

原 著

共振を応用した音波式電動歯ブラシのプラーク除去効果

両角 祐子*¹ 菅原 淳道*¹ 岩堀 敏之*² 宮崎 晶子*³
 原田 志保*³ 佐藤 治美*³ 小倉 英夫*⁴ 佐藤 聡*¹

*¹日本歯科大学新潟生命歯学部歯周病学講座

*²オムロンヘルスケア株式会社

*³日本歯科大学新潟短期大学

*⁴日本歯科大学新潟生命歯学部歯科理工学講座

(受付日：2008年2月18日 受理日：2008年4月3日)

Plaque Removal Efficacy of a Sonic-Powered Toothbrush
 Applying Mechanical Resonance

Yuko Morozumi*¹, Atsunori Sugawara*¹, Toshiyuki Iwahori*²,
 Akiko Miyazaki*³, Shiho Harada*³, Harumi Sato*³,
 Hideo Ogura*⁴ and Soh Sato*¹

*¹Department of Periodontology, School of Life Dentistry at Niigata, The Nippon Dental University

*²Omron Healthcare Co., Ltd.

*³The Nippon Dental University, College at Niigata

*⁴Department of Dental Materials Science, School of Life Dentistry at Niigata, The Nippon Dental University

(Received : February 18, 2008 Accepted : April 3, 2008)

Abstract : The purpose of this study was to analyze the plaque removal efficacy of a sonic-powered toothbrush which is capable of applying brushing pressure at a certain frequency, that would produce mechanical resonance. We studied the factors which may improve the cleaning efficacy, such as the operational frequency and brushing pressure of such toothbrushes. We focused on two specific operational frequencies (High speed/Low speed) which would cause mechanical resonance, and used another frequency (Intermediate speed) which would not cause mechanical resonance as reference. We evaluated these factors using our brushing machine, and evaluated the cleaning efficacy by measuring the percent removal of artificial plaques in a dental model via imaging analysis. The results revealed that under the brushing pressure of 100gf, the efficiency of plaque removal was in the order, from the highest to the lowest, of High speed, Low speed and Intermediate speed. Operating the toothbrush at a certain speed causing mechanical resonance would enlarge the amplitude of the vibration, so that the plaque removal efficiency would be greater at the Low speed than at the Intermediate speed. On the other

連絡先：両角祐子

〒951-8580 新潟県新潟市中央区浜浦町1-8

日本歯科大学新潟生命歯学部歯周病学講座

Yuko Morozumi

Department of Periodontology, School of Life Dentistry at Niigata, The Nippon Dental University

1-8, Hamaura-cho, Chuo-ku, Niigata 951-8580, Japan

E-mail : hiroki@ngt.ndu.ac.jp

hand, under the brushing pressure 250gf, the plaque removal efficiency was in the order, from the highest to the lowest, of High speed, Intermediate speed and Low speed. The higher brushing pressure minimizes the motion of the bristle, so that the effect of the mechanical resonance is also minimized. We suggest that operating the sonic power toothbrush at a certain frequency that would cause mechanical resonance can improve the plaque removal efficiency, and our results indicates a beneficial effect even at the Low speed.

Nihon Shishubyo Gakkai Kaishi (J Jpn Periodontol) 50(2) : 97-103

Key words : sonic-powered toothbrush, mechanical resonance, frequency, plaque removal efficacy

要旨 : 本研究では、音波式電動歯ブラシを用い、振動数、共振、ブラッシング圧の組合せがプラーク除去効果に与える影響を検討した。2つの共振点を有している、2種類の試作音波式電動歯ブラシを使用した。両試作機ともに第1共振では低い振動数でありながら横方向の振動振幅が大きくなり、第2共振では縦振動が大きくなる。本研究では、振動数を低速(第1共振)、中速(共振領域の振動数ではない)、高速(第2共振)に設定し、ブラッシング圧との組合せで実験を行い、人工プラークのプラーク除去率で評価を行った。結果、ブラッシング圧 100gf では、両試作機ともに高速、低速、中速の順にプラーク除去率が高かった。ブラッシング圧 250gf では、高速、中速、低速の順であった。ブラッシング圧 100gf において、共振領域の振動数を使用した高速と低速が共振領域の振動数ではなかった中速よりも除去率が高くなる結果を得た。これは、共振領域では電動歯ブラシの振動振幅が増大するためであり、共振領域でない中速よりも結果的にプラーク除去率が高くなったためと考えられる。一方、ブラッシング圧 250gf では強いブラッシング圧により、毛先の動く範囲が限定され、共振の特性である振動振幅の増大が有効に作用しなかったと考えられる。したがって、電動歯ブラシを共振領域で駆動させることにより、振動数が低い領域であっても効果的にプラークを除去でき、そのためにはブラッシング圧も重要であることが示された。

日本歯周病学会誌(日誌周誌) 50(2) : 97-103, 2008

キーワード : 音波式電動歯ブラシ、共振、振動数、プラーク除去効果

緒 言

プラークコントロールは歯周病の予防や治療の最も重要な方法であり、そのため様々な器具が開発、使用されている¹⁻⁸⁾。電動歯ブラシは手用歯ブラシに比較し、プラーク除去効果が優れていると報告され⁴⁻⁸⁾、簡便にかつ効果的にプラークを除去できることから、わが国においても広く使用されている。電動歯ブラシのプラーク除去効果に影響を与える因子として、運動様式、振動数、振動振幅などがあげられる⁹⁻¹¹⁾。その他、歯ブラシの毛やブラッシング圧などさまざまな要因が関連し、プラーク除去効果に影響を与えている^{12,13)}。近年、プラーク除去効率の観点から振動数の高い電動歯ブラシが多く開発されているが、プラークを効率よく除去できる反面、硬組織、軟組織に対する影響も否定できない¹⁴⁻¹⁶⁾。

本研究では、共振を応用した音波式電動歯ブラシを用い、振動数、共振、ブラッシング圧の組合せがプラーク除去効果に与える影響を刷掃試験機¹⁷⁾を用いて検討した。

材料および方法

1. 実験材料

コンピュータープログラムにより振動数を設定することが可能な2種類の音波式電動歯ブラシ試作機(歯ブラシ A, 歯ブラシ B, オムロンヘルスケア株式会社, 京都, 図 1)を用いた。本研究では、共振を応用しており、歯ブラシ A, B ともに、電動歯ブラシの共振点を2つ有している。第1共振では低い振動数でありながら横方向の振動振幅が大きくなり、第2共振では縦振動が大きくなる。歯ブラシ A, 歯ブラシ B は、歯ブラシ内部の偏心分銅の大きさの違い(図 2)により、振動数はほぼ同じであるが、振動振幅が異なっている。表 1 に各歯ブラシの最大振動振幅と振動数を示す。共振を示す振動特性は歯ブラシ A, B で類似しており図 3 に示す。

本研究では、歯ブラシ A, B ともに振動数を低速(第1共振)、中速(共振領域の振動数ではない)、高速(第2共振)に設定し、実験を行った。ブラシ(図 1)は、3種混合毛(トリプルクリアブラシ[®], オムロンヘルスケア株式会社, 京都)を用いた。植毛部の先端、側面、中央



図1 実験に使用した音波式電動歯ブラシ(上:歯ブラシA, 下:歯ブラシB)とブラシ



図2 内蔵されている偏心分銅(上:歯ブラシA, 下:歯ブラシB)

表1 各歯ブラシの最大振動振幅と振動数

	歯ブラシA			歯ブラシB		
	低速 (第1共振)	中速	高速 (第2共振)	低速 (第1共振)	中速	高速 (第2共振)
最大振幅 横方向(mm)	2.656	1.025	0.681	0.060	0.579	0.289
縦方向(mm)	0.340	0.311	0.733	0.030	0.095	0.113
振動数(spm)	17600	26000	36000	17800	25300	36000

部それぞれ異なった3種の植毛からなっている。植毛の仕様を表2に示す。

2. 実験方法

刷掃試験機¹⁷⁾に人工プラーク(株式会社ニッシン, 京都)を塗布した顎模型(500H-1, 株式会社ニッシン, 京都)を固定し, 下顎左側第一大臼歯頬側面を, 8秒間ブラッシングした。ブラッシング角度は90°とし, 10mmのストロークで, 100gf, 250gfのブラッシング圧

で行った。各試験は, 同一条件で繰り返し6回行った。

3. 画像解析

ブラッシング前後の被験部位を画像に取り込み(図4), デジタルデータを用いてコンピュータソフト Scion Imageにて「Threshold」にて二値化させ, 画像処理を行い, 人工プラークの除去面積を測定した。プラーク除去率は以下の式によって求めた。

プラーク除去率(%) = 人工プラークが除去された面

表2 植毛の仕様

	刷毛の材質	刷毛の長さ	刷毛の直径	穴数
先端	ナイロン	11mm	0.22mm	5
側面	飽和ポリエステル樹脂	11.5mm,12.5mm	0.1mm	各4
中央	ナイロン	11mm	0.2mm	10

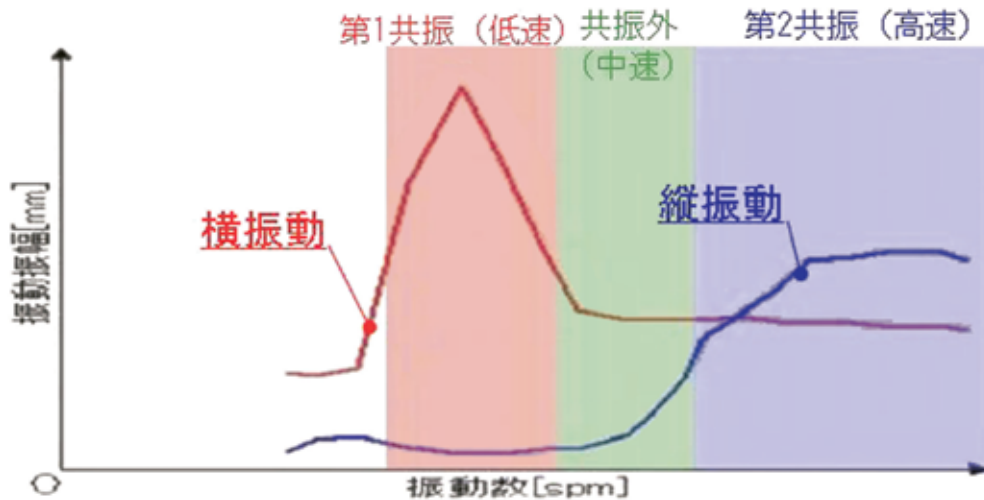


図3 振動特性



図4 コンピューターに取り込んだ画像(歯ブラシ A, ブラッシング圧 100gf)

