

障害児者の歯ブラシ選択に向けた清掃性に関する基礎的研究

A basic study of the cleaning ability for toothbrush selection for special needs patients

三枝 優子

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】

障害児者の効率的なブラッシングには、適切な歯ブラシの選択が重要である。しかし、歯ブラシの機能による客観的な選択の指標はない。本研究では、適切な歯ブラシ選択のために歯ブラシの客観的指標を得ることを目的に平板に直径 8.0mm の半円柱を設置した凸型単半円柱モデル（Single half cylinder model : SHC モデル）と平面モデルの 2 つの評価モデルにビデオ（磁気）テープ法を応用して機能を評価した。

実験 A では、SHC モデルを用いて、フラットな歯ブラシ RO-S1、スーパーテーパード毛 ST-M、複合段差植毛 FU-L を用いて追従性と清掃性を評価した。追従性の評価には、ヘッドに固定した慣性センサの Z 軸の加速度を用いた。清掃性は、磁気テープの刷掃面積を用いて評価した。実験 B では、平面モデルを用いてヘッドの大きさが異なるスーパーテーパード毛の歯ブラシ 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-S2 を用いて清掃性、毛のたわみの指標として臨界ストローク、および刷掃時の垂直方向における刷掃幅の増加量  $\Delta W$  を評価した。

実験 A の結果から、RO-S1 は毛先が接触した領域の清掃性は高いものの追従性が低く、ST-M は追従性が高いが低い清掃性、FU-L は低荷重から高い清掃性で追従性は RO-S1 および ST-M の中間であった。実験 B において、完全剥離面積は、回数や荷重に関係なく  $ST-LL < ST-L < ST-S < RO-S2$  の順に広がった。完全 + 部分剥離は、本条件の中で低い荷重、少ないブラッシング回数でヘッドサイズが大きい ST-LL が最も小さい値であった。一方、高荷重およびブラッシング回数が多い場合には大きいヘッドの方が広い面積となった。臨界ストロークは、毛の太い ST-LL が最も短く、また、ヘッドが大きいと短かった。 $\Delta W$  はラウンド毛に比較してスーパーテーパード毛で大きく、スーパーテーパード毛の歯ブラシ間ではヘッドが大きいほど小さかった。

障害児者の場合、歯ブラシを清掃面に効率的に接触させることが困難なことも多く、高い追従性が求められる。このような場合、本結果を組み合わせると複合段差植毛や大きいヘッドのスーパーテーパード毛が有効であると推察された。特に、スーパーテーパード毛では清掃性が低いことから、大きいヘッドを選択することで接触面積の確保が可能となると示唆された。ただし、大きいヘッドの場合、毛先に対する力の分散が生じることから弱すぎない力と回数増加に考慮する必要性が明らかとなった。

障害や各人の特性とモデルを用いて得られた各歯ブラシの機能評価結果を組み合わせることで、適切な歯ブラシの選択指標の確立に寄与できると考えられた。

**【Abstract】**

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

This paper consists of two studies. First, SHC model consisting of a semi-circular rod with a diameter of 8.0mm fixed to a flat plate was used for evaluation of cleaning ability and comfort of the toothbrushes. Three kinds of toothbrushes were used; RO-S1: flat profile, ST-M: super tapered bristles, FU-L: multi tufts. Second, three aspects were measured using flat model: the surface cleaning ability, the critical stroke for the movement of the tip of the bristles, and the extent of increase of bristle in a vertical facing direction of toothbrushing. Three of them had super tapered bristles with different head sizes, the other had rounded bristles with a flat profile.

According to the first study, the cleaning performance of the toothbrush with multi-tufts was higher than that of the other one. In the second study, a large toothbrush could improve the surface cleaning performance under strong force and repeated brushing times, and had the least deflection.

It is suggested that multi tufts or super tapered bristles with a large toothbrush is higher cleaning performance than rounded bristles with a compact head for person with special needs who have low brushing skills. However, when it is necessary for them to use a large one, they should use stronger brushing force and repeated brushing times than one with a compact head.

**【Key words】**

歯ブラシ, 障害者, 口腔保健, 清掃性, 機能評価

toothbrush, person with special needs, oral health, cleaning ability, functional index

## 【緒言】

歯ブラシを用いたブラッシングを代表とする口腔清掃行動は歯科疾患や口腔機能低下の予防に寄与する誰もが行う必要な行為である<sup>1)</sup>。健常者に比べて口腔管理が困難な障害児者の場合、適切なブラッシングの習慣化は本人の QOL の向上が促されるだけでなく、周囲の育児や介護の負担軽減にもつながると考えられる<sup>2)</sup>。ブラッシングを行動科学的に捉えると、口腔清掃に関する認知、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、実行する行動といえる<sup>2,3)</sup>。障害児者はそれらの3領域に何かしらの学習の困難性を認めるために、適切なブラッシングスキルの獲得に苦慮することがある<sup>2-5)</sup>。したがって、障害児者がブラッシングを日常の生活習慣として定着するためには、ブラッシングに関して対象者の苦慮している領域を考慮した環境整備が求められる<sup>2)</sup>。その対応として介助者による仕上げ磨きなど障害によってできないことを周囲が支えることも一つの方法であるが、社会参加が心身機能の向上にも寄与するという ICF（国際生活機能分類）の概念を基に考えると対象者本人のセルフケアの実行への支援が求められる<sup>5)</sup>。したがって、個人の特性に合わせた効果的な歯ブラシの適切な選択という環境整備を通して、対象者本人のブラッシングスキルを引き出すことが重要である<sup>2,4,5)</sup>。

現在、様々な形態や毛の種類歯ブラシが市販されている<sup>1,6,7)</sup>。しかし、それらの歯ブラシがどのような対象者や状況に適しているかについて客観的な機能評価方法や指標が存在しないために、使用者本人や家族、指導する歯科医療者の主観や入手しやすさによって歯ブラシが選択される傾向がある<sup>1,6,7)</sup>。そこで、歯ブラシの客観的な機能評価に基づいた歯ブラシ選択が重要であると考え、歯ブラシの機能評価モデルとして単半円柱モデル<sup>8)</sup>および平面モデル<sup>9)</sup>を用いて歯ブラシの特徴、特に清掃性の違いについて客観的に評価した。

## 【材料および方法】

歯ブラシの清掃性に関する機能評価を行うために、凸型単半円柱モデル（Single half cylinder model：以下、SHC モデルとする）<sup>8)</sup>と平面モデル<sup>9)</sup>を用いた。

### 1. 実験 A：SHC モデルを用いた追従性および清掃性の評価

#### (1) 材料

##### 1) 試験歯ブラシ（表 1）

試験歯ブラシとして、植毛部長さが約 20mm の 3 列平切りの GUM211M<sup>®</sup>（サンスター（株）、大阪）（以下、RO-S1 とする）、4 列スーパーテーパー（以下、ST とする）毛の

システム<sup>®</sup>（コンパクト，ふつう）（ライオン（株），東京）（以下，ST-Mとする），4列で毛丈が不均一な段差植毛のクリアクリーン極太毛束<sup>®</sup>G71（花王（株），東京）（以下，FULとする）を用いた。

