

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22742

研究課題名（和文）AR技術の援用による新人看護師向け穿刺技術自己学習システム

研究課題名（英文）Self-learning system for entry-level nurses on puncture technique with the support of AR technology.

研究代表者

真田 弘美（Sanada, Hiromi）

東京大学・大学院医学系研究科（医学部）・教授

研究者番号：50143920

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：AR技術の援用による新人看護師向けの静脈穿刺技術自己学習システムを開発することを目的として研究を実施し、以下の成果を得た。まず、在宅での机上などの限られた領域で、モックアッププローブを操作するだけで、あたかも実際に腕を走査したときのような超音波画像を提示することで、プローブ操作技術を学ぶことが可能な情報提示システムを開発した。次に、血管走行を判断する学習コンテンツを想定し、前腕の走査超音波画像を基に静脈3次元モデルを構築し、それをARにより提示するシステムを開発した。最後にハンドトラッキング技術を活用した穿刺手順学習コンテンツの評価を予備的に行い、学習効果及び臨床実装に向けた課題を明かにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、新人看護師に向けた穿刺技術自己学習システムについて特に課題となる超音波検査装置の操作や画像の視認性について安価に学習が可能となる技術開発が行われた。安価なカメラを用いることで、大規模病院の集合研修だけでなく、小規模な訪問看護ステーションでも利用可能なシステム開発を可能とした。また従来は前腕の横断画像で穿刺位置を決定することが行われており、血管走行を可視化することが難しいとされていたが、この研究からプローブを走査することだけで走行像を推定できることが示された。さらに既存のハンドトラッキング機能を活かしたシミュレーターを試用評価した結果、医療者の技術習得の一助となる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to develop a self-learning system of venipuncture technique for new nurses with the aid of AR technology, and the following results were obtained. First, we developed an information presentation system that enables new nurses to learn probe operation techniques by simply operating a mock-up probe in a limited area, such as on a desk at home, and presenting ultrasound images as if the arm were actually scanned. Next, we developed a system that constructs a 3D model of veins based on ultrasound scans of the forearm and presents this model using AR, being used for learning content for judging blood vessel running direction. Finally, we conducted a preliminary evaluation of the puncture procedure learning content using hand-tracking technology, and clarified the learning effects and challenges for clinical implementation.

研究分野：看護理工学

キーワード：看護理工学 超音波検査 末梢静脈点滴 拡張現実

1. 研究開始当初の背景

静脈への血管穿刺は、入院患者の約 90%にもものぼるが、新人看護師では難しいとされる。また、病院での技術習得の初期研修が圧縮傾向にある上に、看護師不足から現場への即時投入が求められている。また、訪問看護師などではそれらの研修機会がそもそも限られているという問題がある。そのため自宅での自己学習への需要が高まっている。加えて、近年では点滴トラブルと避けるための方法として、超音波検査装置を利用したの穿刺に最適な血管の選択やあるいは、超音波検査装置下の穿刺、あるいは穿刺後の固定時の確認などへの利用が普及しつつある。しかしながら、現在の超音波検査装置のシミュレータなどは高価で大掛かりであり、自宅での学習に向かない問題がある。ここ近年の急速な AI 技術や 3D 技術の進展、さらに、新人看護師ではデジタルネイティブ世代という背景から、タブレットや透過型 HMD などを利用した現実空間に仮想情報を重畳する Augmented Reality(AR)を利用した新しい教育方法が広まりつつある。そこで、この新しい技術に基づく、超音波検査装置を利用した静脈穿刺を教育するシステムを構築することが目的である。

実際には超音波検査装置を利用した静脈穿刺の過程すべてを自己学習するための AR システムを研究期間中で構築することは困難であることから、現在の技術からも可能な教育部分として、大きく 3つの過程を考えた。一つは、超音波検査装置で前腕を走査しながら、穿刺に適切な血管を超音波画像を見ながら判断するためのプローブ操作技術の習得である。また、もう一つには、それらの走査した一連の画像から、血管走行を 3次元的に想像し、適切な血管・穿刺位置を選択する技術の習得である。また既存のハンドトラッキング技術を活かし、穿刺手順を学ぶことのできるコンテンツについてプレリナリに評価を行った。それぞれに対し、次のような目的を立てた。

2. 研究の目的

- (1) 在宅でのテーブル上などの限られた領域で、モックアップのプローブを操作するだけで、あたかも実際に腕を走査したときのような超音波画像を提示することで、プローブの操作技術を学ぶことが可能な情報提示システムの開発
- (2) 前腕の走査超音波画像から、血管走行を判断する教育への利用を想定した、走査超音波画像から 3次元モデルの構築、並びに AR システムによる提示システムの開発
- (3) ハンドトラッキング技術を活用した穿刺手順学習コンテンツの評価

3. 研究の方法

(1) 実際のタブレットタイプの超音波検査装置のプローブのモックアップを、腕に見立てた台座上で、動かすことで、その腕の位置における超音波画像を生成するシステムを開発した。開発したシステムの構造を図 1 に示す。図に示す通り、卓上に模擬前腕モデル、模擬プローブ、RGBD カメラ、そして AR による情報提示用のシースル HMD で構成されるシステムである。模擬プローブ、前腕モデルは 3D プリンタで実際のスキャン情報をもとに作成した。実際の超音波検査装置での血管確認時には、プローブは模擬前腕上を任意に移動し、回転させながら走行などを確認する。そのため、システムでは模擬プローブの模擬前腕上での位置、並びに、前腕上での回転姿勢の計測が重要となる。それぞれについて以下の方法による解決を試みた。

プローブの位置推定については、ステレオカメラではコストと場所の問題がある。また、通常の単眼カメラでは、距離情報を取得することが難しい。そこで、距離情報も取得可能な RGBD カメラを用いてプローブ位置を推定する手法を開発した。方法論の検討として、可視画像からのパーティクルフィルタを用いて可視画像からプローブ領域を追従した上でその距離点群情報を用いて距離を推定する方法と、計測した 3次元点に ICP アルゴリズムを用いて、直接プローブ形状を当てはめることで位置を直接推定する方法の 2種を検討した。

また、プローブの回転については、カメラの距離分解能では計測が難しいため、模擬プローブ内部に加速度センサと角速度センサから構成される IMU センサを埋め込み、その情報を Bluetooth で送信することで計測する



図 1 : 卓上超音波画像提示シミュレータの構成

デバイスを作成することで実現した。また、プローブ先端には圧力センサを配置し、模擬プローブへの接触圧も計測可能にした。プローブの角度推定については、初期のオフセットを静止状態時の計測データから除去した後に、ローパスフィルタを適用し、Madgwick フィルタを用いてクォータニオンを推定することで求めた。

上記の方法により、推定されたプローブ位置・姿勢の状態ごとに擬似的な超音波画像を生成する必要がある。その方法としては、予め前腕を走査した縦断超音波画像から、3次元的なモデルを作成し、任意位置における断面輝度値を推定する手法を開発し、それによって任意プローブ位置・姿勢時の模擬超音波画像を生成した。

(2) 走査した一連の縦断超音波画像から、腕の表面形状並びに、血管断面を推定し、それらの情報から、3次元モデルを生成する手法を構築した。構築した手法の流れを図2に示す。縦断超音波では、腕表面とプローブの接触状態の変化から超音波画像が不鮮明になることがあり、血管断面を単純な2値化などの画像処理によって描出することは難しい。そこで、医療画像などでよく用いられる深層学習手法であるU-Netを用いて、領域推定する手法を開発した。また、腕表面については、薄い線状で領域推定が難しいことから、エコーゲル部分を直接推定する方法で実現した。また、血管断面については、低エコー領域などを血管断面として誤検出することから、後処理として、検出した断面の連続性などを考慮した血管断面領域の絞り込みや、3次元モデル作成の前段階としての楕円当てはめなどを実現した。

それらの推定した領域から、等速でプローブを水平に移動させていると仮定し、各フレーム間の頂点同士を対応させる手法を開発し、その情報からポリゴンを生成することで、最終的に、3次元腕表面並びに、血管モデルを作成した。また、生成した3次元モデルをタブレットから、机などの平面を基準にモデルを提示するARアプリケーションも開発した。

