氏名	黒岩 恵
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第380号
学位授与の日付	平成27年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	コンピュータビジョンを利用した スケーリング実習評価システムの研究
論文審査委員	主査 准教授 タン ジュークイ 教授 芹川 聖一 教授 田川 善彦 教授 金 亨燮 教授 石川 聖二

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

スケーリング実習評価システムは、歯周病治療の教育機関において、臨床実習の前に行われる基礎実習時に使用する臨床実習シミュレーションシステムの一つである。

人類史上最も感染者数が多い感染症は歯周病（歯肉炎や歯槽膿漏）といわれている。歯周病は、歯の周りに炎症がおこる病気であり、歯がぐらぐらしたり、抜け落ちてしまう病気である。また、様々な全身疾患（狭心症・心筋梗塞・脳梗塞・糖尿病・肺炎・骨粗鬆症・腎炎・関節炎など）を引き起こす要因となるほど深刻な病である。その予防や治療は、人の健康を保つ上で大切なことである。

歯周病の基本的治療は、スケーリング（歯に付着している歯垢や歯石の除去）やルートプレーニング（歯の表面のザラザラや、汚染された表層を除去する表面仕上げ）と呼ばれる治療であり、多くはスケーラーと呼ばれる金属刃のついた器具を使って、歯科医師や歯科衛生士が治療にあっている。

スケーリング・ルートプレーニング（SRP）の治療・SRP技能の習得や教育は、歯科医師や歯科衛生士を養成する歯科系の学校で行われている。臨床実習（患者実習）の前に行われる基礎教育実習では、SRP技能を身に付ける為に、顎模型付マネキン（ファントム）を使用したSRP臨床シミュレーション実習が行われている。

SRP実習評価は、主に指導教員の見回りによる主観的な確認評価が現状であり、SRPでの下記5項目など細部にわたる学生の行動は、記録に残されておらず、技能の習得度や技能評価が十分なされていないとの指摘がある。

学生のSRP実習において身につけるSRP技能は、

- ① 患者に対する術者のポジショニング
- ② 治療する歯の部位や歯面の治療処置に応じたスケーラー及びワーキングエンド（刃部）の選択
- ③ ミラーテクニック
- ④ スケーラーのストローク（歯に対する刃部の向きや刃部の動き）
- ⑤ スケーラーの側方圧

等が挙げられる。

本研究は、「スケーラーストローク表示システム」の構築を目的とする。本論文で提案するシステムは、上記④に対応し、口の中にあり直接カメラでとらえることができないスケーラー

のワーキングエンド（刃部）の動きを可視化するシステムで、下記の特徴を有する。

- ① 低コストかつ手軽に入手可能な装置であること。
- ② 十分な精度で表示できること。
- ③ 使いやすく柔軟なシステムであること。
- ④ カメラは1台で構成すること。
- ⑤ タブレットパソコンを使用して構成すること。
- ⑥ 動きを記録に残せること。

提案システムの構成は、①タブレットPC、②モバイルカメラ、③顎模型（マネキン）、④マーカー付スケーラーからなる。また、マーカー付スケーラーは、5つの五芒星パターンマークがついた多面体（立方体）マーカーが取り付けられている。実習者が使用しているスケーラーの動きを1台のモバイルカメラで撮影し、スケーラーに取り付けられたマーカーを用いて、スケーラーの3次元位置や姿勢を推定し、その動きを復元する。また、復元したスケーラーをビデオ映像に重ね合わせることで、術者や指導教員がスケーラーの動きを観察することも可能である。

本研究によって次の点が実現した。

- ① コンピュータビジョンを利用したスケーラーストロークの動きの可視化手法の確立。
- ② 仮想スケーラーを実スケーラーにリアルタイムに重ね合わせることによる、スケーラーの動きのパソコンディスプレイへの表示。
- ③ パソコンのディスプレイに表示された仮想スケーラーの動きを見ることによる、指導教員の実習生（学生）に対する評価が可能。
- ④ スケーラーの先端位置を3次元復元することによって、その動きの数値評価が可能。

本システムは、ビデオ映像取得のためにハンドヘルド、すなわち、携帯カメラを使用するという点でも、既存の方法と異なる。すなわち、スケーラーストロークの動きを観測するために、最良の位置にカメラを持っていくことができる。

今後の課題は、

- ① より高い精度（要求精度は、約0.5ミリ以下）が得られるような改良。
- ② 3次元復元の範囲を歯や顎まで拡張できるようにし、歯面に対するスケーラーのワーキングエンドの動きを解析・評価できるシステムの構築。

等が挙げられる。

また、スケーリング実習評価システムでは側方圧の評価も重要であり、

- ③ 歯面を押す力を計測できるスケーラーの開発。

も今後の課題である。

学位論文審査の結果の要旨

歯周病は、歯の周りに炎症がおこる病気であり、感染者は非常に多い。歯周病は、歯やその周辺部位の劣化だけでなく、様々な全身疾患を引き起こす要因となるほど深刻な病であり、その予防や治療は、人の健康を保つ上で重要である。

歯周病の基本的治療は、スケーリング（歯に付着している歯垢や歯石の除去）やルートプレーニング（歯の表面のザラザラや、汚染された表層を除去する表面仕上げ）と呼ばれる治療であり、多くはスケーラと呼ばれる金属刃のついた器具を使って、歯科医師や歯科衛生士が治療にあっている。

スケーリング・ルートプレーニング（SRP）治療を行うためのその技能の習得・教育

は、歯科系の教育機関で行われている。臨床実習の前に行われる基礎教育実習では、SRP技能を身に付ける為に、顎模型付マネキン（顎モデル）を使用したSRP臨床シミュレーション実習が行われている。しかしながら、SRP実習評価は、主に指導教員の見回りによる主観的な確認評価が現状であり、特に、口の内におけるスケーラの動かし方（歯に対するスケーラ先端部の向きや動き）は外からは見えないため、技能の習得度評価が十分に行えないという課題がある。

そこで本論文は、コンピュータビジョンの技法を用いて、外部からのカメラ撮影により、外からは見えない口の内のスケーラの動きを可視化する手法を提案し、それによりSRP実習における客観的評価システムのひとつの実現法を示している。

本論文では、著者はまず、SRP臨床シミュレーション実習の方法と現状および課題について述べ、また既存の技術を紹介して、その問題点について言及している。

次に著者は、提案するスケーラストローク表示システムについて述べている。提案するシステムは、口の内におけるスケーラの動きを可視化する手法と、その動き等を記録する部分からなる。口の内におけるスケーラの動きを可視化する手法は、まず、スケーラの頭部にマーカを付ける。そのマーカ付きスケーラを用いて実習生は顎模型付マネキンに対してスケーリングを行う。そのスケーラの動きを一台のカメラで撮影する。カメラは移動可能であるため、スケーラの動きを最も観察しやすい位置にカメラを移動できる。次に、スケーラ上のマーカ座標系とカメラ座標系との間のホモグラフィ行列を逐次計算し、それを用いてスケーラ全体の位置と動きをカメラ座標系上に3次元復元する。最後に、カメラが撮影する映像上で仮想のスケーラモデルを実際のスケーラに重ね合わせて表示する。この仮想のスケーラモデルが、実際のスケーラの動きを再現するため、口内において観察することのできない、実際のスケーラの先端位置の動きを可視化して観察することができる。著者は、この手法にスケーラ先端位置の動き等のデータを記録する機能を付加したシステムを構築し示している。

最後に著者は、本研究をまとめ、提案法の独創点また今後の発展の可能性について述べている。

以上のように本論文は、外からは見えない口内のスケーラの動きを、コンピュータビジョンの技法で3次元復元し、その動きをカメラ映像上で、実際のスケーラの動きに合わせてスケーラモデルを用いて表示するという、新しいスケーラストローク表示法およびそのシステムを提案している。これによりスケーラ先端の位置や動きの数値化が可能になるため、SRP技能習得度の客観的評価が可能になる。また、撮影カメラが移動可能であるため、カメラ付きタブレットパソコン等を用いて提案システムを実現すれば、可動性のある使いやすいシステムとなる。これらの点から、本論文は、歯科におけるSRP技能訓練への貢献が期待できるとともに、コンピュータビジョン分野における新しい応用として、同分野の可能性を広げるものであり、また計測工学、特に画像計測分野への貢献も大きいものと考えられる。

なお、本研究に関して、審査委員および公聴会における出席者から、スケーラの動きの3次元復元とカメラの可動性の関係、カメラ画像の解像度、処理時間、復元誤差の更なる低減の可能性等に関して質問がなされたが、いずれも著者からの適切な説明によって質問者の理解が得られた。

以上より、本審査委員会は、学位論文および最終試験の結果に基づき慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。