

プローピング力とレスト力を独立して計測可能な プローピングシミュレータ

Measurable Probing Simulator for Independent Assessment of Probing Force and Resting Force

○ 中牟田 真至 (近畿大) 正 松野 孝博 (近畿大)
正 三谷 篤史 (札幌市立大) 正 平井 慎一 (立命館大)

Shinji NAKAMUTA, Kindai University
Takahiro Matsuno, Kindai University
Atsushi MITANI, Sapporo City University
Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

In periodontal examinations, precise probing force and the ability to stabilize the probe are essential skills. Practitioners must adeptly insert the probe with appropriate force, underscoring the necessity for thorough skill acquisition. To address this, we developed a probing simulator equipped with sensors that provide feedback on both probing and resting forces. This simulator allows users to independently measure and enhance their skills in probing. The incorporation of real-time feedback aims to optimize the learning process, ensuring practitioners can master the required techniques for effective periodontal assessments.

Key Words: Probing Simulator, Probe, Oral Simulator, Measurable Oral Simulator

1. 緒言

歯周病の早期発見と治療において、プローピング検査は不可欠な手法であり、その実施には正確なプローピング力が求められる。プローピングは歯周プローブを用いて、歯肉溝やポケット内にプローブの先端を差し込み、歯周組織の状態を確認する検査のことを指す。この手法によって、歯周病の有無や進行度を確認することが可能となる[1]。歯科や口腔に関連する介護や看護の教育においては、口腔の模型を用いる方法が一般的である[2-3]。プローピングの練習においても、教師が生徒に対して実演を行い、生徒が模型を用いてプローピングを練習することで、技能の向上を図っている。しかしながら、従来の口腔模型にはセンサが組み込まれておらず、プローピングの力や動きに関する数値的なデータを記録することが難しいという課題が存在した。このため、教育における指導が主に感覚的なものに限定されていた。

本研究では、この従来の教育方法における課題を解決するために、プローピングの力に関するデータをリアルタイムで取得できるプローピングシミュレータの開発に焦点を当てる。本研究で開発するプローピングシミュレータは、センサが内蔵された口腔模型であり、プローピング時のレスト力とプローピング力を独立して計測することが可能である。ここでのプローピング力は、プローブの先端を歯周ポケット内に押し込む際の力を指し、一方のレスト力は指を歯に置いた際にかかる力を指す。この計測が可能なシミュレータにより、歯科医師や歯科衛生士を目指す学生や臨床医がプローピング技術を向上させ、患者の歯周状態をより的確に評価できるようになることを本研究の将来的な目標とする。

2. 提案するプローピングシミュレータの構成

本章では、提案するプローピングシミュレータの構成について詳細に述べる。図1はプローピングシミュレータの全体像を示しており、このシミュレータは歯周病の検診において必要な、適切な力でプローブを差し込む技能を向上させるための練習装置となる。

プローピングシミュレータは、二つのロードセル、歯槽骨の特にポケット底部を模倣した部品、舌と歯茎を模倣した部品、

および粘膜を模倣した柔軟な部品から構成されている。ポケット底部を模倣した部品と歯茎を模倣した部品は、それぞれ干渉しない構造を保ちつつ、各ロードセルに接続されている。ロードセルの信号線はオペアンプに接続され、拡大した信号はオシロスコープで表示される。オシロスコープは2台用意され、一方はプローピング力の表示、もう一方はレスト力の表示に使用される。図2中央はシミュレータベース部を示しており、この部分には2つのロードセルが設置されている。ロードセル①には舌と歯茎を模倣した部品が接続され、レスト力の計測に用いられる。ロードセル②には歯槽骨を模倣した部品が接続され、プローピング力が計測される。図2左にロードセルと歯列への接続部品を示す。また、図2右に歯槽骨を模倣した部品をロードセルへ接続する部品を示す。この部品はプローブで圧を加える箇所該当する。背面にはロードセルに接続するための穴とスペーサーが設けられ、図2左に示す接続部品と干渉しない構造となっている。部品の外周部分には歯茎を模倣した部品を通すための空間が確保されている。また、部品中央部分には舌を模倣した部品を通すための空間が

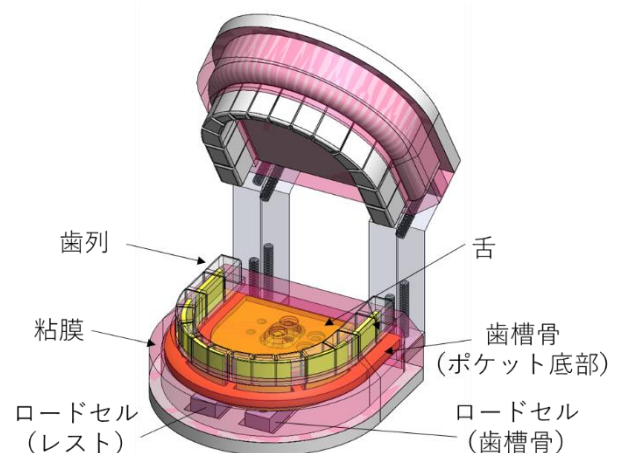


図1 提案するプローピング力とレスト力を独立して計測可能なプローピングシミュレータ

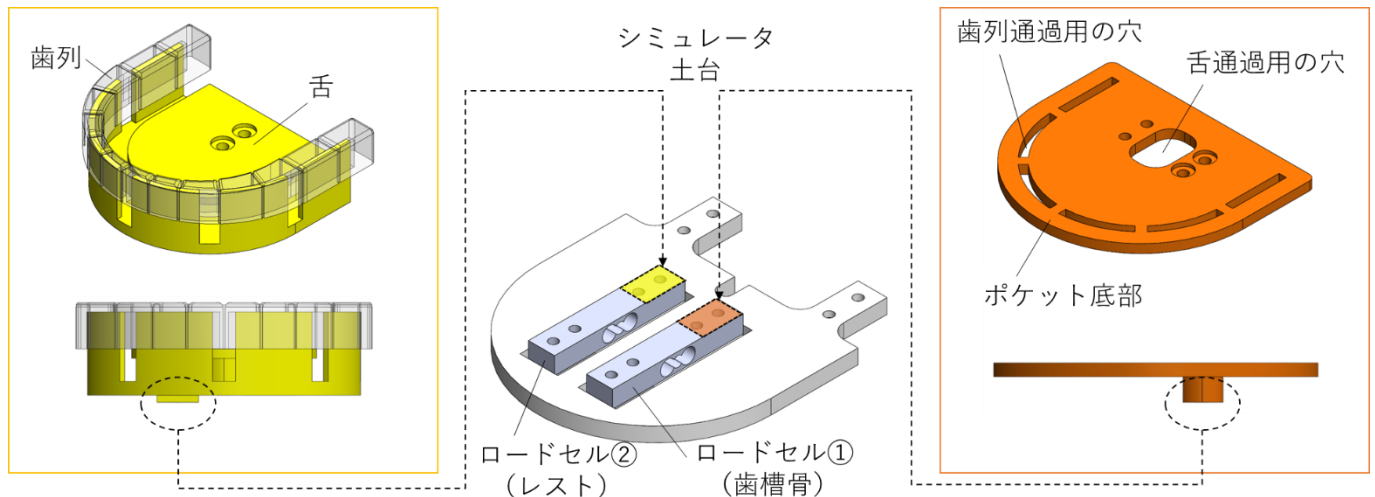


図2 提案するプロービングシミュレータの構成, (図左)歯列部品とロードセルへの接続パーツ, (図中央)シミュレータの土台とロードセルの配置, (図右)歯槽骨を模倣した部品, および歯列部品のセンサへの接続を阻害しない構造

確保されている。図2左右に示す接続部品は互いに干渉しない構造をしており、歯列や舌の上で指をレストさせるとその力はロードセル②のみに伝わる。また、プローブでポケット底部に圧を加えると、その力はロードセル①のみに伝わる構造となっている。

3. 粘膜模倣部品の成型

本章では、プロービングシミュレータの一部である粘膜を模倣した部品の成型プロセスについて述べる。粘膜模倣部品は柔軟部品のため、シリコンを使用して成形する。まず、歯肉部の外径の形状を円弧とし、上面に歯列を通すための空間を確保する型の設計をする。粘膜模倣部品内部には計測装置やポケットなどのパーツが配置されるため、歯肉部品は中空構造を有している。粘膜模倣部品の成型に使用される柔軟材料は、ショア硬度30度の二液混合型シリコン(Dragon Skin 30, Smooth-On, USA)である。歯肉部品の色を再現するために、シリコンに蓄光着色剤(Growworm Framingo Pink, Smooth-On, USA)が混合される。シリコンは攪拌後に真空ポンプ(Bacoengineering, zhiyaqingmu, 中華人民共和国)を用いて脱泡を行う。脱泡後、攪拌したシリコンを型に流し込み、この状態で再び脱泡が行われる。その後、型を半日以上安置して

シリコンを硬化させる。なお、シリコン成形用の型は3Dプリンタ(Original Prusa i3 Mk3s+, Prusa Research, Czech Republic)で作成され、型の材料にはシリコンの硬化に影響のないポリ乳酸(Prusament PLA, Prusa Research, Czech Republic)を使用する。完成した型には離型剤(Ease Release 205, Smoothon, USA)を塗布する。

最終的な成形品はバリや余分な箇所を切断する。完成した粘膜模倣部品を図3に示す。この成形プロセスにおいて気泡や顔料のムラのない、粘膜模倣部品が製造されたことが確認された。

4. 検証実験

本章では、提案したプロービングシミュレータで、プロービング力とレスト力の独立計測が可能か検証する。まず、製作したプロービングシミュレータを図4に示す。シミュレータの部品をCAD(SolidWorks, Dassault Systèmes, France)で設計し、3Dプリンタで印刷した。構造部品の材料にはPLAを用いた。印刷した部品とロードセルを設置したベースを図4(a)に示す。ロードセルにはシングルポイントビーム型(SC616C-500, Sensorcon, 中華人民共和国)を用いており、このロードセルは4アクティブゲージ法で構成される。また、シミュレータを組み上げた状態を図4(b)に示す。実験環境を図5に示す。プロービング力とレスト力を表示には2台のオシロスコープ(SS5704, 岩崎通信機, 日本)を使用する。ロードセルの電圧をオペアンプ(NJM2904D, 日清紡マイクロデバイス株式会社, 日本)で構築した非反転増幅回路で増幅し、その電圧をオシロスコープで表示する。実験では、歯列を模した部品、舌を模倣した部品、ポケット底部に相当する箇所に加えて、プロービング力とレスト力を計測する。

計測結果を図6に示す。図6では上段のオシロスコープにプロービング力、下段のオシロスコープにレスト力を表示している。図6(a)に歯列の前歯部分で指をレストしたときの計測結果を示す。このとき、上段のオシロスコープでは電圧の変化が無く、また、下段のオシロスコープの矢印部分に電圧の変化があり、レスト力のみを計測できていることが分かる。同様に歯列および舌のいかなる位置に力を加えても、全てレスト力として計測されることを確認した。反対に、ポケット底部をプローブで押し込んだときの計測結果を図6(b)に示す。図6(b)では上段のオシロスコープのみ電圧が変化しており、プ



図3 粘膜模倣部品とシリコン成型のための型

ロービング力として計測されていることが確認できる。また、ポケット底部のいかなる部分の押し込んでも、全てプロービング力として計測されることを確認した。検証実験の結果から、提案したプロービングシミュレータはプロービング力とレスト力を独立して計測できることが確認された。

5. 結言

本研究では、センサを組み込んだプロービングシミュレータを開発した。歯周病の検診において必要なスキルであるプローブの差し込みの技能の向上を目的とし、本研究ではプロービング力とレスト力を独立して計測可能なプロービングシミュレータを製作した。将来的に歯科医師や歯科衛生士のための練習装置として提供することを目指としている。歯周病の早期発見と治療においてプロービング検査の重要であるものの、従来の練習用シミュレータではセンサが組み込まれておらず、感覚的な指導に限定されているという問題があった。本研究では、この問題に対処するため、リアルタイムでプロービングの力に関するデータを取得できるプロービングシミュレータを提案した。提案したプロービングシミュレータは、二つのロードセル、歯槽骨や口腔内部を模倣した部品、そして粘膜模倣部品から構成されている。これにより、実際のプロービング検査に近い状況を模倣しつつ、プロービング力をリアルタイムで確認しながらトレーニングすることが可能となる。検証実験では、提案したプロービングシミュレータを試作し、シミュレータがプロービング力とレスト力を独立して計測できることを確認した。ポケット底部をプロービングした際と、歯列や舌の上でレストをした際の計測結果から、シミュレータはそれぞれの力を独立して計測できることが示された。今後は、開発したシミュレータを医療教育機関に試験的に導入し、その教育効果について検証をする。

参考文献

- [1] 萬田 久美子, “プロービングの当て方や動かし方を詳しく解説”, DENTAL LIFE DESIGN, 2021/06/25, [https://d.dental-plaza.com/archives/12216]
- [2] 松野孝博・三谷篤史・平井慎一 “口腔ケア教育のためのモデル換装が可能な口腔ケアシミュレータ”, 看護理工学会誌, Vol. 10, pp.88-99, 2022.
- [3] T. Matsuno, T. Yabushita, A. Mitani, S. Hirai, Measurement algorithm for oral care simulator using a single force sensor, Advanced Robotics, Vol.35, No.11, pp.723-732, May, 2021.

謝辞

本研究の実施にあたり、株式会社モリタ 十河景一様にご協力頂きました。また、本研究は株式会社モリタからの支援を受けて実施されました。関係者の皆様に謝意を表します。

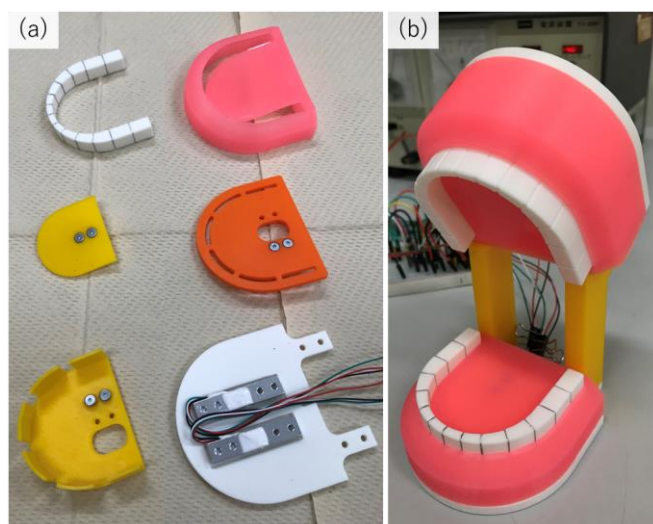


図4 製作したプロービングシミュレータ, (a)プロービングシミュレータを構成する部品とロードセル, (b)組み立て後のプロービングシミュレータ

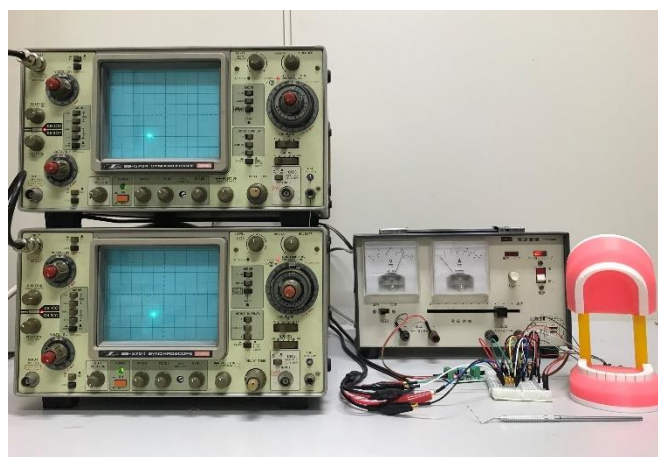


図5 プロービングシミュレータ検証実験のための計測環境

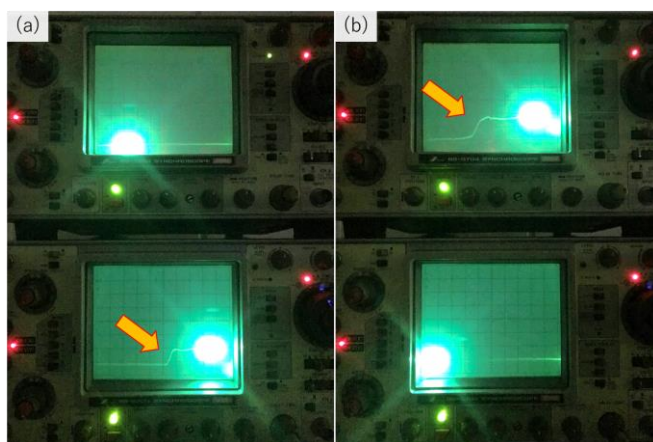


図6 検証実験結果, (a)歯列部に指をレストしたときの計測結果, (b)プローブでポケット底部を押し込んだ時の計測結果