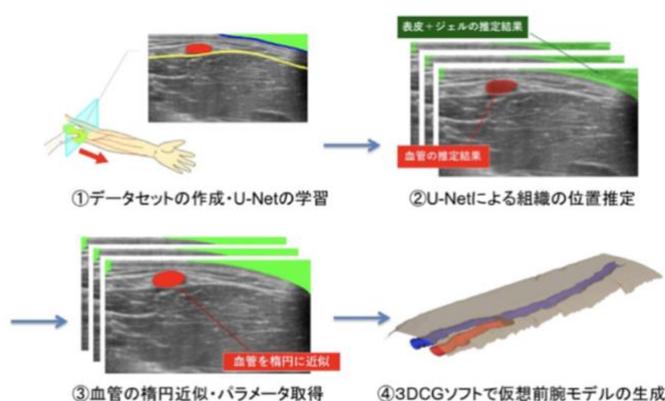


図2：走査縦断超音波画像からの3次元モデル生成アルゴリズム

(3) HMDによるハンドラッキング技術を活用した医療技術学習コンテンツのユーザビリティと有害事象について検証を行った。HMDにはOculus quest2(Meta社)、学習コンテンツにはNUP(イマクリエイト株式会社)を用いた。医療資格を保有する健常者20名を対象にし、1回約15分程度試用した。評価はWeb入力フォームを用いて、穿刺技術に対する自信の度合いSUS(System Usability Scale)及び、SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)にて実施した。

#### 4. 研究成果

(1) 位置推定精度を確認するために、既知の前腕を模した 15cm 区間を往復させる運動を計測し、精度を検証したところ、パーティクルフィルタを用いる方法では、移動させた線分に近い推定性能が得られることがわかった一方で、ICP アルゴリズムに位置合わせでは、回転成分の勘違いからプローブ幅分だけずれることが多い一方で、移動距離方向には、回転があったとしても誤差が少なく、移動方向への誤差平均で、3.9mm、また、幅方向も、1.7mm 程度に抑えられることがわかった。回転方向については、リファレンスになる計測装置がなかったため、定量評価はできていないが、目視での確認では十分な推定性能があることを確認した。実用上の教育時には、前腕模擬モデルやカメラの配置が任意になることから、プローブをモデルの端点で押し付けることで、位置を初期位置として、与えその情報と推定した位置情報から、仮想的な前腕部においての位置を推定する方法を作成した。それらを利用して計測しデータをもとに、実際にプローブ位置を推定し、さらに、仮想超音波画像を生成した様子を図3に示す。図の通り、模擬プローブ位置・角度を推定し、計算時間などの問題から現状リアルタイムでの提示は難しいもの、その位置における超音波画像を推定できるという実用可能性を確認できた。

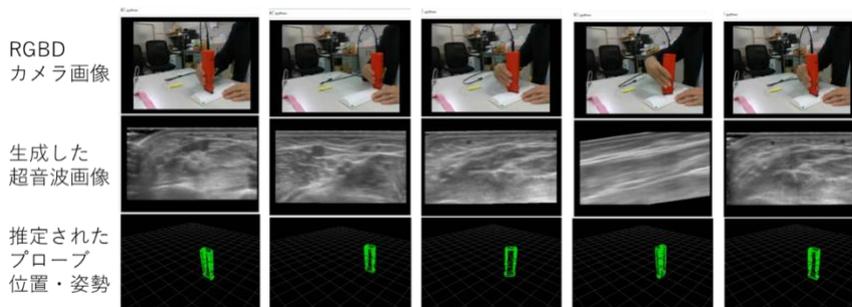


図3：模擬プローブの位置・姿勢推定例とその時の生成超音波画像例

(2) 領域推定性能を確認するために、1627 枚からなる超音波画像のデータセットを作成し検証した。血管断面検出には、単純に2値化処理によって検出する方法を古典的な方法とし、深層学習を利用する方法と比較した。結果として、血管検出の性能として、古典的手法では、誤検出フレームが 167 フレームであったのに対して、我々の方法では9フレームと抑えられ、領域の重なり度合いを示す IoU においても、47.3%から、78.6%へと大幅に向上することがわかった。また、一連の走査画像に適応したところ、人がつけた血管画像領域に対して、2乗平均平方根誤差で、長軸方向 0.7mm、短軸方向 0.3mm と非常に小さく抑えられることがわかった。一方で、表皮推定においては、接触情報が悪く、輝度が低い領域が多い画像などで推定が悪く、人の着色した領域との比較による IoU では、55%程度にとどまった。ただし、もともと、人による正解データも作成することが難しい一方で、血管深さ情報などが必要な中心部分についてはほぼ検出できていたことから概ね問題ない性能だと考えられる。評価実験の中で最も結果が良かった検出結果をもとに3次元モデルを生成したもの、また、そのモデルをARアプリケーションで表示したものを図4に示す。この図からも分かる通り、3次元の血管走行を確認するのに十分な3次元モデルが生成、提示できていると考えられ、実現可能性を確認することができた。

