

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12771

研究課題名（和文）透析用穿刺針における刺入の運動力学計測と手技の巧緻性の評価

研究課題名（英文）Measurement of Kinetics and Skill Characterization for the Dialysis Needling

研究代表者

大瀧 保明（Yasuaki, Ohtaki）

神奈川工科大学・健康医療科学部・准教授

研究者番号：50344693

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）：血液透析では血液を透析装置に引き出す脱血、体内へ戻す返血のルートを確認するため、体表より穿刺して血管にカニューレを留置する。穿刺の確実性の向上は、患者負担の低減や治療成績に直結する。本研究では、穿刺の技量を穿刺針の動きと力に見る特徴により定量化することを試みた。穿刺針に搭載可能な小型センサによる方法を提案した。模擬皮膚血管モデルに対する実験室実験にて、豊富な臨床経験を有する熟練者と未習熟者の比較において本法の有効性を検討した。事前所見を含む一連の穿刺過程に対し、針の3次元姿勢、把持特性、穿刺針に加わる力といった運動力学的な観点から技能の差異を検出し、熟練者の巧緻性を特徴化できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

穿刺は伝承が困難な医療手技のひとつともいわれるが、熟練者が有する技量の感覚を定量的なデータに基づき記述できれば、医療施設における手技の継承に有効である。また、自動穿刺装置等の将来技術への貢献が期待できる。現行、所定の刺入角度を再現することが求められる手技においても、針の状況を簡易にモニタする方法として適用が考えられる。事例、症例との関連でデータを蓄積していけることも重要な要件となり、本研究成果はそのための一方法を提案しうる。将来的に安全確実に治療効率の高い医療技術の実現に繋がる。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted with the aim of quantifying the skill involved in the insertion of a puncture needle in dialysis treatment. We propose a novel approach based on the characteristics observed in the posture and force of the puncture needle, using miniature sensors mounted on a puncture needle. We evaluated its possibility using a simulated skin-blood vessel model in a laboratory experiment. The subjects were skilled dialysis practitioners and novices with knowledge but no practical experience. The experimental tasks were needle insertion in regular dialysis or buttonhole puncture. The effectiveness of this method was demonstrated by revealing the skill difference in the comparison. The difference in the penetration angle and gripping force trends during dialysis needling seemed to represent their technical skillfulness.

研究分野：生体医工学

キーワード：穿刺 巧みさ センサ 姿勢 角度 把持 力 医療

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

血液透析患者の増加と高齢化を背景として、患者への負担を低減し、安全かつ確実な治療効率の高い医療技術への要請が高まっている。血液透析においては、透析用穿刺針の血管への刺入、また留置における確実性向上が求められている。針刺入の操作は皮膚や血管の状態に応じて調整されるが、これには施術者の手先の感覚による要素が多いとされる。そこには技能としての巧みさがあり、運動と力の制御があると考えられるが、その特徴は未だ定量的には明らかにされていない。我々は、将来の臨床への適応も念頭に、穿刺針の姿勢や力の状況を簡便に計測する方法、穿刺の運動学的特徴から技能を反映する因子を抽出する方法が必要と考え研究に着手した。

2. 研究の目的

透析用穿刺針による脱血、返血のルート(バスキュラーアクセス)の確保において、施術者の穿刺技能を評価する方法を提案することを目的とし、つぎの2つの目標を設定した。

- (1) 透析用穿刺針の刺入状況を記録でき、臨床利用されている穿刺針に改造を施さずに、そのまま搭載可能な小型の計測システム、および計測方法を提案すること。
- (2) 透析用穿刺針の刺入における手技の巧緻性について、穿刺針の運動と操作力に絞り、施術者の操作特徴を定量化する方法を明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 穿刺針の3次元空間姿勢の計測・刺入状況の検知

3軸加速度センサ、3軸地磁気センサを搭載する小型慣性センサをアタッチメントを介して穿刺針に取り付けられるようにし、穿刺中の3次元姿勢を計測する方法を示した。姿勢推定の検証のため、穿刺針にマーカを貼付して光学式モーションキャプチャにより同時計測した。皮膚や血管への刺入や外針(カニューレ)挿入などの透析穿刺の各段階との関係を調べた。一方、搭載のセンサに温度、湿度、照度を含め、穿刺状況の検知を目的として、針の内部や室内の環境(気温、湿度)の取得を試みた。

(2) 穿刺時の把持力・穿刺針に加わる力の計測

穿刺針の把持形態は標準的な臨床手技に倣い、穿刺針の針基部を母指と示指中節で挟んで保持するものとした。把持部に脱着可能なアタッチメントを介して3軸の力センサ(薄型ピエゾ抵抗型感圧素子)を母指側、示指側にそれぞれ配置した。把持指、および針の3次元姿勢に対しての操作力ベクトルの方向と大きさを評価した。また、針と針基部の接合部に力センサを配置して、刺入抵抗として穿刺針に作用する力を評価した。

(3) 熟練者と未習熟者の比較における穿刺技能の定量化・顕在化

透析用穿刺針としてカニューレ針とボタンホール針を考慮し、上記方法の有効性と妥当性を検討した。いずれも市販の模擬皮膚血管モデル(血管走行はストレート)に対する実験室実験として実施した。被験者は、熟練者として透析治療および血液浄化業務で豊富な臨床経験を有する熟練の臨床工学技士、また未習熟者は知識を有するが実務経験のない臨床工学技士養成課程に所属する学生、および専門の異なる臨床工学技士とした。事前の触診等、理学所見を含む一連の穿刺の過程に対し、針の3次元姿勢、把持特性、穿刺針に加わる力といった運動学的観点から習熟度による差異を評価した。

4. 研究成果

(1) 透析穿刺における穿刺針の3次元姿勢による技能の評価

慣性センサから計算される針の3次元空間姿勢とモーションキャプチャによる計測結果は刺入時の運動条件下で良く一致することを確認し、アタッチメントの取り付け、および計算原理に起因する要因を含む角度推定誤差、各軸回転での精度を評価した。皮膚刺入時の穿刺針角度は対象血管(試料)に対する穿刺者の事前所見(触診を含む理学所見)にもとづく判断によって、熟練者の間にも違いはあるものの、血管貫入後の外針(カニューレ)の挿入に備えた針操作では、血管走行に針の方向を速やかに定める技能において未習熟者と顕著な差異が認められた。熟練者では内針先端の刃面の向きへの配慮も、針の軸周りの姿勢により評価できた。一方、未習熟者では刺入角度は25度~30度という教科書的な目安に集まる傾向であった。また、未習熟者では外針挿入段階での針刺入方向が血管の走行方向に対して乖離あるものが多くみられた。これらの結果から、理学所見にもとづいた施術者の意図、判断、穿刺イメージの相違は、穿刺が行われる間の運動学的特徴に反映されること、その定量によって総合的な穿刺技能を評価できること

が推察された．それは最終的な留置のイメージから逆算した穿刺イメージと実行される刺入操作の整合，また事前所見の重要性を示すものであった．

(2) 透析穿刺における穿刺針の操作力・針に作用する力による技能の評価

穿刺針操作の把持力に見られる特徴から技量の評価を試みた．把持位置，把持形態を制約する条件のなかで，示指，母指に生ずる力について分析した．熟練者では比較的弱く把持し，針の皮膚，血管への貫入に際して瞬間的には把持力を高めて保持していた．その後は把持する力はゆるめ，針を走行に合わせて傾斜させるに連動して針先方向への力を生じさせる傾向が見られた．これらは把持力の大きさに被験者間に差があるものの，急激なものでなく，必要な力，方向を滑らかに変える特徴であった．一方，未習熟者では刺入前から強く把持し，皮膚刺入のタイミングではさらに強く把持して維持する傾向であった．このような把持特性の相違は，穿刺針の可動範囲や自由度に違いをもたらす可能性，また針先の血管貫入時に指先で感知する力覚，触覚の感度に変化をもたらす可能性が推測された．

一方，穿刺の刺入方向や力加減が穿刺の成否を左右する課題として，ボタンホール穿刺を取り上げ，円滑な刺入にみられる針操作の特徴を針に作用する力から評価した．ボタンホール穿刺法は同一点から予め形成した穿刺ルートに沿って同一角度で穿刺するものであり，施術者は針を通じて伝わる力の感触をもとに，血管上の穿刺孔まで到達する．ボタンホール形成による皮下組織状況の再現は考慮外ではあるものの，模擬皮膚血管モデルに設けた既成の穿刺ルートに対して，刺入方向と力ベクトルの波形特徴から穿刺の成否の差異を見出すことができた．また，皮膚血管モデルにグリセリン等により潤滑条件を変えた実験条件を用意し，穿刺針に加わる3分力から抵抗感の定量化が行えることを確認した．

(3) 皮膚，血管への刺入時点の検出，穿刺状況の計測

皮膚への刺入，血管への貫入のタイミングを検出の課題に対して，温湿度センサを穿刺針に装着して評価する方法を検討した．温水を環流した模擬皮膚血管モデルでの試行においては，現時点で刺入時点や逆血の検知に明確な応答を得ておらず，引き続き可能性を探っていきたい．室温など環境の計測は計測項目に追加し，今後 穿刺データを蓄積していく際の活用が考えられたが，その具体的な方法を議論するには至らなかった．

(4) 展開

皮膚への刺入時点の検出や針の刺入深さを評価する目的に対して，当初計画には含まれなかったものの，本研究成果からの着想として，本法にレーザー測距センサを追加して計測する方法を提案した．穿刺対象の試料表面の形状や性状を考慮外とした条件での検討であったが，本法で提案する穿刺針の姿勢推定と組み合わせることで，穿刺針に搭載するレーザー測距デバイスの照射距離から針の刺入深さを算出する方法を示した．また，臨床を想定した活用のひとつとして，超音波画像診断装置を併用して穿刺するエコーガイド下穿刺への適用を示した．穿刺針の3次元空間姿勢をエコー画像に統合して針方向を描出できた．エコー画像中での針の見失い対策や，針刺入イメージを踏まえたプローブ操作の誘導など，情報支援技術としての活用が期待された．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大瀧 保明
2. 発表標題 穿刺の巧緻性に関する定量的把握
3. 学会等名 第25回日本透析アクセス医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大瀧 保明, 藤原 和希, 松下 大地
2. 発表標題 透析用穿刺針に搭載する慣性センサによる穿刺手技の計測
3. 学会等名 日本機械学会 IIP2021 情報・知能・精密機器部門（IIP部門）講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大瀧 保明, 村山 絢, 小林 史弥
2. 発表標題 穿刺針に加わる力の計測（ボタンホール穿刺の評価に向けた基礎的検討）
3. 学会等名 日本機械学会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 Yasuaki Ohtaki, Fumiya Kobayashi
2. 発表標題 Tracking Needle Posture with IMU is Useful for Revealing Hemodialysis Puncture Skillfulness
3. 学会等名 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大瀧 保明, 佐藤 良亮
2. 発表標題 エコーガイド下穿刺における姿勢計測と慣性センサの適用
3. 学会等名 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 (IIP 部門) 講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大瀧 保明, 佐藤 良亮, 川崎 路浩
2. 発表標題 慣性センサによる針姿勢の計測とエコーガイド下穿刺における融合
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 藤原 夕芽, 大瀧 保明
2. 発表標題 穿刺針と併用するレーザー測距デバイスによる針刺入深さの計測法
3. 学会等名 日本機械学会 IIP2024 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会
4. 発表年 2024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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------