

障害児者の歯ブラシ選択にむけた隣接モデルを用いた
清掃性に関する基礎的研究

A basic study of cleanability using an interproximal model for toothbrush selection
for person with special needs

小野 晃弘

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】

障害児者の効果的なブラッシングには、適切な歯ブラシ選択が重要である。しかしながら、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。一般に、歯科疾患のリスクが高い隣接部の清掃には、歯ブラシの清掃面に対する角度設定が重要とされる。しかし、障害児者においては適切に歯ブラシを傾けることが困難な場合がある。そこで、本研究では隣接部における歯ブラシの清掃性評価を行うことができる新たな隣接モデルを開発し、歯ブラシヘッド（以下、ヘッドとする）の清掃面に対する角度、毛先形態やヘッドの大きさが清掃性に及ぼす影響を検討した。

研究 A では、平面と隣接部の清掃性を同時に評価するために、長辺片側を表面と連続した半径 4.0mm で中心角 90 度の扇形に加工した平坦なアルミブロック 2 個を向かい合わせて隣接モデルを開発後、ビデオ（磁気）テープ法を応用した。試験歯ブラシとして、コンパクトヘッドでラウンド毛の DS を用いた。歯ブラシがモデルに対して垂直に当たっている状態を 0 度とし、ヘッドのモデル面に対する角度を「ヘッド角」として 10、20、30 度に設定した。毛先とモデルの静的な状態の接触角を「毛先角」と定義し、各ヘッド角における毛先角を計測した。刷掃ストローク 40.0mm、単位時間あたりの刷掃回数（ピッチ）を 2 Hz として磁気テープを刷掃し、磁性膜の剥離面積により清掃性を評価した。研究 B では、DS、スーパーテーパー毛の植毛されたコンパクトヘッドの SY と幅広ヘッドの GR の合計 3 種類の歯ブラシを使用して、研究 A と同条件で開発した隣接モデルを刷掃した。

研究 A の結果、ヘッド角の増加に伴い、毛とモデルの接触面積が減少し、毛先角が約 2 倍に増加した。ヘッド角の増加とともに平面の完全剥離部分の形態的变化である剥離プロファイルの刷掃方向に直行する剥離領域の幅の短縮、剥離面積の減少を認め、隣接部では到達距離および剥離面積が増加し、清掃性が向上した。隣接モデルを用いて平面と隣接部の清掃性を同時に評価することで、歯ブラシの清掃面に対する角度による清掃性の把握が可能であったことから、歯ブラシの機能評価において本モデルの有用性が示された。

研究 B の結果、ヘッド角が 10 度以上の毛先角では、DS でヘッド角の約 2 倍、SY および GR で約 2.5 倍になった。ヘッド角の増加に伴って隣接部の剥離面積はすべての歯ブラシで増加したが、平面において DS は減少、スーパーテーパー毛はヘッドの大きさに関わらず増加傾向を示した。

今回、平面および隣接部の歯ブラシの清掃性を同時に評価できる隣接モデルを新たに開発した。本モデルの使用によって、モデルに対する歯ブラシの角度の変化、毛先形態やヘ

ヘッドの大きさによる清掃性を評価したところ、各条件の違いを明らかにできた。多様な特性を示す障害児者のブラッシングスキルに対して適切な歯ブラシを選択する際、平面と隣接部の両者を同時に評価できる本モデルを用いた歯ブラシの機能評価は指標のひとつとして応用できる可能性が示唆された。

【Abstract】

It is important for person with special needs to select appropriate toothbrushes. However, there is no objective functional index for toothbrush selection. In this study, a new interproximal model for evaluating the function of the toothbrush was created.

In study A, an interproximal model for evaluating the function of the toothbrush was created. Using toothbrush was flat profile with end-rounded bristles. Bristle tip angle was almost twice in each head angle. As the head angle increased, the cleaning performance was decreasing on flat area. In interproximal area, the cleaning performance and the distance of penetration was improved by increasing the head angle. This model has simple structure and high reproducibility, making it easy and useful for evaluating the function of a toothbrushes on the interproximal area.

In study B, three kinds of toothbrushes were used: DS; flat profile with end-rounded bristles, SY: slim head with super tapered bristles, GR: large head with super tapered bristles. According to this study, the bristle tip angle of all toothbrush was almost twice in each head angle. As the head angle increased, the cleaning performance on flat area was decreasing when brushing with DS, the results of SY and GR were the opposite. In interproximal area, the cleaning performance and the distance of penetration was improved by increasing the head angle in all toothbrushes.

It is suggested that we should think type of bristle ends and toothbrush size using when selecting a toothbrush for person with special needs who have low brushing skills.

【key words】

歯ブラシ, 障害者, 機能評価, 清掃性, 口腔保健

toothbrush, person with special needs, functional index, cleanability, oral health

【緒言】

ブラッシングは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⁾。障害児者は、この機能の3領域にさまざまな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¹⁻⁴⁾。障害児者の効果的なブラッシングには、歯ブラシの客観的機能評価に基づいて対象者の苦慮している領域を考慮した適切な歯ブラシの選択が重要である¹⁾。しかし、現在、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確立されておらず、使用者本人や指導する歯科医療従事者の主観によって選択される傾向がある⁵⁾。そこで、障害児者に適した客観的な歯ブラシの選択指標の確立のために、これまでに凸型単半円柱モデル (Single half cylinder: SHC モデル)⁶⁻⁹⁾ や平面モデル^{10,11)} といった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。しかし、過去に開発したモデルでは、う蝕や歯周疾患のリスクが高い隣接部のような凹部における清掃性を評価できない。一般に、凹部の清掃には、ヘッドの清掃面に対する角度設定が重要とされる^{12,13)}。しかし、障害児者の場合、その障害特性によっては適切に歯ブラシを傾けることが困難な場合がある。そこで、本研究では平面と隣接部における歯ブラシの機能を同時に評価できる隣接モデルを新たに開発し、歯ブラシヘッドの清掃面に対する角度、毛先形態やヘッドの大きさが清掃性に及ぼす影響を検討した。

【材料および方法】

1. 研究 A：隣接モデルの開発と有効性の検討

1) 材料

試験歯ブラシ (表 1) は、コンパクトヘッドでラウンド毛 (以下、RO 毛とする) の歯ブラシ (DENT.EX 3S[®] (以下、DS とする)、ライオン歯科材 (株)、東京) を使用した。

2) 方法

(1) 隣接モデルの作製 (図 1, 2)

幅 64.0mm, 長さ 35.0mm, 厚さ 5.0mm の平坦なアルミブロックの長辺片側を表面と連続した半径 4.0mm で中心角 90 度の扇形に加工したものを 2 個作製した。その後、白歯部の隣接部を模した形態を再現するために扇形に加工した面を向かい合わせて固定し、平面と隣接部における歯ブラシの機能を同時に評価できる隣接モデルを作製した。扇形の半径は、日本人の歯の幅径の解剖学的平均値を参考にした。

ビデオテープ法¹⁴⁾を応用するために、刷掃時に毛先が接触すると考えられる隣接モデルの平面から曲面を囲むように、磁性膜面を上面にした磁気テープを隙間なく重ならないように両面テープで貼付した。磁気テープと両面テープの合計厚さは 0.2mm で、溝の半径はモデルの隣接部を形成する扇形のアルミブロックの半径 4.0mm との合計 4.2mm となり、その結果、隣接部の磁気テープの長さは 6.6mm となった。

歯ブラシは把柄 (ハンドル) をスライダー (FBW2560XR+160L, THK (株)、東京) に取り付けたヒンジに治具で固定した。ヒンジ中心部から歯ブラシのヘッド中央部までの長さを 140.0mm とし、ヘッド中央部から 70.0mm の位置におもりを設置した。

