

研究代表者	所属学系・職名 機械・電子学系・教授 氏 名 田中 明
研究課題	皮膚動画による映像脈波抽出とポーズの変化を利用した局所血行動態解析法の開発 Development of pulse wave extraction method from skin surface image and non-contact evaluation of local hemodynamics
成果の概要	<p>[背景および目的]</p> <p>近年、顔や掌などの毛細血管の多い部位を撮影し、皮膚の色変化の解析によって脈波成分（映像脈波; Video Plethysmography (VPG)）を抽出し、そこから心拍数や脈波伝播時間などの生理指標を得る手法が提案され、様々な応用が期待されている。これは、皮下の血液による光の吸収量の変化を利用したものであり、特にヘモグロビンによる吸収量が多い緑成分(G)は血液容積の変化の影響を強く受け、顔では緑成分の時間変化に対して簡単なバンドパスフィルタを適用するだけで平均心拍数などの情報を得ることが可能である。</p> <p>一方で、多くの部位の脈波が同時に得られれば、心拍数だけでなく、複数の関心領域 (ROI) 間の脈波の伝播特性や脈波形状の違いといった血行動態に関する新たな情報が抽出できる可能性がある。しかし、背中や腕などの比較的毛細血管の走行が少ない部位では映像脈波を抽出することが困難であり、本来の脈波形状を維持した安定的な抽出法の開発が必要である。</p> <p>我々はこれまでに、周期成分分析の手法を応用した、顔よりも毛細血管の走行の少ない部位にも応用可能な映像脈波抽出方法を提案し、背中を対象とした場合、得られた映像脈波の伝播時間は場所によって異なること、局所的な加温によって伝播時間が変化することなどを明らかにした。しかし、心拍数の算出精度は従来法よりも優位に向上したものの十分な精度ではないこと、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うことは困難であることなどの課題が残されている。</p> <p>本研究では、周期成分分析を利用した脈波抽出アルゴリズムのさらなる改良を行うとともに、映像脈波による血行動態解析の可能性を検討した。</p> <p>[方法]</p> <p>(1)周期成分分析を利用した VPG 抽出</p> <p>脈波成分の抽出において RGB 各チャンネルを利用して多変量間の独立性に着目した信号分離法は有効ではあるが、信号が周期性を有する場合、その情報を取り入れて解析するほうが適切な信号処理を行える可能性がある。周期成分分析(PiCA)とは同時に記録された多チャンネルの信号から、位相情報を基に想定される擬似周期信号に近い周期成分を持つ信号から順に分離する手法である。本研究では映像中の解析対象となる ROI の中をさらに細分化した複数の subROI を設定し、各 subROI の緑信号に対して狭帯域のバンドパスフィルタ (BPF) をかけて算出した瞬時心拍間隔 (RRI) を推定 RRI の初期値とした。この情報を用いて ROI 内で PiCA を適用し、その結果抽出された脈波信号から RRI を再度計算更新し、これを用いて再度 PiCA により脈波信号を算出した。これを複数回繰り返して脈波信号を更新し、最終的な VPG 信号を算出した。このとき、PiCA における共分散行列の計算では位相変化を一定とせず、より脈波形状を考慮して位相変化を決定した。</p> <p>本アルゴリズムの評価を行うため、手腕部の映像に対して本手法を適用し、VPG から得られた RRI を心電図から得られた RRI と比較した。具体的には、得られた VPG から各拍の脈の立ち上がりから次の立ち上がりまで (foot-to-foot) の時間差を RRI として算出し、心電図から算出した RRI との 2 乗平均平</p>

成果の概要

方根誤差 (RMSE) を算出した。また、精度比較のため、狭帯域バンドパスフィルタ (BPF) および JADE によって得られた VPG と指尖容積脈波 PPG から算出した RRI についても RMSE を算出した。

(2) 手腕部 VPG を利用した血行動態の評価

本評価では、手腕部を対象とした。その理由は以下である。

心臓からの距離が比較的あり、脈波伝播時間が算出し易い。

手の位置を上下に動かすことで血行動態の変化が容易に生じる。

接触式の容積指尖脈波 PPG と比較できる。

提案手法で得られた VPG の形状からも血行動態に関する情報が得られるかを確認するために、手掌部の映像と PPG を同時に計測した。この時、脈波形状を変化させるために、各被験者に対して手の位置の高さを水平、心臓より上、心臓より下の 3 段階に変えて計測を行った。得られた PPG と VPG から、一拍波形における、最初の極大点と反射波と見られる 2 番目の極大点の波高比 (Reflection Index, RI) および脈波の 2 階微分波形 (加速度脈波) の一心拍内の極の波高比から算出される $-d/a$ を算出して比較した。 $-d/a$ は脈波の反射波に影響されることから局所的な血行動態を反映すると考えられる。

[結果]

(1) 周期成分分析を利用した脈波抽出

Fig.1 に手腕部背の映像脈波から算出した RRI の RMSE の結果を他の抽出方法および PPG と比較して示す。他の映像脈波抽出法と比べて提案手法は誤差が有意に小さいものの誤差の平均値は約 50ms であり、心拍変動解析を行うためには十分な精度とは言えない。脈波の形状や伝播時間は部位によって異なっていると考えられるが、心拍間隔は等しいことを考慮すると、複数部位の情報を用いることで心拍間隔の精度を向上できる可能性がある。

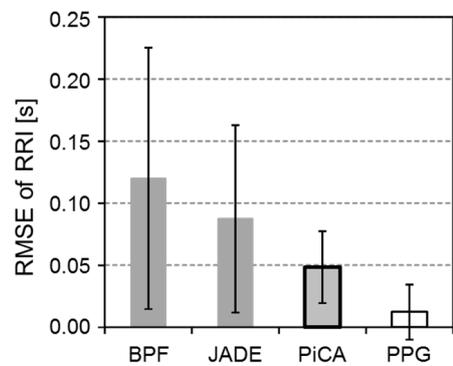


Fig.1 手腕部の映像から算出した瞬時心拍間隔の誤差の比較

(2) 映像脈波から算出した血行動態指標

Fig.2 に VPG と PPG から算出した RI を比較した結果を示す。PPG で 2 例、VPG で 2 例において RI が正しく算出できなかったが、両者の間には正の強い相関が得られた。Fig.3 に同じく PPG と VPG から算出した $-d/a$ の結果を示す。 $-d/a$ の値についても全ての被験者において正の相関が見られた。すなわち、提案方法によって抽出された映像脈波に血行動態に関する情報が映像脈含まれており、指尖容積脈波と同様の解析

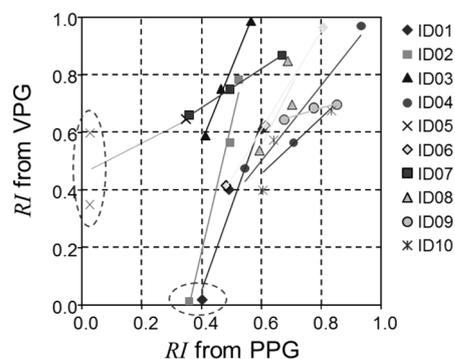


Fig.2 映像脈波と指尖脈波から算出した RI の比較

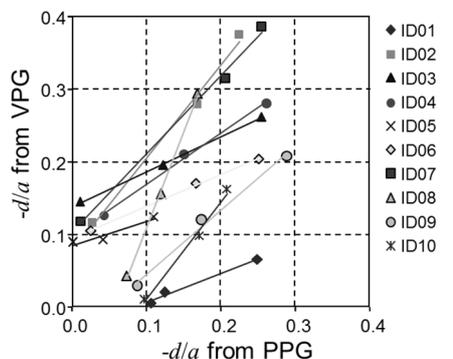


Fig.3 映像脈波と指尖脈波から算出した d/a の比較

<p>成果の概要</p>	<p>ができる可能性が示唆された。しかし、RI および d/a の絶対値は PPG のそれと異なること、回帰直線も個人毎に異なっていることなどから、現時点では絶対値の評価は困難であると考えられる。d/a の値は脈波に含まれる倍音成分に大きく影響を受けることから、本結果は抽出された映像脈波の倍音成分に血行動態に関する情報が含まれていることを示唆している。しかし、倍音成分はフィルタによって容易に歪むため、被験者の脈波の基本周波数である心拍数や真の脈波に含まれる倍音成分の量などの影響を受けると考えられる。したがって、単一部分の脈波形状による血行動態の評価ではなく、複数箇所から得られた脈波の相対的な変化を利用するなどして、個人差が少なく再現性の高い血行動態の特徴量の提案が必要である。</p> <p>本評価では、血行動態の変化を生じさせるために手の昇降を利用した。手の昇降において高さ変化を映像から計測できるとすると、一定の外乱に対する脈波の特徴量の変化を評価することによって新たな血行動態指標を得られる可能性がある。</p> <p>[まとめ]</p> <p>本研究では皮下組織に走行している毛細血管や細動脈が少なく映像脈波の抽出が比較的困難である部位を対象として、周期成分分析 (PiCA) を利用した、より安定的かつ高精度の映像脈波抽出法を提案し、心拍間隔および加速度脈波解析によって有効性を評価した。その結果、従来法と比較して RRI の誤差が有意に小さいこと、脈波の反射波指数 RI および加速度脈波解析における d/a において PPG と VPG との間に正の相関があったことから、映像脈波解析が非接触血行動態評価に利用できる可能性があることが示唆された。しかし、安定性や信頼性については更なる改善が必要であることも明らかとなった。</p> <p>今後は抽出精度の向上を図るとともに、複数点から得られる脈波を利用し、脈の伝播モデルを考慮した解析法の検討をおこなう予定である。さらに、生体の循環動態の推定や疾患との関係についても検討する予定である。</p> <p><口頭発表></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 熊谷 岬, 田中 明, 吉澤 誠, 周期成分分析を利用した手腕部における映像脈波 (VPG) 抽出と血行動態解析, 第 58 回日本生体医工学会大会, 2019.6 2) A. TANAKA, M. KUMAGAI, M. YOSHIZAWA, Non-contact Assessment of Peripheral Hemodynamics by Using Video Plethysmography, IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2019), 2019.10.
--------------	--