

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12617

研究課題名(和文) 接触式センサに迫る映像脈波抽出と体位変化を積極的に利用した血圧・血管特性評価

研究課題名(英文) Development of Video Pulse Wave Extraction Method and Evaluation of Blood Pressure and Vascular Characteristics by Video Plethysmography

研究代表者

田中 明 (Tanaka, Akira)

福島大学・共生システム理工学類・教授

研究者番号：10323057

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、周期成分分析(PiCA)を繰り返し適用し、心拍間隔を複数回更新して映像脈波を算出する新たな方法を提案し、従来より映像脈波の抽出精度が向上した。手の昇降を利用したカフレス血圧推定法を提案し、接触式センサによる検証では、誤差5mmHg以下で拡張期血圧が推定可能であった。さらに、映像脈波を用いて検証した結果、誤差10mmHg以下で推定でき、完全非接触血圧推定の可能性が示された。本法は特許出願した。映像脈波を利用した血行動態の2次元的评价では、顔を対象として検討を行ったところ、マッサージによる血行動態の変化や体位変化による顔のうっ血の度合いの差などが、評価できる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

映像脈波の抽出精度が向上することで、接触式の脈波センサの代わりとして利用できる可能性がある。これは、遠隔医療やセンサ装着が困難な新生児などの計測に大きく寄与すると期待できる。また、映像脈波は多点同時計測が可能であるため、一つのカメラで複数人の計測が可能なことや2次元的な脈波解析ができることなど、新たな生理計測法となる可能性がある。さらに、過去の映像、TVやオンライン会議の映像などからも映像脈波が得られるため、医療だけでなく様々な分野への応用が期待できる。提案したカフレス血圧推定法は、従来法よりも個人差や再現性の点で優れている可能性があるだけでなく、非接触化が可能でリモート計測にも応用できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a new method to calculate the video pulse wave by repeatedly applying periodic component analysis (PiCA) and updating the heartbeat interval. The extraction accuracy of the video pulse wave was improved compared to conventional methods. We proposed a cuffless blood pressure estimation method using hand elevation. In a validation using a contact sensor, diastolic blood pressure could be estimated with an error of 5 mmHg or less. Furthermore, the verification using video pulse wave showed that the estimation was possible with an error of less than 10 mmHg. The possibility of complete non-contact blood pressure estimation was demonstrated. We have applied for a patent for this method. The feature values of the video pulse wave showed hemodynamic changes due to facial massage and differences in the degree of facial congestion caused by changes in body position. The possibility of two-dimensional evaluation of hemodynamics by video pulse wave was demonstrated.

研究分野：生体医工学

キーワード：映像脈波 カフレス血圧推定 血行動態解析 非接触血圧推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、顔などの毛細血管の豊富な部位を撮影し皮膚の色変化から脈波（映像脈波;VPG）を抽出し心拍数や脈波伝播時間などの生理指標を得る手法が注目されている。映像から脈波を抽出する方法には、複数の色信号を利用して外光の影響を軽減する方法や独立成分分析を用いた方法などが提案されているが、いずれも平均心拍数を計測することを主眼としており、瞬時心拍数の算出精度は低く、脈波形状の変化や多点同時計測を利用した解析の例は極めて少ない。また、背中のように顔以外の比較的毛細血管の走行が少ない部位では RGB 中に含まれる脈波成分は少なく、単純なフィルタ操作だけでは脈波を抽出することはできない。

これまでに、研究代表者らは、顔や掌の複数個所から得られる映像脈波の伝播時間差を抽出する方法を提案するとともに映像脈波の伝播時間差と血圧との間に相関関係があることを明らかにしている。さらに、映像脈波の抽出については、周期成分分析の手法を応用することで、背中などの顔以外の部位においても比較的高い精度で映像脈波の抽出が可能な手法を提案し、得られた脈波の伝播時間あるいは速度は背中場所によって異なること、局所的な加温によって変化することなどを明らかにした。これらの結果は、様々な部位における映像脈波を用いた血行動態解析の可能性を示唆するものである。しかし、瞬時心拍数の算出精度については従来法よりも優位に向上したものの心拍変動解析を十分な精度で行うことは困難であること、加速度脈波解析などの脈波形状の特徴を利用した解析を安定的に行えないこと、血圧推定では個人差が大きく、校正が定期的必要で、短時間の相対的な変化が得られるのみにとどまっていることなどの課題が残されている。

