

原 著

ブラッシングシミュレーターによる反転運動型電動歯ブラシの 振動数と反転角の清掃性に及ぼす影響

上崎 聖子 森 豊一 田淵由美子 齊藤 徹

サンスター株式会社 商品開発研究部

(受付日：2005年5月6日 受理日：2005年6月10日)

Effect of Frequency and Reverse Angle of Rotating Electric Toothbrushes on Cleaning Efficacy by Brushing Simulator

Shoko Uesaki, Toyokazu Mori, Yumiko Tabuchi and Toru Saito

Sunstar Inc., Product Development Department

(Received : May 6, 2005 Accepted : June 10, 2005)

Abstract : Many rotating electric toothbrushes have been developed for plaque control that users cannot do manually. We studied the influence of the reverse angle, frequency, and stiffness of a rotating electric toothbrush on cleaning efficacy. We used a Sunstar Inc., brushing simulator that cleaned teeth at a prescribed brushing pressure and measured the removal of color powder in a dental model with image analysis. We evaluated reverse angles of 10, 20, 40, and 75 degrees and frequencies of 1,000, 2,000, 3,500, 5,000, and 7,000 cpm. We found that average removal on whole teeth increased with the increasing reverse angle. At reverse angles of 10 and 75 degrees, removal was almost constant regardless of frequency. At reverse angle of 20 and 40 degrees, removal declined at frequencies of 1,000 and 7,000 cpm. Similarly, at interproximal sites, removal increased with the increasing reverse angle, and removal was only negligibly affected by frequency.

Brush stiffness has little affected on removal on whole teeth but, at interproximal sites, a soft brush showed high cleaning efficacy.

The reverse angle thus greatly contributes to cleaning efficacy, and brush stiffness is closely related to thus cleaning efficacy at interproximal sites. *Nihon Shishubyo Gakkai Kaishi (J Jpn Soc Periodontol) 47 : 161-167, 2005.*

Key words : electric toothbrush, frequency, reverse angle, cleaning efficacy, brushing simulator

要旨 : 反転運動型電動歯ブラシは、人にできない動作で効果的にプラークコントロールする手段として、多数開発されている。本研究の目的は、反転運動型電動歯ブラシにおいて、反転角と振動数およびブラシのかたさが清掃性に与える影響を検討することである。評価は、所定のブラッシング圧で歯を清掃する装置（ブラッシングシミュレーター）を用いて行った。清掃性の評価は、顎模型に塗布した着色粉末の除去率を画像解析にて計測し

連絡先：森 豊一

〒569-1195 大阪府高槻市朝日町3-1 サンスター株式会社 商品開発研究部

Toyokazu Mori

Sunstar Inc., Product Development Department

3-1 Asahi-machi, Takatsuki-shi, Osaka 569-1195, Japan

E-mail toyokazu.mori@sunstar.com

て行った。

反転角 10°, 20°, 40°, 75° と振動数 1,000, 2,000, 3,500, 5,000, 7,000 cpm について評価した結果, 歯面全体において, 反転角が大きくなるにしたがって除去率は高くなった。反転角 10°, 75° では振動数により除去率は変化せず, 反転角 20°, 40° では振動数 1,000 および 7,000 cpm で除去率が低下した。隅角部においても同様に反転角が大きいく程除去率が高くなる傾向を示し, 振動数の影響は小さかった。

