

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560513

研究課題名(和文) RGBカメラによる非接触型パルスオキシメトリーイメージング装置の試作研究

研究課題名(英文) Study on imaging system for noncontact pulse oximetry by using RGB camera

研究代表者

西舘 泉 (NISHIDATE, IZUMI)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70375319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、デジタルカラーCCDカメラにより取得したヒト皮膚のRGB画像から皮膚表面毛細血管の酸素化・脱酸素化血液量を求め、動脈血酸素飽和度のイメージングと脈拍数の計測を行なう新しい方式を開発した。吸入酸素濃度が異なる条件下のラットを用いた動物実験およびヒト皮膚に対する実験により脈波伝搬の時空間計測と動脈血酸素飽和度のイメージングが可能であることを確認した。これにより、RGBカメラを基盤とした動脈血酸素飽和度と容積脈波の非侵襲・非接触イメージングが実証され、新しいバイタルサイン計測法の可能性が得られた。

研究成果の概要(英文)：To visualize the plethysmographic signals remotely, we investigated a method that is specifically developed for estimating the concentrations of oxygenated blood, deoxygenated blood, and total blood in skin tissue from RGB digital color images. The plethysmographic signals were extracted from the time course of total blood concentration by FFT band pass filter. Heart rate (HR), pulse wave amplitude (PWA), and arterial oxygen saturation were calculated from the extracted plethysmographic signals. In vivo imaging of rat skin flap during varying fraction of inspired oxygen demonstrated the possibility of the method to evaluate arterial oxygen saturation. In vivo experiments were performed for human subjects during rest and after knee bends exercise. We confirmed that the ability of the method to evaluate the blood volume pulse and oxygen saturation simultaneously.

研究分野：計測光学、生体医用光学

キーワード：容積脈波 イメージング 酸素飽和度 脈拍数 RGBカメラ

1. 研究開始当初の背景

動脈血酸素飽和度は動脈血液中のヘモグロビンの何%が酸素と結合しているかを示す指標である。動脈血酸素飽和度は心肺機能と密接に関係しており、脈拍・血圧と共に医療分野における重要なバイタルサイン(生命兆候)として利用されている。動脈血酸素飽和度・脈拍の非侵襲的計測法としては、指先に装着したプローブによる透過光型パルスオキシメーターが臨床において実用化されているが、測定部位は指先に限定され、プローブずれや体動による誤計測の問題が指摘されている。またプローブの圧迫による血流障害や近赤外光源による低温熱傷の報告例もあり、長時間の連続計測は患者への負担が大きい。一方で、反射光を用いた方式も検討されている。この場合、指先以外の額や胸部への適用など、測定部位の自由度が広がることから臨床上の更なる活用が期待されている。そのため、複数の検出器を用いた空間分布計測への展開も試みられている。しかしながら、これまでに報告されている反射型パルスオキシメーターによる空間分布計測法は接触型であり、空間分解能を向上させるためには原理上プローブの大型化を余儀なくされるなど、解決すべき課題は多く、実用に供し得るレベルには至っていない。このように、所望の部位の動脈血酸素飽和度と脈拍を広範囲にわたり非接触且つ非侵襲的に計測する手段は国内外において未だ実現されていない。非接触型のイメージングへ展開することで動脈血酸素飽和度・脈拍の空間的な情報が得られれば、医療分野において更なる応用が期待できる。

2. 研究の目的

本研究計画の目的は、動脈血酸素飽和度・脈拍の2次元分布評価のために簡易な画像計測システムを試作・開発し、非接触型のパルスオキシメトリーイメージング装置を実現することである。

3. 研究の方法

本研究課題ではまず平成24年度において皮膚RGB動画取得装置の構築と動脈血酸素飽和度・脈拍数・血圧計測のアルゴリズムの開発を行った。さらに平成25年度において、人工皮膚モデルによるシステム基礎特性の評価を行った上で、ラットを用いた動物実験により、生体での有用性について検討を行った。平成26年度では、ヒトに対する実験を行い、開発したシステムの有用性を評価した。

(1) 画像取得装置の構築

光源、リングライトガイド、偏光板、カメラレンズ、RGBカラーCCDカメラ、光学部品固定装置及び動画取り込み用PCを購入し、現有の光学除振台上に動画取得装置を構成した。カメラは80万画素、ダイナミックレンジは24-bit RGBとした。

(2) 動脈血酸素飽和度・脈拍数計測アルゴリズムの確立

皮膚のRGB動画から動脈血量及び静脈血量を個別かつ連続的に計測し、脈波成分を抽出する方式を検討した。RGBの3応答量からXYZ表色系を介して皮膚の酸素化・脱酸素化血液量を推定する変換マトリクスを作成し、酸素化・脱酸素化血液量の時間変化に対してFFTフィルターを適用することでそれぞれの脈動(AC)成分を抽出する方式を新たに検討した。酸素化血液量と脱酸素化血液量の脈波ピークにおける比率から動脈血酸素飽和度を、また連続する脈波ピークの時間間隔から1分当たりの脈拍数を算出するアルゴリズムを開発した。以上の新規に検討する方式を計測動画の各画素に適用することで、RGB動画から動脈血酸素飽和度のイメージングと脈拍数の計測を行なう新しい方式を開発した。

(3) システム化

開発したアルゴリズムを基に動脈血酸素飽和度の2次元表示および脈拍数の表示を行なうためのシステムを試作した。カメラコントロール、画像取得及び伝送はUSBケーブルを介してリアルタイムで行い、AVI形式の動画ファイルをPC内に保存し、1フレーム毎のオフライン処理による解析と結果の表示を行なった。光量と露光時間の最適化により、酸素化血液量と脱酸素化血液量の動画は最大で30フレーム/秒の時間分解能を達成した。動画取得、解析、結果表示までの一連の操作を統合するWindowsプログラムを作成し、動作確認を行った。

(4) システム基礎特性の評価

メラノイジン色素、ウマ血液を用いた人工皮膚モデルを作成し、計測値の校正とシステム基礎特性の評価を行なった。酸素化血液量と脱酸素化血液量の定量性を確認した。

(5) ラットを用いた動物実験

除毛後の麻酔下ラット背部および頭部皮膚を対象に動脈血酸素飽和度・脈拍の2次元計測を行った。動脈血酸素飽和度、脈拍数は、標準酸素ガス、窒素ガス、二酸化炭素ガスの混合により吸入酸素濃度 $FiO_2\%$ を0~95%の範囲内で変化させることでコントロールした。平成25年度経費で購入した小動物用パルスオキシメーターとの同時計測した結果と比較することで提案法の妥当性と生体での有用性を確認した。

(6) ヒトに対する評価試験

ヒト皮膚を対象に動脈血酸素飽和度・脈拍の2次元計測および血圧値の計測実験を行う。測定部位は顔、胸部、前腕、手背の4カ所とし、平常時及び運動負荷により心拍数と血圧を上昇させた際の計測を行った。運動負荷は5分間のスクワット運動を採用した。同時に、

現有の血圧計により血圧・脈拍数を計測し、本方法との比較を行なうことで平常時及び運動時のヒトに対する本システムの有用性を評価した。

4. 研究成果

Fig. 1 に高酸素状態 ($FiO_2=95\%$) のラット頭部皮膚の全血液量 C_{tb} (酸素化血液量と脱酸素化血液量の和) の画像内に設定した関心領域 (Region of interest, ROI) 平均値の時間変化の一例を示す。フィルター処理を施した波形は1秒間に約7回の周期的な変動を有する。平常時のラット脈拍数は約400-500[bpm] (6.7-8.3[Hz]) であることから、抽出した波形は容積脈波であると考えられる。また、高酸素状態 ($FiO_2=95\%$) のラットから得た脈波イメージングの一例を Fig. 2 に示す。 C_{tb} 画像の各画素の時間変化にFFTバンドパスフィルターを適用することで容積脈波の成分を取り出し、二次元分布として再構成することで、脈波の変動が観察できることを確認した。

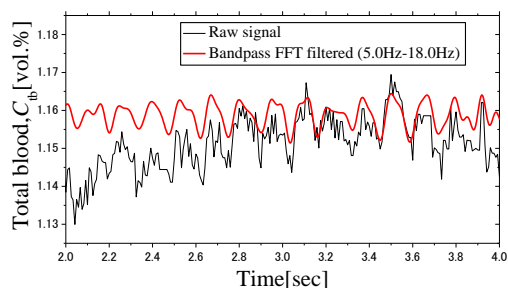


Fig. 1 ラット頭部皮膚の全血液量 C_{tb} 画像内に設定した関心領域平均値の時間変化

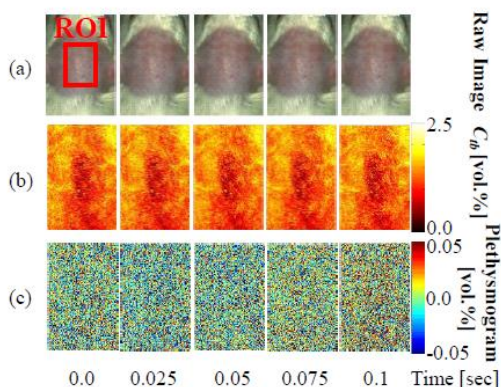


Fig. 2 ラット頭部皮膚から得られた (a) カラー画像、(b) 全血液量 C_{tb} 画像、および (c) 容積脈波画像の時間変化の一例

Fig. 3 は吸入酸素濃度変化時の動脈血酸素飽和度のイメージングの一例である。高酸素状態である $FiO_2=95\%$ から通常大気酸素濃度である $FiO_2=20\%$ までは、動脈血酸素飽和度に大きな変化は見られない。一方で、 FiO_2 が 20% を下回り、低酸素状態になるにつれ除毛した部位の動脈血酸素飽和度は低下しているこ

