

## [研究助成 (C)]

## 歯科医療におけるハンドスケリング技術の 定量的評価手法と訓練システム開発

Development of quantitative evaluation method and training system for hand-scaling technique in dentistry

2207008



研究代表者

近畿日本鉄道株式会社  
総合企画本部総合研究所

主 幹

由 井 朋 子

(助成受領時:

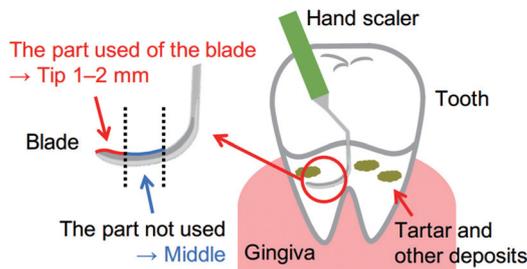
奈良先端科学技術大学院大学  
先端科学技術研究科

博士後期課程)

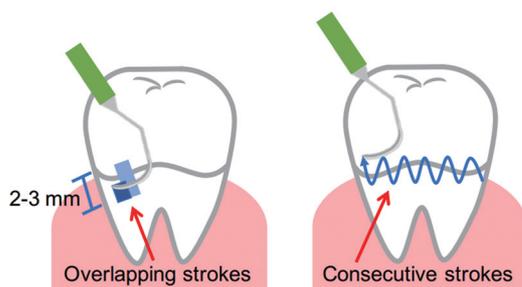
## [研究の目的]

歯科衛生士を志す学生は、人の頭部模型を利用した反復練習を通して、口腔内での緻密な器具操作であるハンドスケリングの基礎技術を習得する。ハンドスケリングとは、図1に示

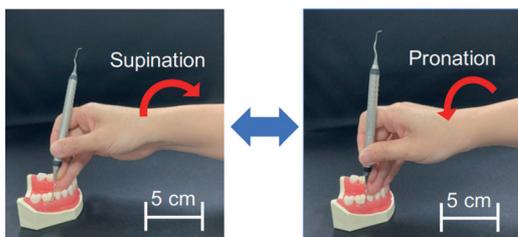
すようにハンドスケラーと呼ばれる器具の刃部先端で、歯表面の汚れを掻き取るような歯科処置の1つである。この技術では、教本による標準的な指導指針に沿って教育を行いつつも、これを補う教員の経験に基づいた言語的、非言語的フィードバックの指導が重要な役割を果たしている。しかし、教員不在時にはそのフィードバックが得られず、教員が変わるとスキルの差による指導内容の差が出てしまうという問題がある。そこで本研究では、最も基本的で重要とされるハンドスケラー刃部と歯表面の接触様態に関する技術を対象に、運動学情報、力学情報から技術をモデル化すること、さらにハンドスケリングの手本動作モデルを用いた技能評価を行い、その結果を用いた技能訓練手法を開発し、効果検証を目的とする。



(a) ハンドスケラー刃部の使用部分



(b) ストローク



Stable repetitive motion is ideal

(c) ハンドスケラー操作

図1 ハンドスケリング

## [研究の内容、成果]

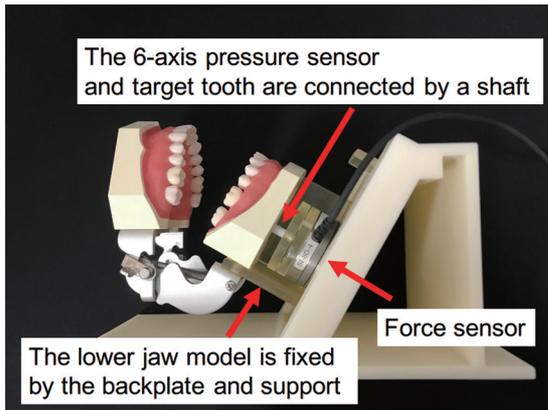
## (1) 計測システム

動作計測の方法として、カメラを利用した画像技術が考えられる。但し、狭い口腔内では死角も多い。そこで、ハンドスケリング中の動作計測には図2に示すように慣性計測装置(IMU)を使用し、ハンドスケラーが歯表面へ及ぼす力の計測には図3に示すように力センサを利用した計測システムを作成した。

