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 (II) —チップのテーパー比と幅が人工プラークの除去効果に及ぼす影響—

西 門 忍 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7年6月9日受付)

A Study on Plaque Removal by Ultrasonic Cavitation (II) —The Influence of Taper Ratio and Width of Tips on the Effect of Artificial Plaque Removal—

Shinobu NISHIKADO, Yutaka OSADA and Ihachi KATO

Department of Periodontology, Nagasaki University School of Dentistry

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

(Chief : Prof. Ihachi KATO)

To date, we have studied the effect of ultrasonic cavitation for plaque control. Our previous report (1994) using an ultrasonic scaler available on the market and 20 types of plaque removing tips newly developed by our laboratory revealed the relationship between shapes comprising an angle and the position of bending and amplitude, and between the shape and the plaque removal effect. In this study, we tested new plaque removing tips bent once or twice, with different taper ratios and widths and examined how the taper ratio and the width of these tips affect the amplitude and the plaque removal effect. In the experiment using tips bent once with different taper ratio, the amplitude increase was brought about by tips with a smaller taper ratio.

Among these tips, however, only four with an amplitude exceeding a constant value were effective for plaque removal. Similarly, in another experiment using the tips bent once with different widths, the wider tips bent at the angle of 20 and 40 degrees produced more effective plaque removal, but did not effect the amplitude. However, in the case of the tips bent at the angle of 60 and 80 degrees, the narrower tips yielded the greater amplitude and more effective plaque removal. On the contrary, the tips bent twice in comparison with those bent once caused amplitude increases and enhanced the plaque removal effect. However no definite relationship between the taper ratio and the width was identified.

Key words : Cavitation, Plaque removal, Taper ratio of tip, Width of tip

要旨：著者らは、超音波振動におけ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ために一連の実験を行っている。

第I報において、市販の超音波スケーラーの本体と試作した20種類のプラーク除去用のチップを用いて、その形態（屈曲角度、屈曲位置）と振動振幅および人工プラークの除去効果について検討した。

今回は、チップのテーパー比と幅の異なる一次曲げおよび二次曲げのプラーク除去用チップを試作し、テーパー比と幅の変化がプラーク除去用のチップの振動振幅と人工プラークの除去効果に及ぼす影響について検討した。

テーパー比の異なる一次曲げチップでは、そのテーパー比が小さく、屈曲角度が大きいと振動振幅は増幅された。しかし、これらのチップの中で除去効果が認められたのは一定値以上の振動振幅を有する4本のチップであった。さらに、幅が異なる一次曲げチップにおいては屈曲角度が20°、40°の場合は振動振幅に差はみられず、

幅の広いチップの除去効果が高くなる傾向が認められた。しかし、屈曲角度が 60° , 80° となると幅の小さいチップの方が振動振幅と除去効果がともに大きくなることがわかった。

また、二次曲げチップは一次曲げチップと比較し振動振幅と除去効果は増大したが、テーパー比と幅の影響について明確な関係は認められなかった。

索引用語：キャビテーション，ブラーク除去，チップのテーパー比，チップの幅

緒 言

著者らは第 I 報¹⁾において市販の超音波スケーラーのチップを参考に試作したブラーク除去用のチップを用いて、屈曲位置および屈曲角度の相違による振動振幅と人工ブラークの除去効果について検討した。その結果、固有振動の節の位置で二次曲げを加えると振動振幅は増幅され、より効率的に人工ブラークが除去されることがわかった。さらに、振動振幅が一定値より大きくなるとその除去効果は増大しないことがわかった。

本研究では、一次曲げおよび二次曲げチップのテーパー比と幅を変えた場合の振動振幅および除去効果に及ぼす影響について調べた。

材料と方法

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ケーラーソルフィー® (モリタ製作所、京都) の本体を用いた。

本装置は、セラミック振動子のピエゾ型発振によって超音波振動を生じ、そのオートチューニング機構により先端部の重量、負荷にかかわらず常に一定の周波数 (27 ± 2 kHz) を維持できる機能を持っている。

2. 人工ブラークと人工歯面

人工歯面として表面荒さを一定 (#1000) にした白色の亚克力板を使用し、第 I 報¹⁾と同様に人工ブラークを塗布、一昼夜乾燥後水中に 10 分間浸漬し実験に供した。

3. 実験に使用した試作チップ

チップの基部の曲げを一次曲げ、そのチップの固有

図 1 チップの曲げ位置

振動の節の位置の曲げを二次曲げとして (図 1)，以下のチップを作製し実験に供した。

1) 一次曲げチップ

下記に示すようなテーパー比 (taper ratio²⁾，先端の厚み/基部の厚み) と幅の異なるチップの基部に 0° , 20° , 40° , 60° , 80° の角度で一次曲げを行った 40 種類のチップを実験に供した。

