べた。

3) チップと人工歯面との間の距離とプラーク除去面積の関係について調べた。すなわち，各チップと人工歯面との距離を 1 mm から 7 mm まで 1 mm 間隔でプラーク除去面積を測定し，さらに振動振幅との関係についても検討を加えた。

プラーク除去面積および振動振幅の測定はチップ先端より 12.6 mm の位置まで (3/4 波長分) を対象とし，超音波発生装置の出力を最大の 7，時間を 30 秒に規定して行った。なお，実験用チップは同じ形態の

図 2 チップの屈曲角度（一次曲げ (α)，二次曲げ (β)）

図 3 一次曲げのチップ (No. 1~5)

ものをそれぞれ 2 本ずつ作製し，各チップで 5 回のプラーク除去面積を求め，その平均値を除去面積とした。

プラーク除去面積の評価は，除去された人工歯面をスケールとともにカラーイメージスキャナー (GT-4000®: EPSON 社，東京) を使用し，モノクロ 256

図 4 二次曲げのチップ (No. 6~20)

図 5 実験装置

図 6 人工プラークの除去範囲

階調グレー, 320 DPI (Dot per Inch) で画像データとして取込み, さらに画像処理を行ない除去面積 (mm^2) を算出した。

除去面積の判定は図 6 に示すように人工プラークが除去されている部位 (Gray 値が背景のプラーク面の Gray 値より小さな部分) の Pixel 単位の Gray 値を

測定し標準偏差 (S.D.) を求め, 人工プラーク面の Gray 値より 2 S.D. 以下の Gray 値を除去面積と規定した。

なお, チップの振動振幅と除去面積との関係, またチップの屈曲角度と振動振幅の関係およびチップの屈曲角度と除去面積の関係については回帰分析を用いて統計処理を行った。

図 7 一次曲げ，二次曲げの角度と除去面積

結 果

1. 図 7 は一次曲げ，二次曲げ角度とブランク除去面積を示す。

屈曲をまったく加えていないチップ ($\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$) にはキャビテーションの発生は認められず，人工ブランクもまったく除去されなかった。また，一次曲げのみのチップ (No. 1~5) においては，その屈曲角度 (α) とブランク除去面積の間には強い相関が認められた ($r=0.92$, $p<0.05$)。しかし，一次曲げの角度が 80° では除去面積は 60° の場合よりもやや減少した。

また，一次曲げに二次曲げまで加えたチップ (No. 6~20) は，一部のチップ ($\alpha=80^\circ$, $\beta=120^\circ$) を除いていずれも一次曲げのみのチップより明らかに除去面積は大きかった。

しかし，二次曲げまで加えたチップの屈曲角度 (α , β) と，ブランク除去面積との関係について調べると，特に明確な関係は認められなかった。

2. 屈曲角度と振動振幅の関係，振動振幅と除去面積の関係は図 8, 9 に示す。

屈曲をまったく加えていないチップ ($\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$) では，側方への振動はまったく認められなかった。

一次曲げのみのチップ (No. 1~5) では角度 (α) が増すに従い振幅は増大しており，強い相関が認められた ($r=0.98$, $p<0.01$)。また，一次曲げに二次曲げを加えたチップ (No. 6~20) の振幅は一次曲げのみのチップと比較して明らかに増大し，一次曲げ，二次曲げの両角度 (α , β) と振動振幅との関係について調べると相関が認められた (重相関係数 0.83, 決定係数 0.66) (図 8)。さらに，振動振幅と除去面積の関係についてみると，振動振幅が約 $30 \mu\text{m}$ までは，ブランク除去面積は振動振幅に相関 ($r=0.90$, $p<0.01$) して増加し，約 $30 \mu\text{m}$ を超えると除去面積はほとんど増加しなかった (図 9)。

3. チップと人工歯面との距離を 1 mm から 7 mm まで 1 mm 間隔で測定したブランク除去面積を図 10 に示す。

多くのチップにおいて人工歯面に近接した位置 (1 mm) よりも若干離れた位置 (2, 3 mm) の方が除去面積は大きかった。しかし，その距離を超えるとほとんどのチップでブランク除去面積が急激に減少した。