とが分かる。この結果は、従来のパルスオキシメーターで計測された動脈血酸素飽和度の変化と同様の結果を示しており、提案法により動脈血酸素飽和度の定量イメージングが可能であることが確認された。

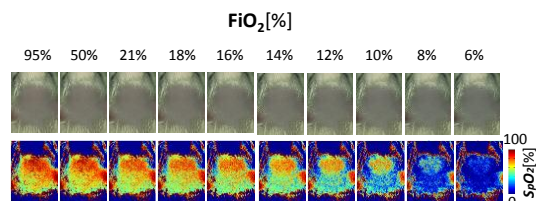


Fig. 3 吸入酸素濃度変化時のラット動脈血酸素飽和度のイメージングの一例

Fig. 4 にヒトに対する評価試験において得られた腕、手の甲、指、足の甲の皮膚の脈波イメージング結果の一例を示す。いずれの部位においても、脈波の正のピークから負のピーク、もしくは負のピークから正のピークといった血液容積脈波の時間的変動すなわち脈動が確認できる。

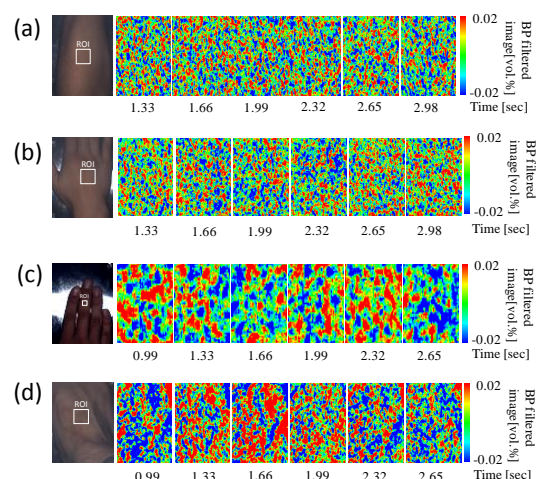


Fig. 4 ヒト皮膚に対する評価試験において得られた (a) 腕、(b) 手の甲、(c) 指、(d) 足の甲の脈波イメージング結果の一例

Fig. 5 に安静時及びスクワット運動後に得られた脈拍数 (HR) の時間変化を示す。安静時の HR は 60[bpm] でほぼ一定の値を示しているのに対して、スクワット運動後の HR は 120[bpm] まで増加を示し、その後緩やかに低下することが分かる。これは、運動により心拍数が増加し、その後、時間の経過とともに運動前のレベルに回復することを反映している。

Fig. 6 に安静時の HR の推定値 (本方法) と参照データ (市販の血圧計) との比較結果を示す。推定値と参照データは良い一致を示すことが分かる。

Fig. 7 に安静時及びスクワット運動後に得られた脈波振幅値 (PWA) の時間変化を示す。運動後の PWA は安静時のそれと比べ約 0.5 倍

に減少していることが分かる。これは運動により血圧が上昇したことで血管壁のコンプライアンス（柔軟性）が低下したことを示唆しており、本方法により血圧の変化を評価できる可能性を示している。