## 2) 評価モデルおよび計測装置（図1）

歯ブラシの機能評価は，日本人の歯の幅径を参考に直径を 8.0mm に設定した半円柱を 1 個，平板に設置した SHC モデル<sup>8)</sup>を用いた。

追従性の評価には，SHC モデルを水平に設置した力覚センサ（030YA151U，（株）レプトリノ，長野）に取り付けた計測装置を USB にてパーソナルコンピュータ（以下，PC とする）と接続した。力覚センサのデータはデータロガーソフトウェア（LGR101U，（株）レプトリノ，長野）を使用し，実験時に Z 軸方向に相当する垂直方向の SHC モデルに加わる荷重をリアルタイムで表示するとともに 100Hz のサンプリング速度で PC に記録した。歯ブラシのヘッドに歯ブラシの動くストローク方向が Y 軸、左右方向が X 軸、垂直方向が Z 軸となるように慣性センサ（TSND151，（株）ATR-Promotions，京都）を固定し，Bluetooth にて PC に接続した。評価モデルを刷掃した際に歯ブラシヘッドの動きについて計測用ソフトウェア（SensorController，（株）ATR-Promotions，京都）を用いて加速度を 1000Hz のサンプリング速度で記録した。

清掃性の評価には，毛先が接触した磁気テープの剥離状態によって毛先の清掃面への接触状況と清掃性を評価できるビデオ（磁気）テープ法<sup>10)</sup>を応用した。SHC モデルの半円柱周囲にビデオテープを隙間なく 2 枚巻き付け，半円柱の底面に両面テープで固定した。歯ブラシは把柄（ハンドル）をスライダ（FBW2560XR+160L，THK（株），東京）で固定し，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した。

### （2）方法

#### 1) 計測条件

刷掃時の荷重は，一般的に平均荷重といわれる 170gf<sup>11)</sup>を参考とした。歯ブラシが実際の白歯部を刷掃することを仮定すると本研究で用いた約 20mm の試験歯ブラシは一度に 3 歯程度に触れると予想できるため，その 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難しいと考え，計測荷重を 50gf，100gf，150gf とした。

追従性の評価時は，力覚センサの垂直応力が設定した各荷重になるように PC の画面でリアルタイムのモニタリングしながら調整し，各 5 秒間の計測を行った。

清掃性の評価には，歯ブラシのヘッド部分に 50g，100g，150g のおもりを設置し，歯ブ

ラシの毛先に歯磨剤（ガードハロー<sup>®</sup>，花王（株），東京）を 1.0 g のせ，40mm のストローク，2 Hz のピッチで 50 往復の刷掃を行った．1 条件の計測は 毛の硬さ試験 JIS S3016<sup>12)</sup> の試験と同様に 3 回行った．

## 2) データ処理と統計解析

追従性については，歯ブラシのヘッドに固定した慣性センサの Z 軸の加速度（以下，AZ とする）を用い，5 秒間に各歯ブラシの毛先がモデルを通過した往復動作から得られた 20 回の AZ の最大（ピーク）値を用いて追従性を検討した．AZ は，追従性が低いと歯ブラシがモデルの清掃面を乗り越える際に毛が清掃面に触れずに飛び跳ねるような急速な動きとなるために瞬時に大きくなり，追従性が高い場合はヘッドの動きが滑らかで穏やかな動きとなるので小さくなる．

清掃性の評価は，歯ブラシの刷掃による磁気テープの剥離状態の変化を用いた（図 2）．刷掃終了後に SHC 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）を用いて磁気テープ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）は透明なベースシートが確認できる状態のために撮影時には設置した白色シートの色が透過した白色，部分剥離の領域（以下，部分剥離とする）は薄膜化したことによる透過光の増加および細かい傷である摩耗痕によって表面からの散乱光が増加するために灰色となる（図 2a）．撮影後，画像解析ソフト ImageJ<sup>®</sup>（NIH，USA）を用いて適切な閾値を設定し，撮影画像から完全剥離，部分剥離の計測画像を作成した．その後，完全剥離，完全剥離および部分剥離の合計した面積（以下，完全+部分剥離とする）を測定した（図 2b）．

追従性と清掃性の各結果について，歯ブラシの種類と荷重に関して二元配置分散分析を行った後で Tukey の多重比較検定を行った（ $p < 0.05$ ， $p < 0.01$ ）．統計解析には SPSSver25（IBM）を用いた．

## 2. 実験 B：平面モデルを用いた清掃性の評価

### （1）材料

#### 1) 試験歯ブラシ（表 1）

試験歯ブラシとして，植毛部長さが約 20mm のヘッドサイズが異なる ST 毛の 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<sup>®</sup>（以下，ST-S とする）と，コンパクトヘッドでラウンド（以下，RO とする）毛の DENT.EX 3S<sup>®</sup>（以下，RO-S2 とする）（ライオン歯科材（株），東京）を用いた．

## 2) 評価モデル (図 3)

歯ブラシの機能評価には、長辺 80 mm、短辺 30 mm、厚さ 3 mm のアクリル平板に磁気テープを長辺と平行に磁性膜面が上面になるように両面テープで貼付した平面モデル<sup>9)</sup>を用いた。

実験 A と同様に歯ブラシのハンドルをスライダーに取り付けたヒンジに治具で固定し、ヒンジ中心部から歯ブラシのヘッド中央部までの長さが 140 mm になるように設置した (図 3 a)。おもりの位置は、実験 A ではヘッド中央を重心位置となるように設置していたが、実験 B では人が実際のブラッシング動作時に歯ブラシを持って力を加える位置に近づけるために把持部の指当て付近と考えられるヘッド中央から 70 mm の位置に設置した。その際、把柄部の構造や力の加わり方に差異が出ないように重心位置付近でおもりと柄および治具が密着するように取り付け、歯ブラシと治具の接触形態や面積が同一になるようにした。本研究の設定荷重は歯ブラシの毛先にかかる荷重であり、単純におもりの重さでは調整できないため、荷重位置におもりを設置した後でモデル下部に設置した力覚センサにかかった実際の荷重をモニタリングしながら各荷重の設定値になるよう調整した。

### (2) 方法

#### 1) 計測条件

歯ブラシの清掃性の評価は、磁気テープ上に歯磨剤 1.0g をのせて、20 mm のストローク、2 Hz のピッチで磁気テープの同一部位を刷掃した。荷重を 50gf, 100gf, 200gf, 300gf, 刷掃回数を 50, 100, 150, 200 往復とした。なお、1 条件の計測は、毛の硬さ試験 JIS S3016<sup>12)</sup>と同様に 3 回行った。

#### 2) データ処理と統計解析

##### a. 剥離面積

歯磨剤を除去後、実験 A と同様の方法で撮影したビデオテープの画像から完全剥離、完全+部分剥離面積を計測した。その後、歯ブラシの種類と回数に関して三元配置分散分析を行った後、Tukey の多重比較検定を行った。統計解析には SPSSver25(IBM)を用いた ( $p<0.01$ )。