図 8 一次曲げ，二次曲げの角度と振動振幅

図 9 振動振幅と除去面積

図 10 人工歯面とチップの距離の変化と除去面積

また、二次曲げを加えたチップは一次曲げのみのチップよりも振動振幅は大きく、チップと人工歯面の距離が大きくてもプラーク除去が可能であることがわかった。

考 察

超音波の技術は歯科領域にも広く取り入れられ、特に超音波スケーラーについては、その歯石除去の簡便さ、有効性などの多くの研究成果が報告されている^{7,8)}。また歯科の治療用機器としては歯石除去以外にも、先端の付属の器具を交換することにより根管洗浄に応用され、その有効性や、洗浄機序に関する数多くの報告がある^{9~11)}。根管洗浄の場合は、先端に装着されたファイルの超音波振動により発生するキャビテーションと放射圧による音響直進流 (acoustic streaming) が関与していると言われている⁹⁾。また、超音波スケーラーのスケーリング用のチップを注水下で用いるとチップの振動により反射された注水中にキャビテーションが発生し、チップが歯面にまったく接していない部位で付着物の除去効果が認められたという報告がある^{12~14)}。しかし、これらの報告はいずれも使用した超音波スケーラーに付属のスケーリング用のチップが使われており、キャビテーション効果による洗浄効果もチップの先端が、歯根面や人工歯面に

接触した状態でチップ側面に起こる付加的な作用として報告され、その除去面積もチップの先端が接している部位に近接したきわめて狭い範囲に限られたものであった。本研究のように、チップを歯根面や人工歯面に直接接触させることなくプラークや付着物の除去効果を調べた報告はほとんどない。

超音波による付着物の洗浄効果は、超音波が液体中を伝わる時、その超音波振動によって周囲の液体をミクロに攪拌し、その音場に発生するキャビテーション気泡が破裂する際に、局部的に大きな圧力と発熱を生じることにより、汚れの層が除去されると言われている^{4,5)}。また、キャビテーションの発生には周囲圧力、温度、液体の種類、また液体に対する気体の溶解度などに影響されることが分かっている^{4,15)}。そこで本実験では、室温 (20℃ 前後) で一般の水道水を使用し、大気圧の条件下で行なった。また、キャビテーションは比較的低い周波数で発生しやすく、周波数が 1 MHz 以上になると発生しにくくなる性質を持っている^{4,15)}。したがってキャビテーションの作用を利用する超音波洗浄では、15~50 KHz 程度の比較的低い周波数の超音波が使用されることが多い^{5,16)}。今回用いた超音波スケーラーはハンドピースにおける共振周波数が 27 ± 2 kHz と一定に保たれており、本実験の目的に適した超音波発生装置であると思われる。

今回使用した人工プラークの性質は、歯ブラシや

Water pik®を使用して除去を試みたところ、歯ブラシでは除去可能であったが Water pik®ではほとんど除去できなかったことから、実際のプラークに比較して同等かやや除去しにくいものであると思われる。

本装置のハンドピース内の振動子の振動方向は縦振動であるため、側面方向への変位も認められず、プラークも全く除去されない。そこでチップに屈曲を加えて振動方向を変え、周囲の水中に疎密波の音場を形成しキャビテーションが発生する条件をつくる必要がある。まず「節」の位置となっている基部に屈曲を加えて振動振幅の方向を変え、さらに超音波発生装置の出力を増し振動振幅を増幅させると、チップの周囲の水中にキャビテーションが発生し洗浄効果を発揮することがわかった。つまり、チップの振動振幅を増幅させると、チップ周囲の水中にキャビテーションを生じるだけの超音波強度 (3.5 kw/m^2 以上^{4,5,15)}) が放射されることがわかった。

また、人工プラークはチップの振動振幅の「腹」の位置に対応した部位を中心に除去されており、このことは根管洗浄の研究で、ファイルの振動振幅の「腹」の位置にキャビテーションが発生し、同部位に相当した位置に除去効果が認められたという報告⁹⁾と一致している。さらに、今回用いたチップは先端（「腹」）と次の「腹」の位置（先端より $1/2$ 波長ずれている）の除去面積に違いが認められたが（図 11）、先端部でのプラーク除去効果が $1/4$ 波長分のチップの振動振幅に相当して除去されたものであり、次の「腹」に相当する除去効果は $1/2$ 波長分の振動振幅によるものと考えられる。

一方、すべてのチップは超音波発生装置のパワーレンジの値が 6, 7 になるとキャビテーション気泡の発生が認められ、数本のチップを用いて行った予備実験で、チップと人工歯面の距離が約 3 mm のとき最大の除去面積がえられ、操作時間が約 30 秒になるとその除去面積は増加しないことがわかった。これらの結果からチップと人工歯面の距離を 3 mm、操作時間を 30 秒、超音波発生装置の出力を 7（本装置の最大出力）に規定して行った。チップの形態の相違による影響については、一次曲げのみのチップの場合、その屈曲角度 (α) が $0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲では、屈曲角度、振動振幅およびプラーク除去面積の 3 要素間にはきわめて強い相関があることがわかったが、一次曲げの角度が 80° のチップは振動振幅が大きいにもかかわらず 60° のチップの方が除去面積は大きかった。そこで、両者の振動

