

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01554

研究課題名(和文) ベッドサイドで利用可能な四肢の3次元アセスメントのためのハンディスキャナ

研究課題名(英文) Portable 3D scanner for arm and leg assessment

研究代表者

野口 博史 (Noguchi, Hiroshi)

東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・特任講師

研究者番号：50431797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：看護師などが腕などの状態を表面だけでなく内部状態も含めて客観的に把握できるためのデバイスを開発した。具体的には超音波検査装置(いわゆるエコー)のプロブを腕に沿って移動させながら計測した画像をもとに、3次元モデルを構築できるものである。その要素技術として、腕などの輪郭情報を非接触で計測するデバイスの開発や、不鮮明な超音波画像下でも血管を頑健に検出することができるアルゴリズムなどを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで腕の静脈血管やそれらと合わせて腕の形状を3次元モデル化した研究はなく、また、それらを非侵襲かつ看護師などの医療者でも容易に利用可能な超音波検査装置などで計測できる方法を開発したことは価値がある。また、3Dモデルが作成できることから、今後の点滴漏れの疫学調査などへの客観的なデータへの提供や、血管穿刺教育のためのシステム開発時にモデルとして利用できるなど、今後の医学・看護学的な研究へもつながる意義のあるものである。

研究成果の概要(英文)：A device for measuring the surface with the shallow tissue of the arms and the legs was developed. The users only move the ultrasonographic probe along the arm, and 3D models were created from captured ultrasonographic images. As elements of the device, non-invasive and contactless measurement device of arm contours and algorithm for vein detection under unclear ultrasonographic images were developed.

研究分野：看護工学

キーワード：超音波検査装置 3次元計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

看護師は、日々のケアの中で、フィジカルアセスメントとして、触診や視診などの行為に基づき患者の四肢の状態を観察している。例えば、腕であれば、血管への穿刺のために前腕の血管について触診や視診を通じて適切な血管を選択していたり、あるいは、足であれば、指で押した際の状態から浮腫状態の確認や、脈波を触診することによって、下肢血流の状態を確認する行為などである。経験豊かな看護師であれば、感覚的に上記の行為を通じて、血管走行や浮腫状態など周辺組織の状態などを生理解剖的な知識をもとに、単なる表面形状ではなく、3次元的に脳内で状態を判断し、その結果に基づきケアを行っていると考えられる。ただし、経験が浅い看護師では、それらの行為は難しい。浅い組織情報を計測し、3次元情報を提示することができれば、それらの医療者のスキル依存することなく、客観的なアセスメント情報を看護師に提示できると考えられる。

CTやMRIなどの医療機器であれば3次元的なデータを取得することは可能であるが、ベッドサイドでの利用ができないのはもちろんのこと、看護師の利用は難しい。一方で、近年超音波検査装置の小型化や安価化を背景に看護の領域においても超音波検査装置が利用されつつあり、超音波検査装置の高周波化により簡単に2次元画像上において浅い組織の断面を客観的に観察できるようになってきた。しかし、そもそも超音波検査装置に習熟していない看護師では、2次元超音波画像から内部組織自体を判断するのは難しく、また、さらには表面構造全体を含めた3次元構造全体を判断するのは難しい。そこで、超音波検査装置のプロープと同時に体表面情報を計測し、腕や四肢に沿って走査することで、腕の表面形状と内部状態を3次元化して提示できるデバイスを開発することでその問題を解決できるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、背景で述べたとおり、表面形状を計測するデバイスと超音波検査装置のプロープの組み合わせにより、表面形状付きで3次元モデルを計測できるデバイスを開発することである。デバイスの開発自体は汎用性を目指しつつ、看護研究者との相談から、需要が高い血管穿刺の問題に着目し、3次元化する対象は前腕とし、内部組織の対象としては主に静脈血管を対象とした。

3. 研究の方法

大きく、3つの方向から取り組んだ。デバイス構築、超音波画像処理、そして、それらの統合による3次元モデル作成である。それぞれについて方法を述べる。

(1) 表面形状計測デバイス

超音波プロープの走査時に表面形状を計測することから、プロープと一体となる表面形状計測のためのデバイスを開発した。表面形状の計測として、移動ロボット等で環境の計測によく用いられる測域センサであるLIDARが2次元平面上においてデバイスからの正確な距離を計測することに着目し構築した。一方で、通常LIDARにおいては広範囲の2次元平面上を計測することを想定しており、腕領域のような狭い領域を想定していないこと、また、LIDARの計測原理がレーザー光の反射をみていることから、ミラーを側面に併用することで、計測点を増加させるデバイスを設計し、実装した(図1)。実際には、太い四肢なども想定し、直径250mmまでをカバーできるように設計した。加えて、デバイス構築時にはミラー位置の誤差が生じることから、既知水平面をデバイスで回転計測しながらデータを収集し、直線推定をした後に、回転角度を調整するミラーのキャリブレーションのための方法も開発した。