(1) 基部の厚み (2.2 mm)，および先端部までの長さの一定 (24.0 mm) とし、チップのテーパー比がそれぞれ 0.1, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 となる先端の厚みが異なる 5 種類のチップを各一次曲げの角度ごとに作製した (図 2)。

(2) テーパー比を 0.1 と一定とし、先端より 12.6 mm の位置 (固有振動の節の位置) までのチップの幅がそれぞれ 2 mm, 4 mm, 6 mm の 3 種類のチップを各一次曲げの角度ごとに作製した (図 3)。

2) 二次曲げチップ

第 I 報で人工ブラークの除去効果とその到達距離が優れていた 2 種類のチップ No. 6, No. 18 (図 4) を参考に、テーパー比と幅の異なる 16 種類のチップを作製した。

4. 振動振幅の測定

試作した 56 種類のチップの先端より $3/4$ 波長分の節の位置までの振動振幅の大きさ (μm) と方向 (角度) を実体顕微鏡を用いて 0.5 mm 間隔で測定し、その垂直成分の平均をそれぞれのチップの振動振幅

(テーパー比：先端の厚み/基部の厚み)

図 2 テーパー比の異なる基本型チップ

図 3 幅の異なる基本型チップ

図 5 実験装置

(μm) とした。

5. 人工プラークの除去面積の測定

前回と同様に水中でチップ側面と人工歯面の間隔を一定に保持できる装置を用いて行った(図5)。

一次曲げチップは、人工歯面とチップ側面との距離を3mmに規定し、人工プラークの除去面積を測定した。

また、二次曲げチップはチップと人工歯面の距離を1mmから7mmまで1mm間隔で除去面積を測定した。

なお、いずれの場合も超音波発生装置の出力は最大の7に固定し、操作時間は30秒とした。

また、人工プラークの除去面積の評価は、前回と同様に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階調グレー、300DPIでデジタルデータとしてコンピューターに入力し、画像処理を行い除去面積(mm^2)を算出した。

図 4 二次曲げのモデルとなる2種類のチップ

なお、測定はそれぞれ8回ずつ行いその平均値を人工プラークの除去面積とした。

結 果

1. 一次曲げチップの振動振幅と人工プラークの除去効果

1) テーパー比の異なるチップの振動振幅の大きさと人工プラークの除去効果(図6)

(1) 振動振幅

屈曲角度が 60° 、 80° でテーパー比が0.3, 0.1のものが大きな振動振幅を示し、特にそれぞれ 80° 、0.1のチップが最大値を示した。

(2) 人工プラークの除去面積

人工プラークの除去効果が明らかに認められたチップはテーパー比が0.3で一次曲げ角度が 80° と、テーパー比が0.1のチップの屈曲角度が 40° 、 60° 、 80° の合計4種類のみであり、特にテーパー比が0.1、屈曲角度 60° で最も高い除去効果が得られた。

2) チップの幅の相異による振動振幅と人工プラークの除去効果(図7)

(1) 振動振幅

振動振幅は一次曲げの角度が 20° 以上で認められ、その角度が 60° 、 80° となると幅の小さいチップにおいて振動振幅が増幅した。またいずれの幅のチップにおいても、その屈曲角度が 80° で最も大きな振動振幅を示した。

(2) 人工プラークの除去面積

一次曲げの角度が 20° 、 40° の場合は、幅の大きいチップにおいて除去効果が高くなる傾向にあった。しかし、その屈曲角度が 60° 、 80° となると逆に幅の小さいチップに高い除去効果が認められた。

図 6 テーパー比の異なる一次曲げのチップの振動振幅と除去面積

図 7 幅の異なる一次曲げのチップの振動振幅と除去面積

2. 二次曲げチップの振動振幅の大きさと人工ブラークの除去効果

1) テーパー比の異なるチップの振動振幅と人工ブラークの除去効果

(1) 振動振幅 (図 8)

No. 6 タイプ, No. 18 タイプいずれのチップもテーパ比が小さくなると振動振幅が増幅される傾向を示した。また, テーパー比の大小にかかわらず No. 18 タイプのチップの方が大きな振動振幅を示した。

(2) 人工ブラークの除去面積 (図 9)

除去面積は No. 6 タイプ, No. 18 タイプいずれのチップにおいてもチップ側面と人工歯面の距離が 3 mm を超えると急激に減少し, 約 6 mm までは人工ブラークの除去効果が認められた。

No. 6 タイプのチップにおいてはテーパ比が 0.1 のチップで最も高い除去効果が認められた。しかし, テーパー比と除去効果について明確な関係は認められなかった。