図 11 人工プラークの除去部分の外形の違い

の腹の位置に相当して最も完全にプラークが除去されている部位の最低 Gray 値を比較すると、一次曲げの角度が 80° のチップの方が低い Gray 値を示しており、さらにチップと人工歯面との距離が 4 mm のときの除去面積を比較すると一次曲げ角度が 80° のチップ (No. 5) の方が明らかに除去面積が大きいこともわかった。これらのことより振動振幅が大きい一次曲げの角度が 80° のチップの方が側面方向への広がりには劣るものの垂直方向に強いキャビテーションが発生し、人工プラークが除去されている中心部の狭い範囲内ではより完全な洗浄が行われているものと推測される。

また、超音波を応用した根管洗浄の研究において、超音波伝達用のコネクタの角度を変えることにより先端に装着される器具（ファイル）の振動振幅が大きくなり、除去効果も増大することが報告されている¹⁶⁾。そこで著者らは除去面積や到達距離（キャビテーションの波及範囲）を増加させるために、チップ基部の一次曲げに、基部より $1/2$ 波長ずれた「節」の位置（先端より 12.6 mm）に二次曲げを加えた。すなわち、このことにより振動振幅を増幅し超音波強度を増すことにより、除去面積と到達距離を増加させることを考えた。

その結果、二次曲げまで加えたチップでは、一次曲げのみのチップよりも振動振幅は増加し、屈曲角度 (α , β) と振動振幅の間には相関が認められた。また、除去面積についても二次曲げまで加えたチップの方が明らかに増加していたが、屈曲角度 (α , β) と除去面積の間には明らかな関係は認められなかった。

このように振動の「節」の位置で多重屈曲を加えることにより、屈曲を加えた「節」の位置が自由端となり、ハンドピース自体の振動、「節」の位置での二次曲げによる振動振幅の増幅および振動方向の変換等に

より、チップの振動振幅がさらに増幅され、チップより発生する超音波強度が増し、ひいてはキャビテーションの発生が大きくなり人工プラークの除去面積が増加するものと考えられる。

しかし、振動振幅が約 30 μm を超えると No. 20 のチップ以外は除去面積は大きく増減しないことがわかった。一般的な超音波洗浄の報告においても安定したキャビテーションが発生されるようになると振動子の振動数や、振動子に入力される電氣的入力または振動板の超音波強度を大きくしてもその発生量はほとんど変わらず、これらの値が強くなりすぎるとかえってキャビテーション自体の効果は減少すると言われている^{4,5)}。

しかし、振動振幅が比較的大きなチップは、より離れた位置まで人工プラークが除去される傾向にあることから、今回用いたチップのような狭い振動板より発生するキャビテーションは、振動振幅が大きくなると直進方向へより強く、より遠くまで到達するものと考えられる。また振動振幅が大きいのにもかかわらず除去面積が小さいものについて、人工プラークが除去された中心部の狭い範囲での Gray 値を詳細に検討すると、振動振幅の小さいものよりその Gray 値は低いレベルであり、より完全な洗浄が得られていることから同様なことが言えるものと思われる。しかし、今回用いたチップに発生するキャビテーションも、側面への広がりを持つものや直進方向へ強く発生するものがあること、および前述のように人工プラークの除去形態がチップごとに若干異なることなどより、今回使用した人工歯面のような 2 次元的な評価法では、キャビテーションを応用した洗浄力やその波及範囲を正確に測定するのは困難であると思われる。今後は、キャビテーションの強度や波及範囲をより正確に評価する方法についても検討する必要があると考えている。

本実験では幅 2 mm 程度の振動板をチップとして用い、その屈曲位置と屈曲角度の 2 つの要素のプラーク除去効果に及ぼす影響についてのみ検討したが、超音波発生装置の出力や振動子の周波数、チップの材質、液体の性質などもプラーク除去効果に関与することが考えられる。

今回超音波発生装置と試作チップによるプラーク除去効果について検討した結果、器具を歯面にまったく接触させることなく、キャビテーション効果をプラークコントロールに応用し得る可能性が示唆された。今後は、除去効果や到達距離をさらに増大させるような

方法や因子について検討するとともに、従来の方法では器具の到達性のため難しいと考えられている歯間部や根分岐部のプラークコントロールへの臨床応用についても検討したいと考えている。

結 論

超音波振動時に発生するキャビテーション効果をプラークコントロールに応用することを目的とし、市販の超音波スケーラーの本体と試作した実験用チップ 20 種類を用いて、その屈曲位置、屈曲角度およびチップと人工歯面の距離による人工プラークの除去効果の相違について検討し以下のような結論を得た。

1. プラーク除去用チップの固有振動の「節」となっている基部にて屈曲を加えるとチップに伝達される超音波振動の方向は変化し、その屈曲角度の違いにより振動振幅と人工プラークの除去面積が増減することが確認された。

2. 基部より 1/2 波長ずれた「節」の位置でさらに屈曲を加えると振動振幅は増幅され、人工プラークの除去面積も増加した。しかし、屈曲角度と人工プラークの除去面積の間には明かな関係は認められなかった。

3. 試作した 20 種類のチップの振動振幅とプラーク除去面積との関係を調べると、振動振幅が約 30 μm まではその大きさに相関してプラーク除去面積は増大するが、振動振幅が約 30 μm を超えるとほとんど増加しなかった。

4. チップと人工歯面との距離と人工プラークの除去効果について試作した 20 種類のチップについて検討した結果では、その距離が 1 mm よりも 2~3 mm の方が強い除去効果が得られるチップが多く、振動振幅の大きいチップほど、その到達距離も大きくなる傾向が認められた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に御助言や御協力を頂きました(株)モリタ製作所の的場一成氏に謹んで感謝の意を表します。

文 献

- 1) Ramfjord, S.P.: Maintenance care for treated periodontitis patients. J. Clin. Periodontol., 14:

- 433-437, 1987.
- 2) Mandel, I.D. : Chemotherapeutic agent for controlling plaque and gingivitis. J. Clin. Periodontol., 15 : 488-498, 1988.
- 3) Walker, L.B. : Microbiological effects of mouth-rinses containing antimicrobials. J. Clin. Periodontol., 15 : 499-505, 1988.
- 4) 島川正憲 : 超音波工学—理論と実際—, 工業調査会, 東京, 1977, 19-22, 79-141, 441-479.
- 5) 実吉純一, 菊池喜充, 能本乙彦 : 超音波技術便覧(新訂版), 日刊工業新聞社, 東京, 1987, 123-127, 202-231, 1121-1137.
- 6) 岸 正之, 山川雅子, 渡辺いく子, 吉井佐織, 夏目美穂, 水野克己, 野口俊英 : 歯周病患者に適したブラッシング法の検討—第1報 舌側転位を有する歯列不正と各種ブラッシング法. 日歯周誌, 30 : 262-271, 1988.
- 7) Breininger, D.R., O'Leary, T.J. and Blumenshine, X. : Comparative effectiveness of ultrasonic and hand scaling for removal of subgingival plaque and calculus. J. Periodontol., 58 : 539-543, 1987.
- 8) Smart, G.J., Wilson, M., Davies, E.H. and Kieser, J.B. : The assesment of ultrasonic root surface debridement by determination of residual endotoxin levels. J. Clin. Periodontol., 17 : 174-178, 1990.
- 9) 永井旺介, 駒橋一永, 長田 保 : 超音波振動による根管清掃. 歯科ジャーナル, 30 : 465-472, 1989.
- 10) 駒橋一永 : 超音波を応用した根管洗浄の機序に関する研究, 日歯保誌, 28 : 812-832, 1988.
- 11) Ahmand, M., Pitt, T.R. and Crum, L.A. : Ultrasonic debridement of root canals : Acoustic Streaming and its possible roles. J. Endo., 13 : 490-499, 1987.
- 12) Walmsley, A.D., Laird, W.R.E. and Williams, A. R. : A model system to demonstrate the role of cavitational activity in ultrasonic scaling. J. Dent. Res., 63 : 1162-1165, 1984.
- 13) Walmsley, A.D., Laird, W.R.E. and Williams, A. R. : Dental plaque removal by cavitational activity during ultrasonic scaling. J. Clin. Periodontol., 15 : 539-543, 1988.
- 14) Walmsley, A.D., Walsh, T.F., Laird, W.R.E. and Williams, A.R. : Effects of cavitational activity on the root surface of teeth during ultrasonic scaling. J. Clin. Periodontol., 17 : 306-312, 1990.
- 15) 藤森聡雄 : やさしい超音波の応用, 秋葉出版, 東京, 1988, 59-64, 70-71.
- 16) 山田哲弘 : 超音波を応用した根管洗浄法に関する研究—とくにコネクターの角度, 洗浄針の形態, 太さが洗浄効果に及ぼす影響—, 日歯保誌, 28 : 566-588, 1985.

連絡先 :

長崎大学歯学部歯科保存学第二講座

〒 852 長崎県長崎市坂本 1-7-1