##### b. 臨界ストローク

刷掃回数 200 往復時の完全+部分剥離のストローク方向の最大長さ (以下、水平長とする) を計測し、各歯ブラシの毛先が動くために必要な最短ストロークである臨界ストロークを先行研究<sup>9)</sup>に基づいて「臨界ストローク=(ブラッシングストローク+植毛部長)-水平

長」の式を用いて算出した。臨界ストロークの歯ブラシおよび荷重に関して二元配置分散分析後、Tukeyの多重比較検定を行った ( $p<0.01$ )。

c. 刷掃方向に対する垂直方向における剥離幅の増加量 (以下、 $\Delta W$ とする)

各荷重 200 往復時の完全+部分剥離のストローク方向に対する垂直方向の最大長(以下、剥離幅とした)を測定し、各歯ブラシの植毛部幅に対する剥離幅との差 $\Delta W$ を「 $\Delta W$ =剥離幅-植毛部幅」と定義した。つまり、 $\Delta W$ は垂直方向の剥離幅の増加量といえる。各荷重の $\Delta W$ に関して二元配置分散分析後、Tukeyの多重比較検定を行った ( $p<0.01$ )。

## 【結果】

### 1. SHC モデルによる清掃性の評価

(1) 歯面の追従性の評価：ブラッシング時における刷掃面に対する垂直方向へのヘッドの動き

50gf, 100gf, 150gf のブラッシング荷重を想定して実施した実際の平均荷重 (SD) は、RO-S1 で 50.8 (36.0) gf, 104.2 (40.1) gf, 150.3 (44.5) gf, ST-M で 52.6 (16.8) gf, 104.8 (23.2) gf, 155.5 (22.8) gf, FU-L で 52.7 (14.5) gf, 106.8(34.2)gf, 153.9(23.8)gf となった。各歯ブラシのブラッシング時における 2 秒間の AZ を図 4 に示した。想定荷重 50gf, 100gf, 150gf の 5 秒間における AZ のピーク値の平均値 (SD) は、RO-S1 が 6.9 (0.3) G, 5.9 (1.2) G, 3.4 (1.2) G, ST-M が 1.8 (0.3) G, 0.8 (0.1) G, 0.8 (0.1) G, FU-L が 3.6 (0.9) G, 2.6 (0.4) G, 1.0 (0.2) G であった (図 5)。AZ は荷重および歯ブラシの種類の二元配置分散分析および多重比較ですべての群間に有意差を認めた ( $p<0.01$ ) (図 5, 表 2)。RO-S1 の AZ のピーク値は全荷重で他に比較して高値を示し、追従性が有意に低く、その傾向は荷重が低い場合に顕著であった。ST-M は全ての荷重で AZ が小さく、高い追従性を認めた。FU-L は 50gf では ST-M に比較して大きな値を認めたが、荷重増加に伴い減少し、追従性が高くなった。したがって、試験歯ブラシの追従性は RO-S1 < FU-L < ST-M であった。

(2) SHC モデルにおける磁気テープの剥離状態と剥離面積

磁気テープの剥離パターンは、歯ブラシの種類によって明らかに異なっていた (図 6)。

完全剥離の面積は 50gf および 100gf では ST-M < RO-S1 < FU-L, 150gf では RO-S1 と FU-L にほとんど差がなく ST-M が少なかった (表 3a)。完全剥離面積は分散分析にて荷重および歯ブラシの種類において有意差 ( $p<0.01$ ) があり、その後の多重比較でも全群間

に有意差 ( $p<0.01$ ) を認めた (表 3b,c).

完全剥離+部分剥離の面積は 50gf の低い荷重では ST-M<FU-L<RO-S1 の順であり、分散分析で有意差 ( $p<0.01$ ) が示され、多重比較では RO-S1 と FU-L ( $p<0.05$ ), ST-M と FU-L で有意差 ( $p<0.01$ ) を認めた (表 4a,b,c).

## 2. 平面モデルによる清掃性の評価

### (1) 平面モデルにおける清掃性の評価

完全剥離面積は、荷重および回数に伴い増加し、ST-LL<ST-L<ST-S<RO-S2 の順で、分散分析では荷重、回数および歯ブラシの種類に有意差があった ( $p<0.01$ ) (表 5 a). 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 5b, c ,d).

完全+部分剥離面積は、荷重と回数と共に増加した ( $p<0.01$ ) (表 6a). 50gf の低荷重では回数にかかわらず ST-LL<ST-L<ST-S<RO-S2 で、刷掃回数が多いと 200gf や 300gf といった高荷重で歯ブラシのヘッドの幅に伴って増加傾向を示した。分散分析では刷掃回数、荷重および歯ブラシの種類に有意差があった ( $p<0.01$ ). その後の多重比較においては荷重と回数のすべての群間、歯ブラシの種類については ST-LL と ST-L および ST-S, ST-L と RO-S2, ST-S と RO-S2 の間に有意差を認めた ( $p<0.01$ ) (表 6b, c ,d).

### (2) 臨界ストローク

臨界ストロークは、荷重増加とともに延長した。RO-S2 は他に比べ短く、ST 毛の 3 種は荷重 50gf を除いてヘッドサイズが大きいほど短くなった ( $p<0.01$ ) (表 7a). その後の多重比較では、50gf と 100gf 以外の間に、ST-L と ST-S および ST-LL と RO-S2 以外の間で有意であった ( $p<0.01$ ) (表 7b,c).

### (3) 垂直方向の剥離幅の増加量 $\Delta W$

$\Delta W$  は全荷重で ST-LL が最小であった (表 8a). その後の多重比較では、全荷重間、ST-L と RO-S2 以外の歯ブラシの種類の間有意差を認めた ( $p<0.01$ ) (表 8b,c).  $\Delta W$  は荷重とともに増加し、ST 毛の ST-LL, ST-L, ST-S は荷重 50gf を除きヘッドサイズが大きいほど減少した (表 8a). その後の多重比較では、全荷重で ST-L と RO-S2 以外の歯ブラシ間に有意差を認めた ( $p<0.01$ ) (表 8b,c).

## 【考察】

本研究では、機能評価モデルとして SHC モデルと平面モデルにビデオテープ法を応用して歯ブラシの清掃性について測定を行った。その操作は簡便なうえに、再現性が高い結

果を得られたことから、本法は歯ブラシの機能を評価する方法の一つとして有用であると考えられた。

明らかに構造の異なる歯ブラシの清掃性と追従性を SHC モデルで評価した実験 A の結果を組み合わせることで、以下のように機能を指標として各歯ブラシを分類し、障害特性に合わせた歯ブラシの選択について考察した。

平切りの RO-S1 は、追従性が低く、その傾向は低荷重で顕著であった。剥離パターンは、毛がモデルに接触しやすい頂点部分を中心に完全に剥離された。50gf では明らかに中心部のみが完全剥離、半円柱の手前側と奥側では明らかに部分剥離となっていた。この剥離パターンは歯ブラシの清掃面に対する低い追従性のためにモデルの側面に毛先が接触すると跳ねるような動きを示し、毛先が離れて清掃できない状態を反映していると考えられた<sup>8)</sup>。障害児者は、上肢の低い巧緻性や運動障害、問題解決能力の障害によって複雑なブラッシングスキルの獲得が困難である<sup>5)</sup>。本実験の測定条件は、障害児者に多いといわれる一定方向だけに歯ブラシを動かす横みがきの動きに近いと予想される。毛先を歯面に合わせられない、ブラッシング圧のコントロールが困難といった手の巧緻性の低さによって運動領域の障害を認める場合、RO-S1 の使用だけでは隣接面などの追従性が求められる細かい部分の清掃性が期待できない可能性が高いと考えられた。