積 / 各歯面の面積 × 100

4. 統計解析

統計解析は、二元配置分散分析により行った。分散分析により有意差を認めた場合、Scheffé's test による多重比較検定を行った。

結果

プラーク除去率を図5に示す。歯ブラシ A では、ブラッシング圧 100gf・高速の組合せが 60.9% で最も高いプラーク除去率を示し、次いで 250gf・高速

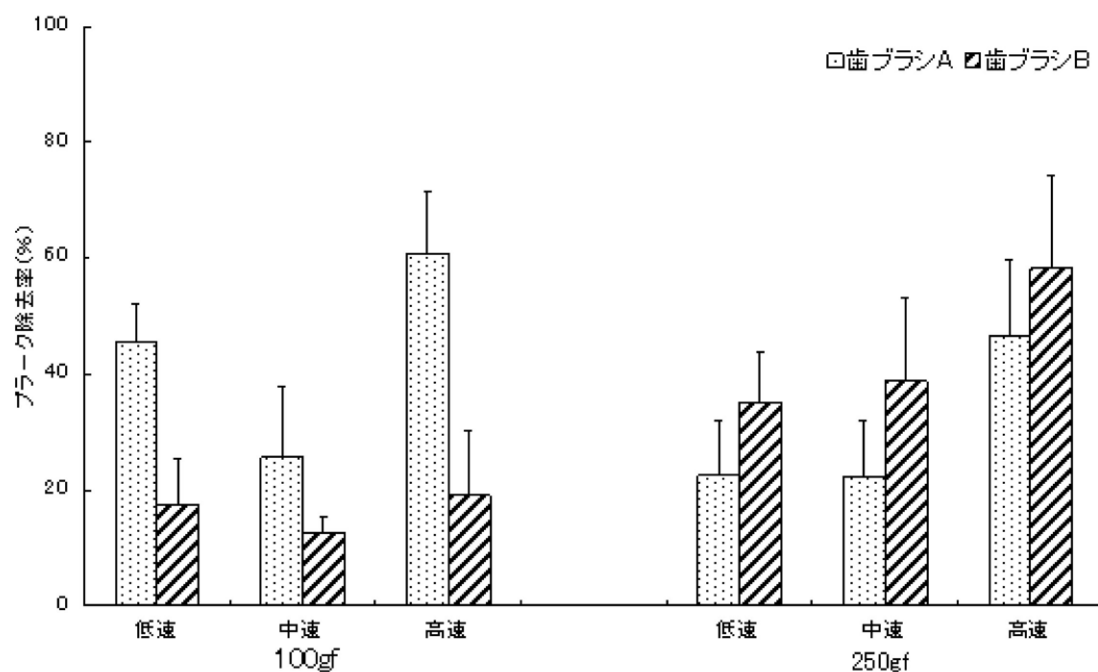


図5 プラーク除去率

表3 ブラッシング圧 100gf の多重比較

	高速, 歯ブラシB	高速, 歯ブラシA	中速, 歯ブラシB	中速, 歯ブラシA	低速, 歯ブラシB
低速, 歯ブラシA	※※		※※	※	※※
低速, 歯ブラシB		※※			
中速, 歯ブラシA		※※			
中速, 歯ブラシB		※※			
高速, 歯ブラシA	※※				

※※: p<0.01
※: p<0.05

46.6%, 100gf・低速 45.5%, 100gf・中速 25.6% の順であった。歯ブラシ B では、ブラッシング圧 250gf・高速の組合せが 58.2% で最も高いプラーク除去率を示し、次いで 250gf・中速 38.8%, 250gf・低速 35.2%, 100gf・高速 19.0% の順であった。

ブラッシング圧の比較では、ブラッシング圧 100gf では、歯ブラシ A, B ともに、高速、低速、中速の順にプラーク除去効果が高く、共振領域の振動数を使用した高速と低速が共振領域の振動数ではなかった中速よりも除去率が高かった。また、歯ブラシと振動数の間に交互作用が存在し、プラーク除去効果が歯ブラシと振動数の相乗的な効果であることが示された。歯ブラシごとの比較では、100gf の歯ブラシ A では、高速と中速 ($p < 0.01$)、中速と低速 ($p < 0.05$) の間に有意な差が認められた(表 3)が、100gf の歯ブラシ B では、有意な差は認められなかった。一方、ブラッシング圧

250gf では、歯ブラシ A, B ともに、高速のプラーク除去効果が最も高く、中速、低速は同程度のプラーク除去率であった。

考 察

現在、数多くの電動歯ブラシが市販され、プラークコントロールの一つの方法として推奨されている。電動歯ブラシには、その運動様式から前後運動型、反転運動型などさまざまな分類がなされており、また、近年では音波や超音波の作用を利用した振動数の高い電動歯ブラシも開発、使用されている⁴⁻¹¹⁾。しかし、振動数の高い電動歯ブラシの場合、プラークを効率よく除去できる反面、硬組織、軟組織に対する影響も否定できない¹⁴⁻¹⁶⁾。そこで本研究では、共振を応用し、低い振動数でも効率よくプラークを除去することが可能

であるかを刷掃試験機¹⁷⁾を用いて検討した。

共振は、強制振動において、外力の振動数がある特定の振動数に近くなると振動振幅がきわめて大きくなる現象である¹⁸⁾。本研究では、この共振をおこす振動数を用い、振動振幅の増大を利用している。本研究で用いた音波式電動歯ブラシ試作機(歯ブラシ A, B)においては、電動歯ブラシの共振点を2つ有している。低速(第1共振)では低い振動数でありながら横方向の振動振幅が大きくなり、高速(第2共振)では縦振動が大きくなる。歯ブラシ A, B は、歯ブラシの内部の分銅をかえることにより、ほぼ同程度の振動数でありながら、振動振幅が異なっている。

従来の低い振動数域の電動歯ブラシについては、振動数^{14,19)}や振動振幅²⁰⁾の検討がなされており、一定の使用時間では、振動数の高い方が、また振動振幅は大きいほうが清掃性に優れていると報告されている。本研究のブラッシング圧の違いによるプラーク除去効果では、ブラッシング圧 100gf において、歯ブラシと振動数の間に交互作用が存在し、両要素の組合せによるプラーク除去効果への影響が示された。つまり、歯ブラシ A と歯ブラシ B の異なる点は、振動振幅であることから、振動振幅と振動数の相乗的なプラーク除去効果への影響が示された。ブラッシング圧 100gf のプラーク除去率は、歯ブラシ A, B ともに共振領域を使用し、振動数が高い状態(振動数:高速)においても高い除去率を示し、次いで、低速、中速の順であった。共振領域の振動数を使用した高速と低速が共振領域の振動数ではなかった中速よりも除去率が高く、これは共振領域では電動歯ブラシの振動振幅が増大するため考えられる。しかし、ブラッシング圧 250gf のプラーク除去率は、歯ブラシ A, B ともに、高速が最も高く、中速、低速はほぼ同程度であった。これは、強いブラッシング圧により、毛先の動く範囲が限定され、共振の特性である振動振幅の増大が有効に作用しなかったためと考えられる。電動歯ブラシの歯ブラシ圧は 100~200gf が効果的との報告もあり^{12,13)}、ブラッシング圧は電動歯ブラシのプラーク除去効果の重要な要因の1つであるといえる。

振動数と振動振幅の関係において、森ら⁹⁾は、0.5~3.0mmの振動振幅において振動数が高ければ、除去率が高くなるということではなく、プラーク除去率には、振動振幅または振動数の一方の要素が大きく寄与しているのではなく、振動数と振動振幅の組合せが重要であるとしている。本研究の結果も同様のことが示された。

また、共振を利用し振動振幅を増大させ、プラーク除去効果を向上させるためには、毛の種類、毛先の形

態、植毛部の形態など植毛部の構造も関係すると考えられる。本研究では、3種混合毛を用いた。この植毛パターンは、先端部、中央部、側面部と異なる3種類の植毛を用い、振動振幅を増大させるために共振が発生する長さ植毛を調整している。電動歯ブラシの植毛パターンや植毛部の大きさにより、プラーク除去効果に差があるとの報告^{4,12)}もあり、電動歯ブラシの機械的特性だけではなく、ブラシの植毛に関しても、さらに検討していく必要があると考えられる。

本研究では、電動歯ブラシを共振領域で駆動させることにより、振動数が低い領域であっても効果的にプラークを除去できることが示された。今回は音波式電動歯ブラシのプラーク除去効果のみを比較したが、今後は、歯間部のプラーク除去効果、歯面や軟組織の損傷なども研究し、損傷が少なく、効率よくプラークを除去できる刷毛、振動数、ブラッシング圧などについて検討していく必要があると考える。