ブラシのかたさに関して検討した結果, 歯面全体ではかたさの影響は少なく, 隅角部では, ブラシのかたさがやわらかい方が清掃性に優れていた。

これらの結果から, 反転角は清掃性へ与える影響が大きく, ブラシのかたさは, 隅角部の清掃効果への影響が大きいことが示唆された。

キーワード: 電動歯ブラシ, 振動数, 反転角, 清掃効果, ブラッシングシミュレーター

緒 言

歯周疾患の予防, 治療に際して歯肉縁上のプラークコントロールは重要であり, 歯ブラシによるブラッシングは最も効果的な方法である。近年, 人にできない動作で効果的にプラークコントロールする手段として, 反転運動型電動歯ブラシが多数開発され, 各製品間の清掃効果に関する比較報告¹⁻⁷⁾が数多くあり, 製品における清掃性の結果が示されている。手用歯ブラシとの清掃性の比較検討もされており, 電動歯ブラシの方が優れているとの報告⁸⁻¹²⁾, 手用歯ブラシの方が優れているとの報告¹³⁾および同等の清掃性との報告^{14,15)}がある。ブラシ運動の高速化や付加的な機能化が進む一方, 清掃性に影響する反転運動の基本的な要素に関する報告はほとんどない。反転運動型電動歯ブラシの清掃性に影響する要素は, 電動歯ブラシの駆動に起因する要素として, 振動数や反転角が, ブラシ部に起因する要素として, ブラシのかたさ, 毛先や毛切の形状などがある。また, 電動歯ブラシの使用法に起因する要素として, 動かし方, 当て方やブラッシング圧などがある。これらの要素が, 相互に関連し, 清掃効果に影響を与えることが考えられる。

販売されている反転運動型電動歯ブラシの反転角は, 25-75° と様々であり, 反転角が小さい程, 振動数が高い傾向である。

そこで本研究では, 反転運動型電動歯ブラシにおいて, 反転角と振動数の組合せおよびブラシのかたさが清掃性に与える影響について, ブラッシングシミュレーターを用いて検討した。

材料および方法

1. 実験材料

反転角を 10-75° に設定した反転運動型試作電動歯ブラシを実験に供した。振動数, すなわち 1 分あたり

の往復数は, 外部電源による入力電圧により, 1,000-7,000 cpm に設定した。反転角および振動数の設定条件を表 1 に, 反転角と振動数の影響を評価する試験で用いたブラシの仕様を表 2 に示す。また, ブラシのかたさの影響を評価する試験では, 反転角 75°, 振動数 2,000 cpm に設定し, ブラシはかたさ別に, やわらかめ (フィラメント径 0.127 mm), ふつう (フィラメント径 0.160 mm) およびかため (フィラメント径 0.190 mm) の 3 種の径のフィラメントを植毛して作製し, その他の仕様は表 2 と同一とした。

2. 実験方法

清掃性試験は, 電動歯ブラシのブラッシング圧および移動速度を一定に保ちながら, 固定した顎模型 (D 15-500 H, ニッシン社, 京都) の歯をブラッシングできるように設計されたブラッシングシミュレーター (図 1) を用いた。ブラッシング位置は, 図 1 に示す X 軸, Y 軸, Z 軸および回転軸の動作により 3 次元座標として設定した。ブラッシング圧は, ブラシ

表 1 反転角と振動数

反転角	振動数 (cpm)				
10°	1,000	2,000	3,500	5,000	
20°	1,000	2,000	3,500	5,000	7,000
40°	1,000	2,000	3,500	5,000	7,000
75°	1,000	2,000	3,500	5,000	7,000

表 2 ブラシの仕様

項目	条件
穴 数	21 穴
穴 径	1.5 mm
フィラメント材質	ナイロン毛
毛先加工	先丸加工
毛切形状	フラット
フィラメント径	0.160 mm
毛 丈	8 mm

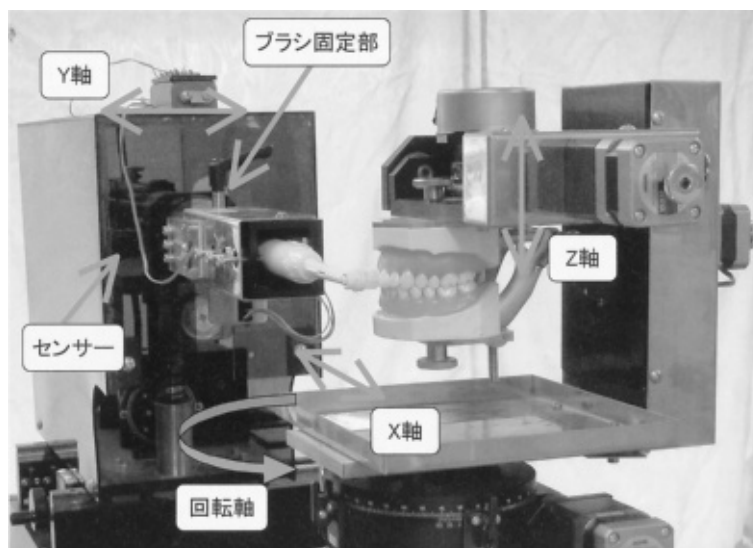


図1 ブラッシングシミュレーター

表3 実験条件

項目	条件
動かし方	横移動
移動速度	3.16 mm/sec.
移動方向	27 → 26 → 25 → 24 → 23
対象歯	24, 25, 26
ブラッシング時間	5 歯/10 sec.
ブラッシング圧	150 g
ブラッシング角度	歯面に対し, 90°

固定部にセットしたストレインゲージ（共和電業社，東京）を用いて随時測定し，設定値になるようにブラシ固定部の運動で自動調整した。ブランクの代替として咬合チェック用スプレー オクルード®（パスカル社，USA）の着色粉末を用い，顎模型に100 mmの距離から約2秒間噴射塗布し，十分に乾燥させた状態で表3に示した条件で電動歯ブラシを移動させて実験を行った。各試験は同じ条件で4回繰り返し実施した。

3. 画像解析

清掃性の評価は，カメラと25番の歯が平行になるように専用台に顎模型を固定し，毎回，角度が一定となるように対象歯3歯を画像に取り込み，画像寸法測定ソフト VG-Win Ver 1.03（ケイオー電子工業社，大阪）を用いて解析を行った。除去率は式(1)により算出した。隅角部は，図2に示すように対象歯の80%縮小画像の近心側と遠心側に接する垂線で歯面を分割し，近心部と遠心部にできた領域，すなわち隅角部（近心）と隅角部（遠心）のそれぞれの除去率の

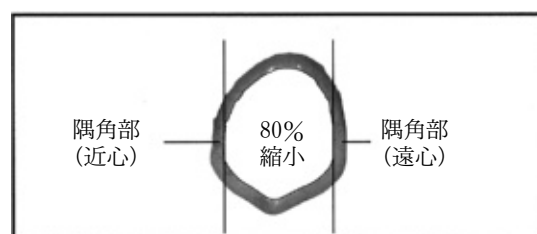


図2 隅角部の設定

平均値より算出した。隅角部の歯面全体に対する比率は，24, 25, 26番の歯で，それぞれ10, 11, 13%となった。

着色粉末除去率 (%)

$$= \frac{[(\text{部位面積} - \text{着色粉末残存面積}) / \text{部位面積}] \times 100}{\dots\dots\dots \text{式(1)}}$$

4. 統計解析

統計解析は，反転角と振動数の検討では two-way ANOVA を，ブラシのかたさの検討では one-way ANOVA を用いて行った。5%，1% および 0.1% の危険率をもって，統計学的に有意とした。すべての統計処理は，統計ソフト SPSS Ver 11.5 J (SPSS Inc, USA) を使用して行った。

結果

1. 反転角と振動数の影響

除去後の画像の例を図3に，歯面全体および隅角部での除去率の結果をそれぞれ図4, 5に，有意差検定の結果を表4に示す。

歯面全体では，反転角が10°の場合，振動数に影響



図3 除去後の画像例

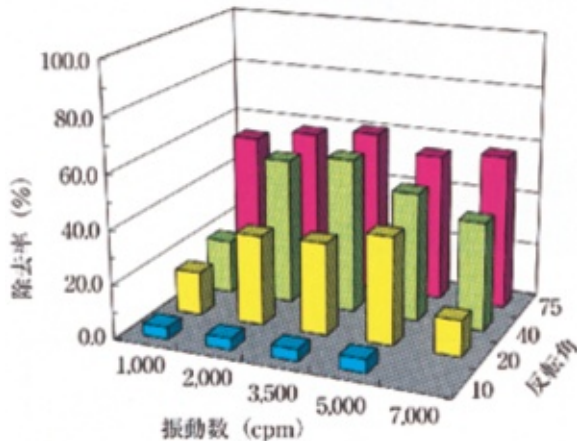


図5 各振動数と反転角における隅角部の除去率 (n=4)