(2) 計測条件

a. 荷重, ストロークおよび回数

荷重は, 一般にブラッシング時の平均荷重 1.61N(170gf)であるという報告^{15,16)}を参考に, 200gfとした。荷重の調整は, 隣接モデルの下部に設置した力覚センサ (030YA151U, (株)レプトリノ, 長野) によって実際に刷掃時に歯ブラシにかかる荷重が 200gf になるようにおもりを調整した。刷掃ストロークは, 先行研究⁶⁻¹¹⁾を参考に 40.0mm に設定した。単位時間当たりの刷掃回数 (ピッチ) は, 2 Hz とした。

計測には歯磨剤 (ガードハロー®, 花王 (株), 東京) 1.0 g を使用し, 隣接モデルを 200 回往復刷掃した。1 条件の計測は, JIS S3016®の毛の硬さ試験¹⁷⁾と同様に 3 回行った。

b. 角度設定: ヘッド角

歯ブラシがモデル表面に対して垂直に当たっている状態を 0 度とし, 基準にした。その後, 歯ブラシの刷掃方向にモデル面が平行な状態のまま 10, 20, 30 度とモデルを傾けた (図 2)。このモデル面のヘッドに対する角度を「ヘッド角」と定義した (図 3)。

(3) 評価および解析

a. 毛先角の計測

モデルを傾けた場合, 荷重により毛はたわむ。そのため, モデルと毛先との接触角はヘッド角と異なるため, モデルと毛先との静的な状態での接触角を「毛先角」と定義した (図 3)。その際, モデルを傾けた場合にモデルと接触状態が保たれる側を「内側」, 内側の反対側を「外側」とした (図 3)。内側の平面への接触位置を示すものとして非剥離部位との境界線を「内側境界線」と定義した (図 3)。毛先角の測定はデジタルカメラ (OM-D E-M5 Mark III, Micro NIKKOR 60mm f/2.8D, (株)ニコン, 東京) の撮像面がモデルの平面および歯ブラシの刷掃方向と垂直になるように設置して撮影し, 画像解析により角度を求めた。

b. 剥離面積および到達距離の計測

試験終了後, 隣接モデルを装置から取り出して歯磨剤を水洗した。その後, モデルからビデオテープを取り外し, 白色アクリル板に貼付し, カメラ (D5600, AF-S DX Micro NIKKOR 40mm f/2.8G, (株)ニコン, 東京) を用いて撮影した。歯ブラシ固定装置に対しモデルの手前に貼付した磁気テープを手前とし, それに向かい合っているもう一方を奥とした。

磁気テープの刷掃を開始すると歯ブラシの毛先が接触した部分の磁性膜が徐々に剥離し, 膜の一部が薄く残った部分剥離の状態となる。すべての膜が剥離するとベースシートの透明部分を通してアクリル板の白色が見える完全剥離の状態となる⁷⁾。得られた画像をグレースケール化し, 画像解析に用いた。清掃性の評価として, 完全剥離部分 (以下, 剥離とする) を抽出し, 試験後の剥離部分の形態的变化 (以下, 剥離プロファイルとする) の観察, 剥離部分の刷掃方向における最大の長さである剥離距離, 完全剥離部分の面積 (以下, 剥離面積とする), 隣接部の毛先到達性として到達距離を求めた。

隣接部の最上部から刷掃方向に向かって最も長く剥離を認めた部分を到達点とし, 隣接部と平面の境界である弧の最上部からの距離を剥離距離とした。その後, 剥離距離の結果を

用いて図 4 に示す方法で隣接部の毛先到達性の評価として到達距離を算出した。

画像解析には画像解析ソフト (ImageJ[®], NIH, USA) を使用した。

その後、到達距離、剝離面積についてはヘッド角に関して一元配置分散分析を行い、その後 Tukey の多重比較検定を行った ($p<0.05$)。統計解析には SPSS ver25 (IBM, 東京) を用いた。

2. 研究 B：隣接モデルを用いた各歯ブラシの評価

1) 材料

(1) 試験歯ブラシ (表 1)

試験歯ブラシは、研究 A で使用した DS、ヘッドサイズが異なるスーパーテーパード毛 (以下、ST 毛とする) の DENT.EX systema シリーズの 42M[®] (以下、SY とする) および genki (以下、GR とする) の合計 3 種類 (いずれもライオン歯科材 (株), 東京) を用いた。

(2) 計測装置 (図 1)

研究 A で開発した隣接モデルにビデオテープ法¹⁴⁾ を応用した。

2) 方法

(1) 計測条件

研究 A と同様に、荷重 200gf, 刷掃ストローク 40.0mm, ピッチ 2 Hz で、歯磨剤 1.0 g を使用して隣接モデルを 200 回往復刷掃した。1 条件の計測は、JIS S3016[®] の毛の硬さ試験¹⁷⁾ に基づき研究 A と同様に 3 回行った。

(2) 評価および解析

研究 A と同様の方法で、毛先角 (図 3), 剝離面積および到達距離 (図 4) の計測を行った。

その後、到達距離、剝離面積について歯ブラシの種類とヘッド角に関して二元配置分散分析を行い、その後 Bonferroni の多重比較検定を行った ($p<0.05$)。統計解析には SPSS ver25 を用いた。

【結果】

1. 研究 A

1) 毛先角 (表 2)

毛先角の平均 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に 0(0.0), 23 (0.0), 47 (0.0), 59 (0.6) 度であった。0 度を除き、毛先角はヘッド角よりも大きく、ヘッド角が大きくなると増加した。

2) 到達距離および清掃性

(1) 剝離プロファイル

角度別の剝離プロファイルを図 5a に示した。試験後の磁気テープの画像をヘッド角別に比較するとヘッド角が大きい方が、隣接部の底部側に向かって平面から連続した剝離を認めた。剝離プロファイルは、0 度では歯ブラシの構造に基づく 3 列の剝離が確認できた。平

面における剥離状態は、ヘッド角が大きくなるにつれて刷掃方向に直交する剥離領域の幅が短くなり、外側では隣接部付近のみが剥離して剥離距離が短くなる傾向であった。隣接部の剥離距離は内側の毛から順に長かった。また、到達点は、おおむね内側境界線の延長線上に位置していた (図 5b)。

(2) 到達距離

到達距離 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に 0.15(0.03), 0.37 (0.06), 1.07(0.13), 1.44 (0.07) mm で、ヘッド角が大きくなると到達距離が有意に長くなった ($p<0.05$) (図 6)。

(3) 剥離面積

平面剥離面積 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に 296.4(4.6), 270.1 (13.9), 210.9(6.0), 198.5 (1.8) mm²でヘッド角の増加に伴って減少した (図 7a)。0 度と 10 度の間以外の群間で有意差を認めた ($p<0.05$)。

隣接部剥離面積は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に 13.6(1.5), 18.9 (1.5), 29.6(2.7), 35.7 (2.0) mm²でヘッド角度の増加に伴い増加した (図 7b)。20 度と 30 度の間以外の角度の間に有意差を認めた ($p<0.01$)。

2. 研究 B

1) 毛先角 (表 3)

歯ブラシの種類別の毛先角の平均 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に、DS で 0(0.0), 22(0.6), 41(0.6), 57(0.0)度, SY で 0(0.0), 26(1.0), 48(1.5), 70(1.0)度, GR で 0(0.0), 32(1.2), 53(1.0), 78(1.7)度であった。0 度を除き、歯ブラシの種類に関係なく毛先角はヘッド角よりも大きく、ヘッド角が大きくなると毛先角も大きくなった。