No. 18 タイプではチップと人工歯面の距離にかか

図 8 テーパー比の異なる二次曲げのチップの振動振幅

図 9 テーパー比の異なる二次曲げのチップの除去面積

わらず、除去効果はテーパー比が大きいチップ (0.6, 0.8, 1.0) で高くなることが確認された。

2) チップの相異による振動振幅と除去効果

(1) 振動振幅 (図 10)

No. 18 タイプのチップの振動振幅は 2 mm 幅で最大値を示し、幅が大きくなるに従って減少した。また、No. 6 タイプのチップは幅の大きさが変化しても振動振幅は大きく変化することがなく、一定の関係は認められなかった。

(2) 人工プラークの除去効果 (図 11)

No. 6 タイプ、No. 18 タイプのいずれのチップにおいてもチップと人工歯面の距離が約 5~6 mm までは人工プラークの除去効果が認められた。また、チップと人工歯面の距離が 2 mm までは、6 mm 幅のチップ

で高い除去効果を認めたが、3 mm を超えると除去面積は急激に減少した。

考 察

著者らは、第 I 報¹⁾において従来市販されている超音波スケーラーのチップの形態を参考に、口腔内に十分応用可能な形態、大きさのプラーク除去用のチップを試作し、その屈曲角度、屈曲位置と人工プラークの除去効果について検討した。今回は、チップのテーパー比と幅の大きさの影響について検討した。

1. 一次曲げチップでのテーパー比の影響について

テーパー比が異なるチップの一次曲げ角度を変化させ、チップの振動振幅と除去効果を調べた。試作した

図 10 幅の異なる二次曲げのチップの振動振幅

図 11 幅の異なる二次曲げのチップの除去面積

チップの範囲においては一次曲げの角度にかかわらずテーパー比が小さくなると振動振幅は増幅した。このことは超音波機器の振動子の振動振幅を増幅させるために応用されるホーンの形状と同じように、その基部と先端の面積比が大きくなると増幅の度合いも大きくなることと同様であると考えられる³⁻⁵⁾。また、屈曲角度が大きくなると振動振幅が大きくなるのは、ハンドピースの振動方向とチップ側面の振動方向のベクトル値の垂直成分が大きくなることから考えると至極当然と考えられる。

また、テーパー比の異なる一次曲げチップの中で、水中における超音波振動時にキャビテーションによる白い微小の気泡が観察され、明らかに人工プラークの除去効果が認められたのは4種類のチップであった。

これらのチップの振動振幅はいずれも約15 μm 以上であった。つまり、今回使用したチップの周囲にキャビテーションを発生させる超音波強度 (3.5 kw/mm^2)³⁻⁶⁾ は約15 μm 以上の振動振幅が必要であるように思われた。また、テーパー比が0.1のチップは振動振幅が大きい一次曲げ角度が80°のチップより、60°のチップにおいて大きな除去効果が得られ、第一報と同様であった。これらのことは、チップの幅が大きくなることによる水中での放射抵抗等が影響するものと思われる⁷⁾。

2. 一次曲げチップでの幅の影響について

チップ先端部の面積が1倍、2倍、3倍と幅の異なる3種類の一次曲げチップについて振動振幅と除去面積を調べた。ある一定の角度までは3種類のチップ間

で振動振幅はほとんど差は認められなかったが、屈曲角度が大きくなる(60°, 80°)と幅の小さいチップの方が大きな振動振幅を示した。しかし、人工プラークの除去面積はその屈曲角度20°, 40°までは、幅の広いチップの方が除去効果が大きかったが同程度の振動振幅の場合はチップ側面の面積の大きい、つまりキャビテーションの発生面積の大きいチップが除去効果が大きくなるものと思われる。しかし、一次曲げの角度が60°, 80°と大きくなると幅の大きいチップの除去効果は急激に減少し、振動振幅とチップの幅および除去面積の間には明確な関係は認められなかった。

3. 二次曲げチップのテーパー比の影響について

第一報¹⁾で試作した20種類のチップのうち、振動振幅は異なるものの共に除去効果が優れていたNo. 6, No. 18のチップの形態をモデルに作製した二次曲げチップについても、そのテーパー比と幅の影響について検討した。テーパー比の異なる二次曲げチップは一次曲げの場合と同様にテーパー比が大きくなると振動振幅は小さくなる傾向が認められた。さらに、一次曲げチップと比較して二次曲げチップは振動振幅は明らかに増幅された。

また、テーパー比の異なる二次曲げチップの振動振幅と除去面積の関係についてみると、振動振幅の大きいNo. 18タイプのチップが除去面積もやや大きい傾向が認められた。しかし、いずれのテーパー比でも振動振幅と除去効果には特に一定の傾向は見られなかった。

4. 二次曲げチップの幅の影響について

幅の異なる3種類の二次曲げチップの振動振幅と除去効果について検討した。幅の異なるチップはテーパー比の異なるチップの場合と同様に、一次曲げチップと比較して、二次曲げチップは振動振幅が増大した。No. 6タイプのチップは幅が大きくなると振動振幅はほとんど変化しないが、No. 18タイプでは幅が大きくなると振動振幅は減少した。

No. 6タイプ, No. 18タイプの両チップを比較すると、幅が4 mm, 6 mmの場合はいずれのタイプも振動振幅は同程度であった。

しかし、チップの幅と除去面積の関係については、No. 6タイプとNo. 18のいずれのチップにおいても一定の関係は認められなかった。また、これらの二次曲げチップでは振動振幅と人工プラークの除去効果の間にも明確な関係はみられなかった。

このように今回の実験においては、チップのテーパー比と側面の幅を変え二次曲げまで加えたチップにおいて、振動振幅と除去面積の間には明確な関係は見い出せなかった。その理由としてこのように一次曲げ

に加えチップの固有振動の節の位置にてさらに二次曲げを加えると、振動中のチップにさらに振動の支点が形成されることとなり、その振動様式は多様性を増し非常に複雑なものとなる³⁾。そのため今回の実験では二次曲げまで加えたチップにおけるキャビテーションによる除去効果を正確に評価できなかったものと考えられる。また、今回実験に用いた超音波発生装置は、オートチューニング機構が備わっておりチップの屈曲角度、テーパー比、および重量等を変化させてもこれらの因子には影響されにくいため、振動振幅と除去面積については明確な関係がみられなかったとも考えられる。さらに、チップのテーパー比と幅を変化させることによる装置全体の共振状態への影響も考えられる。また、キャビテーションによる水中洗浄にはそれぞれのチップにおける超音波強度、電気音響変換能率等が影響するといわれており^{3~5,8,9)}、今後はこのような要因についてもさらに検討が必要と思われる。

しかし、プラーク除去用チップに二次曲げまで加えるとその除去効果は一次曲げのみの場合より明らかに増大することは確認できた。

また、二次曲げチップはテーパー比や幅の大きさを変えても第I報で試作した2 mm幅、テーパー比0, 1のチップと比較しても除去効果の明らかな増大は認められなかった。

今後は、歯面や歯間部、分岐部あるいは小窩、裂溝部のプラーク除去に応用したり、さらには、窩洞形成後のスミア層の除去やインプラント周囲のプラーク除去等への応用も考えられ、幅広い臨床応用が期待される。

結 論

テーパー比と幅が異なる一次曲げおよび二次曲げチップを56種類試作し、その振動振幅と人工プラークの除去効果を調べ以下の結論を得た。

1. 一次曲げチップはテーパー比が小さく、屈曲角度が大きいと振動振幅は増幅され、除去効果についても同様の傾向がみられたが、一定の関係は認められなかった。また、チップの幅については、幅の大きい一次曲げチップは振動振幅は大きかったが除去効果には一定の関係は認められなかった。

2. 二次曲げチップは一次曲げチップと比較して、振動振幅と除去効果は明らかに増大したが、テーパー比と幅の影響については明確な関係は認められなかった。また、各幅のチップとも人工歯面との距離が小さい程除去効果が大きい傾向がみられた。

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) 西門 忍, 田中秀高, 池田康男, 長田 豊, 加藤伊八: キャビテーション効果を用いたブラーク除去に関する研究 (I). 日歯周誌, 36: 451-460, 1994.
- 2) 久保亮五, 長倉三郎, 井口洋夫, 江口 洋: 理化学辞典 (第4版), 岩波書店, 東京, 1991, 1322.
- 3) 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.
- 4) 島川正憲: 超音波工学—理論と実際—, 工業調査会, 東京, 1977, 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, 1121-1137.
- 6) Byrne, P.J., Leighton, T.G., Keiser, J.B. and Barber, P.: High energy cavitation associated with ultrasonic scalers. J. Dent Res., 70: 700, abstr. 252. 1991.
- 7) 根岸勝雄, 高木堅志郎: 超音波技術, 東京大学出版会, 東京, 1989, 55-57.
- 8) 加藤洋治: キャビテーション (増補版), 槇書店, 東京, 1990, 175-178.
- 9) Walmsley, A.D. and Williams, A.R.: Measurement of cavitation activity within ultrasonic baths. J. Dent., 19: 62-66, 1991.

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