されず44—57%の低い除去率であった。反転角が20°の場合は、振動数1,000 cpmおよび7,000 cpmでの除去率が、それぞれ66%, 63%であり、2,000, 3,500, 5,000 cpmでの除去率(それぞれ75%, 72%, 74%)より低い値を示した。反転角が40°の場合は、振動数1,000 cpmおよび7,000 cpmでの除去率が、それぞれ67%, 71%であり、2,000, 3,500, 5,000 cpmでの除去率(それぞれ84%, 82%, 84%)より低い値を示した。反転角75°では、振動数に影響されず82—84%の高い除去率であった。有意差検定の結果、4種の反転角および5種の振動数における除去率にはそれぞれ有意差が認められた ($p < 0.001$)。また、反転角と振動数の間に交互作用が存在し、両要素の組み合わせによる清掃効果への影響が示された。各反転角における平均除去率は、反転角に依存して除去率が高くなったが(表5)、各振動数における平均除去率に変化は見られなかった(表6)。

隅角部での除去率は、歯面全体での除去率の傾向と同様に、反転角が10°の場合、振動数に影響されず4—5%の低い除去率であったが、反転角が20°の場合は、振動数1,000 cpmおよび7,000 cpmでの除去率が、それぞれ16%, 13%と、2,000, 3,500, 5,000 cpmでの除去率(33—40%)より低い値を示した。

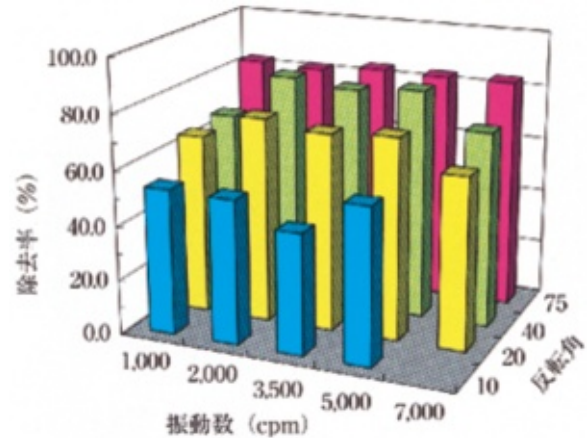


図4 各振動数と反転角における歯面全体の除去率 (n=4)

表4 各振動数と反転角における歯面全体および隅角部の除去率の有意差検定結果

部位	ソース	F値	有意確率
歯面全体	反転角	222.35	***
	振動数	12.76	***
	反転角×振動数	6.09	***
隅角部	反転角	531.68	***
	振動数	43.48	***
	反転角×振動数	15.42	***

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ (by two-way ANOVA)

反転角が40°の場合は、振動数1,000 cpmおよび7,000 cpmでの除去率が、それぞれ20%, 40%であり、2,000, 3,500, 5,000 cpmでの除去率(48—57%)より低い値を示した。反転角75°では、振動数に影響されず54—61%の高い除去率であった。有意差検定の結果、4種の反転角および5種の振動数における除去率にはそれぞれ有意差が認められた ($p < 0.001$)。また、反転角と振動数の間に交互作用が存在し、両要素の組み合わせによる清掃効果への影響が示された。歯面全体の結果と同様に、各反転角における平均除去率は、反転角に依存して除去率が高くなったが(表5)、各振動数における平均除去率に変化は見られなかった(表6)。

2. かたさの影響

歯面全体、隅角部について算出した除去率を図6に示す。

歯面全体の除去率は、やわらかめのブラシで82%, ふつうのブラシで82%, かためのブラシで80%であり、各かたさ間に有意差は認められなかった。

表 5 各反転角における歯面全体および隅角部の平均除去率

部 位	反転角 (°)	平均除去率 (%)
歯面全体	10	52±1.0
	20	70±0.9
	40	78±0.9
	75	83±0.9
隅角部	10	5±1.0
	20	27±0.9
	40	44±0.9
	75	57±0.9

平均値±標準誤差

表 6 各振動数における歯面全体および隅角部の平均除去率

部 位	振動数 (cpm)	平均除去率 (%)
歯面全体	1,000	67±1.0
	2,000	74±1.0
	3,500	71±1.0
	5,000	75±1.0
	7,000	73±1.1
隅角部	1,000	24±1.0
	2,000	37±1.0
	3,500	39±1.0
	5,000	37±1.0
	7,000	37±1.2