2) 清掃性

(1) 剥離プロファイル

a. 各歯ブラシとヘッド角別の剥離プロファイル (図 8a)

ヘッド角 0 度の剥離プロファイルは、刷掃方向に向かって各歯ブラシの構造に基づいて DS および SY では 3 列, GR では 6 列の剥離を認めた。いずれの歯ブラシでも、ヘッド角が大きい方が、平面から連続した隣接部の剥離が大きくなった。SY および GR のプロファイルにおいてヘッド角 30 度では到達点付近から内側に向かって剥離されない部分が認められ、DS の形状とは異なっていた。刷掃方向に対する水平方向の幅は DS では角度による変化は少ないが、SY および GR ではヘッド角の増加とともに長くなっていた。一方、垂直方向の幅は、ヘッド角の増加につれて DS では明らかに短く、GR でもその傾向を認めたが、SY では明確な変化を認めなかった。

b. ヘッド角 30 度における到達点と平面の剥離プロファイルの関係 (図 8b)

最も到達距離が大きくなったヘッド角 30 度における到達点と平面の剥離プロファイルの位置関係は DS に対して SY および GR で異なっていた。DS の到達点は内側の剥離部分の境界線とほぼ一致していたが、SY および GR は剥離部分の中央付近となっていた。

(2) 到達距離 (図 9, 表 4)

到達距離 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に、DS で 0.15 (0.01), 0.68 (0.05), 1.14 (0.15), 1.75 (0.14) mm, SY で 0.41 (0.04), 0.78 (0.04), 1.27 (0.04), 2.04 (0.21) mm, GR で 0.36 (0.03), 0.63 (0.04), 1.21 (0.13), 1.79 (0.02) mm であった。ヘッド角ごとの比較では、0 度では DS が他に対して有意に短く ($p < 0.05$), 30 度の SY が DS と GR に比較して有意に長かった ($p < 0.01$)。いずれの歯ブラシでも、ヘッド角が大きくなると到達距離が有意に長くなっていた ($p < 0.01$)。

(3) 剥離面積

a. 平面剥離面積 (図 10, 表 5)

平面の平均剥離面積 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に DS で 337.3 (8.5), 257.6 (9.6), 212.1 (4.4), 211.1 (6.0) mm², SY で 232.5 (5.5), 247.2 (8.8), 272.6 (3.9), 298.6 (8.4) mm², GR で 228.9 (7.9), 221.4 (13.7), 278.7 (10.8), 301.0 (18.1) mm² であった。0 度では、DS が他に比較して有意に大きく、10 度では GR が他に比較して有意に小さく、20 度と 30 度では DS が他に比較して有意に小さかった ($p < 0.01$)。歯ブラシの種類別では、DS は 20 度までは有意に減少し ($p < 0.01$), その後、30 度との差はなかった。SY は 0 度と 10 度には差を認めず、その後、ヘッド角とともに有意に大きかった ($p < 0.05$)。GR は 0 度と 10 度, 20 度と 30 度には差はなく、10 度と 20 度では有意に大きくなった ($p < 0.01$)。

b. 隣接部の剥離面積 (図 11, 表 6)

隣接部の平均剥離面積 (SD) は、ヘッド角 0, 10, 20, 30 度の順に、DS で 16.6 (1.4), 25.8 (1.7), 33.8 (3.3), 39.9 (0.5) mm², SY で 23.1 (0.4), 35.3 (3.2), 48.6 (3.0), 61.4 (4.8) mm², GR で 29.6 (1.7), 34.9 (1.7), 52.1 (3.2), 60.6 (1.7) mm² であった。ヘッド角に関わらず、DS が他に比較して有意に小さく、0 度では SY と GR の間にも差を認めた ($p < 0.05$)。歯ブラシの種類別では、ヘッド角度の増加に伴って GR の 0 度と 10 度の間以外で増加した ($p < 0.05$)。

【考察】

現在、数多くの歯ブラシが市販されている^{1,5,18)}。障害児者が効果的なブラッシングを行うには、各人のブラッシングスキルに対して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。う蝕や歯周疾患のリスクが高い隣接部のような凹部の清掃には、ヘッドの清掃面に対する角度設定が重要とされる^{12,13)}。しかし、障害児者の中には、障害特性によって歯ブラシを適切に傾けることが困難な場合がある。そこで、本研究では平面と隣接部における歯ブラシの機能を同時に評価できる隣接モデルを開発し、歯ブラシヘッドの清掃面に対する角度、毛先形態やヘッドの大きさが清掃性に及ぼす影響を検討した。

研究 A では、0 度以外の条件下において、毛先角がヘッド角よりも約 2 倍になった。歯ブラシを傾けた時の毛に加わる荷重を毛のたわみを考慮せずに理論的に考えると、ヘッド角が 0 度の時は垂直方向にのみ 200gf の力がかかるが、30 度では三平方の定理によって垂直

方向に $100\sqrt{3}$ gf、水平方向に 100gf の力がかかることになる。そのため、ヘッド角が大きいと側方への力が大きくなり、毛がたわむ。また、同じ荷重であっても、毛とモデルの接触面積が狭い場合は、力が集中して毛がたわみやすい⁹⁻¹¹⁾。平面の剥離プロファイルにおいて、0度では過去の報告^{10,11)}と同様に歯ブラシの構造に基づいた3列の剥離状態が認められた。一方で、ヘッド角が大きいと刷掃方向に対して垂直直交する剥離領域の幅および外側の剥離距離が短縮し、平面の剥離面積も減少を認めた。これらの結果はヘッド角が大きいと外側の毛が刷掃に関与せずに、毛のモデル面への接触面積が減少したことの反映であるといえる。したがって、毛先角の増大は、ヘッド角増加による側方圧の増加だけでなく、毛とモデルの接触面積の減少による1本あたりの毛にかかる荷重増加によって毛がたわんだ結果と考えられた。一方、ヘッド角の増加に伴い隣接部における到達距離と剥離面積の増加を認めた。以上から、研究Aによって、ヘッド角と毛先角は異なること、ヘッドを傾けると隣接部の毛先到達性が向上するものの平面の清掃性は低下することが明らかになった。剥離プロファイルでは、ヘッド角0度以外において、隣接部の到達点の位置が平面における内側境界線の延長線の位置とほぼ一致していた。本結果は、研究Aに使用したDSは清掃したいと思う部位に歯ブラシの毛を接触させて角度をつけることができれば、思い通りの部位に毛を到達させられる可能性を示していると予想した。これらの考察は、平面と隣接部を同時に観察し、結果を得られる今回の隣接モデルによってはじめて可能となるといえる。隣接面の評価法として顎模型の使用^{13,19)}がある。顎模型による評価は臨床家にとって直感的にはわかりやすいが、実際には複雑な形態を再現しているために、評価結果の定量的な把握は難しい場合が多く、再現性も乏しい。今回、開発した隣接モデルは単純かつ容易に設計できる構造に加え、平面と隣接部を同時に評価できる過去には報告のない独自の特徴から評価モデルとして有用であると示唆された。

しかし、研究Aは、モデルの有用性を1種類の歯ブラシで検討した内容であり、毛の太さなどの影響については考察できなかった。毛は半径の4乗に比例してたわみにくく、毛丈の3乗に比例してたわみやすくなることから²⁰⁾、細い毛や長い毛の場合は毛先角の増大が予想される。そのうえ、障害児者は、ブラッシング時のヘッド角のコントロールが容易ではないために、毛先形態などによる影響を受けやすいと推察できる。そこで、ブラッシング時に歯ブラシの角度設定が難しい場合であっても、隣接部の高い清掃性を維持できる歯ブラシの要因について検討することで、対象者に合わせた歯ブラシの選択に寄与できると考え、歯ブラシの毛先形態やヘッドの大きさの影響を把握するために研究Bを立案した。