2. 研究の目的

観測される脈波形状には、様々な循環動態の情報が含まれている。手の脈波を例に考えると、大動脈の血圧や血管インピーダンスはもちろんのこと、末梢血管抵抗や手の位置などによって脈波の速さや形状が変化することは公知の事実である。では逆に脈波形状から血行動態指標を定量的に評価することは可能だろうか。これは逆問題であり、解くことは困難である。それゆえ、多くの方法では脈波の特徴量と生理指標との関係を報告しつつも実用的な指標とはなっていない。したがって本研究における問題点とは、顔以外の部位も含めて、生理指標算出に利用できる精度で映像脈波を抽出できていないこと、多点同時計測が可能であっても映像脈波から得られる実用的な血行動態指標が極めて少ないことである。

そこで、本研究の目的は、顔以外にも対応した映像脈波の抽出方法の開発と、複数部位の脈波を利用した血行動態指標の創出である。具体的には以下を目的とした。

- (1) 撮影法と抽出法の改良による映像脈波の精度向上と瞬時心拍数の算出精度の向上
- (2) 体位変化を積極的に利用した血圧と血管特性の推定
- (3) 複数点における血管特性の評価

3. 研究の方法

- (1) 撮影法と抽出法の改良による映像脈波の精度向上と瞬時心拍数の算出精度の向上

撮影法の改善については、偏光フィルタの利用について検討する。映像脈波は皮膚から侵入した光が散乱して体外にもどる光の変動を捉えたものである。したがって皮膚の表面で反射する光は外乱とみなすことができる。表面反射する光は入射光と同じ偏光成分を有するため、照射光に直線偏光を施し、カメラでその成分をカットすることで外乱が抑えられることが期待できる。しかし、偏光フィルタにより光量の減少することに注意が必要である。

現在、我々の提案法では映像脈波の抽出について、周期成分分析 (PiCA) を利用している。周期成分分析とは、多チャンネルの計測信号から、既知の位相情報を基に目的の信号に近い周期成分を持つ信号に分離する手法である。従来、分離に必要な位相情報は、狭帯域のバンドパスフィルタによって得られる脈波から簡易的に得ていたが、本研究では PiCA の結果から得られる脈波を利用して繰り返し位相情報を更新して最終的な脈波を抽出する方法を提案し、精度向上を試みた。

- (2) 体位変化を積極的に利用した血圧と血管特性の推定

末梢部位の血圧は心臓との高低差の影響を受ける。また、脈波の伝播特性は血圧の影響を受け、脈波形状や脈波伝播速度は変化する。本件研究では、姿勢変化によって末梢と心臓との高低差の変化を積極的に利用して、血圧を推定する新しい方法を提案する。まず、接触式の光電容積脈波センサを利用し、末梢である手の血圧と脈波が心臓からの高低差によってどのように変化するかを理論と実験から明らかにし、血圧推定の可能性について検討した。次に、末梢の脈波伝播速度の変化から拡張期血圧を推定する方法の検証実験を行い、提案手法の妥当性について検証を行った。さらに、接触式の容積脈波センサの代わりに手の映像脈波を用いることによって完全非接触で血圧が推定できるかについて検討を行った。

(3) 複数点における血管特性の評価

映像脈波は、接触式センサと比べて得られる脈波の精度は低いですが、多点同時計測ができるという利点がある。本研究では、顔を対象とし、顔表面の血行動態を2次的に評価するために、まず、顔の映像を格子状に分割し、その中の肌の部位を関心动領域(ROI)とし、各ROIのRGB信号について、(2)で提案する繰り返しPiCAを使用して映像脈波を抽出する。得られた脈波は輝度情報に含まれる脈動成分から抽出されるため、その振幅は照明、肌の吸光特性、肌の表面反射やカメラの感度などの影響を受ける。したがって、算出された脈波の波高値の情報を用いて血行動態を評価する場合には注意が必要である。本研究では脈波の形状における時間情報に着目し、図2に示す映像脈波の各拍の脈の立ち上がり点を結んだ基線を除去した波形について、以下の3つの特徴量を算出する。

