

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12686

研究課題名（和文）血管深さの非接触推定と力覚センシングを併用した自動採血法の開発

研究課題名（英文）Development of automatic blood sampling method using non-contact estimation of blood vessel depth and force measurement

研究代表者

佐川 貢一（Sagawa, Koichi）

弘前大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30272016

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体内の血管の深さを真値の70%程度の誤差で高精度計測する方法を提案した。また、模擬血管穿刺時に採血針に作用する力の変化を利用することで、確実に皮膚血管モデルに自動穿刺する方法を確立した。血管位置の3次元計測には、赤外線ステレオカメラを利用し、赤外線の生体組織内での屈折や散乱を考慮して血管の中心軸を通る方程式を導出する。また、力覚および逆血センサを利用することで、模擬血管への確実な穿刺状況を把握する。市販の静脈穿刺トレーニングモデルを対象とした自動穿刺実験を行った結果、100%の穿刺成功率を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実現を目指す自動採血法は、非接触での血管位置測定技術と、血管を逃がさずに穿刺する採血熟練者の手技を融合したものであり、従来の超音波診断装置を使用して血管位置を計測して直線的に穿刺する方法とは異なる。血管深さを非接触で高精度推定するために考案した方法は、比較的簡単なアルゴリズムによって構築されているため、計測制御システムへの実装に際して計算機への負荷が少ない。本研究の成果が実用化されると、医療現場の人手不足解消や、穿刺失敗などによる患者への負担を軽減可能であると予想する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have proposed a method to accurately measure the depth of blood vessels with an error of about 70% of the true value. In addition, we have established a method to reliably and automatically puncture a skin blood vessel model by utilizing changes in the force acting on the blood collection needle during a simulated blood vessel puncture. Two infrared stereo cameras were used for 3D measurement of the blood vessel position, and an equation through the central axis of the blood vessel was derived by taking into account the refraction and scattering of infrared rays in the living tissue. In addition, force and reverse blood sensors were used to determine the status of a reliable puncture into a simulated blood vessel. We conducted automated puncture experiments on a commercially available venipuncture training model and achieved a 100% puncture success rate.

研究分野：生体医工学

キーワード：採血 ロボット 模擬血管 赤外線 力覚 深さ

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

採血が患者に与える負担には、見えにくい血管への複数回の穿刺や痛みの発生、動脈や神経への穿刺による後遺症の発症、長い待ち時間などがある。また、医療従事者への負担には、長時間労働による身体的および精神的疲労、針刺し事故、エボラ出血熱のような患者との接触による二次感染などがある。これらの多くは、ロボットによる穿刺の自動化によって解決可能であり、現在海外を中心に採血ロボットの研究が行われている。これまでに提案されている採血ロボットは、超音波診断装置を使用して血管位置を計測し穿刺を実現している。しかし、超音波診断装置は血管の断面を2次元的に表示するため、針の先端位置と血管位置を同時に計測することは容易ではなく、ゲルの塗布や除去が必要であり患者に接する機会が増える。さらに、血管に張りがあり穿刺が容易な若年者が対象となっており、針に押されて動きやすい(逃げやすい)血管を有する高齢者は対象としていない。また、腕を赤外線カメラで撮影して皮膚上に血管像を投影することで採血業務をサポートする装置も市販されているが、血管の深さは測定されないため、採血時には針先から伝わる力の変化を感じて血管穿刺成否の判断が行われており、熟練した技術が必要である。

一方研究代表者らは、非接触で血管の3次元位置計測を実現するため、カメラを2台使用して模擬血管(シリコンチューブ)を撮影し、2つの画像に共通する特徴点を検出することなく模擬血管の3次元位置を導出する方法を考案し、任意の位置に置かれた模擬血管への自動穿刺に成功している。しかし、提案した方法で実際に人間の皮膚から血管までの深さを推定したところ、実際の深さよりも浅く推定されるという問題が確認された。また、皮膚血管モデルを試作し、穿刺位置を血管の中心軸からわざとずらすことで血管が逃げる様子を再現する実験を行った結果、針先に作用する力の大きさと方向を計測することで、血管が逃げた方向を推定することは可能であることを確認している。しかし、血管を逃がさずに確実に穿刺する方法は確立されていない。

本研究の学術的な問いは、なぜ血管が浅く推定され、どうすれば生体内の血管の深さや方向を正確に測定できるのかということと、どのようなときに血管が逃げ、どうすれば血管を逃がさず確実に穿刺できるのかということであり、本研究ではこれらの問題の解明に取り組む。

2. 研究の目的

本研究の目的は、血管の3次元位置(皮膚からの深さと方向)を非接触で測定し、穿刺時に血管を逃がさずに確実に血管内に針先を留置させる方法を開発することである。血管の3次元位置測定では、赤外線の生体組織内での屈折や散乱が、血管が浅く推定される原因であると考え、赤外線が血管像にどのような影響を及ぼすのかを解明する。そして、研究代表者らが提案した模擬血管の3次元位置推定法が、生体内でも適用可能とする方法を考案する。また、模擬血管の3次元位置と穿刺時に針先に作用する力を併用して、ロボットで確実に穿刺する方法を構築する。

本研究の学術的独創性と創造性は、研究代表者らが考案した模擬血管の3次元位置推定法を発展させ、非接触で生体内の血管の3次元位置を高速測定するところにある。従来の血管の3次元位置計測法は、複数の画像内で同じ特徴点(血管の分岐点など)を探してその座標を利用するため、0.5秒程度の処理時間を要する。一方研究代表者らが考案した方法は、特徴点の探索は行わず、カメラに写った1本の血管像を通る近似直線から2つの平面方程式を構築し、その平面の交線から血管の中心軸を表す3次元直線方程式を導出する。処理時間は0.05秒以下であり、画像は不鮮明でも構わない。また、穿刺の成否や血管の逃げた方向の判断は、3軸力覚センサを利用することで可能であることを確認している。これに画像情報も併用することで、逃げた血管位置の予測も可能であると考えられる。画像と力覚センサを併用して血管位置を推定する方法は、穿刺針以外は非接触で採血を行うことを可能にし、新たな医療サービスの創成に貢献できる。例えば、非接触で血管の3次元位置を計測する技術は、採血をサポートする機器にも応用可能であり、自動穿刺の技術はカテーテル手術を行う医師のX線被ばく量を減らすことを可能にするなど、波及効果は大きい。

3. 研究の方法

Fig.1に本研究の血管の3次元位置推定方法の概略図を示す。本計測方法は、アクティブステレオの一種の光切断法を応用した皮膚形状計測と、生体透過性の高い近赤外光を用いたパッシブステレオによる血管位置計測を組み合わせた方法である。皮膚形状を表す3次元点は、プロジェクタから投影されたスリット光とステレオカメラの幾何(エピポーラ幾何)を利用し、ステレオカメラでそれぞれ撮影された2枚の画像から対応点を決定することで得られる。これは、単眼カメラと一つのプロジェクタで実装される一般的な光切断法を、ステレオカメラと一つのプロジェクタで行うことができるように原理を修正した計測法である。これにより、計測に必要な装置としてカメラが一つ増えてしまうが、一般の光切断法に必要なプロジェクタのキャリブレーションが不要になり、これに起因する計測誤差が発生しない。3次元血管位置は、ステレオカメラで撮影された血管像を分割してカメラ焦点に向かうベクトルを定義し、皮膚境界面で屈折したベクトルが交差する点群である。

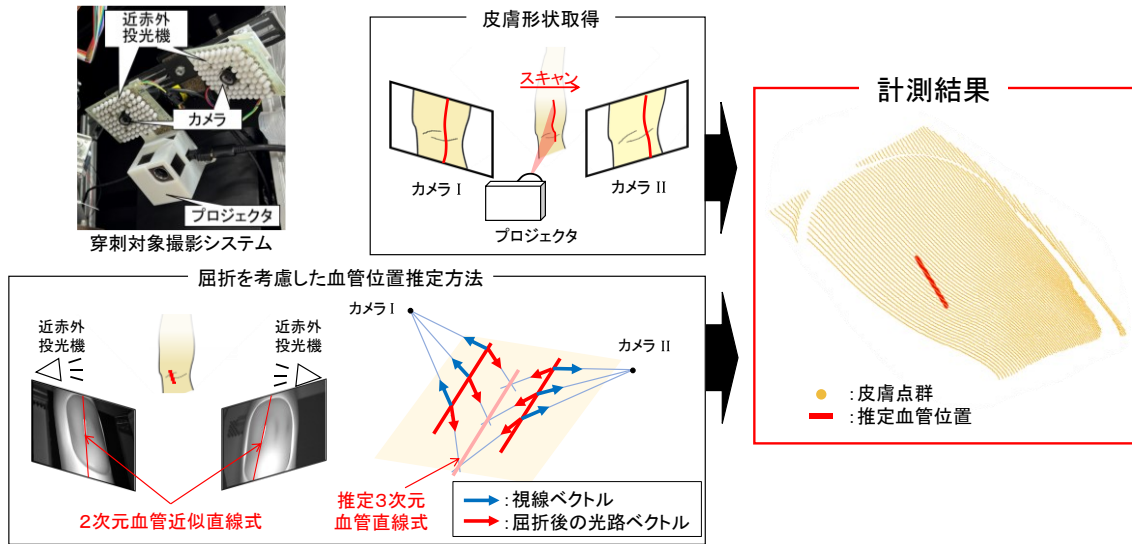


Fig.1 3次元位置推定方法

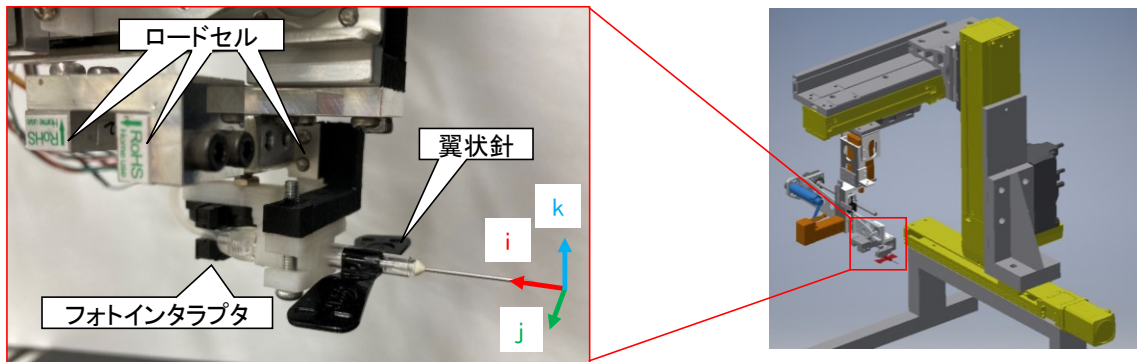


Fig.2 採血ロボット（右）に搭載した力覚センサと逆血センサ



Fig.3 採血練習モデル（左）と採血ロボットによる自動穿刺の結果の例（右）

4. 研究成果

本研究で開発した穿刺ロボットと、穿刺ロボットに搭載した力覚センサおよび逆血センサの写真を図.2に示す。力覚センサは3軸の計測軸を有し、皮膚及び血管穿刺時の力アクトの変化を高精度で測定可能である。また、穿刺失敗時の力覚の特徴から、失敗の理由を推定可能である。また、フォトインタラプタで実現した逆血センサにより、針先が血管に刺入したことを判定可能である。

Fig.3左は、自動穿刺の対象とした、採血トレーニングモデルである。トレーニングモデルは、ヒトの皮膚と同様の柔らかさを有し、人の肘部と同様に、尺側皮静脈、正中皮静脈、橈側皮静脈

の3本の穿刺対象静脈を有する。実験では、それぞれの静脈に人の静脈圧と同等の血圧を負荷し、血管穿刺時に翼状針のチューブ内に逆血を発生させる。Fig. 3 右は、自動採血ロボットでトレーニングモデルに自動穿刺したときの例である。血管穿刺によって、逆血を検出し、血管穿刺に成功したことが確認できる。また、力覚センサにより、皮膚表面及び血管穿刺の検出も可能であった。モデルの3種類の皮静脈それぞれに各10回穿刺実験を行った結果、全ての穿刺実験に成功した。以上の結果より、本研究で開発した血管位置推定法および穿刺センシングシステムにより、確実に自動穿刺を実現可能であることが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 SAGAWA Koichi, FUJIMOTO Takuto, KOIDE Tatsuya, NAGAI Chikara	4. 巻 89
2. 論文標題 Development of automatic puncture method to simulated blood vessel in semi-transparent skin model by noncontact position estimation using IR cameras	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.22-00262	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kowatari Ryosuke, Sasaki Hanae, Murata Kenyu, Sato Ken, Sagawa Koichi, Kudo Masako, Minakawa Masahito	4. 巻 14
2. 論文標題 Establishment of prediction equations for subcutaneous tissue thickness in two representative intramuscular deltoid injections	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Vaccine: X	6. 最初と最後の頁 100316 ~ 100316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvacx.2023.100316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石橋宗紘, 奥谷太芽, 佐川貢一
2. 発表標題 超音波画像とモーションキャプチャーを利用したカテーテル挿入支援ロボットの開発
3. 学会等名 第24回システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐川貢一, 笹川和彦, 小渡亮介
2. 発表標題 模擬血管の非接触3次元位置計測による自動穿刺ロボットの開発
3. 学会等名 第61回日本人工臓器学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐川貢一
2. 発表標題 自動採血ロボットのプロトタイプ開発
3. 学会等名 第5回次世代医療システム産業化フォーラム2023（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤本拓人, 佐川貢一
2. 発表標題 細分化した血管像の屈折光を利用した模擬血管への自動穿刺
3. 学会等名 日本機械学会2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高木啓佑, 佐川貢一
2. 発表標題 模擬皮膚開発のための皮膚の粘弾性特性の計測
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第343回研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐川貢一, 笹川和彦, 小渡亮介
2. 発表標題 自動採血ロボットのための技術開発
3. 学会等名 第62回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飛田篤, 佐川貢一, 小渡亮介
2. 発表標題 OpenPoseと深度カメラを利用した肩峰検出による筋注ロボットの試作
3. 学会等名 IIP2023 情報・知能・精密機器部門講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Koichi Sagawa, Natsuho Suzuki, Yoshitaka Ishii, Ryosuke Kowatari
2. 発表標題 A conceptual proposal for muscle injection robot into artificial deltoid utilizing 3D depth camera
3. 学会等名 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤本拓人, 小出達哉, 佐川貢一
2. 発表標題 ステレオ視による透明ゲル内模擬血管への自動穿刺
3. 学会等名 第56回日本生体医工学会東北支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小渡亮介, 佐々木花恵, 村田賢祐, 佐川貢一, 工藤雅子, 皆川正仁
2. 発表標題 肩筋肉注射時における適正刺入位置と深度の検討-中間報告
3. 学会等名 第105回 弘前医学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐川貢一
2. 発表標題 自動採血ロボットのための要素技術開発
3. 学会等名 第2回神戸医療産業都市 産学官医連携オープンイノベーション推進プログラムシーズ発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐川貢一、高橋直樹、長井力
2. 発表標題 力覚を利用した模擬血管への自動穿刺の成否判定
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井啓貴、佐川貢一
2. 発表標題 模擬皮膚面での屈折を考慮した模擬血管の3次元位置推定と自動穿刺による有効性検証
3. 学会等名 IIP2022 情報・知能・精密機器部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐川貢一
2. 発表標題 自動採血ロボット開発のための基礎技術開発
3. 学会等名 北東北国立3大学「医工連携」をテーマとした研究者交流会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐川貢一、遠藤善生、長井力、神谷浩
2. 発表標題 簡単化した光の屈折を考慮した模擬血管への自動穿刺
3. 学会等名 IIP2021 情報・知能・精密機器部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小出達哉、長井力、佐川貢一
2. 発表標題 自動採血のための6自由度穿刺ロボットの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第330回研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐川貢一
2. 発表標題 ステレオカメラによる模擬血管の深さ推定法を利用した自動穿刺装置の開発
3. 学会等名 第56回日本医学放射線学会秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長井力、高橋直樹、佐川貢一
2. 発表標題 採血ロボットによる模擬血管への穿刺成否の判定
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小出達哉、長井力、佐川貢一、神谷浩
2. 発表標題 ラジコンサーボと赤外線ステレオカメラを使用した模擬血管への自動穿刺ロボットの開発
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 位置推定装置，自動注射装置，位置推定方法及びプログラム	発明者 佐川貢一	権利者 弘前大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-106414	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計3件

産業財産権の名称 血管特定装置及び血管特定方法	発明者 齊藤祐貴，深見美行，神谷浩，新井治，笹川和彦，佐川	権利者 弘前大学，(株)日本マイクロニクス
産業財産権の種類、番号 特許、第1775057号	取得年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 血管特定装置及び血管特定方法	発明者 齊藤祐貴，深見美行，神谷浩，新井治，笹川和彦，佐川	権利者 弘前大学，(株)日本マイクロニクス
産業財産権の種類、番号 特許、7366360	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 血管位置表示装置及び血管位置表示方法	発明者 齊藤祐貴，深見美行，神谷浩，新井治，笹川和彦，佐川	権利者 弘前大学，(株)日本マイクロニクス
産業財産権の種類、番号 特許、7295527	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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	岡 和彦 (Oka Kazuhiko) (00194324)	弘前大学・理工学研究科・教授 (11101)	
研究分担者	小渡 亮介 (Kowatari Ryosuke) (20792477)	弘前大学・医学部附属病院・講師 (11101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	長井 力 (Nagai Chikara) (80401777)	埼玉工業大学・工学部・教授 (32410)	

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