平均値±標準誤差

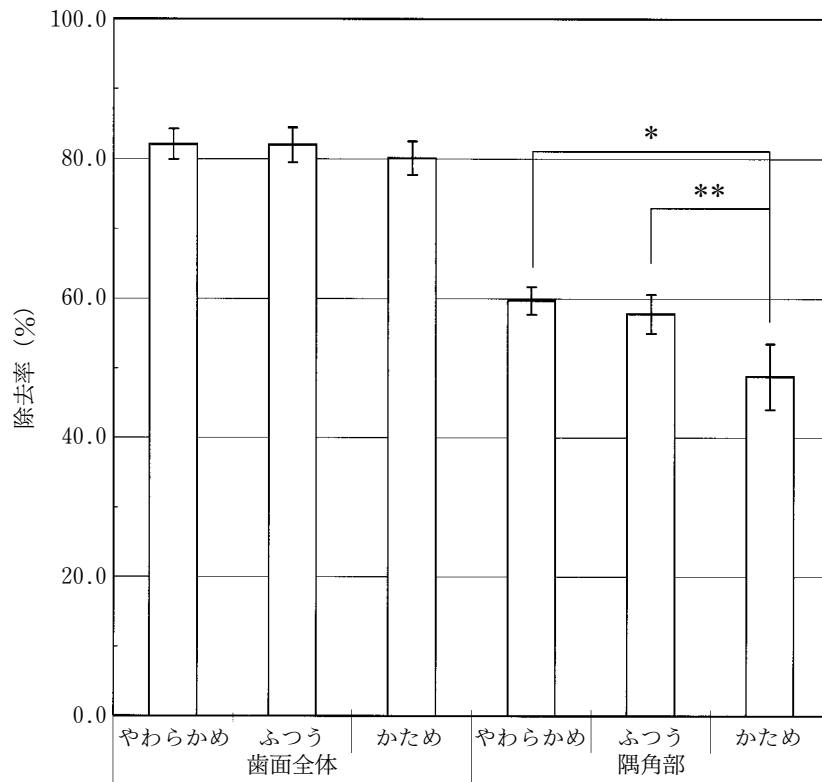


図 6 各かたさにおける歯面全体の除去率 (平均値±標準偏差, n=4)

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 (by one-way ANOVA)

隅角部の除去率は、やわらかめのブラシで60%、ふつうのブラシで58%、かためのブラシで49%の除去率であった。やわらかめブラシおよびふつうブラシは、かためブラシより、有意に高い除去率を示した。

考 察

本研究では、ブラッシングシミュレーターを用いて、反転角を10°-75°、振動数1,000-7,000 cpmに

設定した反転運動型電動歯ブラシの着色粉末除去実験を行った。

In vitro における歯ブラシ評価では、プラークの代替として、金蒸着¹⁶⁾、インク¹⁷⁾および着色粉末^{18,19)}を用いた報告やプラークの粘性を模した材料を用いた報告²⁰⁻²⁶⁾がなされている。本試験でプラークの代替として用いた着色粉末は、実際のプラークと異なり、粘性や歯への接着強度が低く、毛先が到達すれば容易に除去され、再付着もない。しかし、臨床的にプラークを除去するには、まず毛先が到達し、接触移動することが必須であるため、本試験で用いた粉末も到達性を評価する場合にはプラークの代替として有効であると考えられる。

試験装置については、顎模型をブラッシングする装置を用いた評価方法の報告¹⁶⁻²⁰⁾がなされている。近年、産業用アームロボットを用いて、ブラッシング圧をコントロールし、顎模型を清掃する評価方法²⁵⁾も検討されており、臨床試験結果との高い相関性が報告されている²⁶⁾。本試験で用いたブラッシングシミュレーターも、同様に、顎模型に対して、3次元座標でブラッシング位置を設定し、ブラッシング圧をコントロールしながらブラッシングできる装置であるため、電動歯ブラシの基本的要素に関する比較評価には有効な装置と考える。

本研究の結果、反転角に着目すると、反転角の大きさに依存して除去率が向上する結果を得た。これは、反転角の大きさが、歯面上での毛先の移動量を決定付けていることによると考える。特に反転角 10° の場合に振動数にかかわらず低い除去率であったことは、ブラシが反転することによる毛先の移動がほとんどなかったことが原因であると考えられる。反転角 75° の場合は、いずれの振動数でも高い除去率が認められたが、これは大きな反転角のため、振動数による影響をほとんど受けなかったことによると考える。