ST 毛の ST-M は、荷重の条件に影響されることなく高い追従性が確認でき、ブラッシング時に歯ブラシのヘッドが滑らかに動くことがわかった。本実験の条件下での清掃性に関しては完全剥離が他に比較して有意に狭く、低荷重の 50gf ではわずかと明らかに低かった。知的障害や精神障害では、集中力やモチベーションなどの情意領域に困難性を認める場合が多い<sup>3,4)</sup>。したがって、そのような対象者に ST-M を用いたブラッシングは時間がかけれないために清掃効果が得にくいと推測された。一方、部分剥離は他の完全剥離より広い面積を認めたことから、清掃面に毛先は接触していると考えられ、適切な荷重、刷掃回数や毛先の接触面積の増加によって他の歯ブラシと同様な清掃性が得られる可能性があると思われ、その仮説を検証するために実験 B の計画に至った。

複合段差植毛の FU-L は、50gf の低い荷重における追従性は ST-M よりも大きい RO-S1 より小さく、追従性を 3 種類で比較すると中間であった。清掃性は 50gf の低い荷重から高かった。本研究で追従性の指標として用いた AZ は医療分野以外において乗り物の乗り心地などの検討にも応用されている<sup>13)</sup>。車いすの乗り心地の評価では、AZ が小さい場合、振動が少なく良い乗り心地で滑らかな動きであったと報告されている<sup>13)</sup>。したがって、

本研究においても AZ が小さい歯ブラシは追従性が高いだけでなく、振動やブレが小さいことで滑らかな磨き心地を反映していると推察した。つまり、FU-L の磨き心地の滑らかさは、研究 A で使用した 3 種類の歯ブラシでは中間と思われた。歯ブラシのヘッドが飛び跳ねるような動きを示す RO-S1 のような歯ブラシでブラッシングした際にヘッドの大きな動きに対する感覚的な拒否を認める場合は、ST-M や FU-L といった磨き心地が滑らかな歯ブラシを選択することで受け入れやすい可能性があると考えられた。しかし、ST-M は少ない回数や短時間のブラッシングでは清掃効果が得にくいと予想されることから、例えば運動が困難な場合には短時間や低荷重になりやすいというような場合の障害児者に対しては FU-L のような複合段差の歯ブラシが効率的な用具のひとつであると推察された。

実験 A の結果、ST 毛の歯ブラシは滑らかに磨けるものの清掃性が低いことがわかった。感覚過敏などの場合、ブラッシング時のヘッドの動きが滑らかな ST 毛の歯ブラシが受け入れのきっかけになる可能性は否定できない。そこで、ST 毛の低い清掃性がヘッドの大きさや刷掃回数によって変化するかについて注目し、ST 毛のヘッド（植毛部）の大きさが異なる 3 種とブラッシング指導に適しているとされる RO 毛のコンパクトヘッドの歯ブラシ<sup>14)</sup>について平面モデルを用いた実験 B を立案した。清掃性を示す完全剥離面積は、刷掃回数や荷重に関係なく ST-LL<ST-L<ST-S<RO-S2 の順であり、実験 A と同様に RO 毛に比較して毛が細い ST 毛の清掃性が低かった。ST 毛の歯ブラシ間では、小さいヘッドの方が広がった。本研究は平面モデルを用いてフラットな歯ブラシを検討したために同一荷重の場合、毛先に加わる力は毛先の接触部分に均等に分散されるために小さいヘッドでは清掃面への毛先の接触面積が狭く、接触部に大きな力が加わった結果と考えられた。しかし、小さいヘッドは高荷重となると臨界ストロークおよび  $\Delta W$  が大きくなり、すぐにたわむために清掃性が低下する可能性もわかった。完全+部分剥離面積は、清掃回数および荷重の増加に伴って広がった。荷重と歯ブラシの種類を組み合わせると、50gf の低荷重、50 往復の少ない回数ではヘッドが最大の ST-LL はヘッドが最小の ST-S より小さい値を示すが、300gf の高荷重、200 往復と多い回数ではヘッドが大きいと広がった。完全+部分剥離面積は毛の到達領域であり、その広さはヘッドサイズ順になると予想したが、高荷重では仮説通りになったものの低荷重では大きいヘッドの方が狭くなった。これは、完全剥離面積で考察したように広い接触面積のために力が毛先全体に分散されたことで毛先に加わる力が小さくなり、接触していても部分剥離として検出できる状態に至らず、本モデルの磁性膜の検出感度を下回ったためと予想した。ヘッドが大きい利点として短時間

で効率的に磨けるとの報告<sup>15)</sup>があるが、RO毛と同等な清掃性を担保するにはST毛を用いたブラッシングでは力が弱すぎないように配慮するとともにヘッドが大きくても回数の増加、つまり時間が必要であると示唆された。ST毛は、細部到達性を目的とした形態であるため、平面モデルではそれらの特徴を評価できない。したがって、SHCモデルなどと組み合わせて詳細な機能評価が必要である。

実験Bの結果を基に障害児者の使用について以下のように考察した。

認知領域や運動領域の問題によって歯ブラシの毛先を清掃部分に接触困難な障害児者の場合、コンパクトヘッドのRO-S2は毛先の到達できる範囲が狭いために効率的に磨けない可能性が予想されただけでなく、毛先が接触した範囲においては低荷重や少ない刷掃回数であっても運動のコントロールが難しいと容易に過剰な力が作用してブラッシング圧が高くなるために粘膜や歯質に対する為害作用が生じやすいと思われた。そこで、大きいヘッドの歯ブラシで清掃可能な接触面積を確保しながら、回数や力を増やすことで効率の向上を促せると推察された。

運動領域の問題のためにブラッシング力を強くかけられない場合がある。本研究の設定条件下では荷重が低い場合に清掃性が低く、歯ブラシと歯面との接触面積に応じた適切な力が必要であると考えられた。また、動かすことが難しくストロークが小さい場合、毛先移動は期待できずに清掃性の低下が生じると予想された。

手の巧緻性が低い場合や自閉スペクトラム症で強いブラッシング力の場合、小さいヘッドのST毛を用いると毛のたわみによって清掃性が低くなると同時に軟組織の損傷などの原因になるだけでなく、過剰な力が集中すると毛は容易に弾性限を越えて塑性変形しやすい。また、使用の継続によって、繰り返し毛がたわむために損耗の進む期間が短いと考えられ、歯ブラシの交換時期についても注意を払う必要があると考えられた。

以上から、歯ブラシの清掃性を考慮する場合、毛の種類やヘッドの大きさだけでなく、毛の変形など交換時期も含めて配慮する必要性が示唆された。

実験A、実験Bによる評価結果を組み合わせ、障害児者に対する効果的な選択や使用時の配慮について清掃性という観点で以下のように討究した。

認知領域や運動領域の問題によって歯ブラシの毛先を清掃部分に接触できない障害児者の場合、コンパクトヘッドでは適切に清掃できない可能性がある。特にRO毛では適切な荷重がかけられないと一層、追従性が低いために効率的に磨けない可能性が示唆された。このような場合、大きいヘッドの歯ブラシを用いることで清掃可能な接触面積の確保が可

能となると予想された。

運動領域の問題でブラッシングの力が弱い場合、ST 毛であると清掃性が極めて低くなる。また、低荷重の場合、大きいヘッドのほうが力の分散によって清掃性が低下する可能性がある。運動領域の問題によって力をかけられない場合は、低荷重から追従性、清掃性共に高い複合毛などの選択が求められる。

手の巧緻性が低い場合や自閉スペクトラム症で強いブラッシング力の場合、RO 毛では容易に過剰な力が作用する可能性が示唆されたことから、実際の臨床場面においても粘膜や歯質に対する為害作用が生じやすいと思われた。このような場合、ST 毛が推奨されやすいが、小さいヘッドを用いると毛のたわみ過ぎによって清掃性が低くなると同時に軟組織の損傷などの原因や、損耗が進みやすいため歯ブラシの交換時期についても注意を払う必要があると考えられた。

ブラッシングへの協力性といった情意領域に配慮を要する場合、適切な部位のブラッシング回数（時間）の増加を促すことが難しいことが多い。時間をかけられない場合、ST 毛のコンパクトヘッドを用いると清掃性は極めて低くなると予想された。一方で、短時間となる理由のひとつにブラッシング時の痛みや不快感があると考えられ、対応として痛みや不快感の軽減は重要である。健康成人を対象にした臨床研究において、ST 毛の幅広歯ブラシが RO 毛に比較して歯肉の擦過傷の程度が軽いこと<sup>15)</sup>、使用時の快適度<sup>16,17)</sup>や使用感に対する満足感<sup>17)</sup>が高いといった報告がある。実験 A で ST 毛は追従性が高く、滑らかな磨き心地の可能性が示唆されたこと、実験 B においては大きなヘッドでブラッシング時に力が分散していたことから不快感となるような過剰な力がかかりにくいことも予想された。以上から、清掃性が低く本来は多くの刷掃回数が必要な ST 毛の歯ブラシであっても、大きいヘッドの使用によって清掃性を補いながらブラッシング時の不快感や疼痛を軽減し、刷掃時間の延長などの二次的効果が期待できる可能性は否定できない。ただし、大きいヘッドの ST 毛は低荷重では特に低い清掃性であることから、適切な力の必要性については同時に配慮が必要である。磨き心地、磨かれ心地は日常のブラッシングの定着に重要であり、今後は障害児者におけるヘッドサイズや毛先形状の違いによる使用感やブラッシングの受け入れ状況の臨床研究を行い、明らかにしていきたい。

本結果は障害児者のみならず一般に応用できるが、日常のブラッシングにおいて機能の 3 領域に関して多様な問題を抱える障害児者の場合、各対象者の特性に合わせた歯ブラシを選択することは健常者以上に効率的で効果的な歯磨きの実現の一助になると考えられる。

また、本研究は単純なモデルと動きによる評価であるため、歯ブラシ選択に必要な要素をすべて網羅していない。実際のブラッシングでは各障害児者の特性だけでなく、口腔粘膜や顎関節などの解剖学的形態、感覚のフィードバック<sup>19)</sup>による影響、生活習慣など各要素に関する臨床研究の実施が必要と考えている。その際、本研究結果と臨床研究の検討が重要となると考え、実験Bからおもりを実際に人がブラッシングを行う際に力がかかると予想される位置に変更した。本研究のように臨床研究への応用を視野に入れてモデル開発や実験条件を検討していきたい。

今後はより多くの障害児者におけるブラッシング時の問題点に焦点を当て、効果的に歯ブラシ選択が行えるように様々な客観的指標の確立を目指していきたい。

#### 【結論】

本研究ではRO毛、ST毛、複合段差植毛の歯ブラシを用いて開発した2つの歯ブラシの機能評価モデルを用いて、歯ブラシの毛の種類、植毛形態、ヘッドの大きさ、荷重、刷牙回数による清掃性の違いを検討したところ、高い精度で客観的な評価を繰り返し行うことに成功した。

機能の3領域に多様な配慮が必要な障害児者の効果的なブラッシング行動の定着を促すためには、個人の苦手領域を考慮しながらそれらの領域を補える適切な歯ブラシの選択が重要である。障害や各人の特性と本評価から得られた各歯ブラシの結果を組み合わせることで、適切な歯ブラシ選択指標の確立に寄与できると示唆された。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

#### 【文献】

- 1) 早崎治明, 大島邦子: 歯磨きについて, 新潟歯学会誌, 44: 1-11, 2014.
- 2) 遠藤真美: 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, 21: 29-32, 2016.
- 3) 緒方克也, 柿木保明: 歯科衛生士講座 障害者歯科学, 第二版, 118-122, 135, 永末書店, 京都, 2019.
- 4) 梶美奈子: 障害児(者)に対するう蝕予防, 障歯誌, 38: 127-132, 2017.
- 5) 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, 4-6,

246-248, 医歯薬出版, 東京, 2017.

6) 牧野文子, 瀬戸口尚志, 和泉雄一, 他: 植毛部の形態が異なる歯ブラシによる隣接面部プラークの除去効果について, 日歯周誌, 40: 233-239, 1998.

7) 高柳篤史: 歯ブラシを科学する 歯ブラシの形態と物理的特性, 日本歯科医師会雑誌, 70: 469-477, 2017.

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, 55: 61-68, 2020.

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, 55: 223-228, 2021.

10) 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, 107: 665-669, 2007.

11) 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, 4: 1-6, 2017.

12) 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.)

13) 岡本美好: タイル舗装の目地が走行中の車いすの振動と乗り心地に及ぼす影響, 土木学会論文集, 64: 237-246, 2008.

14) 渡辺孝章, 小林一行: 最近の歯ブラシ事情—なぜ今, 幅広植毛歯ブラシなのか—, 日歯周誌, 60: 87-94, 2018.

15) 稲葉晶子, 森川暁, 深谷千絵, 他: 歯ブラシの大きさの違いによるプラーク除去効果, 日歯周誌, 54: 112, 2012. (抄)

16) 藤川謙次, 佐藤秀一, 吉沼直人, 他: 高度テーパード毛歯ブラシのプラーク除去効果に関する研究, 日歯周誌, 36: 206-214, 1994.

17) 小林一行, 渡辺孝章, 早坂奈美, 他: 幅広植毛歯ブラシのプラーク除去効果について. 鶴見大学紀要, 53: 57-62, 2013.

18) Versteeg PA, Piscoer M, Rosema NAM, *et al.*: Tapered toothbrush filaments in relation to gingival abrasion, removal of plaque and treatment of gingivitis, Int J Dent Hygiene, 6:178-182, 2008.

19) 松沢栄：手用歯ブラシによる歯みがき圧の大きさを決定する生理的因子について，口衛誌，24：105-111，1974.

【図表】

表1. 試験歯ブラシ

	実験A			実験B			
	RO-S1	ST-M	FU-L	ST-LL	ST-L	ST-S	RO-S2
列	3列	4列	4列	6列	5列	3列	3列
毛の硬さ JIS S3016	ふつう	ふつう	やわらかめ	ふつう	ふつう	ふつう	ふつう
特徴	平切り	スーパー テーパード毛	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)							

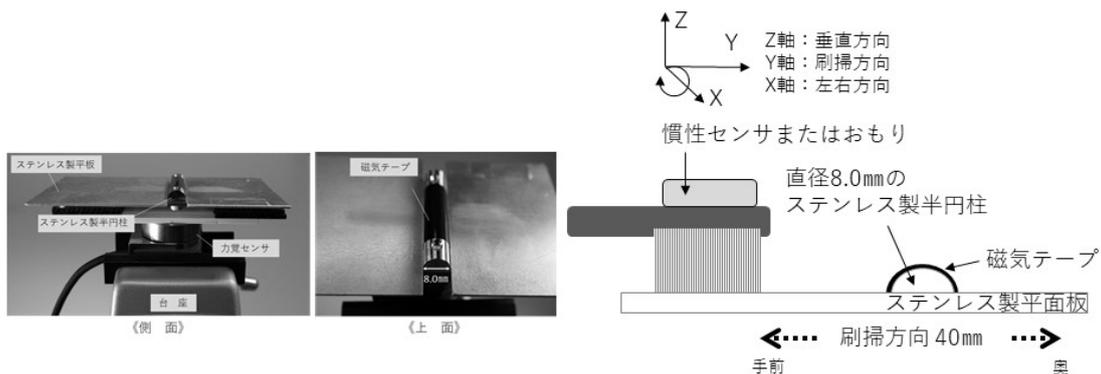


図1. 実験Aに使用した歯ブラシ評価モデル

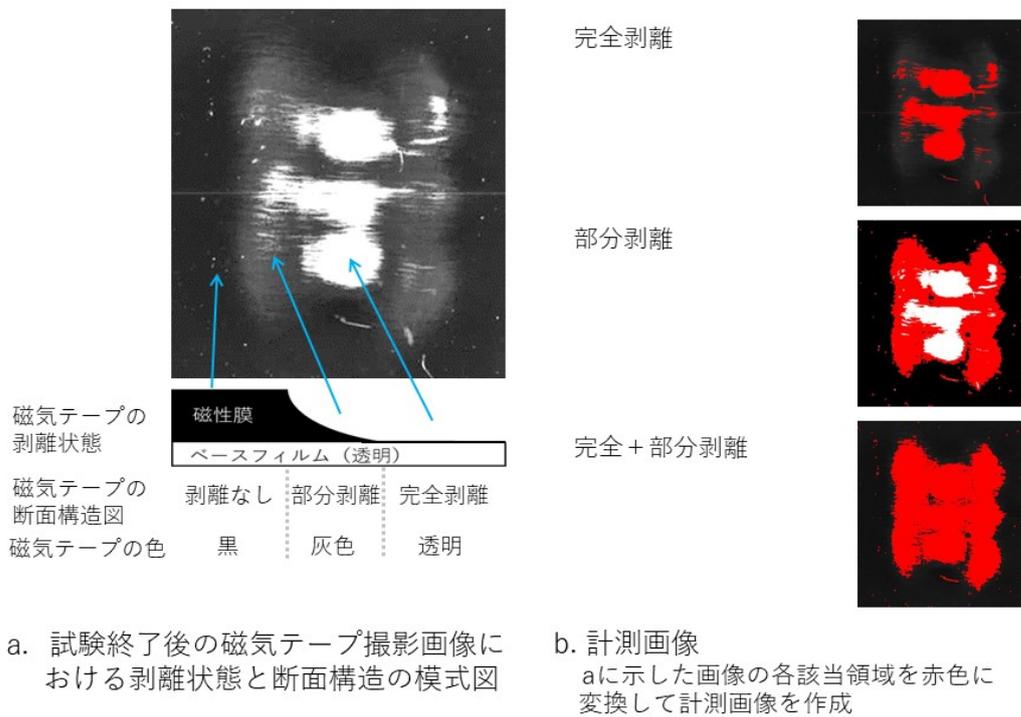
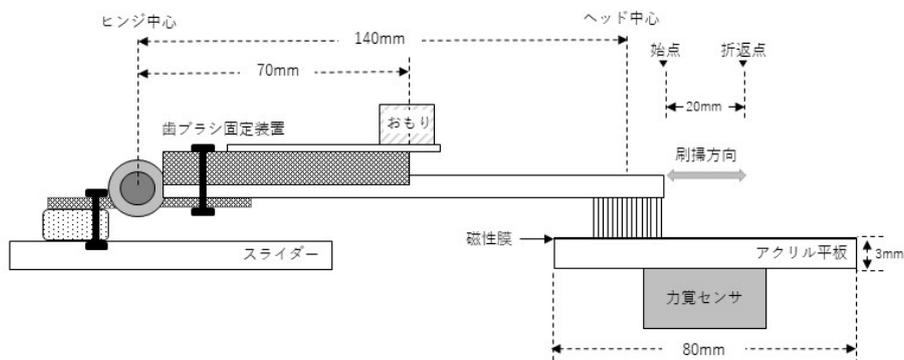
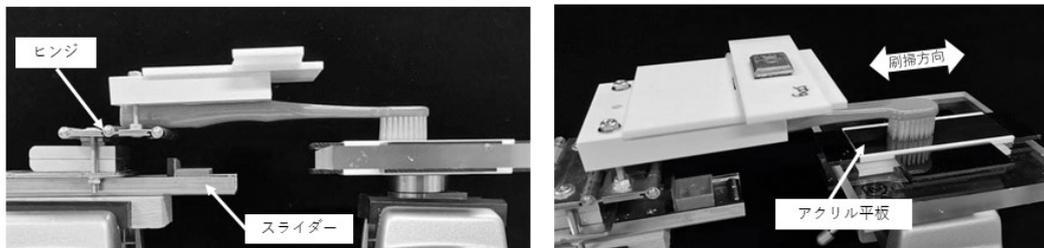


図2. 磁気テープの剥離状況および計測画像



a. 評価モデルの模式図



b. 評価モデルの外観写真

図3. 研究Bに使用した歯ブラシ評価モデル

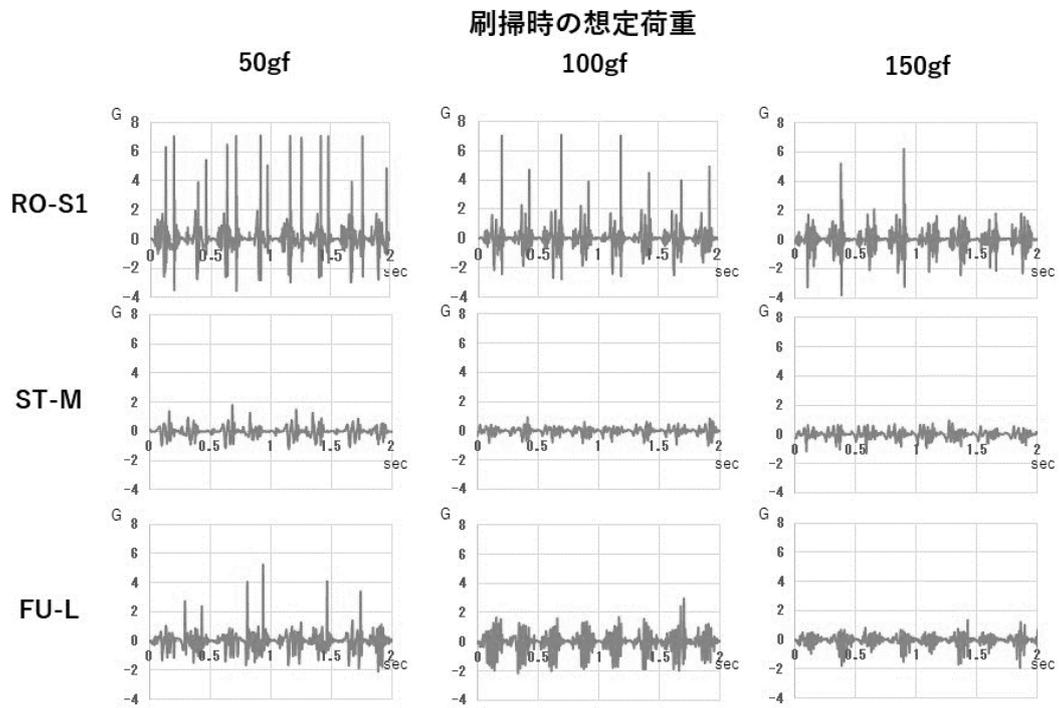
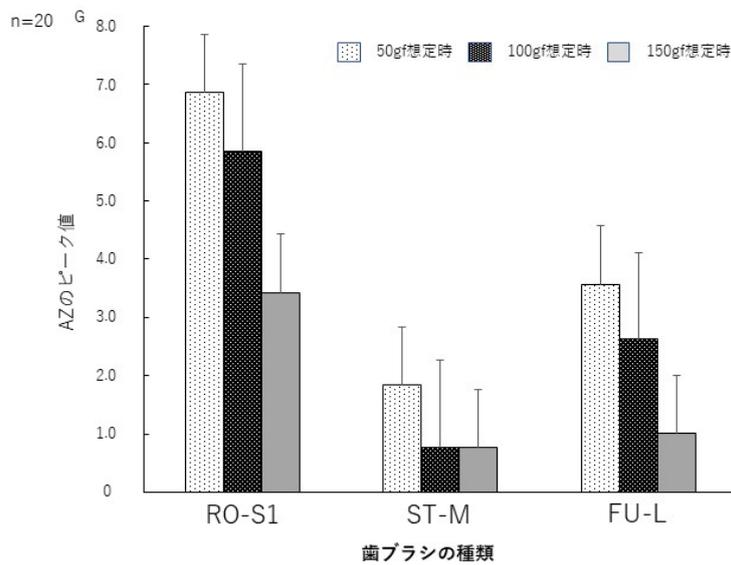


図4. 刷掃時のZ軸（垂直）方向へのヘッドの動き



二次元配置分散分析：  
刷掃時の荷重  $p < 0.01$ , 歯ブラシの種類  $p < 0.01$

図5. 各歯ブラシの刷掃時におけるAZのピーク値

表2. AZのピーク値に関する統計解析

a. AZのピーク値の 刷掃時の荷重による多重比較			b. AZのピーク値の 歯ブラシの種類による多重比較		
	50gf	150gf		RO-S1	ST-M
100gf	**			**	
150gf	**	**		**	**
TukeyHSD **p<0.01			TukeyHSD **p<0.01		

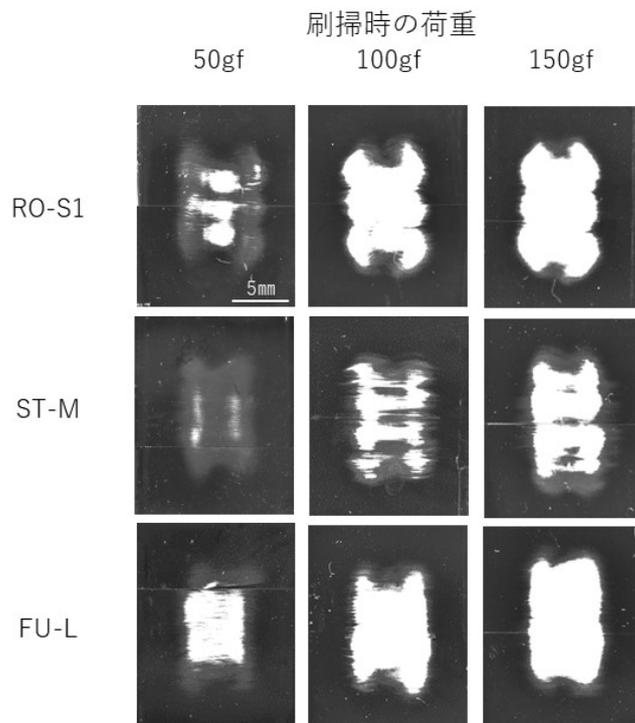


図6. 各条件下における磁気テープの剥離パターン

表3. 各歯ブラシによるSHCモデル刷掃後の磁性膜の完全剥離面積と統計解析

a. 各歯ブラシの刷掃時の荷重別の完全剥離面積 mm <sup>2</sup> (SD)				b. 完全剥離面積の刷掃時の荷重による多重比較	
	RO-S1	ST-M	FU-L	50gf	100gf
50gf	19.4 (1.8)	3.1 (1.2)	33.7 (2.2)		
100gf	56.8 (2.2)	31.1 (1.7)	56.2 (2.9)	**	
150gf	67.5 (0.8)	45.6 (1.8)	65.3 (1.3)	**	**
二元配置分散分析： 刷掃時の荷重p<0.01, 歯ブラシの種類p<0.01				TukeyHSD **p<0.01	
				c. 完全剥離面積の歯ブラシの種類による多重比較	
				RO-S1	ST-M
				**	
				**	**
				TukeyHSD **p<0.01	

**表4. 各歯ブラシによるSHCモデル刷掃後の磁性膜の完全+部分剥離面積と統計解析**

a. 各歯ブラシの刷掃時の荷重別の完全+部分剥離面積

	mm <sup>2</sup> (SD)		
	RO-S1	ST-M	FU-L
50gf	73.6 (2.0)	59.0 (3.0)	69.1 (0.7)
100gf	80.2 (2.2)	85.5 (1.5)	75.8 (1.7)
150gf	84.9 (1.8)	86.5 (1.0)	84.3 (1.4)

二元配置分散分析: n=3  
刷掃時の荷重p<0.01, 歯ブラシの種類p<0.01

b. 完全+部分剥離面積の刷掃時の荷重による多重比較

	50gf	100gf
100gf	**	
150gf	**	**

TukeyHSD \*\*p<0.01

c. 完全+部分剥離面積の歯ブラシの種類による多重比較

	RO-S1	ST-M
ST-M	n.s.	
FU-L	**	**

TukeyHSD \*p<0.05, \*\*p<0.01

**表5. 各歯ブラシの刷掃回数別の磁気テープの完全剥離面積と統計解析**

a. 各歯ブラシにおける刷掃時の荷重および刷掃回数の違いによる完全剥離面積

	回数	GR	GF	SY	DS
50gf	50往復	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.2(0.3)
	100往復	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	12.4(6.3)
	150往復	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.5(0.7)	30.4(6.7)
	200往復	0.0 (0.0)	0.7(1.2)	5.0(2.3)	46.2(7.2)
100gf	50往復	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.4(0.4)
	100往復	0.0 (0.0)	0.1(0.0)	0.9(1.0)	29.5(18.4)
	150往復	3.6(3.3)	12.8(5.0)	24.9(6.9)	69.9(21.0)
	200往復	18.3(11.8)	38.9(9.6)	61.2(2.6)	110.6(16.0)
200gf	50往復	0.1(0.2)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	8.2(4.9)
	100往復	8.1(3.3)	11.6(8.6)	20.0(16.2)	86.0(31.0)
	150往復	57.0(6.2)	69.0(10.6)	79.6(18.6)	154.8(16.4)
	200往復	109.4(7.3)	117.5(6.8)	135.1(19.2)	203.4(14.2)
300gf	50往復	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	27.3(19.9)
	100往復	16.2(7.7)	24.0(9.2)	43.8(9.6)	142.8(20.8)
	150往復	95.1(17.4)	104.4(5.3)	124.4(15.6)	217.7(14.8)
	200往復	166.9(22.0)	176.2(1.7)	178.0(13.3)	263.3(11.4)

三元配置分散分析: n=3  
刷掃時の荷重p<0.01, 刷掃回数p<0.01, 歯ブラシの種類p<0.01

b. 完全剥離面積の刷掃時の荷重による多重比較

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

TukeyHSD \*\*p<0.01

c. 完全剥離面積の刷掃回数による多重比較

	50往復	100往復	150往復
100往復	**		
150往復	**	**	
200往復	**	**	**

TukeyHSD \*\*p<0.01

d. 完全剥離面積の歯ブラシの種類による多重比較

	ST-LL	ST-L	ST-S
ST-L	n.s.		
ST-S	**	**	
RO-S2	n.s.	**	**

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

**表6. 各歯ブラシの刷掃回数別の磁気テープの完全 + 部分剥離面積と統計解析**

a. 各歯ブラシにおける刷掃時の刷掃時の荷重および刷掃回数の違いによる完全剥離面積

		mm <sup>2</sup> (SD)			
回数		GR	GF	SY	DS
50gf	50往復	3.3(5.5)	13.9(11.1)	63.1(32.1)	72.3(37.8)
	100往復	61.1(24.8)	78.8(21.6)	134.5(21.7)	168.1(53.1)
	150往復	110.9(26.2)	129.4(12.1)	167.4(20.6)	201.6(55.3)
	200往復	159.4(24.1)	163.7(17.8)	185.5(22.5)	218.7(50.1)
100gf	50往復	82.8(18.7)	75.8(27.8)	182.0(5.8)	163.9(61.6)
	100往復	198.6(13.8)	184.3(15.3)	223.9(16.8)	247.5(56.0)
	150往復	268.3(10.8)	236.7(15.9)	243.7(11.5)	273.4(32.1)
	200往復	330.4(29.1)	265.5(11.6)	255.5(11.7)	293.4(20.2)
200gf	50往復	214.8(23.0)	200.3(9.0)	2214.2(11.0)	238.8(39.8)
	100往復	348.4(13.5)	303.6(6.6)	295.3(31.3)	316.2(8.8)
	150往復	399.0(11.1)	342.5(7.6)	308.0(29.9)	341.8(17.7)
	200往復	426.2(8.5)	369.1(13.2)	328.4(38.6)	350.8(18.4)
300gf	50往復	299.3(43.0)	258.3(7.4)	282.9(10.0)	294.8(25.2)
	100往復	407.4(31.8)	362.7(6.5)	325.9(9.9)	359.7(2.9)
	150往復	461.4(17.4)	394.5(1.4)	350.3(18.7)	371.8(3.8)
	200往復	485.5(16.3)	413.2(6.0)	361.6(13.1)	383.0(4.0)

三元配置分散分析：  
刷掃時の荷重  $p < 0.01$ , 刷掃回数  $p < 0.01$ , 歯ブラシの種類  $p < 0.01$

n=3

b. 完全 + 部分剥離面積の  
刷掃時の荷重による多重比較

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

TukeyHSD \*\* $p < 0.01$

c. 完全 + 部分剥離面積の  
刷掃回数による多重比較

	50往復	100往復	150往復
100往復	**	/	/
150往復	**	**	/
200往復	**	**	**

TukeyHSD \*\* $p < 0.01$

d. 完全 + 部分剥離面積の  
歯ブラシの種類による多重比較

	ST-LL	ST-L	ST-S
ST-L	**	/	/
ST-S	**	n.s.	/
RO-S2	n.s.	**	**

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

**表7. 各歯ブラシの臨界STと統計解析**

a. 刷掃200往復時における臨界ストローク  
mm(SD)

	ST-LL	ST-L	ST-S	RO-S2
50gf	2.3(0.7)	1.4(0.3)	3.1(1.0)	0.9(0.8)
100gf	1.9(0.1)	2.3(0.3)	4.0(0.3)	0.5(0.3)
200gf	2.6(0.1)	3.6(0.8)	5.2(0.4)	1.1(0.5)
300gf	3.2(0.3)	4.5(0.3)	6.2(0.3)	2.0(0.3)

二元配置分散分析; n=3  
刷掃時の荷重p<0.01, 歯ブラシの種類p<0.01

b. 刷掃200往復時における臨界ストロークの  
刷掃時の荷重による多重比較

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

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

c. 刷掃200往復時における臨界ストロークの  
歯ブラシの種類による多重比較

	ST-LL	ST-L	ST-S
ST-L	**		
ST-S	**	n.s.	
RO-S2	n.s.	**	**

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

**表8. 各歯ブラシの刷掃幅の増加量 (ΔW) と統計解析**

a. 刷掃200往復時におけるΔW  
mm(SD)

	GR	GF	SY	DS
50gf	0.5(0.1)	1.2(0.2)	1.1(0.2)	1.2(0.2)
100gf	1.2(0.3)	1.5(0.3)	2.0(0.2)	2.0(0.2)
200gf	1.9(0.1)	2.6(0.3)	4.3(0.8)	2.9(0.6)
300gf	2.7(0.2)	4.2(0.4)	5.7(1.0)	3.8(0.5)

二元配置分散分析; n=3  
刷掃時の荷重p<0.01, 歯ブラシの種類p<0.01

b. 刷掃200往復時におけるΔWの  
刷掃時の荷重による多重比較

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

TukeyHSD \*\*p<0.01

c. 刷掃200往復時におけるΔWの  
歯ブラシの種類による多重比較

	ST-LL	ST-L	ST-S
ST-L	**		
ST-S	**	**	
RO-S2	**	n.s.	**

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