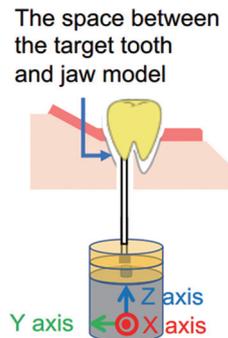
この計測システムを利用して歯科衛生士と歯科衛生士学生のハンドスケリング動作計測実



図2 IMU (Senstick®) を取り付けけたハンドスケラー



(a) 顎模型の側面



(b) 対象歯とカセンサの構造図

図3 カセンサを取り付けた顎模型 (対象歯のみ装着)

験を行った。それにより、ハンドスケーリング中に刃部がミリ単位で移動する動作を、定量的な情報として計測できることが確認された。また、力データを用いて、二次判別分析を行った結果、図4に示すように歯科衛生士と歯科衛生士学生のデータを分ける境界線を引くことができたことから、手技の違いを定量的に評価できる可能性を確認することができた。

## (2) モデル化

ハンドスケーリング動作を定量的なデータとして計測できたとしても、その動作が適正か不

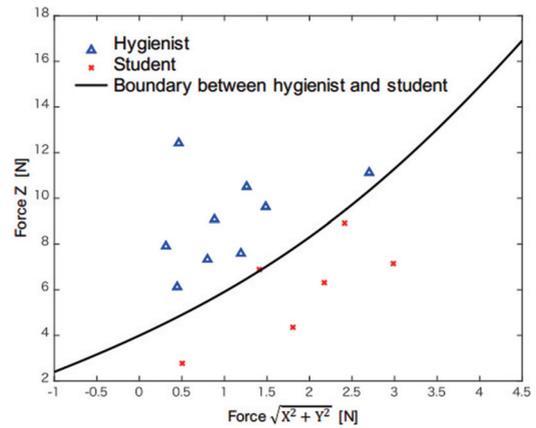


図4 力の最大値における二次判別分析

適正かを判断する動作モデルがなければ、ハンドスケーリング動作の評価機能は完成しない。したがって、本研究では、ハンドスケーリング動作のモデル化を学習段階に分けて行う手法を提案する。モデル化に際して、ハンドスケーリング動作に必要な不可欠な技術ポイントを組み込むことで、適正な動作を定義することができる。ハンドスケーリングの動作は運動学情報、力学情報で表現できるのは前章の通りである。これらには、言語的および非言語的に指導する技術的なポイントが含まれる。

まず動作のモデル化にあたり、ハンドスケーリングの訓練フェーズに着目をした。訓練の進行状況に応じて、フェーズは以下の3つに分けられる。

Step 1: 教員の手本動作を模倣する訓練

Step 2: 学生自身に動作を定着させる訓練

Step 3: 実践的な状況訓練

Step 1は、練習を始めたばかりの初級者が行う訓練である。このフェーズでは、教員の手本を模倣して、学生は技術ポイントを思考しながら訓練を進める。まだ容易には適正動作が実施できないフェーズである。Step 2は、Step 1の練習を繰り返した後、ある程度は適正動作ができる初級者が行う訓練である。学生自身の身体的特徴などを考慮した適正な動作が、思考することなく自然にできるまで訓練を進める。このフェーズでは、学生が適正動作を実施できるよ

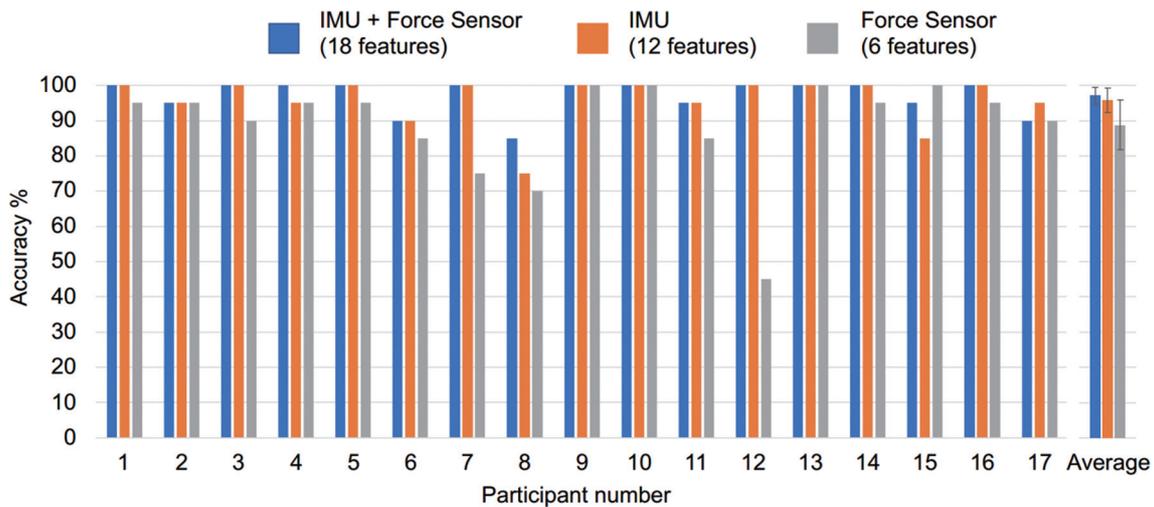


図5 ハンドスケーラー刃部の使用部位を判定するモデルの分類精度

うになっている。Step 3は、適正動作ができる学生がより実践的な状況訓練を行うフェーズである。教えるべきポイントは同じでも、訓練の各フェーズで重視すべきポイントが変わる。例えば、Step 1の訓練を始めたばかりの初心者、見本の動きを模倣しながら、ハンドスケーラーを正しく持って動かせるようになることが重要である。Step 2のある程度訓練を重ねた初心者にとっては、自分の動きを確立するだけでなく、対象となる歯の表面でハンドスケーラーの先端を正確に制御できるようにすることが重要である。

そこで、まず重要な技術ポイントの1つであるハンドスケーラー刃部と歯面の接触に関する技術モデルを作成した。最初にこの技術ポイントのモデルを作成する理由は、緻密な動作を必要とする上、ハンドスケーリング本来の目的である効率的に汚れを除去することを達成するため、必ず訓練しなければならない重要な技術ポイントであり、この技術ポイントがモデル化できない場合は、ハンドスケーリング動作のモデル化は不完全となるためである。具体的には、歯科衛生士学生17名に協力を頂き、提案した計測システムを使用してハンドスケーリング中にハンドスケーラー刃部の先端または中間を使用しているか(図1(a)参照)を判定するモデルを作成した。この技術ポイントは、Step 2の

訓練として主に行われる。モデルは2クラスサポートベクターマシン(SVM)を利用して作成した。トレーニングデータは学生が適正動作も可能であることから、17名の学生が行った動作を、1名の教員が成功または失敗をラベリングしたデータを使用した。これにより学生の身体的な特徴などを含んだモデルとすることができる。トレーニングデータとして使用する特徴量は、ハンドスケーリングの動作特徴が表れる力センサから6項目、IMUから12項目の計18項目を選択した。

図5に結果を示す。各被験者の18項目の特徴量を用いたモデルの交差検証の精度は、平均97.1%となった。なお、力センサからの6項目では平均88.8%、IMUからの12項目では平均95.9%となった。さらに、特徴量をIMUからの2項目まで下げても、18項目と同程度の高い平均精度となることが分かった。提案システムで計測したデータを利用することで、緻密な動作を判定することが可能、かつ少ない特徴量であっても動作判定が可能であることが示された。

更に、Step 1の教員の手本動作を模倣する訓練フェーズのモデルを、次の教育効果を検証するための実験用として作成した。実験ではハンドスケーリングを初めて行う被験者の訓練を想定しているので、模倣対象の歯科衛生士1人を

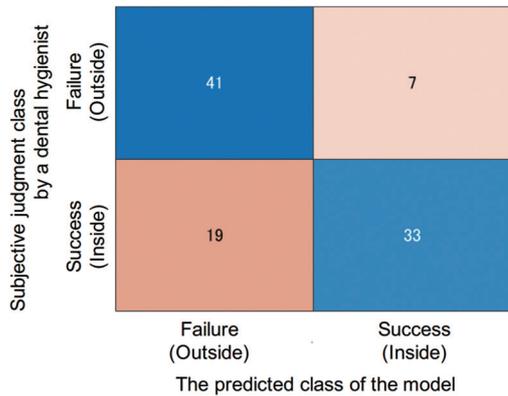


図6 手本動作モデルと歯科衛生士の判定の混同行列

教員と見立てて、ハンドスケーリング動作を提案システムで計測してトレーニングデータを作成した。この手本動作モデルは1クラスSVMで作成し、特徴量は練習初期の学生が学ぶべき動作を表す2項目に絞った。

図6に100件のテストデータを用いて、モデルの判定とトレーニングデータを作成した歯科衛生士の主観的な判定の結果を混同行列で示す。判定結果が「Success (Inside)」の場合は手本動作、「Failure (Outside)」は手本動作の範囲外であることを示す。適合率は82.5%、正解率は74.0%、再現率は63.5%である。正解率を向上させる方法は、歯科衛生士の主観的判定の曖昧性を考慮したトレーニングデータ作成や、1クラスSVMを利用しているため、外れ値がどの割合で含まれるかを設定するパラメータの調整などの手段がある。教育現場でモデルを作成する場合は、複数の教員の意見を反映したトレーニングデータを作成することで、モデルの精度向上は容易に解決できると考える。今回作成した手本動作モデルは、正解率が非常に高いとは言えないが、偽陰性率は14.6%と低いいため訓練実験に採用した。

### (3) 教育効果の検証

まず、先に説明した手本動作モデルを使用した訓練システムを作成した。コンピュータ上での操作ができるように、図7に示す画面のアプリケーションを作成した。被験者がハンドス

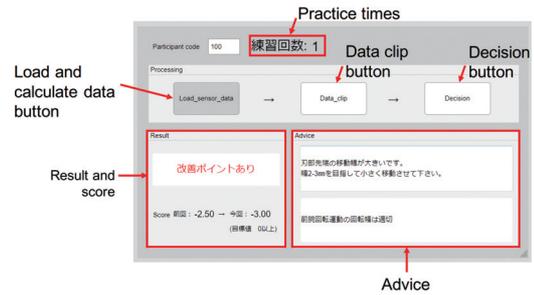


図7 手本動作モデルを利用した訓練システム画面

ケーリング動作を行った後に、センサデータをロード、動作判定を行いたいデータ区間を抽出し、モデルでの判定を行う手順で使用される。画面下側に、判定結果、SVMスコアとアドバイスが表示される。このSVMスコアは、1クラスSVMで判定をする過程で得られる無単位の値であり、0以上であれば手本動作に類似した動きであることを示し、0未満であれば手本動作とは異なる動きであることを示す。例えば、前回のスコアが-2.5、今回のSVMスコアが-3.0であった場合は、前回よりも今回の動きが悪くなったと考えられる。動作の良し悪しを、感覚的に判断できる指標として画面上に表示させた。アドバイスは、使用したトレーニングデータのデータ分布を基準として、被験者の動作データを比較した結果からわかる内容を示した。教育効果の検証として、ハンドスケーリング経験がない被験者を、訓練システムからアドバイスのある群9名と全くアドバイスのない群8名に分けて訓練実験をした。

図8に各群の平均スコア推移を示す。今回、ハンドスケーリング動作は、どの程度繰り返し

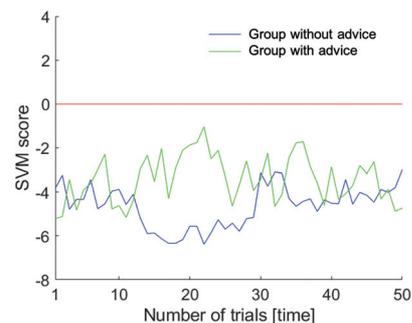


図8 グループ別の平均SVMスコア推移

訓練をすることで技術の上達がみられるかの知見がなかったため、各被験者は50試行の実験を行った。10試行から30試行あたりで、アドバイスのある群のSVMスコアが高くなっている。但し、10試行までと30試行以上では、アドバイスのある群とない群のSVMスコアの差が無い。

訓練機器を使用して長時間の訓練を行った場合、その訓練機器の訓練効果を低下させると考えられている[1]。被験者は、50試行のタスクを実行するのに、おおよそ1時間費やした。このため、疲労が蓄積し訓練途中で集中力の低下などがあつたと考えられる。歯科衛生士の一般的なカリキュラムでは、1回の授業で複数の歯、複数の器具を使った訓練が行われ、適切な休憩を取る。講義や演習課題は、集中力が途絶えないように工夫されている。今回は、同じ部位に対して、同じ器具で50試行のハンドスケーリングを依頼した。また、限られたアドバイスしかフィードバックされなかった。そのため、終盤に向けてトレーニングが単調になり、訓練の効果が低下していた可能性がある。

1から10試行を基準に、11試行以降のSVMスコアがどのように変化しているかを確認するため、11試行以降で10試行毎に区切った区間の平均SVMスコアから最初の1から10試行の平均SVMスコアを差し引いた値で、アドバイスのある群とない群を比較した。ウィルコクソン順位和検定の左側仮説検定とボンフェローニ補正を用いた比較の結果、11から20試行ではアドバイスのある群がアドバイスのない群に比べ、有意にSVMスコアを向上させているとの結果となった( $p=0.04$ )。このことから、モデルを使用した訓練システムは、適切な運用を行うことで教育効果があると考え

る。

#### [今後の研究の方向、課題]

ハンドスケーリング動作のモデル化によって、動作の評価方法と、それを応用した訓練システムの提案を行ったが、教育現場で指導される技術ポイントは複数あり、全ての歯を対象とした訓練システムを実現するためには、本研究で着目していない技術ポイントのモデル化を行い、異なる歯種の各部位で使用できるかどうかを検証する必要がある。

訓練システムとしては、モデルからの判定をより教育効果の高いフィードバック方法で提示できることが理想である。そこで、教師による非言語的指導を分析し、視覚情報と触覚技術を応用したフィードバックの検討を行う必要がある。

#### [成果の発表、論文など]

- (1) 由井朋子, 趙崇貴, 佐藤勇起, 高松 淳, 和田隆広, 小笠原司: “ハンドスケーリングの動作評価を目的とした歯と器具の接触関係が動作に与える影響の分析”, 第22回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021), 2C5-02, オンライン, 12月, 2021.
- (2) Tomoko Yui, Sung-Gwi Cho, Yuki Sato, Yasuaki Orita, Ming Ding, Jun Takamatsu, Takahiro Wada and Tsukasa Ogasawara: “Evaluation of Hand-Scaling Skills of Dental Hygienist Students: Identification of Contact Between Hand Scaler Blade Tip and Tooth Surface,” IEEE Access, vol. 10, pp. 120640-120649, 2022.

#### [参考文献]

- [1] Christopher D Wickens and Justin G Hollands. Engineering psychology and human performance. Prentice Hall Inc., 3 edition, 2000.