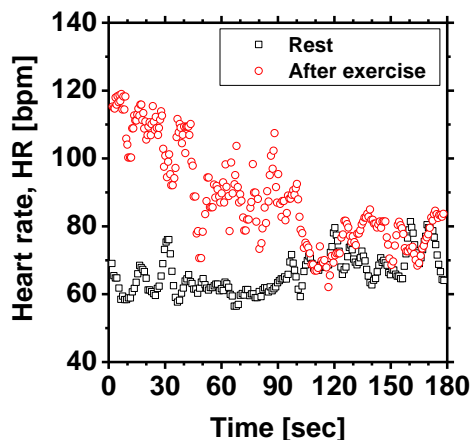


Fig.5 安静時 (Rest) およびスクワット運動後 (After exercise) において得られた脈拍数 (HR) の時間変化の一例

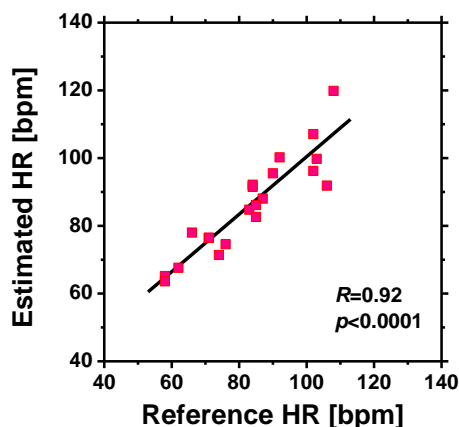


Fig.6 安静時のHRの推定値 (本方法) と参照データ (市販の血圧計) との比較結果

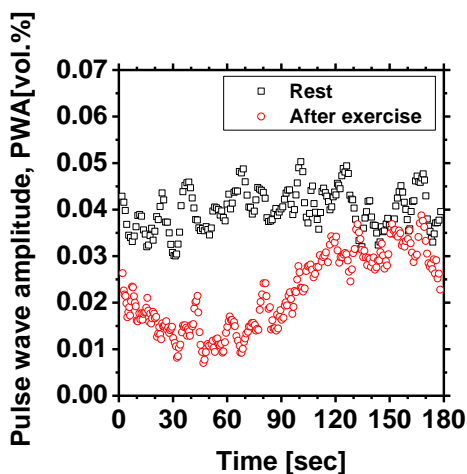


Fig.7 安静時 (Rest) およびスクワット運動後 (After exercise) において得られた脈波振幅値 (PWA) の時間変化の一例

以上により、RGB カメラを基盤とした動脈血酸素飽和度と容積脈波の非侵襲・非接触イメージングが実証され、新しいバイタルサイン計測法の可能性が得られた。本研究で開発した方式はデジタルRGBカメラから得られる動画像の色彩値 R, G, B から画素毎の酸素化・脱酸素化血液量を推定・可視化する。この際、皮膚含有色素の吸光スペクトルと組織による光散乱特性に着目し、光多重散乱理論に基づき皮膚の分光反射率を解析することで、毛細血管内の酸素化・脱酸素化血液量を分離計測するという点に特色がある。また、皮膚のRGB動画像から血流の脈波成分を抽出し、動脈血酸素飽和度・脈拍変動を広範囲且つ非接触的に計測・可視化する点が独創的である。本方式を用いることで、全身の広範囲な動脈血酸素飽和度と脈波情報を簡易なRGBカメラにより観察することが可能になると予想され、手術中、ICUにおける酸素モニターとしての利用のみならず、WEBカメラを用いた遠隔地・在宅医療や災害・救急医療における迅速な診断・重症度判別 (トリアージ) において大きな貢献が期待できる。また、近年の社会的問題である睡眠時無呼吸症候群の原因究明や糖尿病による末梢血管障害の診断において大きな寄与が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① I. Nishidate, N. Tanaka, T. Kawase, T. Maeda, T. Yuasa, Y. Aizu, T. Yuasa, K. Niizeki, "Visualization of peripheral vasodilative indices in human skin by use of Red, Green, Blue images," *Journal of Biomedical Optics*, 査読有, vol.18, 2013, pp. 061220-1-061220-9, DOI: 10.1117/1.JBO.18.6.061220

② I. Nishidate, T. Maeda, K. Niizeki, Y. Aizu, "Estimation of melanin and hemoglobin using spectral reflectance images reconstructed from a digital RGB image by Wiener estimation method," *Sensors*, 査読有, Vol.13, 2013, pp. 7902-7915, DOI:10.3390/s130607902

[学会発表] (計17件)

① R. Sato, I. Nishidate, K. Niizeki, and Y. Aizu, "Noncontact imaging of plethysmogram and tissue oxygen saturation during change in fraction of inspired oxygen," 5th Asian and Pacific-Rim symposium on Biophotonics, Pacifico Yokohama, Yokohama, Kanagawa, Japan, 2015. 4. 23.

② I. Nishidate, R. Matsuda, R. Sato, T. Maeda, T. Yuasa, T. Yuasa, K. Niizeki, and Y. Aizu, “Noncontact imaging of human skin hemodynamics using a digital red-green-blue camera,” Biomedical Imaging and Sensing Conference 2014, Pacifico Yokohama, Yokohama, Kanagawa, Japan, 2014. 4. 24.

③ I. Nishidate, R. Matsuda, N. Tanaka, T. Maeda, T. Yuasa, T. Yuasa, K. Niizeki, and Y. Aizu, “Noncontact plethysmographic imaging based on diffuse reflectance spectroscopy using a digital RGB camera,” European Conferences on Biomedical Optics, Munich, Germany, 2013. 5. 15.

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~bmp-mpg/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西舘 泉 (NISHIDATE IZUMI)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70375319

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし