

障害児者の歯ブラシ選択に向けた歯ブラシの挙動に関する基礎的研究
A basic study of brushing motion for toothbrush selection for person with special needs

地主 知世
日本大学松戸歯学部障害者歯科学講座

(指導：野本 たかと 教授)

【要旨】

障害児者の効果的で効率的なブラッシングには、ブラッシングスキルに配慮した歯ブラシの選択が重要である。しかし、歯ブラシ選択のための客観的な歯ブラシ機能評価指標はない。本研究では直径 8.0mm 凸型単半円柱モデル(SHC モデル)にビデオ(磁気)テープ法を応用して、歯ブラシの種類や荷重の違いによる歯ブラシヘッドの挙動について評価した。

研究 A ではスーパーテーパー毛の ST-M、ラウンド毛の RO-M、複合段差植毛の FU-M の歯ブラシを用いて、磁性膜の剥離状態から清掃性を、刷掃時に慣性センサから得られた角速度からヘッド位置を算出し、最大値と最小値の絶対値の和を振幅としてヘッドの挙動を評価した。研究 B ではヘッドの大きさが異なるスーパーテーパー毛の ST-LL, ST-L, ST-S およびコンパクトヘッドでラウンド毛の RO-S の歯ブラシを用いて、加速度から振幅を算出し、歯ブラシの毛先が適正に SHC モデルに追従できる追従荷重範囲を評価した。

研究 A の結果、振幅は RO-M では 50gf と 300gf, ST-M と FU-M では 300gf において大きかった。RO-M の 50gf の剥離プロファイルは SHC モデルの頂点付近での剥離を認めないことから、SHC モデル通過時にヘッドが飛び跳ねたことが予想された。高荷重ではいずれの歯ブラシも振幅が大きく、剥離面積も大きかったことから、毛が柔軟性を失い大きくたわみ、毛の脇腹でモデルに接触したものと考えられた。歯ブラシの種類によって毛が適正に SHC モデルに追従できる荷重が異なることが推測された。

研究 B の結果、スーパーテーパー毛の歯ブラシでは植毛部面積の大きい順に追従荷重範囲が広がった。植毛部面積の大きい歯ブラシでは毛先にかかる荷重が分散されるため、毛がたわみにくいことが考えられた。ブラッシング時の力のコントロールが困難な障害児者において幅広植毛歯ブラシの選択が有用な可能性が示唆された。

振幅という新たな指標を用いて歯ブラシの挙動を評価したところ、歯ブラシの毛先形態や植毛部面積によって、歯ブラシが歯面に適切に追従し清掃できる荷重が異なることがわかった。

【Abstract】

It is important to select appropriate toothbrushes for person with special needs. However, there is no objective functional index for toothbrush selection.

This paper consists of two studies for measuring brushing motion. The amplitude of brushing was evaluated using the single half cylinder model (SHC model) which have created for in vitro functional evaluation of toothbrush.

First, three kinds of toothbrushes were used;ST-M: super tapered-end bristles with flat profile, RO-M: end-rounded bristles with flat profile, FU-M: raw and super tapered-end bristles in the same tuft. Second, three of them were super tapered bristles with different head size, the other was rounded bristles with flat profile.

First study showed that larger amplitudes indicate that toothbrush head cannot touch the surface of model or that the bristle of toothbrush is deflection. Second study showed that super tapered bristles with a large toothbrush is higher cleaning performance than rounded bristle or super tapered with compact head for person with special needs who are not good at brushing control.

It is suggested that each toothbrush has the proper load to follow the tooth surface.

【key words】

歯ブラシ, 障害者, 機能指標, 挙動, 振幅

toothbrush, person with special needs, functional index, brushing motion, amplitude

【緒言】

口腔の健康を保つには、ブラッシングを中心としたセルフケアなどの口腔保健行動の定着が求められる。ブラッシングを行動科学的に捉えると、認知、運動、情意で表される機能の3領域の学習成果として獲得し実行する行為である¹⁾。しかし、障害児者は歯ブラシなどの用具やブラッシング行為に対する認知が困難であることや、ブラッシング時の力のコントロールが不安定であること、集中力やモチベーションの維持が困難であることなどから、機能の3領域の学習に困難性を認めることが多く、効果的なブラッシングの定着どころか拒否に至る場合もある¹⁻⁴⁾。効果的なブラッシングを日常に定着させるためには、効率的なブラッシング方法を習得し継続する必要がある⁵⁾。したがって、対象者のブラッシングを制限している領域を考慮しながら、各人のブラッシングスキルを引き出せる適切な歯ブラシ選択が重要となる。多くの手用歯ブラシが市販されている⁶⁾ものの、客観的な歯ブラシ機能評価法や選択指標はない。そこで、客観的な歯ブラシ選択プログラムの確立が必要と考え、さまざまな歯ブラシ機能評価モデルを開発してきた⁷⁻¹⁰⁾。本研究では、凸型単半円柱モデル (Single half cylinder model: 以下、SHCモデルとする) を用いて、歯ブラシの種類や荷重の違いによるヘッドの上下方向の挙動について検討した。

【材料および方法】

1. 研究A: 荷重と清掃性

(1) 材料

1) 試験歯ブラシ (表1)

試験歯ブラシは、植毛部長が約20mm、4列植毛の市販歯ブラシ3種を用いた。3種はスーパーテーパード(以下、STとする)毛フラット (B-7601 超極細毛歯ブラシ・コンパクト, エビス(株), 奈良) (以下、ST-Mとする), ラウンド(以下、ROとする)毛フラット (CLEAR TOOTHBRUSH No.193, (株)大創産業, 広島) (以下、RO-Mとする), ST毛と先端加工のない円柱状毛を組み合わせた複合段差植毛(以下、FUとする) (B-9830 超先細毛Eハブラシ, エビス(株)) (以下、FU-Mとする)とした。

2) 計測装置 (図1a, b)

本研究では歯ブラシの挙動を評価するために日本人の歯の幅径を参考に直径8.0mmのステンレス製の半円柱を1個、平板に設置したSHCモデル^{7,8)}を用いた(図1a, b)。

清掃性の評価は、磁性膜の剥離状態によって歯ブラシの毛の清掃面への接触状況の評価できるビデオ(磁気)テープ法¹¹⁾を用いた。SHCモデルの半円柱周囲に2枚のビデオテープを隙間なく巻き付け、両面テープで固定した。歯ブラシのヘッド(以下、ヘッドとする)が上下方向に動くことができるように歯ブラシをヒンジに固定し、ハンドルを一定ストロークで同一部位を精度よく刷掃できるようにスライダ(FBW2560XR+160L, THK(株), 東京)に取り付けた。

挙動の評価では、ヘッド中心部に3軸(XYZ)の加速度と角速度の計測が可能な6軸慣

性センサ (TSND151[®], (株) ATR-Promotions, 京都) (以下, IMU とする)を固定し, Bluetooth にてパーソナルコンピュータに接続した. 歯ブラシはヒンジの回転軸の中心から IMU までの距離が 130mm になるように設置した. 計測軸はストローク方向である前後方向を Y 軸, その左右方向を X 軸, 垂直方向を Z 軸に設定した. 歯ブラシはヒンジに固定されているため, ヘッドの上下動を X 軸方向の回転運動として計測した. 計測は専用ソフトウェア (Sensor Controller[®], (株)ATR-Promotions) を用いて, 1000Hz のサンプリング速度で行った.

(2) 方法

1)計測条件

歯ブラシの毛先に歯磨剤 (ガードハロー[®], 花王, 東京) 1.0g をのせて, 荷重 50gf, 100gf, 200gf, 300gf, ストローク 40mm, ピッチ 2Hz でモデルを 50 往復刷掃した. 荷重は, ブラッシングの平均荷重といわれる 170gf^(12,13) を参考とした. 植毛部長約 20mm の歯ブラシで実際の白歯部を刷掃することを仮定した場合, 一度に 3 歯程度に触れると予想されることから 170gf の 1/3 に近似する 50gf を荷重の最低値に設定した. 障害児者は力のコントロールが困難⁽¹⁴⁾ なために, 計測荷重を 50gf, 100gf, 200gf, 300gf とした. ヘッドの中央にアクリル板を固定し, その上におもりをのせて合計が設定荷重になるようにした. 1 条件の計測は, 毛の硬さ試験である JIS S3016⁽¹⁵⁾ と同様に 3 回行った.

2)データ処理と統計解析

a. 清掃性：剥離面積と剥離プロファイル

清掃性の評価は, 歯ブラシの刷掃による磁性膜の剥離状態の変化および剥離面積を用いた. 歯ブラシでモデルを刷掃後, モデルからビデオテープを取り外し, 白色シートに貼付後, デジタルカメラ (D5600, AF-S DX Micro NIKKOR 40mm f/2.8G, (株)ニコン, 東京) で磁性膜の剥離状態を撮影した. 完全剥離領域 (以下, 完全剥離とする) はテープの下に設置した白色シートの色が透過した白色, 部分剥離領域 (以下, 部分剥離とする) は薄膜化による透過光の増加および摩耗痕による表面からの散乱光の増加のために灰色となる⁽⁷⁾. 撮影後, 画像解析ソフト (ImageJ[®], NIH, USA) を用いて撮影画像を適切な閾値でグレースケール画像化し, 完全剥離, 完全剥離および部分剥離 (以下, 完全+部分剥離とする) の画像から, 剥離面積を計測した^(7,8). 部分剥離は完全剥離に比較して清掃効率は低いものの毛先が清掃面に接触できた状態の反映であることから, 追従性の指標として評価に用いることができる.

完全剥離の撮影画像から過去の研究⁽⁸⁾ に基づいて剥離プロファイルを, A 型, B 型, C 型に分類した. A 型はモデル半円の両側基部付近には剥離を認めるが頂点付近には剥離を認めないもの, B 型は半円の両側基部付近および頂点付近の 3 か所に剥離を認めるもの, C 型は半円の頂点付近から基部付近まで剥離が連続したものである.

各面積について, 荷重と歯ブラシの種類に関して二元配置分散分析を行い, その後に Tukey の多重比較検定を行った ($p < 0.01$, $p < 0.05$). 統計解析には SPSS ver25 (IBM, 東

京)を用いた。

b. ヘッドの挙動 (図2)

ヘッドの動きを計測するための基準として、ストローク方向の運動について Y 軸加速度から速度を算出した。ヘッドの上下方向の運動は X 軸角速度から回転角を算出し、その角度から図2に示した方法でヘッド位置を求めて移動軌跡を確認した。1往復中のヘッドが正の方向へ移動した最大値(正最大値)と負の方向へ移動した最小値(負最大値)の絶対値の和をヘッドの振幅として「振幅=最大値+|最小値|」と定義した。10往復分である5秒間の振幅を算出し、その平均値を挙動の評価に用いた。

振幅について、荷重と歯ブラシの種類に関して二元配置分散分析を行い、その後に Tukey の多重比較検定を行った ($p < 0.01$)。さらに、各歯ブラシ別の荷重に関して一元配置分散分析、その後の検定を行った ($p < 0.01$)。統計解析には SPSS ver25 (IBM) を用いた。

2. 研究 B: 荷重と追従性

(1) 材料

1) 試験歯ブラシ (表1)

試験歯ブラシは、植毛部長が約 20mm、ヘッドサイズが異なる ST 毛の歯ブラシ 3 種 (DENT.EX systema シリーズの genki (以下, ST-LL とする), genki f (以下, ST-L とする), 42M[®] (以下, ST-S とする) (ライオン歯科材, 東京)) と、コンパクトヘッドで RO 毛の歯ブラシ (DENT.EX 3S[®] (以下, RO-S とする) (ライオン歯科材)) とした。

2) 計測装置 (図 3a, b)

研究 A と同様に、SHC モデルを用いた。歯ブラシは治具でヒンジに固定し、ハンドルをスライダーに取り付け、ヒンジの回転軸の中心からヘッド中央までの距離が 140mm になるように設置した。おもりの設置位置は、研究 A ではヘッド中央を重心位置としたが、研究 B では実際のブラッシング動作時に力が加わる位置に近づけるため、ヘッド中央から 70mm の位置に変更した。その際、ハンドルの構造や力の加わり方に差異が出ないように、歯ブラシと治具の接触状態や面積が同一になるように取り付けた。歯ブラシの挙動は、研究 A と同様にヘッド中央に IMU を設置して計測を行った。また、荷重のモニタリングのためにモデル下部に力覚センサ (030YA151U, (株) レプトリノ, 長野) を設置した。

(2) 方法

1) 計測条件

設定荷重は、先行研究⁷⁻¹⁰⁾を参考に 50gf, 100gf, 200gf, 300gf, 400gf, 500gf, 600gf, 700gf とした。計測は、研究 A と同様にストローク 40mm, ピッチ 2Hz で 20 秒間刷掃した。50gf から 700gf まで連続での計測を 1 回とし、各回で歯ブラシを交換した。1 条件の計測は毛の硬さ試験である JIS S3016¹⁵⁾ と同様に 3 回行った。

2) 刷掃時のヘッドと毛先の観察

各歯ブラシの刷掃時の動きをレンズ AF-S Micro NIKKOR 60mm f/2.8G ED ((株) ニコン) を装着したデジタルカメラ Z6 ((株) ニコン) を用いて、フレームレート 120fps, シャ

ッタースピード 1/4,000sec, しぼり値 f8 の撮影条件で撮影し, 観察した.

3) データ処理と統計解析

a. ヘッドの挙動

解析対象は, 研究 A と同様に刷掃 5 秒間分とした. 1 往復中の Z 軸加速度 (以下, AZ とする) から最大値⁷⁾を抽出し, ヘッド位置を算出して研究 A で定義した振幅を求めた.

b. 追従荷重の定義と算出

歯ブラシの挙動について, 荷重に対する振幅の変化およびモデル刷掃時の毛先を撮影した連続写真から検討した (図 4). 荷重が小さい場合, 毛先はモデルを通過する際に跳ね上がるためにモデルに接触せず, 振幅が大きくなった (図 4, 写真①). 荷重が大きくなるにつれて, 毛先がモデルの表面に追従している様子が観察され, 同時に振幅が減少していき, 極小値をとった後, さらに荷重が増加すると振幅は増加した (図 4). 極小値と思われる図 4 の②の条件の写真では毛先が半円柱の側面に沿うように接触し追従していることが確認できた. そこで, 毛先が荷重の増加に伴いモデルに追従できる振幅の基準を 4mm と定義し, 4mm 以下になる荷重を最小追従荷重とした. 極小値の後, 荷重の増加に伴い振幅が増加した条件下での写真では毛がたわんで半円柱の基部から徐々に毛先が離れている状態が観察された. 最小追従荷重と同様の振幅 4mm を超えると毛先がモデル基部から離れて追従性の低下が確認できた (図 4, 写真③). 以上から, 追従可能な上限の荷重の定義づけも必要と考え, その基準として振幅が 4mm 以下になる最も大きな荷重を最大追従荷重とし, 最小追従荷重から最大追従荷重までの範囲を「追従荷重範囲 = 最大追従荷重 - 最小追従荷重」と定義した (図 4). 最小および最大追従荷重は, 歯ブラシの振幅が 4mm となる前後の荷重における測定値間の傾き (mm/gf) から一次関数を用いて算出した. 歯ブラシの種類と最小追従荷重, 最大追従荷重, 追従荷重範囲に関して一元配置分散分析を行い, その後に Tukey の多重比較検定を行った ($p < 0.01$, $p < 0.001$). なお, RO-S の 700gf については 600gf から得られた一次関数によって算出される値を推定値として用いた. 統計解析には SPSS ver25 (IBM) を用いた.

【結果】

1. 研究 A

(1) 清掃性: 剥離面積と剥離プロファイル

剥離プロファイルは, 歯ブラシの種類および荷重で異なっていた (図 5, 表 2). ST-M は 50gf で完全剥離を認めなかったために評価できなかったが, 100gf で A 型, 200gf で B 型, 300gf で C 型となった. RO-M は 50gf で A 型, 100gf で B 型, 200gf および 300gf で C 型であった. FU-M はすべて C 型で, 50gf では植毛部幅の中央部のみで剥離し, 荷重が増加するとその幅は広がった.

完全剥離面積の平均 (SD) は, ST-M, RO-M, FU-M の順に 50gf で 0.0(0.0)mm², 29.9(0.5)mm², 14.0(1.6)mm², 100gf で 13.9(1.4)mm², 60.1(0.5)mm², 41.9(0.7)mm², 200gf

で 45.9(0.7)mm², 82.7(1.1)mm², 59.7(1.6)mm², 300gf で 62.8(1.5)mm², 87.2(0.7)mm², 71.6(1.4)mm² であり, 全荷重で ST-M<FU-M<RO-M であった (図 6a). 完全剥離面積は, 分散分析において荷重および歯ブラシの種類で有意差があり (p<0.01), その後の多重比較においてもすべての群間に有意差を認めた (p<0.01) (表 3 a).

完全+部分剥離面積 (図 6b) は, 50gf では歯ブラシの種類による大きな差は認めなかったが, 100gf 以上の荷重では RO-M が最も大きかった. 完全+部分剥離面積は, 荷重および歯ブラシの種類で有意差が示され (p<0.01), 50gf と他の全荷重, 100gf と 300gf, ST-M と RO-M の間に有意差が認められた (p<0.05, p<0.01) (表 3b). 歯ブラシの種類と荷重の間には, 有意な交互作用が認められ (p<0.01), 剥離面積は荷重の影響を受け, その影響は歯ブラシの種類によって異なっていた.

(2) ヘッドの挙動：振幅

各歯ブラシのヘッドの移動軌跡 2 往復分を図 7 に示した. 50gf, 100gf ではすべての歯ブラシで, モデルを乗り越える際に生じる 4 つの移動軌跡の波形のピークが明瞭に観察された. RO-M のみ 50gf のピークは他の荷重と歯ブラシに比較して大きかった. ST-M, FU-M は 300gf でヘッドの上下動が大きく, ピークの位置もずれており複雑な運動をしていた. RO-M は 300gf で上下動が大きくなるが, 乗り越える際のピークの位置は低荷重とほぼ同様であった. ヘッドの振幅の平均(SD)は 50 gf, 100gf, 200gf, 300gf の順に ST-M で 3.9(0.1)mm, 4.0(0.2)mm, 7.6(0.1)mm, 10.5 (0.1) mm, RO-M で 6.5(0.1) mm, 4.9(0.1) mm, 5.0(0.1)mm, 7.7(0.1)mm, FU-M で 3.5(0.1)mm, 3.5(0.1)mm, 8.5(0.1) mm, 12.1(0.2) mm であった. (図 8, 表 4). 振幅は, 二元配置分散分析, その後の検定で, 各歯ブラシ, 荷重のすべての群間において有意差を認めた (p<0.01).  ラシ別の荷重に関しては一元配置分散分析ではすべての歯ブラシに有意差 (p<0.01) があり, その後の検定では, ST-M と FU-M は 50gf と 100gf 間, RO-M は 100gf と 200gf 間以外のすべての組み合わせに有意差 (p<0.01) を認めた. 歯ブラシの種類と荷重の間には, 有意な交互作用が認められ (p<0.01), ブラッシング時のヘッドの振幅は荷重の影響を受け, その影響は歯ブラシの種類によって異なっていた.

(3) ヘッドの動きと荷重による変化

Y 軸加速度と X 軸角速度を用いてヘッド位置を算出し, 各歯ブラシの刷掃 1 往復時のヘッドの動きと荷重による変化を図 9 に示した.

2. 研究 B

(1) ブラッシング時のヘッドと毛先の観察

撮影した連続写真から 50gf, 100gf, 200gf, 500gf における各歯ブラシを前方方向に動かした際にモデル頂点付近を通過した時の写真を代表画像として図 10 に示した. すべての歯ブラシで荷重が増加すると毛がたわんでいた. 50gf では ST-S のみモデルの頂点付近に毛先の接触を確認できたが, それ以外は頂点より高い位置にヘッドが跳ね上げられている様子が観察された. 200gf では RO-S 以外はモデルに追従しており, 半円柱の基部から頂点に

かけて毛が接触していた。500gf では毛先が RO-S<ST-LL<ST-L<ST-S の順でたわんでいるのが確認でき、すべての歯ブラシで半円柱のモデルの基部に毛先が届かない非接触部分を認めた。500gf の非接触部分は ST 毛では 200gf に比較して増加しており、追従性の低下が認められた。RO-S は 200gf では頂点にのみ毛が接触していたのに対し、500gf では半円柱の基部から頂点にかけて側面の広い面積に毛が接触しており追従性の向上を認めた。

(2) ヘッドの挙動：振幅

各歯ブラシにおける荷重別の振幅と AZ の結果 (表 5, 6) に基づいて、図 11 を作成した。振幅は、すべての歯ブラシで 50gf に比較して荷重増加に伴って減少し、ST-LL では 300gf, ST-L と ST-S では 200gf, RO-S では 600gf で極小値を示した後、増加に転じた。その後、ST-L は 500gf, ST-S は 600gf より高荷重で減少に転じた。

AZ は、荷重増加によって振幅が極小値を示した荷重値まではすべての歯ブラシで減少を認めた。ST 毛の歯ブラシの AZ は振幅が極小値を示した荷重で最小値となり、荷重増加後もその値を維持する傾向を認め、ST-S のみ 600gf で増加に転じた。RO-S は荷重増加に伴い減少した。最小および最大追従荷重ともに ST-S<ST-L<ST-LL<RO-S の順で、追従荷重範囲は ST-S<ST-L<RO-S<ST-LL であった (表 7a)。最小および最大追従荷重、追従荷重範囲に関して分散分析を行った結果、歯ブラシの違いによる差を認めた ($p<0.001$)。その後の多重比較検定では、最小追従荷重は歯ブラシの種類すべて ($p<0.01$, $p<0.001$)、最大追従荷重は ST-L と ST-S 以外の群間 ($p<0.001$)、追従荷重範囲は ST-LL と RO-S, ST-L と ST-S 以外の群間 ($p<0.01$, $p<0.001$) に有意差を認めた (表 7b)。

【考察】

本研究などでは、障害児者に適した客観的な歯ブラシの選択指標の確立に取り組んでおり、歯ブラシ機能評価モデルを開発し、様々な機能評価を行ってきた⁷⁻¹⁰。荷重と清掃性に関する検討において、低荷重では清掃性が低く、荷重が増加すると清掃性が向上することを明らかにした^{7,10}。しかし、日常臨床においてブラッシングの力が強すぎる場合は歯肉損傷などの為害性を認めることがあり、拒否の原因となりうる⁴。したがって、障害児者に適切な歯ブラシを選択するためには、ブラッシングの力による影響を考慮しなければならない。

研究 A ではブラッシング時の適正荷重を検討するために既に報告⁷した清掃性と追従性に加え、慣性センサを用いてヘッドの挙動を波形でとらえたところ、振幅という新たな指標を確立することができた。振幅が大きいということは、ヘッドが上下方向に大きく動いたことを示しており、適切に毛がモデルに接していないと予想できた。各荷重での振幅を比較することで各歯ブラシの毛が適正にモデルに接触する荷重 (以下、適正荷重とする) の指標になる可能性が示唆された。振幅は、各歯ブラシおよび荷重で差が認められた (図 8)。ST-M と FU-M では 50gf と 100gf, RO-M では 100gf と 200gf で振幅が小さく、適正荷重である可能性が考えられた。そこで、各歯ブラシで振幅が小さかった荷重時の清掃性を磁性膜の剥離面積で確認した。剥離面積は ST-M<FU-M<RO-M であり、ST-M は他よりも清掃性が

低く、RO-M は高い清掃性を認めた。また、剥離プロファイルは、ST-M の 100gf および RO-M の低荷重では A 型で、荷重が増加するとともにモデルの半円柱の頂点付近から基部付近に剥離が連続した C 型になった。FU-M はすべての荷重で C 型であった。剥離プロファイルは、ヘッドの挙動の違いを反映している⁸⁾。既に、SHC モデルを用いて毛の太さが異なる歯ブラシの剥離プロファイルを検討し、同荷重条件であっても、太い毛は細い毛に比較して毛のたわみが少ないために毛がモデルの基部に近い下方で接触し、細い毛はたわみが大きいため頂点に近い上方で接触することを報告した⁸⁾。各歯ブラシのプロファイルとヘッドの位置から予想された刷掃 1 往復時のヘッドの動きについて図 9 に示した。RO-M の 50gf の剥離プロファイルが A 型となったのは、他の歯ブラシに対して毛が太いためモデルを超える際にモデルの側面に毛が接触した後、ヘッドが跳ね上がった結果と推察した(図 9a)。同荷重の ST-M および FU-M は、小さい振幅で半円柱の頂点を超える時のみヘッド位置が上方へ移動していることから毛先がモデルに追従していたと推察された(図 9c,e)。しかし、剥離面積が狭いことから清掃性は低いと予想された。すべての歯ブラシにおいて、高荷重になると振幅が大きくなり、C 型に近づいた。研究 A の条件で最も高荷重である 300gf のヘッドの挙動(図 9b,d,f) ではすべての歯ブラシでヘッドが前方に移動する際、モデルを乗り越える手前で下方に大きく沈みこみ、その後、短時間で頂点に向かって上方へ移動していた。この動きは高荷重のために毛が柔軟性を失うほど大きくたわみ、毛の脇腹部分でモデルに接触したと推察された。その結果、接触面積の増加によって C 型になったと考えられた。この条件を口腔内で想定すると強いブラッシングの力によってたわんだ毛が歯肉に接触しながら磨く状態となり、歯肉損傷などの原因になる可能性が予想された。以上から、振幅が大きくなる要因として、ヘッドが跳ね上がる動きと毛がたわんで沈み込んだ状態が考えられた。研究 A の清掃性と挙動を組み合わせ考察した結果、低すぎる荷重の場合、太い毛では毛先がモデルに接触すると跳ね上がり、清掃性が期待できず、細い毛ではモデルに追従するものの、清掃効率は低くなった。高すぎる荷重では、毛が大きいたわむために毛の脇腹部分が塊となって接触するために為害性を生じる可能性が予想された。どちらの荷重条件においても毛先が適切に歯面に追従しているとはいえ、効果的なブラッシングには高い追従性を示す適正荷重の範囲の検討が重要と考え、研究 B を行った。

研究 B では 50gf から 700gf の広い荷重条件下でヘッドの大きさと毛先形状の異なる歯ブラシを用いて、振幅と荷重の関係の解析を行い、毛先が適切にモデルに追従できる荷重範囲を検討した。近年、障害児者のブラッシングスキルを補う目的で幅広植毛歯ブラシの使用に関する報告¹⁶⁾を認める。そこで、研究 B ではヘッドの大きさにも注目した。

振幅の結果から毛先がモデルに適切に追従する追従荷重を検討したところ、RO 毛の RO-S が ST 毛の歯ブラシに比較して最小追従荷重が 3~5 倍以上の約 350gf となった。一般的なブラッシング力とされる 200g 程度^{12,13)}では追従性が得られにくい可能性が予想された。連続写真においても低い荷重の RO 毛は毛先が全くモデルに接触しておらず、ST 毛に比較して追従性が劣る可能性が示された。本結果は研究 A と同様であった。したがって、ブラ

ッシング時に力がかけられない障害児者が RO-S を使用すると隣接面などの追従性が求められる部分の有効な清掃が難しいと推察された。ST 毛の歯ブラシ間で比較したところ、最小および最大追従荷重、追従荷重範囲のすべてが、ヘッドの植毛部面積の広い順に高値を示した。ST-LL の最小追従荷重は、ST-S よりも約 50gf 高く、最大追従荷重は ST-S の約 1.5 倍の値を示し、広い荷重条件で高い追従性と予想された。このことから力のコントロールが困難な障害児者であっても、幅広植毛歯ブラシを選択することによって本人のブラッシングスキルに影響されずに毛先を清掃面に追従できる可能性が示唆された。

研究 B では、さらに振幅以外にヘッドの垂直方向の加速度である AZ を評価した。AZ が小さいブラッシングは、毛の柔軟性が保てている状態と予想される。過去の研究において、小さい AZ では追従性が高く、滑らかな磨き心地となる可能性を報告し、ブラッシング時の痛みや不快感などによってブラッシングを拒否する場合には AZ が小さい条件となる歯ブラシの使用がブラッシングを受け入れるきっかけとして応用できることを考察した⁷⁾。すべての ST 毛の歯ブラシが RO 毛よりも小さい AZ であった。荷重増加とともに AZ は減少し、ST 毛では各歯ブラシの振幅が極小値を示す荷重まで減少し、その値を維持していた。コンパクトヘッドの ST-S の AZ は、振幅が極小値を示す 200gf から 500gf まで一定の値を示した後に 600gf で急激に増加を認め、その後は再び減少した。AZ の急激な増加は、毛が大きくたわんで弾性限を超えたことで柔軟性が失われ、モデルを乗り越える際の衝撃を吸収できなくなったためと推察した。この結果は、ST-S でのみ認められた。ST-S は ST-LL に比較して植毛部面積が約半分と小さく、毛 1 本にかかる荷重が約 2 倍となるためにたわんだと考えられた。AZ が大きいブラッシング時の毛は弾性限を超えている可能性が高い。弾性限を超えることは毛先の損耗の要因になり、清掃性の低下に影響する¹⁷⁾。ST-L と ST-S 間には最大追従荷重および追従荷重範囲に有意差を認めないものの、600gf における AZ は大きく異なっていたことから、毛の損耗や広がりには差が生じると推測された。毛はたわみを繰り返すことによって損耗しやすいが、たわみやすきは力の強さだけでなく、毛の半径の 4 乗でたわみにくくなり、毛丈の 3 乗に比例してたわみやすくなるため、細くて長いほどたわみやすい¹⁸⁾。また、ST 毛は毛が円錐状になっているため、先端ほど変形しやすくなる¹⁸⁾。実際、ST 毛は外観上の変化を認めない状態であっても、毛先を拡大すると変形しているという報告もある^{17,19)}。歯ブラシは長期使用すると毛先の損耗によって、歯垢除去効果の低下や歯周組織の損傷を起こすため、一般に 4 週間で交換すべきとされる¹⁷⁾。しかし、毛先が変形しやすい ST 毛を選択する場合には、強いブラッシング力や狭い植毛部幅などが損耗を進行させる要因となるため、推奨される交換時期にとらわれずに交換を考慮する必要性が示された。

以上から、ブラッシング時の力のコントロールが難しい障害児者には、追従荷重範囲が広い歯ブラシを選択することが効率的なブラッシングにつながると考えられた。本研究の対象歯ブラシの中では、植毛部面積が広い ST 毛の ST-LL が最もその条件に近かった。

ブラッシングに関する機能の 3 領域において様々な問題を認める障害児者にとって、効

果的で効率的なブラッシングを導くためには、各人の障害特性や抱える問題を十分に把握したうえで、それぞれのブラッシングスキルに配慮した歯ブラシ選択が重要である。障害児者の特性を考慮した歯ブラシ選択を実現するために、本研究ではブラッシング時のヘッドの挙動を振幅という新たな指標で評価し、歯ブラシの毛先形態と適正荷重について検討することで、客観的な歯ブラシの選択プログラム確立の一助となった。一方で、本研究に用いた SHC モデルは、隣接面や平滑面における清掃性の評価はできない。また、今回の条件は障害児者に多いとされる横みがきを想定した単純な動きとモデルによる評価である。細部到達性の向上についても検討を重ねていきたい。

【結論】

障害児者が効果的で効率的なブラッシングを行うためには、それぞれのブラッシングスキルに配慮した歯ブラシの選択が重要である。客観的な歯ブラシ選択プログラム確立を目指し、本研究では歯ブラシ機能評価モデルを用いて歯ブラシの機能について評価した。その結果、振幅という新しい指標を用いて歯ブラシの挙動の評価が可能となり、毛先形態や植毛部面積によって適正荷重が異なることを明らかにした。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

【文献】

- 1) 遠藤眞美. 使いこなせていますか？歯ブラシなどの口腔清掃用器具 障害児での口腔清掃用具の使用法・指導法. 小児歯科臨床 2016 ; 21 : 29-32.
- 2) 梶美奈子. 障害児(者)に対するう蝕予防. 障歯誌 2017 ; 38 : 127-132.
- 3) 日本障害者歯科学会. スペシャルニーズデンティストリー 障害者歯科. 第二版. 東京 : 医歯薬出版 ; 2017. 246-248.
- 4) 石井里加子, 大島邦子, 澤味 規, 他. ブラッシング時の歯ブラシの三次元的運動および荷重の同時解析-方法論について-. 障歯誌 2013 ; 34 : 653-660.
- 5) 丸山直美, 大島邦子, 村井朋代, 他. 刷掃指導効果の検討-三次元動作と歯垢除去効果からの解析-. 日衛学誌 2019 ; 13-2 : 52-60.
- 6) 早崎治明, 大島邦子. 歯みがきについて. 新潟歯学会誌 2014 ; 44 : 1-11.
- 7) 遠藤眞美, 地主知世, 三枝優子, 他. 障害児者に適した歯ブラシ選択のための基礎的研究-第1報:毛先の追従性と清掃性-. 障歯誌 2020 ; 41 : 72-81.
- 8) 遠藤眞美, 地主知世, 山岸敦, 他. 歯ブラシの機能評価に関する研究-歯ブラシの毛の硬さと刷掃速度が清掃特性に及ぼす影響-. 日歯医療管理誌 2020 ; 55 : 61-68.
- 9) 遠藤眞美, 地主知世, 山岸敦, 他. 歯ブラシの機能評価に関する研究 第2報-歯ブラシの毛の性質が清掃性と毛先の動きに及ぼす影響-. 日歯医療管理誌 2021 ; 55 : 223-228.
- 10) 三枝優子, 遠藤眞美, 地主知世, 他. 障害児者に適した歯ブラシ選択のための基礎的研

- 究 第3報：幅広植毛歯ブラシの平面モデルにおける清掃性の評価. 障歯誌 2021；42：160-169.
- 11)高柳篤史. 「総合治療 必要な技術と個の多様性に対応した歯科医療へ」予防編「はみがきの常識・非常識」：科学的視点で考える，歯みがき成功へのアプローチ. 歯科学報 2007；107：665-669.
- 12)Nakajima T, Nakakura-Ohshima K, Hanasaki M, et al. Difference of tooth brushing motion between dental hygienists and mothers-Focusing on self-tooth brushing and caregivers'-toothbrushing. Dent Oral Craniofac Res 2017；4：1-6.
- 13)中島康則. 成人における手用歯ブラシによる歯みがき圧および歯みがき動作の回数と歯垢清掃効果との関係について. 口衛誌 1971；21：193-216.
- 14)岡本卓真, 柳瀬 博, 平岡俊章, 他. 知的障害児・者の歯みがき圧について-健常児・者との比較-. 障歯誌 2008；29：7-13.
- 15)日本工業規格 JIS S3016:1995. <https://kikakurui.com/s/S3016-1995-01.html>(アクセス日：2021.3.26.)
- 16)渡辺孝章, 小林一行. 最近の歯ブラシ事情ーなぜ今，幅広植毛歯ブラシなのかー. 日歯周誌 2018；60：87-94.
- 17)上田雅俊, 稲田芳樹, 今坂章, 他. いわゆる Bass technique に用いる歯ブラシの線維先端の損耗に関する研究 (I) -とくにはみがき圧を考慮して-. 日歯周誌 1981；23：367-377.
- 18)高柳篤史. セルフケア指導 脱！誤解と思い込み. 第1版. 東京：クインテッセンス出版；2021. 60.
- 19)高柳篤史. 歯ブラシの毛先. 歯科学報 2014；114：27-29.

【図表】

表1. 試験歯ブラシ

	研究A			研究B			
	ST-M	RO-M	FU-M	ST-LL	ST-L	ST-S	RO-S
列	4列	4列	4列	6列	5列	3列	3列
植毛部長	19.8mm	22.3mm	20.2mm	22.0mm	20.0mm	22.0mm	20.0mm
特徴	スーパー テーパード毛	平切り	複合段差植毛	スーパー テーパード毛	スーパー テーパード毛	スーパー テーパード毛	平切り
側面							
正面							
毛先 (拡大)							

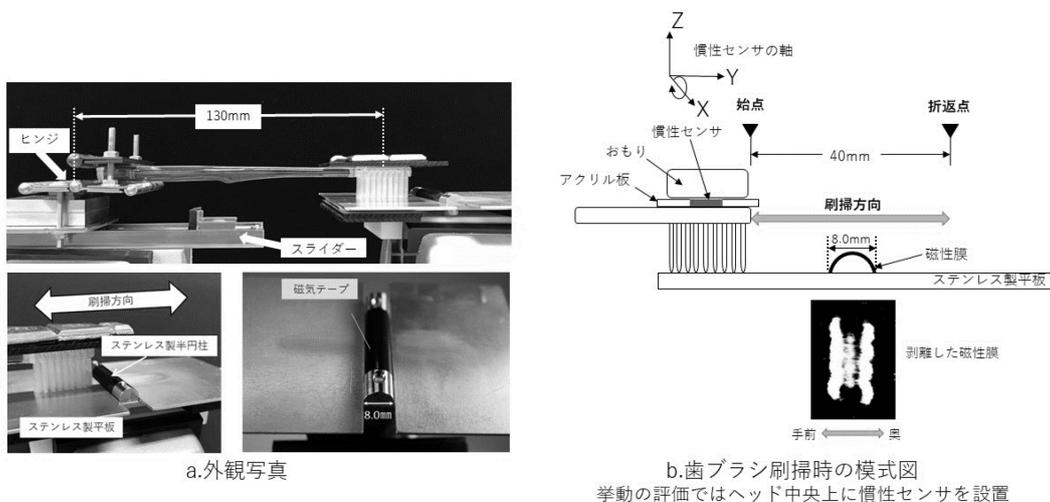
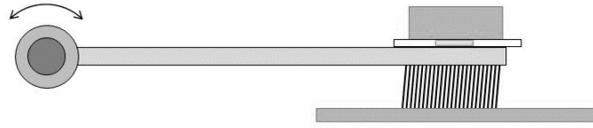
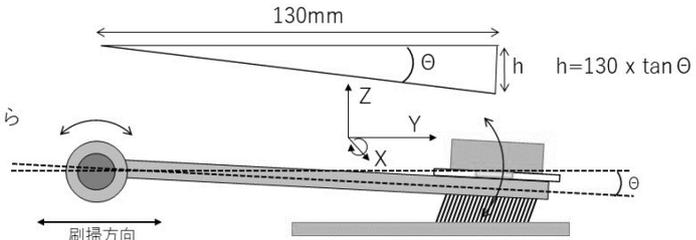


図1. 研究Aに使用した歯ブラシ評価モデル

①ブラッシング前：設置時
ヘッドは平板に対して水平



②ブラッシング時
ブラッシング時のX軸の角速度から
ヘッド位置を算出



③振幅を求める
ヘッドが正の方向へ移動した最大
値（正最大値）と負の方向に移動
した最小値（負最大値）の和を
振幅と定義
振幅 = 正最大値 + |負最大値|

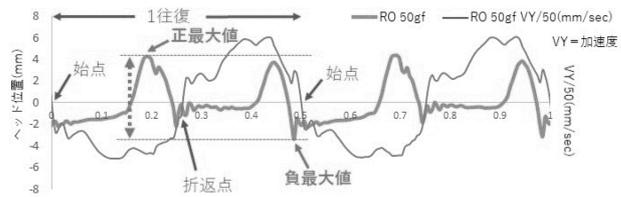
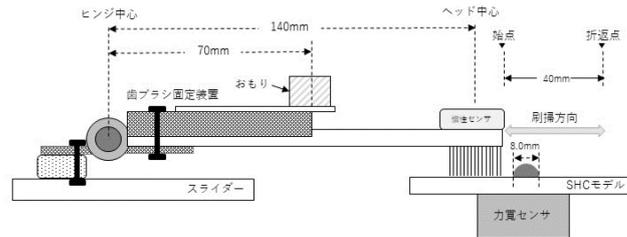
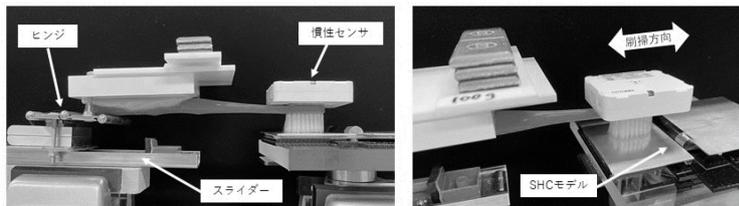


図2. ヘッド位置の求め方



a.模式図



b.外観写真

図3. 研究Bに使用した歯ブラシ評価モデル

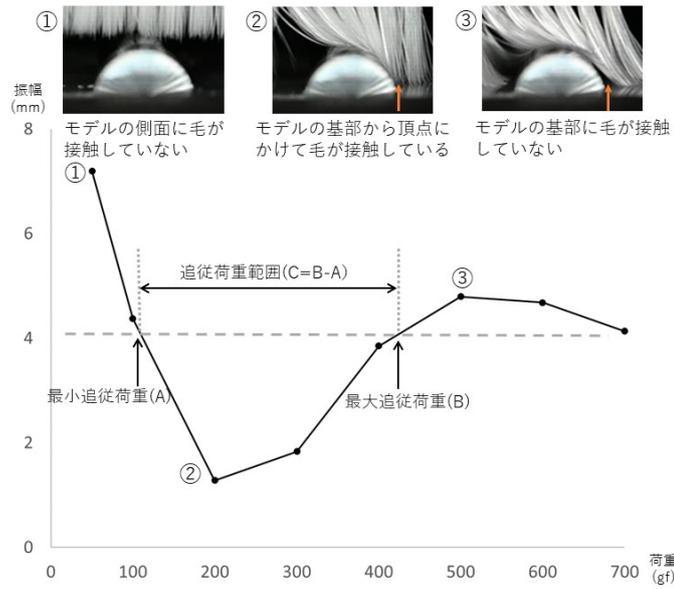


図4. 追従荷重範囲の定義および各条件におけるモデルと毛先の接触状態の写真

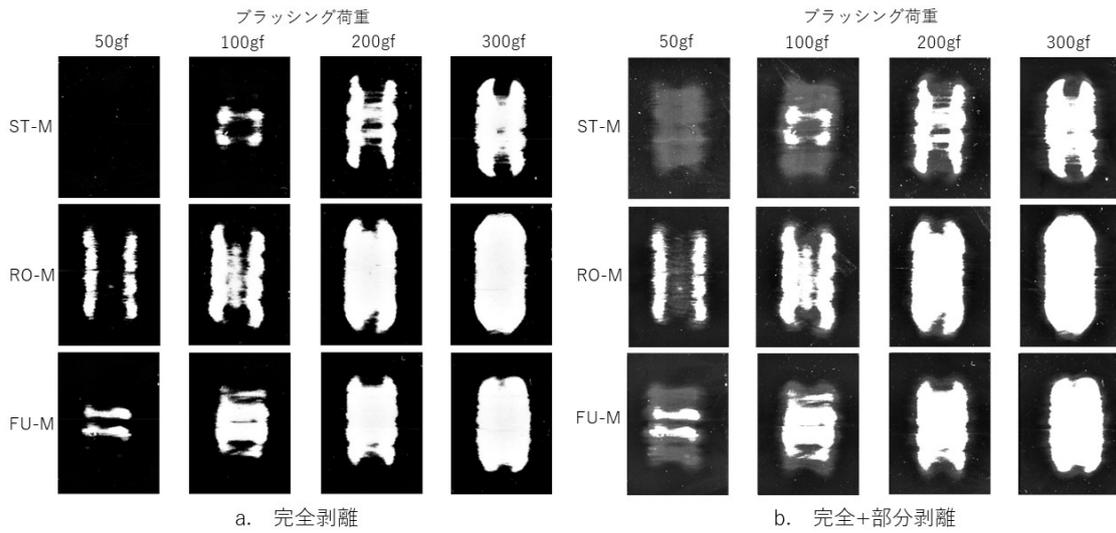


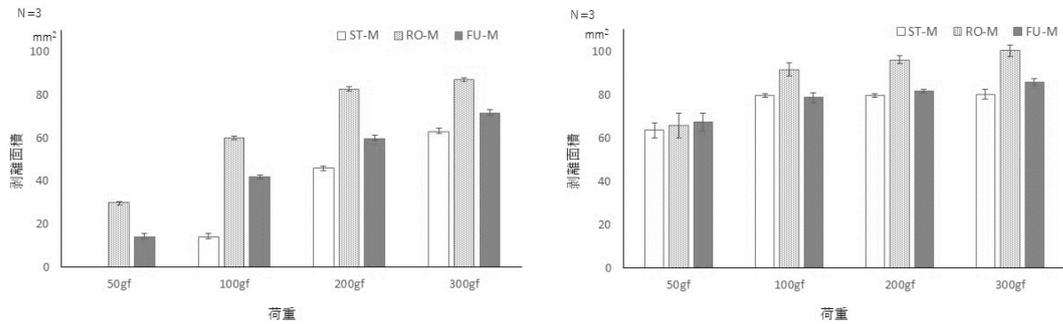
図5. 剥離プロファイルの代表画像

表2. 剥離プロファイル結果のパターン分類

	50gf	100gf	200gf	300gf
ST-M	なし	A	B	C
RO-M	A	B	C	C
FU-M	C	C	C	C



剥離パターンの分類代表画像



a 完全剥離の面積

b 完全+部分剥離の面積

ブラッシング荷重： $p < 0.01$ 歯ブラシの種類： $p < 0.01$
 ブラッシング荷重と歯ブラシの種類の交互作用： $p < 0.01$
 二元配置分析

ブラッシング荷重： $p < 0.01$ 歯ブラシの種類： $p < 0.01$
 ブラッシング荷重と歯ブラシの種類の交互作用： $p < 0.01$
 二元配置分析

図6. 荷重別の剥離面積

表3 ブラッシング後の磁性膜の剥離面積に関する多重比較結果

a. 完全剥離面積に関する多重比較結果

b. 完全+部分剥離面積に関する多重比較結果

a-(1) 荷重による多重比較

b-(1) 荷重による多重比較

	50gf	100gf	200gf
100gf	**		
200gf	**	**	
300gf	**	**	**

	50gf	100gf	200gf
100gf	*		
200gf	**	n.s.	
300gf	**	*	n.s.

** : $p < 0.01$ (TukeyHSD)

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$ (TukeyHSD)
 n.s. : not significant

a-(2) 歯ブラシの種類による多重比較

b-(2) 歯ブラシの種類による多重比較

	ST-M	RO-M
RO-M	**	
FU-M	**	**

	ST-M	RO-M
RO-M	**	
FU-M	n.s.	n.s.

** : $p < 0.01$ (TukeyHSD)

** : $p < 0.01$ (TukeyHSD), n.s. : not significant

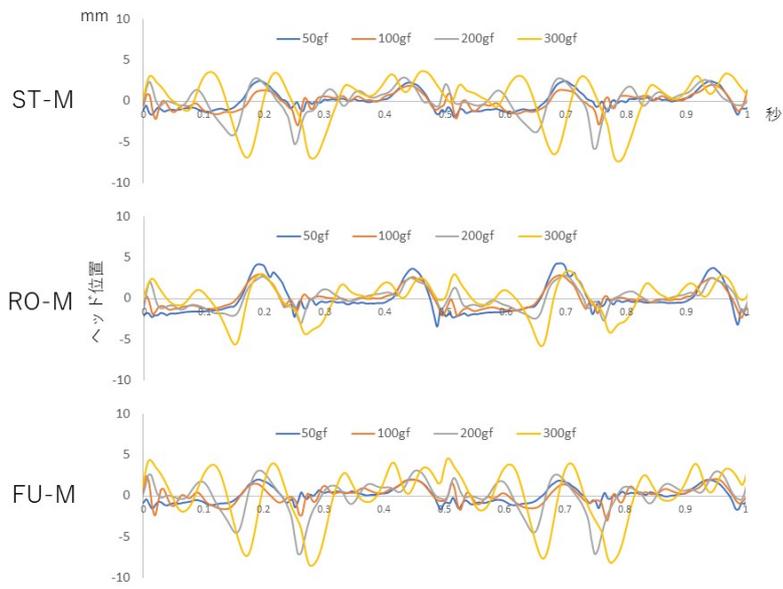


図7. ヘッドの移動軌跡

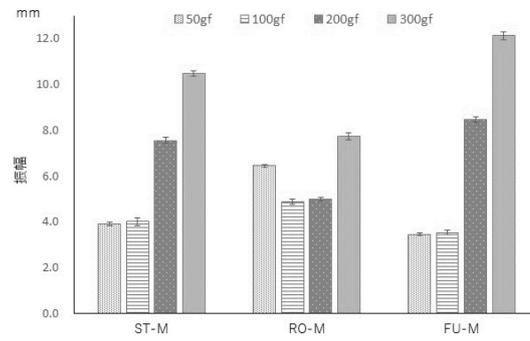


図8. 振幅

ブラッシング荷重: $p < 0.01$ 歯ブラシの種類: $p < 0.01$
 ブラッシング荷重と歯ブラシの種類の交互作用: $p < 0.01$
 二元配置分散分析

表4. 振幅に関する多重比較結果

a. 荷重による多重比較

	50gf	100gf	200gf
100gf	**		
200gf	**	**	
300gf	**	**	**

** : p<0.01(TukeyHSD)

b. 歯ブラシの種類による多重比較

	ST-M	RO-M
RO-M	**	
FU-M	**	**

** : p<0.01(TukeyHSD)

c. 歯ブラシの種類における荷重による多重比較

	c-(1)ST-M			c-(2)RO-M			c-(3)FU-M		
	50gf	100gf	200gf	50gf	100gf	200gf	50gf	100gf	200gf
100gf	n.s.			100gf	**		100gf	n.s.	
200gf	**	**		200gf	**	n.s.	200gf	**	**
300gf	**	**	**	300gf	**	**	300gf	**	**

** : p<0.01(TukeyHSD), n.s. : not significant

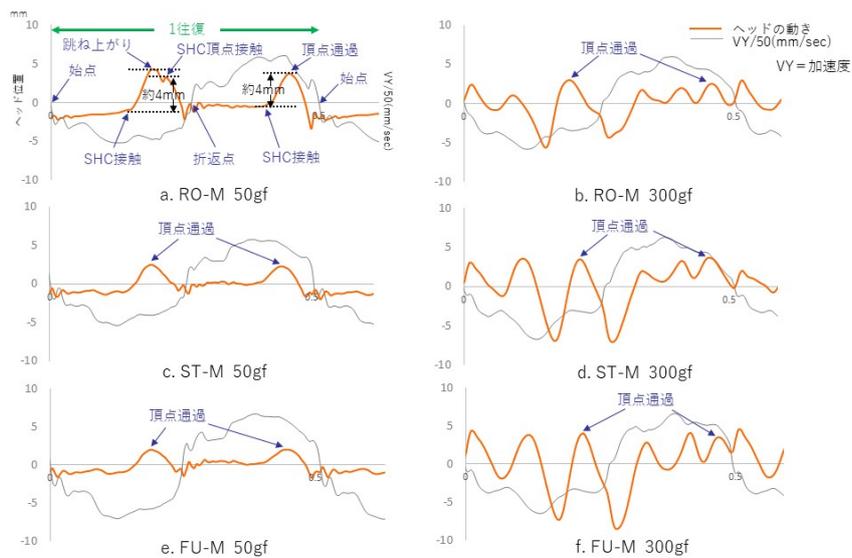


図9. ヘッ드의動きと荷重による変化

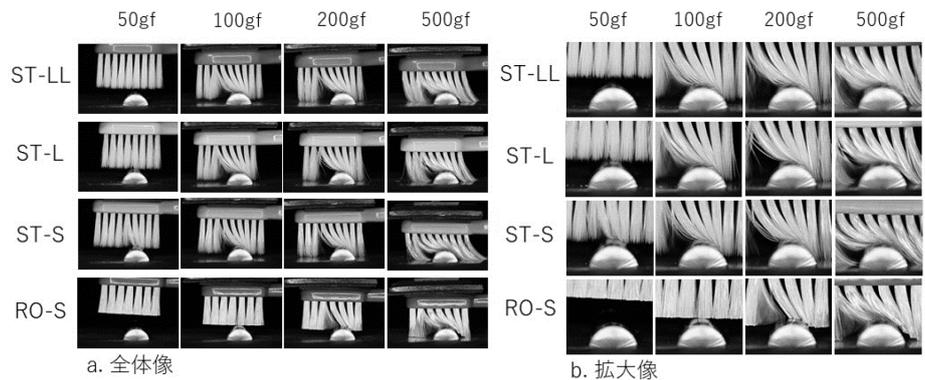


図10. SHCモデル通過時の代表画像

表5. 荷重別の振幅

荷重	mm (SD)			
	ST-LL	ST-L	ST-S	RO-S
50gf	7.48 (0.25)	7.04 (0.25)	5.32 (0.02)	12.19 (0.34)
100gf	4.71 (0.02)	4.51 (0.13)	2.31 (0.07)	9.01 (0.13)
200gf	1.51 (0.15)	1.17 (0.11)	1.31 (0.14)	5.39 (0.78)
300gf	1.12 (0.06)	1.78 (0.07)	3.50 (0.10)	5.26 (0.07)
400gf	2.84 (0.18)	4.11 (0.25)	4.58 (0.32)	2.65 (0.20)
500gf	3.89 (0.48)	5.11 (0.42)	5.02 (0.27)	2.60 (0.04)
600gf	4.08 (0.26)	4.73 (0.09)	5.92 (0.24)	1.66 (0.11)
700gf	4.10 (0.85)	4.13 (0.08)	4.35 (0.31)	2.69 (0.26)

n=3

表6. 荷重別のAZ

荷重	G (SD)			
	ST-LL	ST-L	ST-S	RO-S
50gf	15.49 (2.50)	14.75 (0.12)	8.73 (0.42)	24.92 (0.37)
100gf	8.61 (0.81)	9.49 (0.34)	4.62 (0.72)	23.63 (1.84)
200gf	3.50 (0.97)	1.78 (0.27)	1.07 (0.10)	20.59 (4.33)
300gf	1.61 (0.39)	1.68 (0.12)	1.81 (0.20)	15.42 (3.31)
400gf	3.10 (1.60)	1.73 (0.26)	2.13 (0.16)	9.84 (0.65)
500gf	1.59 (0.33)	1.85 (0.25)	1.95 (0.54)	9.96 (1.31)
600gf	1.55 (0.17)	1.54 (0.12)	7.25 (0.69)	7.47 (0.87)
700gf	1.90 (0.15)	1.50 (0.32)	6.32 (0.21)	4.26 (0.75)

n=3

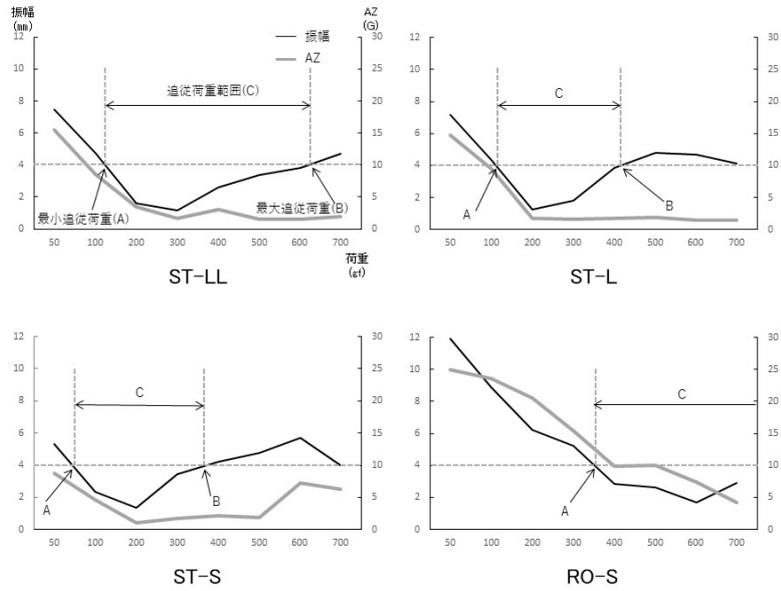


図11. 振幅, AZ, 追従荷重範囲

表7. 最小および最大追従荷重, 追従荷重範囲の推測値および統計結果

a. 追従荷重の推測値 gf (SD)

	最小追従荷重	最大追従荷重	追従荷重範囲
ST-LL	127.7(1.3)	602.0(32.3)	478.3(32.1)
ST-L	111.8(2.6)	419.6(17.2)	307.9(16.7)
ST-S	72.2(0.6)	378.4(27.0)	306.1(27.1)
RO-S	351.7(4.3)	797.9(27.3)	446.2(27.0)

一元配置分散分析：歯ブラシの種類 n=3
p<0.001

b. 歯ブラシの種類による多重比較

	b-(1)最小追従荷重			b-(2)最大追従荷重			b-(3)追従荷重範囲		
	ST-LL	ST-L	ST-S	ST-LL	ST-L	ST-S	ST-LL	ST-L	ST-S
ST-L	*			ST-L	**		ST-L	**	
ST-S	**	**		ST-S	**	n.s.	ST-S	**	n.s.
RO-S	**	**	**	RO-S	**	**	RO-S	n.s.	* **

TukeyHSD *: p<0.01, **: p<0.001, n.s.: not significant