歯牙エナメル質の被削性に関する研究

第2報 超音波加工法によるエナメル質の被削性について

加 藤 仁 市

Studies on Effects of Tooth Enamel Being Ground

Part 2. On Effects of Tooth Enamel Being Ground with Ultrasonic Work Method

Niichi Katoh

I. 緒 論

最外表の組織であるエナメル質は、歯牙が口腔内で機能を営む時、さまざまな環境に直接さらされるので、これを正常に維持、管理することは重要である。

またう蝕に罹患した歯牙を修復する際に、石灰化組織および諸器官に為害作用を与えることなく、罹患歯質の除去、予防拡大および修復物へ至適形態を与える形成を行うことも重要である¹⁻³⁾。

歯牙の研(切)削は、歯牙形成における最適条件の探索を最終目的とし、各種の機械と工具が考案、開発された^{4,5)}。したがって最適条件については、歯牙、工具、機械の三者間に引き起こされる現象を詳細に追求する必要がある、研削における研削能率^{6,7)}、歯牙の温度上昇^{8,9)}、工具の振動、音響により起こる生体への影響等^{10,11)}についての研究がある。

著者は歯牙研削の最適条件をエナメル質の破碎状況から判定することを目的とし、エナメル質の組織的形態の変化から、その被削性の検討を行うことを計画している。

エナメル質微細構造の形態観察による研究は、光学顕微鏡¹²⁻¹⁴⁾、電子顕微鏡¹⁵⁻¹⁸⁾により、腐蝕液、腐蝕時間による影響、およびエナメル小柱走行に対する種々の角度からの検討等、種々の条件における観察¹⁹⁻²¹⁾がエナメル質表層からエナメル質・象牙質境まで詳細に報告²²⁾され

ている。

エナメル小柱の走行が部位により相当複雑で、かつ石灰化の異なる部分を含んでいることを考慮すると、内部の関連によつて被削性に相違が生ずることが予測される。この場合遊離砥粒を使用する超音波加工法²³⁾は、被削物の局所における被削性を検討する目的に適していると判断し、被削性の均一であり硼硅酸ガラスを対象群として歯牙の被削性、使用砥粒の粒度の影響を検討し、第1報として報告した²⁴⁾。

エナメル小柱に対する加工方向(長軸、短軸)と加工圧(50 g~1,200 g)の組み合わせにより、種々超音波加工を行つた結果について、走査型電子顕微鏡による観察、加工速度および加工面のあらさの検討を行つたので、第2報として報告する。

II. 研究方法

1. 被削材と砥粒粒度の違いによる加工面の検討。
2. 加工圧と加工方向(エナメル小柱に対する)の違いによる加工面の検討。
3. 加工圧と加工方向の違いによる加工時間の検討。
4. 加工面の表面あらさの検討。

1. について

前回の実験と同様に被削性の均一であるガラスを対象とし、#80、#180、#320、#800のグリーン・カーボラダム砥粒でエナメル質に加工を施し、加工面を走査型電子顕微鏡で検鏡、比較検討した。

使用した超音波加工機は前回の実験と同様のものである。加工試料は超音波洗滌器で加工面に付着しているカーボラダム砥粒を除去し、2%塩酸液に45秒浸し腐蝕を行つた後、超音波洗滌器で3分間洗滌、空中乾燥

新潟大学歯学部歯科補綴学第1教室(主任:石岡 靖教授)
Department of 1st Prosthetic Dentistry School of
Dentistry, Niigata University (Director Prof. Kiyoshi
Ishioka)

昭和50年2月3日受付

し、真空中で回転蒸着法によりカーボン・金の2重蒸着を行い、日立製作所製SSM-2型走査電子顕微鏡を加速電圧20kVの条件下で検鏡し写真撮影を行った。

2. について

回転工具による歯牙被削性の検討においては、工具への荷重は、回転速度に影響を与えることを明らかにし、高速歯科切削において能率を高めるときの荷重と速度の関係にふれ、低速側(10万rpm)では荷重を増加し、高速側(25万rpm)では荷重を軽減した方が有利であるとの報告²⁵⁾がある。

超音波加工においても、加工速度に対する最適加工圧の研究があり^{23,26,27)}、加工圧の違いが加工面に影響を及ぼすことが予測され、50g, 100g, 300g, 600g, 900g, 1,200gの加工圧で加工を行い、加工圧の違いが加工面に及ぼす影響について検討した。

使用した砥粒は前回の実験で加工性が優れていると判断された#320のカーボランダム砥粒である。

また回転工具を使用し、エナメル小柱に対し、直角、平行両方向に研削を行い、その研削屑を光学顕微鏡および電子顕微鏡での観察とX線回折の結果、直角方向に研削したときにエナメル小柱の破壊がより大きいとの報告がある²⁸⁾。

本実験の超音波加工法は振動子の径が1.0mm、砥粒の最大径が約60 μ で、加工終末時にはその大きさが数 μ 位まで小さくなることから判断して、複雑な走行を呈し、組成が均一でないエナメル小柱に対しても、選択的に限局された部位への加工が可能と思われる。

エナメル小柱の異なる走行方向へ、種々の加工圧で加工を施し、その加工面の観察を行った。

3. について

2.の実験における加工速度から、それぞれの条件におけるエナメル質の加工性について検討を加えた。

加工速度の計測は前回の実験に使用した、日本光電社製Force-displacement transducer pick upで試料の変位を時間と距離の関係としてあらわした。

4. について

加工圧を300g, 600g, 900gとしたガラス、歯牙の超音波加工面あらさを、小坂式万能形状測定器SE-3型を使用し、縦1,000倍、横100倍で測定した。

III. 結果と考察

1. 被削材と砥粒粒度の違いによる加工面について

図1, 2, 3, 4はガラスをそれぞれ#80, #180, #320,

#800のグリーン・カーボランダム砥粒で加工した加工面の1,000倍の電子顕微鏡写真である。

被削性の均一であるガラスは砥粒が大きくなるにつれ、加工面が粗になることが観察される。すなわち使用砥粒の大きさは#80:297 μ , #180:125 μ , #320:57 μ , #800:24 μ で約10:4:2:1の比になっており、砥粒により形成された加工溝を計測すると、#80:13 μ , #180:5 μ , #320:3 μ , #800:1 μ の値が得られ、組成が均一であるガラスは砥粒の粒度により著明な影響を受けることが明らかである。

図5, 6はエナメル質を#80, #320で加工した加工面の1,000倍の電子顕微鏡写真である。エナメル質の砥粒の粒度による影響はガラスに比較し明らかなでない。エナメル質は石灰化の異なる組織を有し、かつエナメル小柱の走行に錯綜して複雑部分があるため、砥粒の粒度による影響が組成の均一なガラスに比較して、画一的にならず複雑な様相を示している。

2. 加工圧と加工方向の違いによる加工面について

図7~12はエナメル小柱走行の長軸方向、図13~18は短軸方向へ加工圧50g, 100g, 300g, 600g, 900g, 1,200gでそれぞれ加工を施こした加工面の100倍の電子顕微鏡像である。

この低倍の写真ではエナメル小柱の走行の違いによる影響は著明でないが、加工圧50g, 900g, 1,200gでは加工面が粗いことが認められ、また加工圧600g, 900g, 1,200gの加工面には、超音波加工の際生じたと思われる亀裂が認められる。また、900g, 1,200gの加工圧における加工穴縁が粗である。

本加工法は一定の幅を有している工具を振動させることにより、被削材に砥粒をたたきつけてクラックを作り、これを連続的に行つて加工を行うものである。加工時に砥粒は遊離しているので、加工されやすいところを選択的に掘り進む性質を有していて、かつ遊離砥粒による最初のクラック形成開始時には、遊離砥粒が被削材に引つかかり易い、最適加工圧が存在することが報告されている。最適加工圧より加工圧が小さい場合は砥粒が被削材に押しつけられる圧が小さいのでクラック形成開始に時間を要し、また反対に加工圧が大きい場合は振動子と被削材の間に存在する砥粒の数が減少するために加工時間が長くなることになる。

図19, 20, 21, 22は図10, 16, 11, 17の同一視野の2,000倍の写真像である(図19, 20は加工圧600g, 図21, 22は加工圧900g)。

それぞれの写真にはエナメル小柱の破折断面とカーボ

図 23

ランダム砥粒による加工溝が認められ、図 19, 21 (長軸方向) と図 20, 22 (短軸方向) の比較よりエナメル小柱の短軸方向の加工面が長軸方向の加工面より破壊が大きいことが認められる。

回転工具を使用して、エナメル小柱に平行方向と直角方向に研削を行って、小柱の走行と研削方向の関係を切削屑などから検討したところ、直角方向に研削した方がエナメル小柱の破壊が大きいという報告²⁸⁾があり、本実験結果と一致している。

3. 加工圧と加工方向の違いによる加工時間について
超音波加工における加工圧を 50 g から 1,200 g の範囲で変化させて、エナメル小柱長軸、短軸それぞれの加工方向における加工速度を計測し、歯牙の被削性の検討を行った (図 23)。

加工圧 1,200 g では約 30 秒、50 g では約 12~15 秒となり、他の荷重に比して時間が長く、300 g と 600 g では 5~6 秒と短時間に加工が行なわれた。

本加工法においては加工速度が最大になるような最適加工圧が存在すると報告^{23,26,27)}されており、加工圧が最適加工圧より大きくなっても、小さくなっても加工速度が低下することが示摘されている。本データにおいてもその傾向が明らかであった。

加工速度がはやい加工圧 300 g でエナメル小柱の長、短軸方向へそれぞれ 30 回加工した加工時間を、表 1 の

表 1 エナメル小柱走行—加工速度の検定
(加工圧 300 g)

	長 軸	短 軸	
A < $\bar{x}$	20	16	36
B > $\bar{x}$	10	14	24
	30	30	60

$$x_0^2 = 2.665$$

$$x^2(n=1, 0.05) = 3.841$$

図 24

2×2 分割表を用いて、 x^2 検定を行つたところ、 $x^2=2.665$ となり、この数値は x_0^2 ($n=1, 0.05$) = 3.841 より小さく、エナメル小柱長、短軸走行方向間には、加工速度による有意の差は認められない。

4. 加工面の表面あらさについて

一般に表面あらさは最大高さ、十点平均あらさおよび中心線平均あらさで表示され、日本工業規格では、計測面の基準長さを設定している。それによると最大高さの範囲が 6.3 μ から 25 μ までのときは、基準長さを 2.5 mm と規定されているが、この規定は工業製品の加工精度の均一化のため存在すると思われる。

本加工においては振動子の径が 1.0 mm であるため、日本工業規格で定める基準長さに足りないが、加工面の状態を探る一つの方法として本計測法を用いた。

図 24 は加工圧 300 g, 600 g, 900 g で加工した、ガラス、歯牙の加工面あらさの測定図である。

加工圧 300 g, 600 g, 900 g における加工面について、最大高さを計測すると、ガラスでは 11 μ, 12 μ, 13 μ, 歯牙のエナメル小柱長軸走行方向へ加工を行つたものは、12 μ, 17 μ, 13 μ, エナメル小柱短軸走行方向へ加工を行つたものは 25 μ, 27 μ, 21 μ であった。

組成が均一であるガラスでは、加工圧の違いによる加工面のあらさにおよぼす影響がほとんど認められない。

一般に超音波加工では粗加工用に #150~#320 の砥粒が使用され、ガラス加工の際 #320 の砥粒で表面あらさは約 5 μ といわれ、また砥粒の粒度と加工面のあらさは

直線的な比例関係にあり、砥粒の大きさが 40μ で最大高さ 5μ , 80μ で約 9μ , 110μ で約 13μ であると報告²⁶⁾されている。

歯牙の超音波加工における加工圧についての研究、報告がないためその影響は明らかにされていない。エナメル小柱走行短軸方向へ加工を施した場合、長軸方向へ加工を行つた時よりも、表面あらさの最大高さで約2倍の値を示し、エナメル小柱走行の違いによる加工面への影響があることが推測された。

従来回転工具を使用したエナメル小柱の異なる走行へ研削を行つた研究では、直角方向に研削したとき、エナメル小柱の破壊が大きいと報告²⁸⁾されていたが、超音波加工の場合も電子顕微鏡写真像、表面あらさ等によりエナメル小柱走行への加工方向の違いによる加工面への影響が明らかにされた。

エナメル小柱走行と砥粒の作用方向の関係が、歯質のクラックの発生状態に影響を及ぼすため、歯牙を形成するさいの最適研削方向、条件などをさらに詳細にわたって検索する必要があると思われる。

稿を終るに臨み、終始ご懇篤なご指導とご校閲を賜りました石岡 靖教授に深甚なる謝意を表します。

また種々ご援助下さいました本学小沢英浩教授、東京医科歯科大学医用器材研究所加藤一男教授、補綴学第一教室の諸先生に謹んで感謝の意を表します。

文 献

- 1) Boyde, A. and Knight, P.J. : The Use of Scanning Electron Microscopy in Clinical Dental Research, Brit. dent. J. 127, 7 : 313~322, 1969.
- 2) Seymour Hoffman, William S. Ewan, and Charles M. Drew : Scanning Electron Microscopy Studies of Dental Enamel, J. Dent. Res. 48, 2 : 242~250, 1969.
- 3) 須賀昭一, 田熊庄三郎, 佐々木哲 : 歯の研究法, 構造と組成, 東京, 1973, 医歯薬出版.
- 4) Ingraham, Rex and Tanner, E.E. : The adaptation of modern instruments and increased operating speeds to restorative procedures, J.A.D.A. 47 : 311~323, 1953.
- 5) 林都志夫, 他 : 油圧タービン式歯科用エンジンと高速切削の臨床, 口病誌, 25, 1, 85~91, 1958.
- 6) 増田泰二, 石岡 靖 : 歯牙の研削に関する研究, 口病誌, 20, 1, 1953.
- 7) 林都志夫, 他 : ダイヤモンド・ポイントの粒度とエナメル質研削能率との関係, 口病誌, 27, 3, 1960.
- 8) 荒谷和明 : 研削による歯質の温度上昇に関する研究, 補綴誌, 5, 1~16, 1961.
- 9) Peyton, F.A. : Temperature Rise and Cutting Efficiency of Rotating Instruments, New York D.J. 18, 1952.
- 10) Henry, E.E. and Peyton, F.A. : Vibration Characteristics of Rotating Dental Instrument, J. Dent. Res. 29, 1950.
- 11) 石岡 靖 : 歯科用カーボラダム・ポイントの組成と研削振動に関する実験的研究, 口病誌, 26, 2, 408~428, 1959.
- 12) 藤田恒太郎 : 歯の組織学, 東京, 1966, 医歯薬出版.
- 13) Gustafson, G. and Gustafson, A.G. : Human dental enamel in polarized light and contact micro-radiography, Acta, Odont. Scand. 19 : 259, 1961.
- 14) 今西市治, 他 : エナメル質ごとにエナメル小柱について, 阪大歯誌, 4, 1399, 1959.
- 15) Boyde, A. : The development of enamel structure, Proc. Roy. Soc. Med. 60 : 923, 1967.
- 16) 進 正憲 : ヒトの歯のエナメル質の走査電子顕微鏡的観察, 広大歯誌, 3, 115, 1971.
- 17) Mortimer, K.V. and Tranter, K.C. : Ultrastructure of Noncarious Enamel, J. Dent. Res. 50 : 1181, 1971.
- 18) 本山佐太郎 : 人歯エナメル質の小柱間質について, 歯基礎誌, 15, 31~50, 1973.
- 19) Seymour Hoffman, others : Scanning Electron Microscope Studies of EDTA-Treated Enamel, J. Dent. Res. 48 : 1234~1242, 1969.
- 20) Poole, D.F. and Johnson, N.W. : The effects of different demineralizing agents on human enamel surfaces studied by scanning electron microscopy, Archs. oral. Biol. 12 : 1621~1634, 1967.
- 21) Johnson, N.W. : Factors affecting the differential dissolution of human enamel in acid and EDTA. A scanning electron microscope study, Archs. oral. Biol. 16 : 385~396, 1971.
- 22) 桐野忠大, 他 : ヒトエナメル質の構造に関する走査型電子顕微鏡的研究, 口病誌, 39, 3, 1972.
- 23) 砥粒加工研究会編 : 砥粒加工技術便覧, 東京, 1965, 日刊工業新聞社.
- 24) 加藤仁市, 平野秀利, 石岡 靖 : 歯牙エナメル質の被削性に関する研究, 第1報 超音波加工法による検討, 補綴誌, 17, 1, 1973.
- 25) 塩川延洋, 安田克広 : エアタービンによる高速歯科切削の研究 (第1報), 歯理工誌, 4, 7, 1963.
- 26) 島川正憲 : 超音波加工, セラミックス, 3, 5, 339~348, 1968.
- 27) 島川正憲 : 強力超音波応用, 東京, 1970, 日刊工業新聞社.
- 28) 加藤一男, 他 : エナメル質の結晶配向と研削に関する研究, 医器材, 2, 25~39, 1968.

图 1

图 2

图 3

图 4

图 5

图 6

图 7

图 8

图 9

图 10

图 11

图 12

图 13

图 14

图 15

图 16

图 17

图 18

図 19

図 20

図 21

図 22

<図説明>

図 1~4	ガラス加工面	×1,000
図 5, 6	歯牙加工面	×2,000
図 7~18	歯牙加工面	×100
図 19~21	歯牙加工面	×2,000