本研究の要旨は、第127回日本歯科保存学会学術大会(2007年11月9日、岡山)において発表した。

文 献

- 1) 木下四郎, 泉澤勝憲, 立花智子, 宮川みほ, 山田晶, 野口俊英: 小型歯ブラシの歯垢除去効果について. 日歯周誌, 25: 562-574, 1983.
- 2) 苗代 明, 和崎佳子, 濱田 哲, 佐藤寿祐, 小島武志, 西澤 聡, 伊藤明子, 鴨井久一: グリップ位置を規定した歯ブラシのプラーク除去効果. 日歯保存誌, 45: 602-612, 2002.
- 3) 新井 高: 歯ブラシとブラッシング方法の相違による歯垢除去についての比較. 日歯周誌, 18, 13-31, 1976.
- 4) 穂坂康朗, 深谷千絵, 永井美和, 両角祐子, 佐藤聡, 中川種昭: 音波歯ブラシ(sonicare® elite)のプラーク除去効果-ヘッドの大きさの違いによる比較-. 日歯保存誌, 50: 440-446, 2007.
- 5) 鈴木崇夫, 望月 悟, 山本祥子, 宮下 元, 山本松男: 音波歯ブラシのプラーク除去効果. 日歯周誌, 49: 120-129, 2007.
- 6) Zimmer S, Nezhat V, Bizhang M, Seemann R, Barthel C: Clinical efficacy of a new sonic/ultrasonic toothbrush. J Clin Periodontol, 29: 496-500, 2002.
- 7) Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, Van der Velden U: Comparison of 2 electric toothbrushes in plaque-removing ability. Professional and supervised brushing. J Clin Periodontol, 22: 648-652, 1995.
- 8) Johnson BD, McInnes C: Clinical evaluation of the

- efficacy and safety of a new sonic toothbrush. J Periodontol, 65: 692-697, 1994.
- 9) 森 豊一, 上崎聖子, 田淵由美子, 齋藤 徹: ブラッシングシュミレーターによる振動型電動歯ブラシの振動数と振幅の清掃性に及ぼす影響. 日歯周誌, 47: 137-145, 2005.
 - 10) 上崎聖子, 森 豊一, 田淵由美子, 齋藤 徹: ブラッシングシュミ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. 日歯周誌, 47: 161-167, 2005.
 - 11) 久野彰子, 新井貴子, 鴨井久博, 貴志知宏, 草間雅之, 佐藤 聡, 鴨井久一: 縦運動型電動歯ブラシ TP-102 の清掃効果—歯列模型を用いた清掃効果—. 日歯保存誌, 46: 885-895, 2003.
 - 12) 堀田正人, 今出昌一, 田口尚幸, 南 晋介, 青野正男: 電動歯ブラシの人工プラーク除去効果—歯ブラシヘッドの植毛パターンの影響—. 日歯保存誌, 39: 940-944, 1996.
 - 13) 福田光男, 杉原信久, 村川尚子, 渡辺文子, 浅井昭博, 伊藤俊明, 澤 正樹, 野口俊英: 電動歯ブラシのブラッシング力の大きさ歯面への角度の違いがけ毛先の動きに与える影響について. 日歯保存誌, 35: 1523-1525, 1992.
 - 14) 伊藤嘉彦, 清水伸宏, 藤井美弥, 関 規子, 栗原健二, 鈴木丈一郎, 渡辺孝章, 新井 高, 中村治郎: 電動歯ブラシの振動数と歯ブラシの硬さの違いがプラーク除去およびブラッシング圧に与える影響. 日歯周誌, 35: 364-373, 1993.
 - 15) 渡辺孝章, 鈴木丈一郎, 荒瀬 誠, 若林明子, 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) 鈴木丈一郎, 清水伸宏, 千 鑄男, 曾 振江, 藤井美弥, 伊藤嘉彦, 関 規子, 渡辺孝章, 新井 高, 中村治郎: 電動歯ブラシのプラーク除去効果とブラッシング圧に関する研究. 日歯周誌, 34: 929-938, 1992.
 - 17) 宮崎晶子, 佐藤治美, 清水智幸, 小倉英夫, 山内 雅司: 刷掃試験機による歯磨きの清掃効果に関する検討. 歯科材料・器械, 18: 239-247, 1999.
 - 18) 財団法人 国際科学振興財団編: 科学大辞典, 第2版, 丸善株式会社, 東京, 2005, 348.
 - 19) 長谷川浩三, 中川さとみ, 外木徳子, 町田幸雄: 電動歯ブラシの刷掃回数の違いによる歯垢清掃効果について. 歯科学報, 92, : 1084, 1992.
 - 20) 江原由紀, 長谷川浩三, 町田幸雄: 前後運動型電動歯ブラシのストローク幅の違いによる歯垢清掃効果について. 歯科学報, 93: 405, 1993.