一方、振動数に着目すると、反転角 20° および 40° の場合、1,000 cpm に対し、2,000, 3,500, 5,000 cpm では、除去率が向上したが、これは毛先が歯面に接触する回数が増加したためと考える。しかし、7,000 cpm まで振動数を増加させると、除去率が低下した。この理由は、歯ブラシが反転移動する際、毛先のしなりの復元がスピードに影響されて困難となったためと考える。

有意差検定結果、交互作用が有意となった理由は、反転角 10° および 70° における除去率が振動数によって変化せず、反転角 20° と 40° における除去率が振動数により変化したことが反映されたと考える。各反転角における平均除去率は、反転角に依存して除去率が

高くなったが、各振動数における平均除去率に変化は見られなかったことから、反転角が振動数よりも清掃性に大きく寄与していると推察する。

ブラシのかたさについて検討したところ、隅角部ではブラシがやわらかいほど、除去率が高いことがわかった。これは、ブラッシング圧 150 g の場合、やわらかい程、毛のしなりが増加し、隅角部への到達性が向上したことが原因と考える。一方、ブラシのかたさは歯面全体における除去率にあまり影響しなかった。これは、ブラッシング圧 150 g の場合、本試験で用いた毛のかたさでは屈曲状態にならずに動作、清掃したこと、および隅角部での除去率の差が 10% 以下であり、隅角部の歯面全体に占める割合が約 10% であるため、隅角部の除去率が歯面全体の除去率に与える影響が小さいことによると考える。

ブラッシング条件を統一した *in vitro* の電動歯ブラシの清掃性評価では、上述の結果が得られたが、実使用の場合では、電動歯ブラシの反転角、振動数およびかたさに応じて、ブラッシング圧を調整する可能性があるため、今後、実使用における清掃性との相関性を確認する必要がある。

本論文の要旨は、第 47 回秋季日本歯周病学会学術大会 (2004 年 10 月 16 日) において発表した。

文 献

- 1) Cronin MJ, Dembling WZ, King DW, Goodman D, Cugini MA, Warren PR: A clinical study of plaque removal with an advanced rechargeable power toothbrush and a battery-operated device. *Am J Dent*, 15: 365-368, 2002.
- 2) Biesbrock AR, Walters P, Bartizek RD, Ruhlman D, Donly KJ: Dental plaque removal with a novel battery-powered toothbrush. *Am J Dent*, 15: 77-80, 2002.
- 3) Biesbrock AR, Walters PA, Bartizek RD: The Relative Effectiveness of Six Powered Toothbrushes for Dental Plaque Removal. *J Clin Dent*, 13: 198-202, 2002.
- 4) Ruhlman CD, Bartizek RD, Biesbrock AR: Comparative Efficacy of Two Battery-Powered Toothbrushes on Dental Plaque Removal. *J Clin Dent*, 13: 95-99, 2002.
- 5) Putt MS, Milleman JL, Davidson KR, Cugini M, Warren PR: A 3-month clinical comparison of the safety and efficacy of two battery-operated toothbrushes: The Braun Oral-B Battery Toothbrush and the Colgate Actibrush. *Am J Dent*, 14:

- 13 B-17 B, 2001.
- 6) Barnes V, Battista GW, Petrone D, Petrone ME, Chaknis P, DeVizio W, Volpe AR : Comparative Efficacy of a New Battery-Powered Toothbrush and an Electric Toothbrush on Plaque Removal. *Compendium*, 21 : S 30-S 33, 2000.
 - 7) Van der Weijden GA, Timmerman MF, Nijboer A, Lie MA, Van der Velden U : A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. *J Clin Periodontol*, 20 : 476-481, 1993.
 - 8) Dentino AR, Derderian G, Wolf M, Cugini M, Johnson R, Van Swol RL, King D, Marks P, Warren P : Six-Month Comparison of Powered Versus Manual Toothbrushing for Safety and Efficacy in the Absence of Professional Instruction in Mechanical Plaque Control. *J Periodontol*, 73 : 770-778, 2002.
 - 9) Sharma NC, Galustians HJ, Qaqish J, Cugini M : Safety and plaque removal efficacy of a battery-operated power toothbrush and a manual toothbrush. *Am J Dent*, 14 : 9 B-12 B, 2001.
 - 10) Cronin MJ, Dembling W, Conforti NJ, Liebman J, Cugini MA, Warren PR : A single-use and 3-month clinical investigation of the comparative efficacy of a battery-operated power toothbrush and a manual toothbrush. *Am J Dent*, 14 : 19 B-24 B, 2001.
 - 11) Kaj Stoltze, Lena Bay : Comparison of a manual and a new electric toothbrush for controlling plaque and gingivitis. *J Clin Periodontol*, 21 : 86-90, 1994.
 - 12) van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Danser MM, Mantel MS, Nijboer A, van der Velden U : The long-term effect of an oscillating/rotating electric toothbrush on gingivitis. *J Clin Periodontol*, 21 : 139-145, 1994.
 - 13) Soparkar PM, Rustogi KN, Petrone ME, Volpe AR : Comparison of Gingivitis and Plaque Efficacy of a Battery-Powered Toothbrush and an ADA-Provided Manual Toothbrush. *Compendium*, 21 : S 14-S 18, 2000.
 - 14) Tawase-Smith A, Duncan WJ, Payne AGT, Thomson WM, Wennström JL : Relative effectiveness of powered and manual toothbrushes in elderly patients with implant-supported mandibular overdentures. *J Clin Periodontol*, 29 : 275-280, 2002.
 - 15) 渡辺孝章, 鈴木丈一郎, 荒瀬 誠, 岩林明子, 新井高, 中村治郎 : 反転式電動歯ブラシと手用歯ブラシの臨床的評価. *日歯周誌*, 37 : 353-361, 1995.
 - 16) Hotta M, Yoshida T, Sekine I, Imada S, Sano A : Evaluation of tapered-end toothbrushes regarding subgingival access efficacy. *J Clin Dent*, 8 : 156-158, 1997.
 - 17) Yost KG, Miluszewski KF, Chen AC : Laboratory evaluations of toothbrush interproximal penetration Ratios. *J Clin Dent*, 4 : 125-127, 1994.
 - 18) 堀田正人, 河野 哲, 関根一郎, 渡辺孝幸, 高橋昭記 : ブラッシングマシンによる歯肉溝部付近の清掃効果の検討. *歯科衛生士*, 23 : 94-97, 1999.
 - 19) Bruum C, Ekstrand KR, Andreassen KB : A new in vitro method for testing the interproximal cleaning potential of toothbrushing. *J Clin Dent*, 9 : 11-15, 1998.
 - 20) 鈴木丈一郎, 谷 陽子, 木暮隆子, 山本章代, 荒瀬 誠, 渡辺孝章, 新井 高, 山根幸恵, 松本 仁 : ブラッシングシミュレーターによるブラッシングの再現性に関する研究. *日歯周誌*, 40 : 226-232, 1998.
 - 21) Volpenhein DW, Hartman WL : A comparative evaluation of the in vitro penetration performance of the improved Crest Complete toothbrush versus the Colgate Total toothbrush and the Oral-B Advantage toothbrush. *J Clin Dent*, 7 : 101-105, 1996.
 - 22) Volpenhein DW, Walsh ME, Dellerman PA, Burkett TA : A new method for in vitro evaluation of the interproximal penetration of manual toothbrushes. *J Clin Dent*, 5 : 27-33, 1994.
 - 23) 佐藤寿祐, 佐藤 聡, 鴨井久一 : 反回転式電動歯ブラシと手用歯ブラシとにおける口腔清掃の効果について. *日歯周誌*, 34 : 485-499, 1992.
 - 24) 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 I 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.
 - 25) Driesen GM, Warren PR, Bielfeldt U, Helbig G : A laboratory comparison of the efficacy of battery-operated, non-rechargeable power toothbrushes. *Am J Dent*, 14 : 5 B-8 B, 2001.
 - 26) Danser MM, Driesen GM, Timmerman MF, Van der Velden U, Van der Weijden GA : A laboratory and clinical investigation comparing 2 oscillating/rotating electric toothbrushes. *J Clin Periodontol*, 27 : 277-283, 2000.