一般口演 7

ブラッシング動作の最適化に関する工学的アプローチ

An engineering approach to optimal tooth-brushing techniques

○佐々木誠¹⁾, 猪狩和子²⁾, 塙 総司³⁾, 佐々木啓一³⁾Makoto Sasaki¹⁾, Kazuko Igari²⁾, Soshi Hanawa³⁾, Keiichi Sasaki³⁾¹⁾ 岩手大学大学院総合科学研究科バイオ・ロボティクス分野²⁾ 東北大学病院障害者歯科治療部³⁾ 東北大学大学院歯学研究科口腔システム補綴学分野¹⁾ Division of Biorobotics, Graduate School of Science and Engineering, Iwate University²⁾ Clinics of Dentistry for the Disabled, Tohoku University Hospital³⁾ Division of Advanced Prosthetic Dentistry, Graduate School of Dentistry, Tohoku University

I. 目 的

口腔内の常在菌により形成されるデンタルプラークは、う蝕や歯周病の原因であるほか、誤嚥性肺炎にも密接に関与するなど、全身への感染リスクが見逃ごせないものとなっている。このデンタルプラークは、菌に強固に粘着しており、機械的なブラッシングによる除去が不可欠である。平成23年には、「歯科口腔保健の推進に関する法律」¹⁾（歯科口腔保健法）が公布され、国や地方公共団体、歯科医師や歯科衛生士などの歯科専門職に加えて、国民自らも口腔の健康管理を行う義務が定められ、日常的なブラッシングの重要性は益々高まっている。一方、ブラッシングには、スクラビング法、バス法、フォーンズ法などの手技が存在しているが、力学的側面を考慮した適切なブラッシング法は未だ不明であり、ブラッシングスキルの習得、指導が十分とはいえない現状がある²⁾。

そこで本研究では、歯ブラシの3次元運動と毛先に加わる3次元力ベクトルを同時計測しうる計測システムを開発し、ブラッシング動作のデータベースを作成した。次に主成分分析と最適化計算を組み合わせた工学的アプローチにより、ブラッシング箇所や目的に適したブラッシング動作を自動生成できるか、その可能性を検証した。

II. 方 法

1. データベースの構築

歯ブラシには、American Dental Associationで認証済みのGUM デンタルブラシ（#211ふつう, Sunstar Inc.）を採用した。そして、磁気式3次元位置姿勢センサと小型6軸力覚センサを取り付けることで、歯ブラシの3次元運動と3次元ブラッシング力（力の大きさと方向、作用点）の同時計測を実現した。

被験者は、理工学部学生5名（平均年齢22.8歳、全員右利き）とした。実験では、上顎歯列模型（E50-500AU, 株式会社ニッシン）の左側中切歯唇側を被験歯面とし、エタノール含浸綿で歯面を拭いた後、人工プラークを2回に分けて均一に塗布した。次に、できるだけ多くのブラッシングパターンをデータベース化できるよう、ブラッシングの箇所、強さ、速度、振幅、方向、歯ブラシの傾きなどが異なる40種類のブラッシングを被験者に指示した。各条件におけるストローク回数は15回とした。

ブラッシング後は、歯面をデジタルカメラで撮影し、歯面の部位（歯面中央、歯頸部、近心部、遠心部）ごとにプラーク除去率を画像処理により求めた。なお、撮影は、同一環境で行うために、LED ライト付きの遮光ボックスで上顎歯列模型を覆い、デジタルカメラと歯面との位置を105 mm, ISO 感度を80, 画素数を1410万画素に固定して行った。以上により、被験者5名×40種類の

図1 3次元ブラッシング計測システム

ブラッシング動作とプラーク除去率をデータベース化した。

2. ブラッシング動作の最適化

本研究では、主成分分析、重回帰分析、最適化計算を組み合わせることで、ブラッシング動作の最適化を行った。主成分分析とは、多次元データが持つ情報を損わずに低次元に情報を縮約する手法である。そのため、計測したブラッシング動作に主成分分析を適用することで、ブラッシングの特徴を少数の新しい合成変量（主成分）で表すことができる。また、その逆変換も可能で、主成分の得点から、ブラッシング動作を再構築することもできる。

具体的な手順としては、まず15ストロークのブラッシング動作から、平均的な1ストローク分の動作を求め、主成分分析を適用した。次に、重回帰分析を用いて、主成分得点からブラッシング力とプラーク除去率、ストロークの軌跡長を予測するための重回帰係数を求めた。最適化計算では、これら3つの予測式を用いて目的関数を設定し、歯や歯肉への力学的負荷であるブラッシング力を減らしつつ、高いプラーク除去率を達成しうる主成分得点を導出した。最後に、得られた主成分得点を用いて、ブラッシング動作を再構築することで、目的に適したブラッシング動作を生成した。

Ⅲ. 結果及び考察

図2は、歯頸部に対する被験者のブラッシング動作と、最適化計算で得られたブラッシング動作を示した。最適化後のブラッシング力は0.75 Nから0.5 Nに低下し、軌跡長も26.3 mmから18.5 mmへと短くなった。その一方、プラーク除去率は、53.6%から72.4%に増加し、本手法により、弱い力で効率良くプラークを除去できる

図2 ブラッシング動作（緑：被験者の計測動作、紫：最適化計算で生成した動作）

ブラッシング動作を生成できる可能性が示唆された。また、水平面に対する歯ブラシヘッド部の姿勢に着目すると、最適化後の角度 ϕ は、10.5度から5.9度へと減少し、毛先部分が歯頸部方向を向くような意図が見てとれた。

以上のように、本研究では、歯頸部の最適化結果のみを示したが、目的関数を変更することで、歯面中央、近心部、遠心部などのブラッシング動作についても同様に最適化計算が可能である。一方、本手法で生成されるブラッシング動作は、データベースの影響を受けることが予想されるため、上顎歯列模型と人工プラークを用いた実験系については、今後更なる検討が必要である。

Ⅳ. 文 献

- 1) 厚生労働省：歯科口腔保健の推進に関する基礎的事項 <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002fx0p.html> (2018年8月17日アクセス)
- 2) 穴戸敦子ほか、小型3軸力覚センサを利用したブラッシング動作の解析、日本歯科衛生学会雑誌, 12(2), 53-61, 2018