

令和 2 年 11 月 18 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01421

研究課題名(和文) 難治性潰瘍手術ナビゲーションのための下肢末端血流動態画像解析・投影システムの開発

研究課題名(英文) Computer assisted intractable ulcer surgery navigation with image analysis software and projection mapping system for dynamic blood flow of lower limb

研究代表者

荒船 龍彦 (ARAFUNE, Tatsuhiko)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：50376597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で開発する血流動態画像計測ソフトウェアのアルゴリズムは、被験者の下肢駆血と駆血解除に伴う皮膚色調の変化をビデオカメラで計測し、その後得られた動画から赤色変化分のみを抽出して輝度値変化を強調処理して処理画像を取得する。そして血流動態の良好度に応じたカラーマップで色づけされた処理画像・処理動画をプロジェクションマッピングにて患者皮膚表在に投影し、非接触非侵襲に、医師に直感的に把握しやすい情報提示をする治療支援システムである。健常者を用いたシステムの妥当性確認が完了し、臨床研究に向け必要な要素抽出を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

成人病の進行などに伴い、下肢難治性潰瘍患者が増加している。難治性潰瘍によって壊死した組織は回復が見込めず血流が良好な部位を残して外科的切除術による治療を行う必要があるが、血流動態の良好度の判別には従来一箇所一箇所繰り返し計測して術者が皮膚表在を確認する必要があった。本システムは一般的なカラーカメラを用い、画像処理技術を用いてこれを一度に計測し、かつ二次元的な画像や動画として血流動態を把握し、さらにプロジェクションマッピング技術を用いて術者に非侵襲に提示するシステムである。本システムを用いることで医師はより定量的かつ直感的に血流動態を把握しながら外科手術が可能となる。

研究成果の概要(英文)：In this research project we developed the software which can grasp the dynamic blood flow of foot and lower limb using image analysis method. The color change of skin surface of lower limb with the protocol of temporal avascularization and release are measured with digital video camera and 3D sensor. Then only Red brightness value of RGB are picked up and normalized and inverted processed. Finally the software output processed movie and image file both. The processed 2D image and movie which indicate the dynamic state of blood flow were projection mapped with the same position of lower limb with 3D sensor and screen projector. The system validation were performed using human healthy subject. The operational quality and procedure were checked in operating theater. For the clinical use, we checked the various software parameter, user interface, safeness, and protocol then we go through procedure to ethical committee in hospital.

研究分野：生体医工学

キーワード：血流動態可視化 プロジェクションマッピング 末梢性動脈疾患 糖尿病

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国では高齢化および食生活の欧米化に伴い、糖尿病や高血圧などの成人病を背景に PAD とそれに伴う下肢難治性潰瘍患者が増加している。PAD に伴って下肢難治性潰瘍が生じると、その治療は難渋することが多く、下肢血流、創傷治癒の状況を考慮して軟膏治療や手術治療が検討される。それでも治癒せず壊死部が拡大した場合は各種切断術といった抜本的な外科的治療手法が再発防止には最も有効だが、一方で整容性や QOL を著しく損ない、また十分に虚血組織を切除できなかった場合は潰瘍が再び進行し、再切断のリスクが否定できない。そのため虚血領域と正常組織の正確な境界判定が PAD 治療の重要な課題である。下肢血流を把握するには tcpO₂ 計測装置でカフ内センサから複数点をマッピングして血流を把握するか、パルスオキシメーターによる 1 点での計測が一般的である。しかし血流動態を把握するには複数個を用いるかあるいは測定点を変えて複数回計測するしかなく、二次元的な高解像度の画像として血流動態を簡便に把握する計測装置は今まで存在していない。申請者らはこれまでに心臓の活動電位興奮伝播現象の可視化のための微弱な輝度値変化を捉える画像処理ソフトウェア Opmap (荒船 et.al. Environmental Medicine, 2003) を開発した。これを改良し、下肢に生じさせた血流変化による皮膚表面の肌の色調の微細な変化を計測・画像処理することで、末梢動脈の状態、すなわち血流動態の二次元的な状態を可視化し、把握できるのではないかと着想を得た。健常者を被験者とした基礎的検討の結果、下肢難治性潰瘍患者の血流を簡便に測る手法として一般的に用いられる、下肢の駆血と駆血解除に伴う血流動態の一時的な上昇による皮膚表面の色調のうち赤色成分 (R 値) の変動を正規化強調処理することで、血流動態の良好な領域の同定に一定の成果を挙げた (荒船ら、コンピュータ外科学会 2015)。

また一方、MRI や CT から得られた様々な機能的/解剖学的情報を用いて精緻な外科的治療を行うために開発されてきた手術ナビゲーションシステムは、手術室に設置した液晶モニターやヘッドマウントディスプレイ等に多くの画像情報を集約し、治療器具に取り付けた三次元マーカをディスプレイ上に表示しながら治療を行うものが主流である。しかし術前に撮影した CT/MRI 等の画像と、実際に治療を行う手術室における患者身体は形状・姿勢に変化が生じてしまい、しばしば適切な壊死切除領域の判断に迷うことがある。そこで、本研究では外科的な切除ラインを素早く定量的に決定する術中手術支援として、プロジェクションマッピングを用いる手法を検証する。プロジェクションマッピングは、近年芸術作品などの表現方法の一つとして行われているもので、建造物や構造物に対してプロジェクタを用いて画像を投影することで、従来では得られない視覚効果を得る方法である。そこで、三次元形状計測装置を用いて患者の下肢形状情報を取得し、本研究で開発する血流動態画像計測システムを用いて手術室で計測した患者の下肢血流動態情報を、手術室の患者の下肢形状に合わせて皮膚表面上に投影することで、術者に精緻な血流動態情報を提供し、正確な切断ラインの判断に用いることができるのではないかとこの着想に至った。

2. 研究の目的

閉塞性動脈硬化症など PAD (Peripheral arterial disease: 末梢性動脈疾患) に起因する下腿難治性潰瘍の治療成績向上を目的とした、TcPo₂: 経皮酸素分圧測定に代わる、新たな表在血流の虚血スクリーニング手法の開発を行う。具体的には (1) 下肢駆血と駆血解除に伴う血流動態の一時的な上昇による皮膚表面色調変化を動画としてデジタルビデオカメラで撮影し、独自に開発した画像処理アルゴリズムによる正規化強調処理によって、下肢末梢の血流動態を二次元的に把握する計測システムを開発し、(2) この本システムで得られた血流動態画像を、患者の下肢の皮膚表面上に精緻に投影する手術ナビゲーションシステムを開発することを目的とする。いることができるのではないかとこの着想に至った。

3. 研究の方法

1) 画像処理ソフトウェアの改良

血流動態画像計測ソフトウェアのアルゴリズムは、被験者の下肢駆血と駆血解除に伴う皮膚色調の変化をまずビデオカメラで計測し、その後得られた映像から RGB の三原色のうち赤色の R 値のみ抽出して、輝度値変化を正規化強調処理して処理画像を取得する。これを全フレーム全画素について実施する。これは申請者らが開発してきた心臓活動電位興奮伝播計測システム (Environmental Medicine, 2005) において開発したソフトウェア Opmap を改良して実装する。Opmap では強調画像を作成する上で用いる最適なパラメータ (正規化範囲幅値) の決定が処理画像の視認性において重要であり、画像処理アルゴリズムのうち B_{Amp_dark} と B_{Amp_light} について疾病患者から得られた画像より最適値を導出する (ソフト開発: 荒船 (代表), 鷲尾 (分担), 被験者選出, 医学的アドバイザ: 矢野医師 (研究協力者))

2) 処理画像から血流不全を示す定量的指標の導出

開発したシステムを用い、研究協力者である横浜みなと赤十字病院形成外科の矢野医師らと共に、健常者および PAD 患者における下肢駆血、駆血解除に伴う肌の色調変化計測を行う。患者の基礎疾患、運動量、等の情報と、本システムで得られた血流動態可視化マップ、および駆血解除に伴い色調の回復曲線から得られる時定数の 2 つの情報、および計測時に用いたパルスオキシメーターの数値、を組み合わせたデータベースを作成し、データベースから駆血解除で得ら

れる二次元マップと相関の強い疾患や罹患リスクを数値的に導出する。具体的には、足首に走向する3本の太い動脈とその動脈を基部とする足首の特徴点において、本画像処理ソフトウェアを用いてR値の色調変化を時系列で導出し、描画するグラフから、駆血・駆血解除で一時的に上昇する傾き、上昇した赤色色調が処置前の色調へ戻る回復曲線の曲率と時定数、を求めて定量的な数値として回復曲線から深部血行動態の相関を求める。(担当:本間(分担),野口(分担),矢野)

3) プロジェクションマッピングシステム構築

三次元計測器とプロジェクタを用い、リアルタイムに下肢皮膚表面に追従して選択的に処理画像を投影するシステムを開発する。具体的には(A)三次元形状計測器(Kinect V2, Microsoft社)を用いて取得した患者の下肢三次元形状データ(B)血流動態計測ビデオカメラ位置(C)プロジェクタ位置、(D)下肢表面あるいは下肢を固定した器具上に付与したレジストレーション用マーカ、の4つの三次元情報を同一三次元座標上に再構築し、処理した血流動態動画のうち最も輝度値変化の大きいフレーム画像について、実空間のプロジェクタ投影座標視点から見た映像に変形させ、下肢表面位置へ投影するシステムを開発する。(担当:荒船,大越(分担),野口)

4) システム全体評価

皮膚表面への投影血流画像の質的評価、手術野における運用やインターフェースの評価を行う。(担当:矢野(研究協力者),荒船)

4. 研究成果

本研究で開発する血流動態画像計測ソフトウェアのアルゴリズムは、被験者の下肢駆血と駆血解除に伴う皮膚色調の変化をビデオカメラで計測し、その後得られた動画から赤色変化分のみを抽出して輝度値変化を強調処理して処理画像を取得する。そして血流動態の良好度に応じたカラーマップで色づけされた処理画像・処理動画をプロジェクションマッピングにて患者皮膚表面に投影し、非接触非侵襲に、医師に直感的に把握しやすい情報提示をする治療支援システムである。健常者を用いたシステムの妥当性確認が完了し、臨床研究に向け必要な要素抽出を行った。この成果を元に特許出願を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

荒船龍彦, 鈴木孝司, 千葉慎二, 鷲尾利克, 矢野智之, "難治性潰瘍外科的治療における血流動態プロジェクションマッピング術中支援システム", 第33回ライフサポート学会大会・LIFE2017, LIFE2017 第33回ライフサポート学会大会 講演要旨集, p49, 2017/9/15-17

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 血流評価装置

発明者: 荒船 龍彦、矢野 智之

権利者: 学校法人東京電機大学

種類: 特許

番号: 2019-135288

出願年: 2019年

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：鷲尾利克

ローマ字氏名：WASHIO, Toshikatsu

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：健康工学研究部門

職名：主任研究員

研究者番号(8桁): 40358370

研究分担者氏名：本間章彦

ローマ字氏名：HONMA, Akihiko

所属研究機関名：東京電機大学

部局名：理工学部

職名：教授

研究者番号(8桁): 20287428

研究分担者氏名：大越康晴

ローマ字氏名：OHGOE, Yasuharu

所属研究機関名：東京電機大学

部局名：理工学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 10408643

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。