立ち上がり時間(TC): 脈波の立ち上がりから最初の極大点までの時間(crest time)。

脈波面積が半分になる時間(TG): 図2に示す脈波において、立ち上がりから脈波の積分値が一拍の脈波面積の半分に達するまでの時間。

耳朶の脈波との伝播時間差(ΔT): 耳朶に取り付けた接触式の光電容積脈波と映像脈波との相互相関数から算出される映像脈波の遅れ時間。

これらの特徴量について、頬のマッサージの有無による変化が現れるかどうかで検証した。

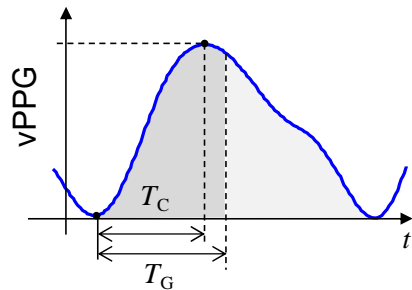


図1 基線を除した映像脈波と特徴量

4. 研究成果

(1) 撮影法と抽出法の改良による映像脈波の精度向上と瞬時心拍数の算出精度の向上

PiCAにおける位相情報の精度を改善する方法としてPiCAを繰り返し用いて心周期の情報を更新する方法を提案した。図2に提案手法における脈波の抽出手順を示す。まず、関心动領域(ROI)の平均RGB信号について、G信号に帯域通過フィルタを適用した脈波信号から仮の心周期を算出する。その後、ROIを複数の領域(subROI)に分割し、それぞれのsubROIにおけるRGB信号に対してPiCAを行い映像脈波を得る。得られた脈波を基に再計算された心周期情報を用いて再びPiCAによって脈波を更新する。これを心周期のばらつきがある程度収束するまで繰り返して最終的な脈波を算出する。以上の手法を使用して瞬時心拍数を他の方法(BPF:バンドパスフィルタ, JADE:独立成分分析, PiCA:繰り返しPiCA(提案方法), PPG:光電容積脈波センサ(接触式))と比較した結果図3に示す通り、精度が優位に向上した。

偏光を利用した反射波除去の検討について、可視光において光源およびカメラ双方に偏光フィルタを設置して反射光を抑えた場合、光量の減少への対策が可能であれば脈波の抽出精度が向上することが確認された。同様の方法を赤外線にも適用したところ、赤外線カメラにおいても有効性が確認された。

(2) 体位変化を積極的に利用した血圧と血管特性の推定

手の高低差を利用した新たな非接触血圧推定法を提案した。まず接触式のセンサを用いて、安定的に脈波の高低差を得るための計測環境について検討を行った結果、手を上げた時と下げた時とで課と応答が異なること、呼吸の影響を受けることが明らかとなり、これらを考慮したところ、手の心臓からの高低差と脈波伝播速度の2乗との関係が一次式で近似できることが明らかになった。これは、脈波伝播速度と血圧との関係を表した、Bramwell-Hillの式が末梢血圧でも成立していることを示しており、さらに、得られた一次式の傾きと切片を利用することで拡張期血圧を推定できる可能性を示すものである。

次に高低差によって生じる圧力差が水頭圧によると仮定して、複数名の拡張期血圧を推定したところ、図4に示す結果となり、推定誤差(RMSE)は5mmHgを下回った。また、同手法を映像脈波に

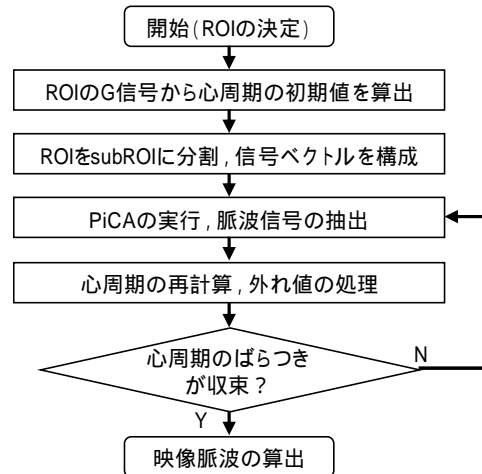


図2 基線を除した映像脈波と特徴量

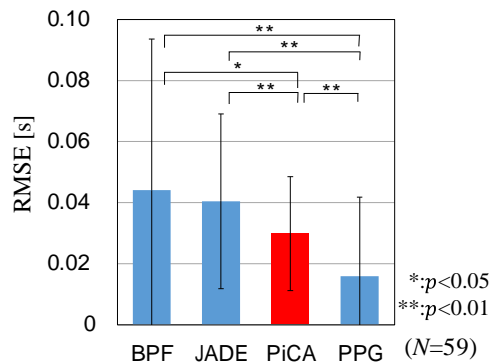


図3 瞬時心拍間隔の精度比較

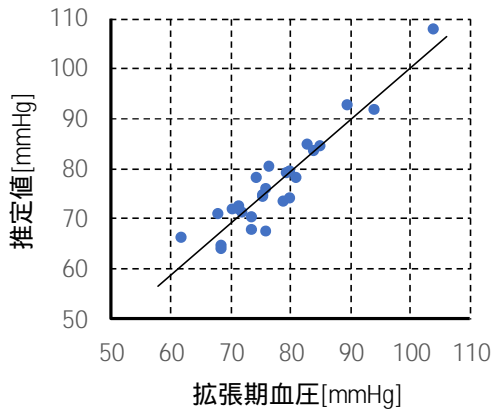


図4 接触式センサによる血圧推定結果

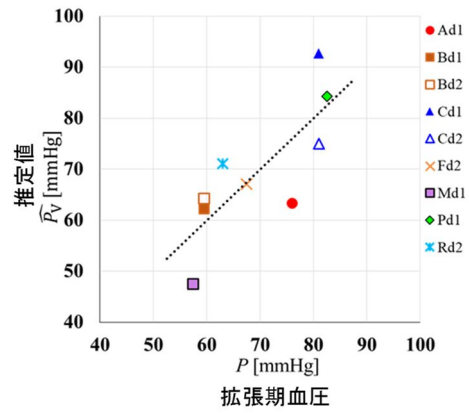


図5 映像脈波による非接触血圧推定結果

対して適応させた結果を図5に示す。推定誤差は接触式よりも増加したが、接触式センサと同様に血圧推定ができる可能性が示され、完全非接触による血圧推定の可能性が示唆された。

本手法は、複数個人に対して同じ推定アルゴリズムが利用できるため、従来法に比べて、個人差が小さく、再現性が高いと思われる。一方で、非接触推定では誤差が大きく、実用化のためには、より計測ノイズの少なくなるようなプロトコルの改良、より精度の良い脈波抽出と伝播時間の算出が必要である。

(3) 複数点における血管特性の評価

図6はある被験者に対して、左または右の顔の頬をマッサージした前後の立ち上がり時間 T_C 、脈波面積が50%となる時間 T_G および脈の到達時間の耳朶脈波との差 ΔT の顔表面の分布を示したものである。マッサージ前の結果では、 T_C 、 T_G および ΔT は両頬のあたりで値が低く、額で大きな値になっており、脈が各ROIに至るまでの血管インピーダンスおよび脈波伝播時間が反映されている。特に ΔT は心臓からの距離にも依存するため、額で高値となっていると考えられる。また、本結果では、マッサージ前であってもすでに左右差や局所的な指標の違いが見取れることから、各ROIの支配血管の特性や組織の血管床の特性の違いが現れていると考えられる。マッサージ後はそれぞれの特徴量がマッサージ側で減少しており、特にあご付近で減少量が大きい結果となった。これは、あご付近でマッサージローラの押圧が最も高くなっていること、骨と顔表面との間の組織の厚みなどの影響であると考えられる。

これらの結果は、顔の皮下の局所的な血行動態が捉えられていることを示しており、マッサージ前のもともとの皮下の血流の偏りやマッサージの効果と思われる変化も現れており、末梢の血行動態の2次元的な評価ができる可能性が示された。一方、本研究で採用した特徴量は、末梢の血行動態だけでなく、心機能や血圧などの影響も受ける。したがって、顔内の相対的な違いは末梢の血行動態の違いとして評価できるが、特徴量の絶対値から組織の血行動態を表することは困難である。今後、脈波の2階微分値である加速度脈波解析による反射波の解析の応用や、姿勢変化などなんらかの刺激あるいは負荷に対する応答で評価するなどの工夫が必要である。

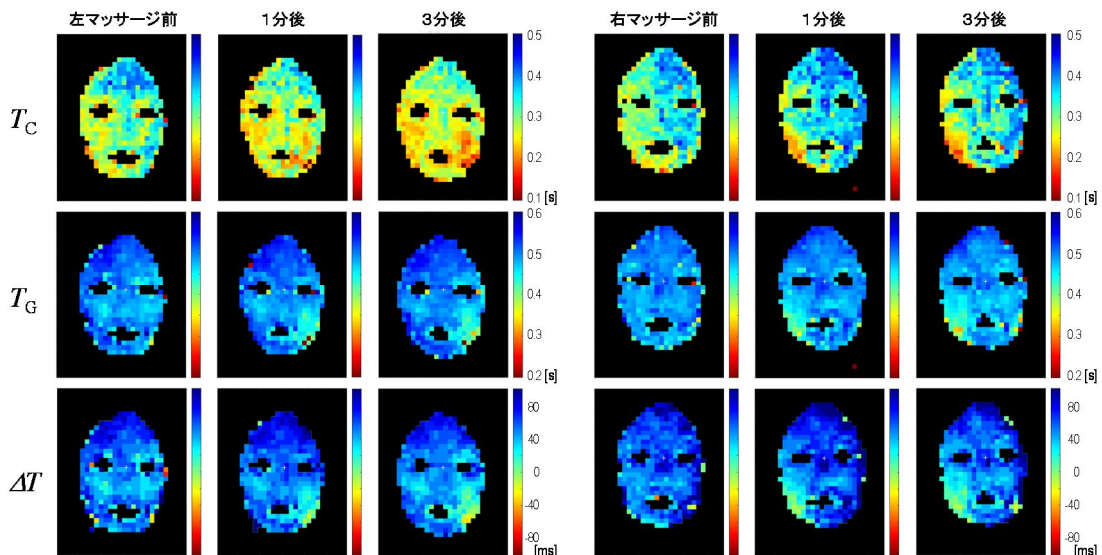


図6 顔の映像脈波から算出された特徴量のマッサージ前後の変化

<引用文献>

M. Yoshizawa, N. Sugita, et al.: Blood perfusion display based on video pulse wave, Proc. 38th Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2016, 4763-4767 (2016).

G. de Haan and V. Jeanne: Robust Pulse Rate From Chrominance-Based rPPG, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 60(10), 2878-2886 (2013).

M. Poh, et al.: Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation, Optics Express, 18(10), 10762-10774 (2010).

N. Sugita, A. Tanaka, et al., Contactless Technique for Measuring Blood-Pressure Variability from One Region in Video Plethysmography. J. Med. Biol. Eng. 39, 76-85 (2019).

A. Tanaka, M. Kumagai and M. Yoshizawa.:Non-contact Assessment of Peripheral Hemodynamics by Using Video Plethysmography, 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 131-133 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3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 0件）

1. 著者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe	4. 巻 27
2. 論文標題 A cloud system for extraction of autonomic nervous system indices and blood pressure variabilities from video images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Display Workshops	6. 最初と最後の頁 983-984
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.36463/idw.2020.0983	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshizawa Makoto, Sugita Norihiro, Tanaka Akira, Togashi Atsushi, Kaji Isao, Yambe Tomoyuki	4. 巻 2022
2. 論文標題 Basic Approach to Estimation of Blood Oxygen Saturation Using an RGB Color Camera without Infrared Light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technology(LifeTech)	6. 最初と最後の頁 68-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech53646.2022.9754752	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中 明	4. 巻 58
2. 論文標題 周期成分分析を用いた映像脈波抽出と非接触末梢血行動態解析の可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 光技術コンタクト	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 内藤勇成, 田中 明, 吉澤 誠
2. 発表標題 手の昇降を利用した末梢の脈波による動脈の脈波伝播速度の推定
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Emi Yuda, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 Remote, Non-Contact and Continuous Extraction of Multiple Peoples' Autonomic Nervous System Indices from One Fish-Eye Camera
3. 学会等名 International Display Workshops 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Atsushi Togashi, Isao Kaji
2. 発表標題 Basic Approach to Estimation of Blood Oxygen Saturation Using an RGB Color Camera without Infrared Light
3. 学会等名 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内藤 勇成、田中 明、熊谷 岬、吉澤 誠
2. 発表標題 指尖容積脈波における様々な脈波解析方法の映像脈波への適用と有用性の評価
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中 明、熊谷 岬、吉澤 誠
2. 発表標題 周期成分分析を用いた脈波抽出と末梢血行動態のウェア“レス”モニタリング
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊谷岬, 田中 明, 吉澤 誠
2. 発表標題 映像脈波の形状と伝播速度の変化を利用した末梢血行動態の評価
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉澤 誠、杉田 典大、湯田 恵美、田中 明、本間 経康、山家 智之
2. 発表標題 ウェア“レス”モニタリングとしての映像脈波の可能性と課題
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 血圧推定装置、血圧推定方法、およびプログラム	発明者 田中 明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-95209	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------