研究Bにおいても、研究Aと同様にヘッド角が10度以上の毛先角は、DSでヘッド角の約2倍、SYおよびGRのST毛の歯ブラシでは約2.5倍になった。使用した3種類の歯ブラシのJIS規格による毛の硬さ表示は「ふつう」と同じであり、硬さ表示が毛先のたわみを反映しているのであれば毛先角に差が生じないことになる。しかし、ヘッド角が同じでもSYとGRの毛先角はDSに比較して大きくなった。これらの結果は、SYおよびGRがDSに比べて毛先角が大きい理由として、毛丈が長いこと、植毛されているST毛の先端5mm

程度が先細加工された毛先形態であるためにたわみやすい²⁰⁾ことが考えられた。家庭用品表示法における歯ブラシの毛の硬さの表示は、一般に、座屈強度試験に基づいて表示されるが、この試験法では、毛丈を 7.0mm の長さに切り揃えた状態で行われるため¹⁷⁾、毛丈が 12.0mm の ST 毛の先端部分は切り落とされることになる。つまり、硬さ表示では毛先部分のたわみが評価できないことが課題といえる。SY と GR は毛の種類、毛丈、タフト径が同様であるにも関わらず、GR の毛先角の方が大きかった。これは、モデル面に接している最外列のタフト数が SY では 8 本、GR では 6 本であるために、同荷重では GR の方がタフト 1 本あたりの荷重が大きくなり、たわみが大きくなったためと考えられた。以上から、今回の 3 種類の歯ブラシにおける毛先角の違いは、毛の材質および形状、接触している毛の数によるものと示唆された。

研究 A の結果から、平面の剥離面積はヘッド角が大きくなるにつれて外側の毛がモデル平面から離れるために清掃に関与できる毛が減り、減少すると予想したが、その傾向を研究 B で明らかに認めたのは研究 A で使用した DS のみであった。ST 毛の SY と GR は、ヘッド角が大きくなるにつれて増加した。既に述べたように SY と GR の ST 毛は先端になるにつれて徐々に細くなるために先端付近で大きくたわむ。また、ヘッド角が大きくなると側方に力がより加わって毛先のたわみが大きくなるために毛の側面が接触することで、平面の剥離面積が増加したものと考えられた。

ST 毛でヘッド幅の異なる SY と GR は、評価モデルを用いた過去の研究で清掃性¹¹⁾や追従荷重範囲に差異が認められている⁹⁾。しかし、本研究においては、ほぼ同様の結果を示した。表 3 および図 8 の画像から、GR ではヘッド角の増加につれ外側の毛が接触できずに SY の植毛幅と同じ程度の内側の毛が刷掃に関与していると予想されたために植毛部の影響を受けなかったと考えられた。

隣接部の剥離面積は、GR の 0 度と 10 度以外のすべての歯ブラシでヘッド角の増加とともに有意に増加した。隣接部の到達距離はすべての歯ブラシで、ヘッド角の増加に伴い延長したが歯ブラシの種類別のヘッド角による差は 30 度の SY のみが他に比較して有意に長かった。SY は DS と比べて毛先が細いために、到達距離が長かっただけでなく、植毛幅が最も狭いことで、隣接部において隣り合う毛の数が少なく、それぞれの毛が干渉せずにより深くまで到達できたと考えられた。

隣接部の剥離面積はどの角度であっても DS に対して ST 毛が有意に大きく、ヘッド角 0 度では SY と GR に差を認めたが 10 度より大きい角度では有意差を認めなかった。これらの隣接部の結果によって、本研究条件下では ST 毛の植毛された歯ブラシの隣接部の清掃性は RO 毛に比べて高かった可能性が示された。また、ST 毛の植毛された歯ブラシにおいて、隣接部の清掃性はヘッド幅の影響が少ないと示唆された。

本研究結果から、対象歯ブラシに関して実際に障害児者が使用する際の効果的な選択について以下のように推察できた。

スクラッピング法や横磨きはヘッド角 0 度に相当すると考えられる。その条件下の RO

毛は ST 毛の歯ブラシよりも清掃性は高いが、ヘッド角の増大につれ平面の接触範囲が狭くなった。隣接部の到達性および清掃性は、角度をつけることで高くなるものの ST 毛の歯ブラシに比較して低かった。ただし、毛先が最も強い力で当たっていると考えられる内側境界付近の剥離部分と隣接部の到達点の水平的位置関係が一致していることから手の巧緻性や認知領域に問題がなく、磨きたい歯面に対して適切に角度を付けてブラッシングできる場合は効率的な清掃が可能になると予想された。特に、持続的な動作が難しいなどの運動領域やモチベーションなどの情意領域の問題によって時間をかけられない場合には、ST 毛に比較してその効果は高いと思われた。

一方、認知領域や運動領域に問題があるために歯面に毛先を様々な角度で合わせることに困難な場合、コンパクトな RO 毛のみの使用では隣接部の清掃性は低いと予想され、すべてのヘッド角で隣接部の剥離面積が大きかった ST 毛の歯ブラシが有効と考えられた。ST 毛の歯ブラシの清掃性が RO 毛に比較して低いとの報告がある^{7,11)}が、今回はヘッド角の増加とともに ST 毛の方が平面の剥離面積が大きくなった。本研究ではヘッドの大きさによる剥離面積に大きな差を認めなかった。今回は一定の荷重と刷掃回数での比較であるために刷掃時の力と接触面積との関係によって、コンパクトヘッドの SY では単位面積当たりの荷重が高く、幅広植毛歯ブラシ GR では力が分散されて一本の毛の清掃性が低くなったためと考えられた。したがって、ブラッシング力が強過ぎる場合はコンパクトヘッドの ST 毛の歯ブラシである SY は毛の柔軟性が失われて歯肉や歯の損傷などといった為害性が生じる可能性があり、毛先が清掃面に適切に接触できる荷重の範囲である追従荷重範囲の広い大きいヘッドの歯ブラシ⁹⁾の使用が好ましいと考えられる。その場合、知的能力障害や発達障害では情意領域において集中力が続かない可能性もあり、今後は短時間で磨ける歯ブラシの条件についても検討していきたい。

すでに ST 毛の植毛された幅広植毛歯ブラシは平面の清掃性が高いこと、追従荷重範囲が広いことから障害児者に有用であることを報告していたが、本研究結果から、隣接面の清掃にも有用である可能性が示唆された。

今回、開発した隣接モデルは単純かつ容易に設計できる構造であり、定量的に構造を変えることができるため、実際の口腔内に存在しうる形態を、複数のモデルを用いることで網羅することが可能といえる。今後は、さまざまなモデルにおいて試験条件ごとの評価結果をデータベース化することで、将来、各人の機能の 3 領域や口腔内の状態に合わせた効果的な歯ブラシ選択を可能にすると考えている。そのためには、臨床研究を行いながら、より効果的な評価モデルについても検討をしていきたい。

【結論】

平面および隣接部における歯ブラシの清掃性を同時に評価できる隣接モデルを新たに開発した。本モデルの使用によって、モデルに対する歯ブラシの角度の変化、毛先形態やヘッドの大きさによる清掃性や毛先到達性に及ぼす影響を評価したところ、各条件の違いを明

らかにできた。多様な特性を示す障害児者のブラッシングスキルに対して適切な歯ブラシを選択する際、平面と隣接部の両者を同時に評価できる本モデルを用いた歯ブラシの機能評価は指標のひとつとして応用できる可能性が示唆された。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態はない。

【文献】

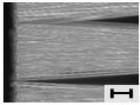
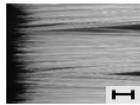
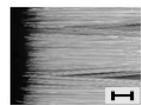
- 1) 遠藤眞美：使いこなせていますか？歯ブラシなどの口腔清掃用器具 障害児での口腔清掃用具の使用法・指導法，小児歯臨，21：29-32，2016.
- 2) 梶美奈子：障害児(者)に対するう蝕予防，日障者歯，38：127-132，2017.
- 3) 小笠原正：口腔ケア；スペシャルニーズデンティストリー 障害者歯科（日本障害者歯科学会編）. 第二版，246-248，医歯薬出版，東京，2017.
- 4) 遠藤眞美：障害者の口腔ケアと健康管理；歯科衛生士講座 障害者歯科学（柿木保明，野本たかと，梶美奈子編集主幹），第3版，128-133，永末書店，京都，2022.
- 5) 早崎治明，大島邦子：歯みがきについて，新潟歯会誌，44：1-11，2014.
- 6) 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－，日歯医療管理会誌，55：61-68，2020.
- 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-，日障者歯，41：72-81，2020.
- 8) 地主知世，遠藤眞美，高柳篤史，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2報：荷重と挙動，日障者歯，42：23-32，2021.
- 9) 地主知世，遠藤眞美，白田翔平，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4報：幅広植毛歯ブラシの追従性と荷重－，日障者歯，42：235-242，2021.
- 10) 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－，日歯医療管理会誌，55：223-228，2021.
- 11) 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，日障者歯，42：160-169，2021.
- 12) Karen A, Raposa: Oral infection control: Toothbrushes and toothbrushing; *in* Clinical Practice of the Dental Hygienist (Esther M. Wilkins), 11th ed. 392-397, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2013.
- 13) Yokoya Y. Effects of toothbrushing angulation on plaque removal at the dento-gingival margin. 口衛誌 1989；39：193-204.
- 14) 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.

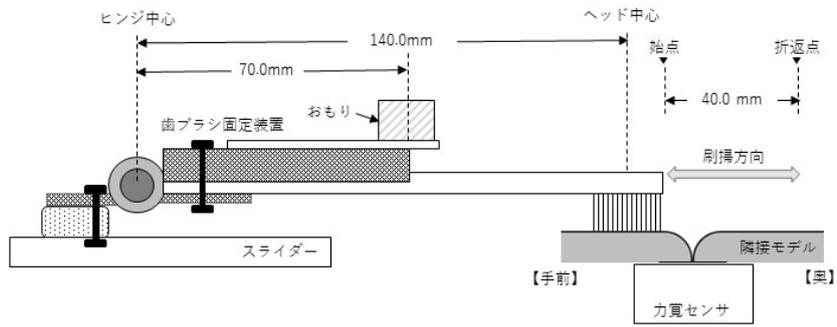
- 15) Nakajima T, Nakakura-Ohshima K, Hanasaki M, et al : Difference of tooth brushing motion between dental hygienists and mothers-Focusing on self-tooth brushing and caregivers'-toothbrushing, Dent Oral Craniofac Res, 4 : 1-6, 2017.
- 16) 中島康則：成人における手用歯ブラシによる歯みがき圧および歯みがき動作の回数と歯垢清掃効果との関係について，口腔衛会誌，21：193-216，1971.
- 17) 日本工業規格 JIS S3016：1995. <https://kikakurui.com/s/S3016-1995-01.html>（2021年3月26日）
- 18) 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，日歯医師会誌，70：469-477，2017.
- 19) Otsuka R, Nomura Y, Okada A, et al. Properties of manual toothbrush that influence on plaque removal of interproximal surface in vitro. J Dent Sci, 15：14-21，2020.
- 20) 山岸敦：歯ブラシは，毛先が広がらなければ交換の必要はない；セルフケア指導 脱！誤解と思ひ込み（高柳篤史監著），第1版. 58-60，クインテッセンス出版，東京，2021.

【図表】

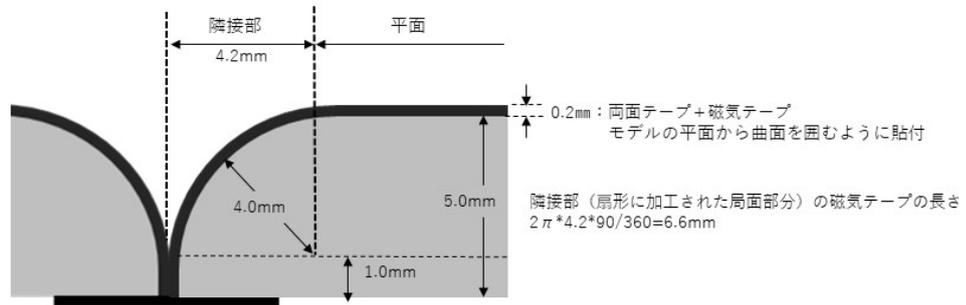
表1. 試験歯ブラシ

略称	DS	SY	GR
歯ブラシの写真			
毛先の形状			
毛の硬さ(JISS3016)	ふつう	ふつう	ふつう
ブリッスル径	7.0mil	7.5mil	7.5mil
毛丈	9.5mm	12.0mm	12.0mm
タフト径	2.0mm	1.5mm	1.5mm
植毛部長さ	20.0mm	22.0mm	22.0mm
植毛部幅	8.0mm	6.0mm	13.0mm
毛の材質	ナイロン	PBT*	PBT*

*ポリブチレンテレフタレート



a. 評価モデルを0度に設定した際の模式図（側面図）



b.隣接部の拡大模式図

図1. 評価装置

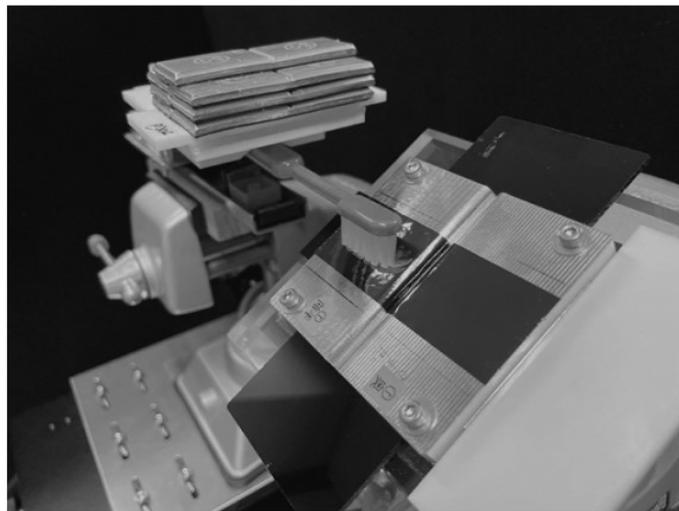


図2. モデルを30度傾けた時の外観写真

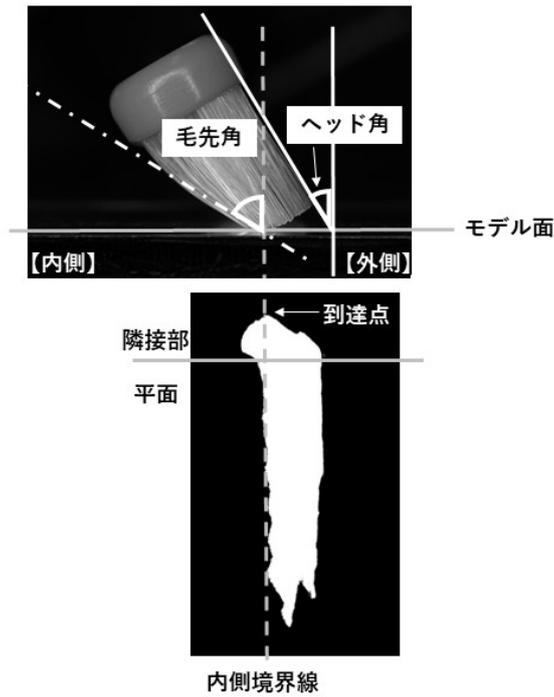
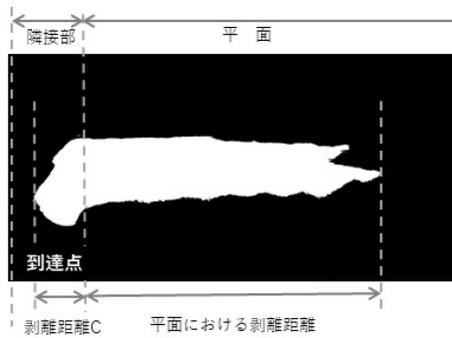
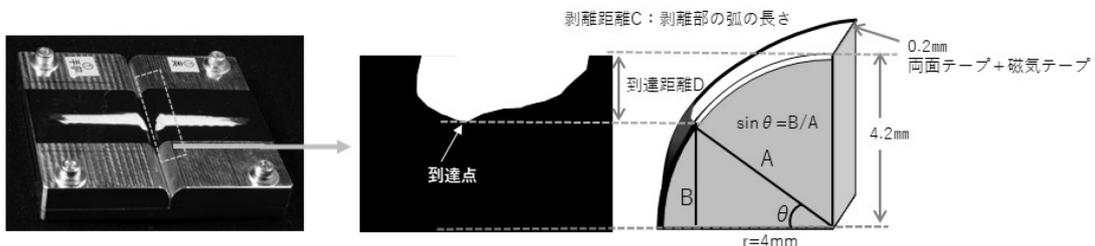


図3. ヘッド角と毛先角および試験後の磁気テープ例



a. モデルから外した後でアクリル平板に貼付した磁気テープ画像



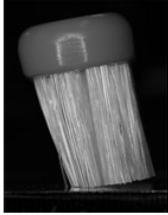
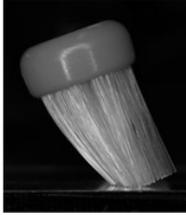
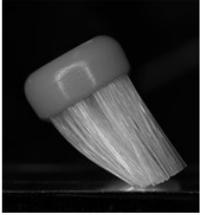
b. 剥離距離から到達距離への換算（模式図）

磁気テープをモデルから剥離して剥離距離Cを計測する。
 円柱の1/4の扇形の弧の長さは $2\pi r \cdot 1/4 = 6.60\text{mm}$ である。
 θ は弧の長さに比例するので $\theta = (6.60 - C) / 6.60 \cdot 90$, $B = 4.2 \cdot \sin \theta$ であるので到達距離Dは $D = 4.2 - B$ となる。

図4. 隣接部における到達距離の算出方法

表2. 研究Aにおける毛先角の計測結果

N=3

ヘッド角	0度	10度	20度	30度
測定画像				
毛先角 (SD)	0 (0.0) 度	23 (0.0) 度	47 (0.0) 度	59 (0.6) 度

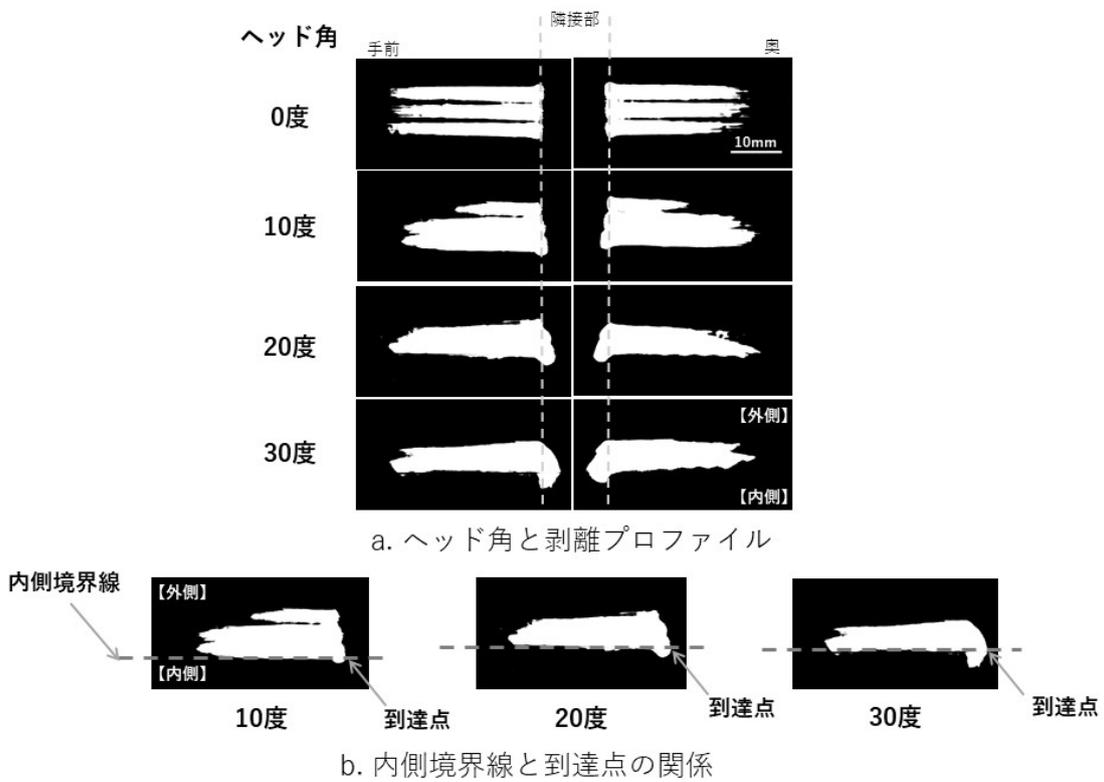


図5. 試験後の磁気テープ画像

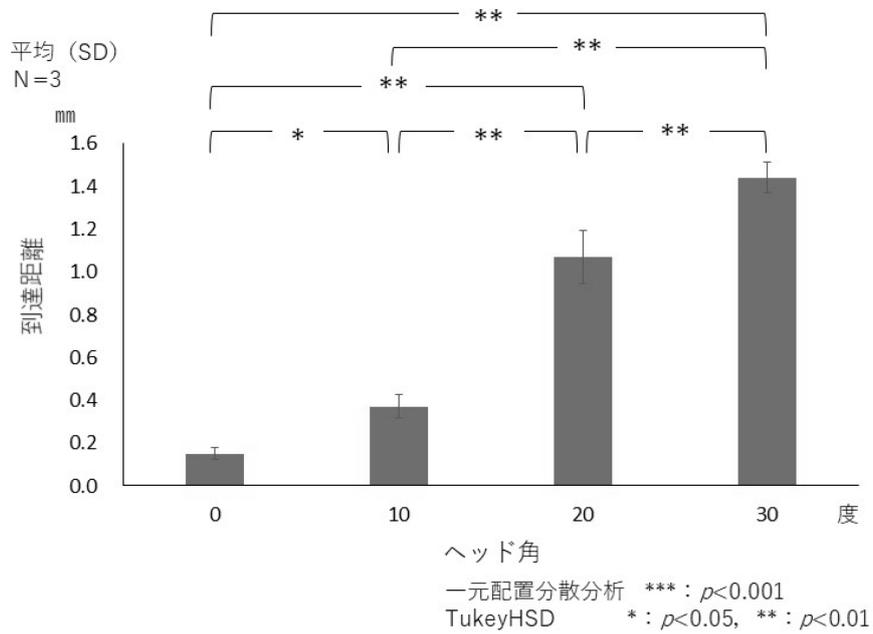
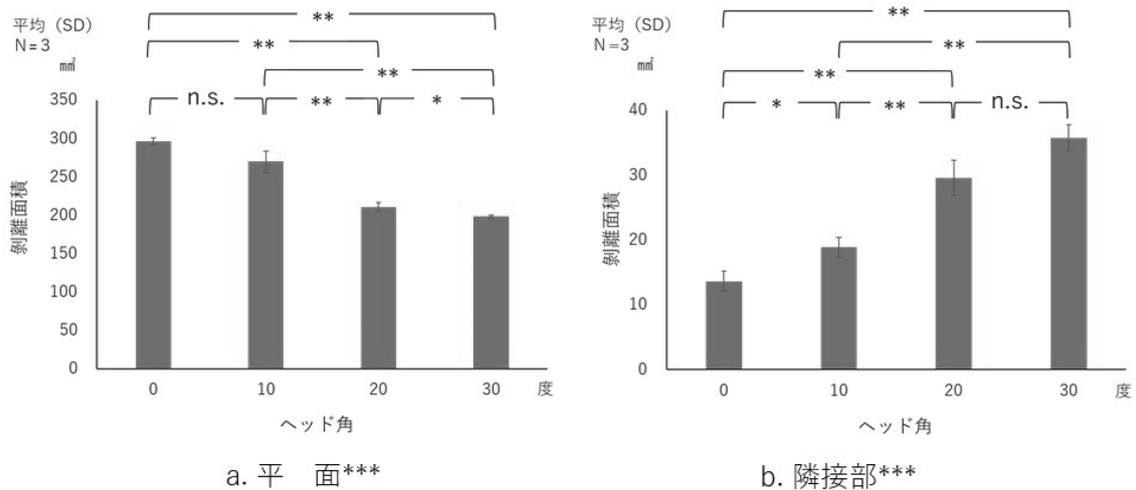


図6. 隣接部到達距離***



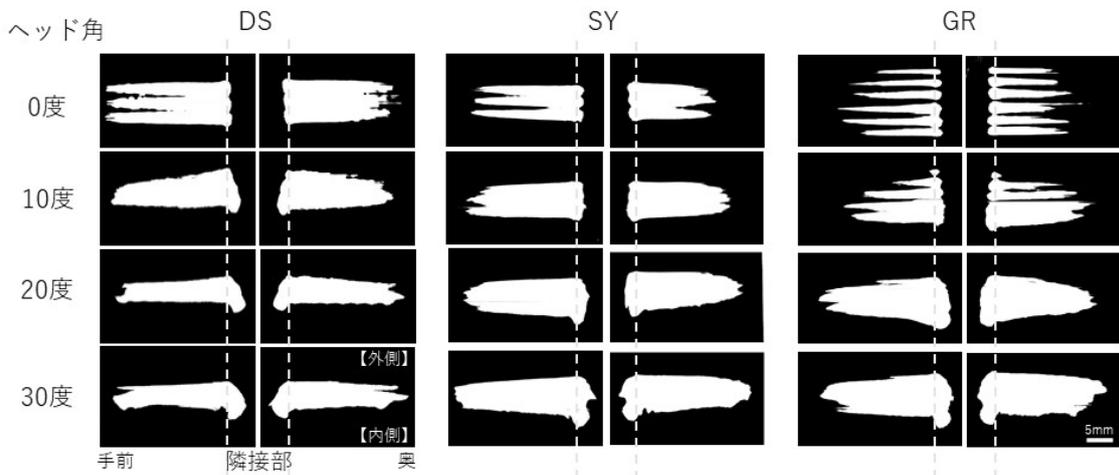
一元配置分散分析 *** : $p < 0.001$
TukeyHSD * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, n.s. : not significant

図7. 剥離面積

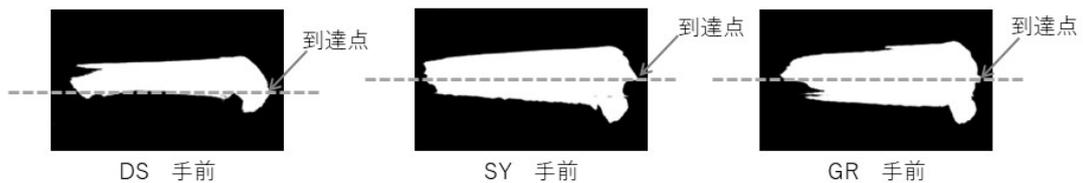
表3. 毛先角の計測結果

N=3

ヘッド角	0度	10度	20度	30度	
DS	測定画像				
	毛先角(SD)	0(0.0)度	22(0.6)度	41(0.6)度	57(0.0)度
SY	測定画像				
	毛先角(SD)	0(0.0)度	26(1.0)度	48(1.5)度	70(1.0)度
GR	測定画像				
	毛先角(SD)	0(0.0)度	32(1.2)度	53(1.0)度	78(1.7)度



a. 各歯ブラシとヘッド角別の代表画像



b. ヘッド角30度における到達点と平面の関係

図8. 剥離プロファイル

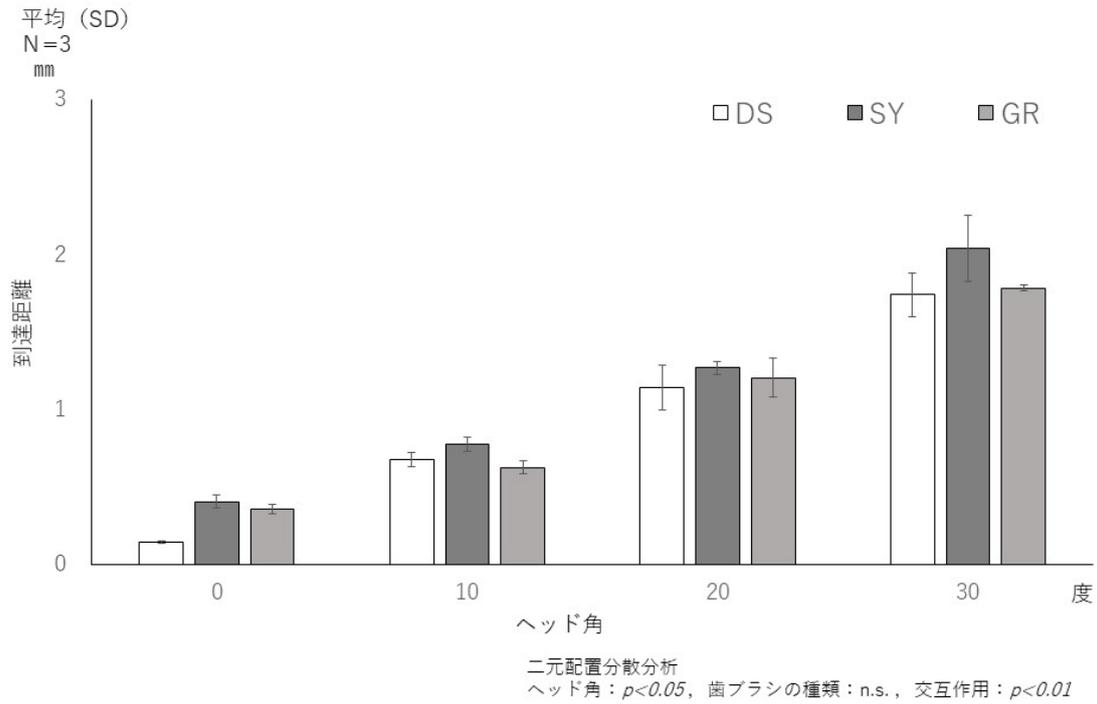


図9. 到達距離

表4. 到達距離に関する多重比較結果

a. 各ヘッド角における歯ブラシの種類による多重比較

1) 0度		2) 10度		3) 20度		4) 30度	
	DS SY		DS SY		DS SY		DS SY
SY	**	SY	n.s.	SY	n.s.	SY	**
GR	* n.s.	GR	n.s. n.s.	GR	n.s. n.s.	GR	n.s. **

b. 各歯ブラシにおけるヘッド角による多重比較

1) DS				2) SY			3) GR				
	0度	10度	20度		0度	10度	20度		0度	10度	20度
10度	**			10度	**			10度	**		
20度	**	**		20度	**	**		20度	**	**	
30度	**	**	**	30度	**	**	**	30度	**	**	**

多重比較: Bonferroni法

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

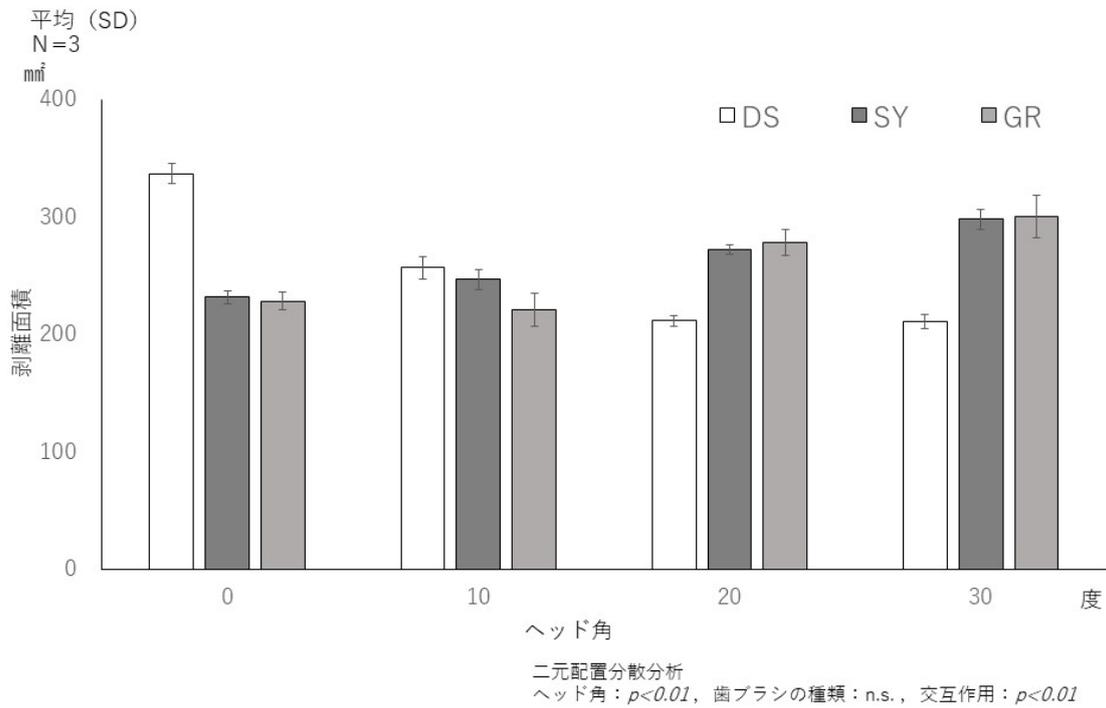


図10. 平面の剥離面積

表5. 平面の剥離面積に関する多重比較結果

a. 各ヘッド角における歯ブラシの種類による多重比較

1) 0度			2) 10度			3) 20度			4) 30度		
	DS	SY		DS	SY		DS	SY		DS	SY
SY	**		SY	n.s.		SY	**		SY	**	
GR	**	n.s.	GR	**	**	GR	**	n.s.	GR	**	n.s.

b. 各歯ブラシにおけるヘッド角による多重比較

1) DS				2) SY				3) GR			
	0度	10度	20度		0度	10度	20度		0度	10度	20度
10度	**			10度	n.s.			10度	n.s.		
20度	**	**		20度	**	*		20度	**	**	
30度	**	**	n.s.	30度	**	**	*	30度	**	**	n.s.

多重比較: Bonferroni法

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

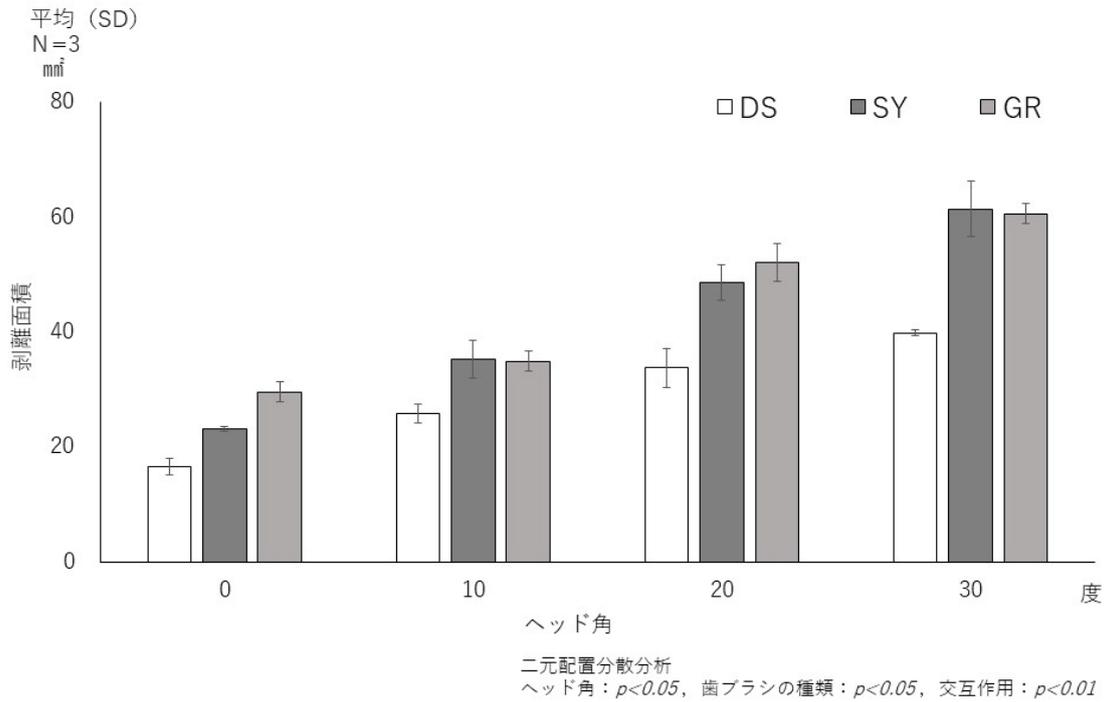


図11. 隣接部の剥離面積

表6. 隣接部の剥離面積に関する多重比較結果

a. 各ヘッド角における歯ブラシの種類による多重比較

1) 0度		2) 10度		3) 20度		4) 30度	
	DS SY		DS SY		DS SY		DS SY
SY	*	SY	**	SY	**	SY	**
GR	** *	GR	** n.s.	GR	** n.s.	GR	** n.s.

b. 各歯ブラシにおけるヘッド角による多重比較

1) DS			2) SY			3) GR					
	0度	10度	20度		0度	10度	20度		0度	10度	20度
10度	**			10度	**			10度	n.s.		
20度	** **	**		20度	** *			20度	** **	**	
30度	** ** *	**	*	30度	** ** **	**	**	30度	** ** **	**	**

多重比較：Bonferroni法

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