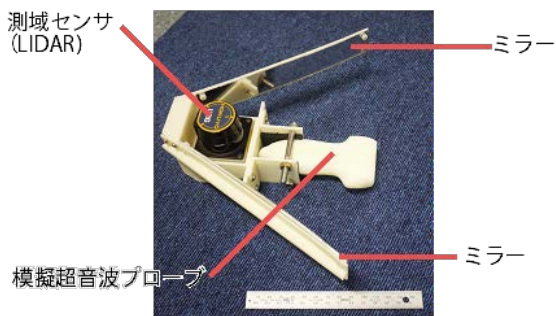


図1：開発したデバイス

(2) 縦断超音波走査画像群からの血管画像検出

(2)-① 血管検出アルゴリズム

血管の内部は液体であるため、超音波画像中では血管は黒く撮像され、検出は比較的容易に見えるが、超音波画像においてはそもそも超音波の反射度合いを輝度とする性質から、不明瞭になるため、輪郭を留意に検出できない問題がある。さらに、血管では、プロープに垂直となる壁面については、反射が十分に得られにくいため、不鮮明になりやすい問題がある。そのため、単純な方法では検出が難しい問題があった。さらには、加えて、穿刺などの対象となる表層の静脈血管はプロープによる圧でつぶれるなど変形しやすい問題がある。加えて、プロープ走査時の中には、接触状態が変化し、全体が不鮮明となる画像の混入などの問題も生じる。そこで、大きく2つのアプローチにより血管検出に取り組んだ。取り組んだ方法では、そもそも通常の画像と異なり輝度自体が相対的なものであり、画像間でもことなることから、輝度値よりも形状情報を重要視する方法を開発した。また、超音波の縦断の走査画像では血管が画像中を移動するものを追跡する問題とみなせることから、フィルタ手法によるトラッキングによりロバストに血管検出する。具体的には、腕の画像では輝度が主に、高輝度な表皮や筋膜、血管壁、中輝度な、内部組織、そして、低輝度な血管内部や骨や撮像されない領域に分かれることに着目し、3領域に離散化す

ることとした。フィルタとしては、パーティクルフィルタを利用し、状態モデルとして血管壁に当てはめられた楕円のパラメータを探索し、その画像との当てはまり具合をロボットにおける距離センサなどの研究を参考した観測モデルに落とし込み、それらをシンプルな線形移動モデルとの組み合わせでトラッキングする方法を開発した。

(2)-② カテーテルの位置検出アルゴリズムの開発

血管穿刺に注力することにしたことに伴い、カテーテル穿刺時にカテーテルの位置を確認しながら、固定を行うことが重要であることから、そのカテーテル位置を推定する方法論にも取り組んだ。カテーテルは超音波画像中では鮮明に上部と下部が高輝度の2点として検出できることや、径が固定であることを利用してシンプルにテンプレート画像を生成し、それとの一致から、探索し、また、追跡も前回検出位置の近傍から探索するというシンプルな方法を開発した。

(3) 3次元モデル構築

回転情報は、デバイスにIMUを装着することで計測可能になったものの移動量の推定が困難であることとまた、それに伴い均質な密な点群を取得することが難しいことから、外形情報を別スキャナで計測したモデルとの統合により最終的な3次元モデルを生成する方法を構築した。

4. 研究成果

(1) 表面形状計測デバイス

腕を模した直径78mmの円筒をもとに輪郭計測の実験を行い、作製したデバイスの検証を行った。

円筒に沿って走査することで、実際にプローブが存在する10cm程度の近接距離においても表面形状が計測でき、また、ミラーにより点群が増加することを確認することができた。一方で、中心部56mm範囲では良好な輪郭が計測できたが、側面については、曲面形状から計測が難しいこともわかった。

(2) 縦断超音波走査画像群からの血管画像検出

(2)-① 血管検出アルゴリズム

検証実験として、健常者3名について、腕の血管画像を超音波検査装置で計測したデータセットを作成した。リファレンスとなる正解データを得ることが難しいことから、研究者が手動でつけた正解データをもとに評価した。リファレンスとの一度の最小自乗平均(RMS)で、約0.6mmと精度良く追跡することができた。また、正解画像とのかさなり具合を計算するJaccard Indexでは、約0.6となった。これらのことから、アルゴリズムで健常者においては十分血管検出が可能なのことがわかった。典型例を図2に示す。

(2)-② カテーテルの位置検出アルゴリズムの開発

典型的なカテーテルが刺入された際に走査した超音波画像群のデータを1例において、2次解析として利用し、評価を行った。カテーテルについてはすべて位置を発見することができ、RMSで、0.08mmとなった。また、血管と同時検出し、そのデータから生成した3次元モデルを図3に示す。

(3) 3次元モデル構築

健常者データにおいて、3Dスキャナと超音波画像から生成した3次元モデルについて図4に示す。図のように血管部分と腕表面データがモデル化できていることがわかる。

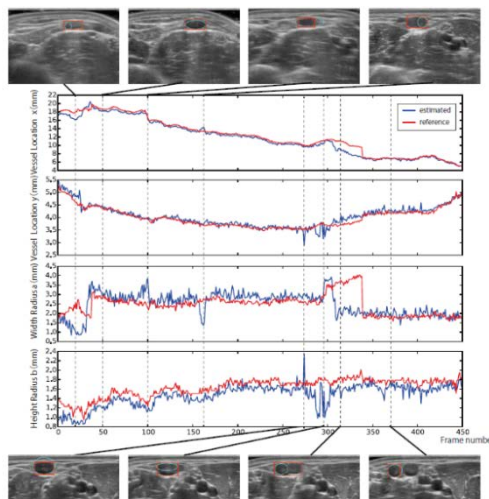


図2：走査時の超音波画像からの血管検出例

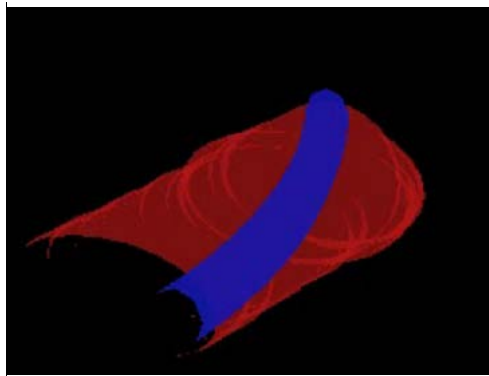


図3：3次元モデル化した血管(赤)とカテーテル(青)の例

以上のように、デバイスやアルゴリズム構築を通じて、主には腕を対象ではあるが四肢の3次元モデルを構築するシステムを構築できた。生成した3次元モデルをどう提示するかなどの方法は、今後の課題ではあるが、看護師のアセスメントのための補助デバイス開発への第一歩となったと考えられる。また、血管やカテーテルの3次元モデルについては、今後の血管漏れの疫学研究などのためのデータ計測にも利用できる可能性がある。加えて、超音波検査装置を利用した血管穿刺は今後も広がると考えられ、それらのための教育システム構築にも計測した3次元モデルデータは役立つものと考えられる。

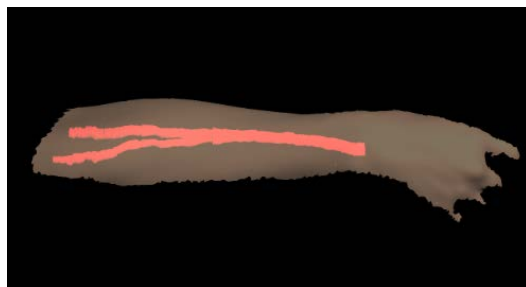


図4：血管と表面形状の3Dモデル例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Noguchi Hiroshi, Noyori Shuhei, Takahashi Toshiaki, Sanada Hiromi, Mori Taketoshi
2. 発表標題 Particle filter-based method for estimation of a vein area from cross-sectional ultrasound image sequence of an arm
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野口 博史, 高橋 聡明, 村山 陵子, 真田 弘美, 森 武俊
2. 発表標題 横断面の超音波画像群中からの静脈留置中カテーテル位置推定手法についての検討
3. 学会等名 第18回日本生活支援工学会大会・日本機械学会福祉工学シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野口 博史, 高橋 聡明, 真田 弘美, 森 武俊
2. 発表標題 LIDARとミラーを用いた四肢体表面の2次元輪郭の計測デバイス構築の試み
3. 学会等名 第6回看護理工学会学術集会 抄録集
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	仲上 豪二朗 (Nakagami Gogiro) (70547827)	東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 武俊 (Mori Taketoshi) (20272586)	東京大学・大学院医学系研究科（医学部）・特任教授 (12601)	
研究分担者	荒木 大地 (Araki Daichi) (10799787)	東京大学・大学院医学系研究科（医学部）・客員研究員 (12601)	
研究分担者	高橋 聡明 (Takahashi Toshiaki) (50824653)	東京大学・大学院医学系研究科（医学部）・特任助教 (12601)	