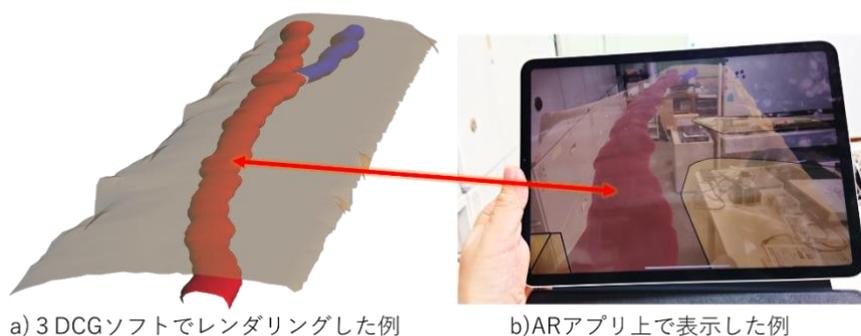


図4：生成した表面と血管の3次元モデルとそのARアプリでの提示例

(3) 医療資格を保有する健常者 20 名を対象にリクルートを行い、スケジュール都合等で 18 名が対象とした。平均で 16 分のコンテンツ試用を行った。HMD 型の MR デバイスを個人で保有する者はおらず、初めて体験するものが 45%であった。結果としてコンテンツ体験前後で穿刺技術に対する自信の度合いは有意に上昇した ( $p < 0.01$ )。また SUS は平均で 70.9 であった。重篤な有害事象を呈する者はいなかったが気分不良を訴える者は 1 名いた。相関分析によると SSQ が高い不快感を感じ被験者はユーザビリティを低く評価する傾向があった。

このプレリミナリーな検証によって AR アプリの効果を確認できた他、看護師が試用する実際のコンテンツ実装に向けて、改善が必要な点が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>筒田 航平, 木下 拓磨, 高橋 聡明, 村山 陵子, 仲上 豪二郎, 真田 弘美, 野口 博史 |
| 2. 発表標題<br>静脈穿刺時の仮想超音波画像表示のためのRGB-Dカメラを用いたプローブの位置推定の試み.     |
| 3. 学会等名<br>ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021年                         |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>木下 拓磨, 高橋聡明, 村山陵子, 仲上豪二郎, 真田弘美, 野口博史      |
| 2. 発表標題<br>深層学習を利用した前腕の縦断超音波画像群からの 表皮・血管推定と 3次元モデル生成 |
| 3. 学会等名<br>ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022年                  |
| 4. 発表年<br>2022年                                      |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| <a href="http://www.rounenkango.m.u-tokyo.ac.jp">http://www.rounenkango.m.u-tokyo.ac.jp</a><br>東京大学大学院医学系研究科 健康科学・看護学専攻 老年看護学 / 創傷看護学分野<br><a href="http://www.rounenkango.m.u-tokyo.ac.jp/">http://www.rounenkango.m.u-tokyo.ac.jp/</a> |
|--|

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                       | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                     | 備考 |
|-------------------|---|---|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 村山 陵子<br><br>(Murayama Ryoko)<br><br>(10279854) | 東京大学・医学部附属病院・特任准教授<br><br><br><br>(12601) |    |

6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                           | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 野口 博史<br><br>(Noguchi Hiroshi)<br><br>(50431797)    | 大阪市立大学・大学院工学研究科・教授<br><br><br><br>(24402)       |    |
| 研究分担者 | 仲上 豪二郎<br><br>(Nakagami Gojiro)<br><br>(70547827)   | 東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・准教授<br><br><br><br>(12601)  |    |
| 研究分担者 | 高橋 聡明<br><br>(Takahashi Toshiaki)<br><br>(50824653) | 東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・特任助教<br><br><br><br>(12601) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |