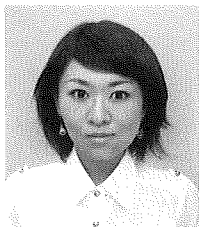


Time-lapse 画像を用いた生体情報計測デバイス

A vital-sign monitor based on the time-lapse images

1081016



研究代表者	秋田大学 工学資源学部	特任助教	高 野 千 尋
共同研究者	お茶の水女子大学 生活科学部	准教授	太 田 裕 治

〔研究の目的〕

わが国はこの30年間に急速な高齢化が進行した。高齢者率（全人口に占める65歳以上の高齢者の比率）は2020年には26.9%となることが予測されている。この超高齢社会においては、介護・医療の需要供給バランスの維持が困難となることが予測されており、各個人が自ら健康管理を行うことが強く求められる。そのため、現在、日常生活下で健康管理を行うための様々な計測システムやデバイスの研究開発が盛んに行われている。

普段の生活中で無理なく簡便に健康管理を行うためには、計測機器が非接触（non-contact）、非侵襲（non-invasive）、無拘束（ambulatory）という性質を有することが望ましいと考えられる。本研究ではこれらの諸条件を満たす画像計測（動画画像計測）に着目した。すなわち、計測対象である生体に負担の少ないTime-lapse画像を用いた各種生体情報収集のためのデバイスを開発するとともに、本デバイスを利用することで、日常生活下で簡便に健康管理を行うための遠隔システムに関する検討を行うことを目的とした。

〔研究の内容、成果〕

図1にTime-lapse画像にもとづく生体情報計測手法の概略図を示す。人体皮膚（頬など）の特定領域（Region of Interest, 以下ROI）を、カメラにより30～100fps程度のTime Lapse画像として30秒間程度撮影する。先行研究を通じ、同図に示すように、そのROI内に含まれる画素の平均輝度値の時間変化に心拍波形が出現すること、さらにこの波形を解析処理することにより平均心拍数と呼吸数が得られることを見出している。以下ではこの計測原理をさらに発展させ、脈波計測などに関する検討を行った。

（1）撮影時の照明光源に関する検討

Time-lapse画像による生体信号解析に先立ち、撮影の際の照明に関する検討を行った。実

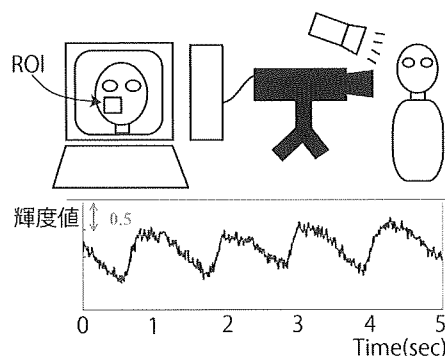


図1 画像計測原理図

際の住環境での利用を想定し、商用交流を利用した光源、すなわち、蛍光灯、白熱電球、ハロゲンライトなどに関し、おのこの光源が Time Lapse 画像計測に与える影響を検討した結果、商用交流を利用した光源はすべて、100 Hz の周期変動成分を含むことがわかり、本デバイスの撮影光源としては不適當であることがわかった。適切な光源としては太陽光ないし LED 光源、もしくは直流駆動光源であった。以後の実験では、直流電流駆動のハロゲン光を利用している。

(2) Time-lapse 画像による脈波計測

図2に計測方法を示す。高速度ビデオカメラ (VCC-H 1600/DigiMo) を2台用い同期撮影を行った。高速度ビデオカメラの撮影条件は、フレームレート 250 frame/sec, シャッタースピード $1/1000$ sec とした。被験者は健常 20 代女性 1 名とし、ベンチ上で仰臥位を指示した。撮影部位は手首と足首とした。

画像計測の比較対照として、光電脈波計を用いた計測を実施した。すなわち、Time Lapse 画像計測と平行して、心拍動に伴う測定部位 (指先) の容積変化を透過光の減衰変化として検出すべく、市販脈波センサによる脈波速度計測を実施した。脈波センサの選定に際しては、計測と画像計測を同時に行う必要があるため、カフ式ではなく光学式トランスデューサを直接皮膚拍動部に接触させて計測する方式とし、PHOTO ELECTRIC PLETHYSMOGRAPH (MPP-4 V, 日本光電) を用いた。その計測部位は手の人差し指の指尖と足の人差し指の指

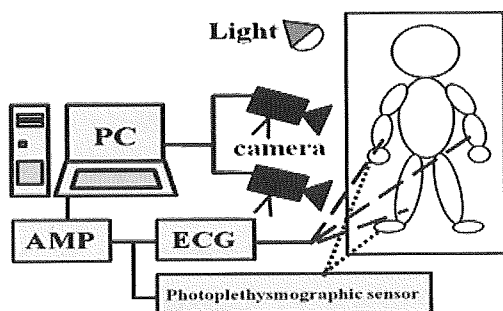


図2 計測方法

尖とした。以上の構成のもとで、高速度ビデオカメラ撮影ならびに脈波計測を同期させ 10 秒間記録を行った。

10 秒間の撮影で得られた Time Lapse 画像に対し、関心領域 (Region of Interest: ROI) を設定し、ROI 内の平均輝度値の時間変化を算出した結果を図3に示す (10 秒間のうちの 4 秒間)。上から順に、(a) Time Lapse 画像解析結果 (部位: 手首)、(b) 同画像解析結果 (部位: 足首) である。縦軸は平均輝度値であり、横軸は時間 (sec) である。また、輝度値は相対値 (1 目盛: 0.2) であり、その波形は Savitzky-Golay Smoothing Filter を用いて平滑化した。また、(c) は、脈波計で計測された脈波波形 (部位: 手の指尖) であり、(d) は同様の脈波波形 (部位: 足の指尖) である。

次に、これらのデータに基づき脈波速度 (伝播時間) の算出を行った。伝播時間差を求める

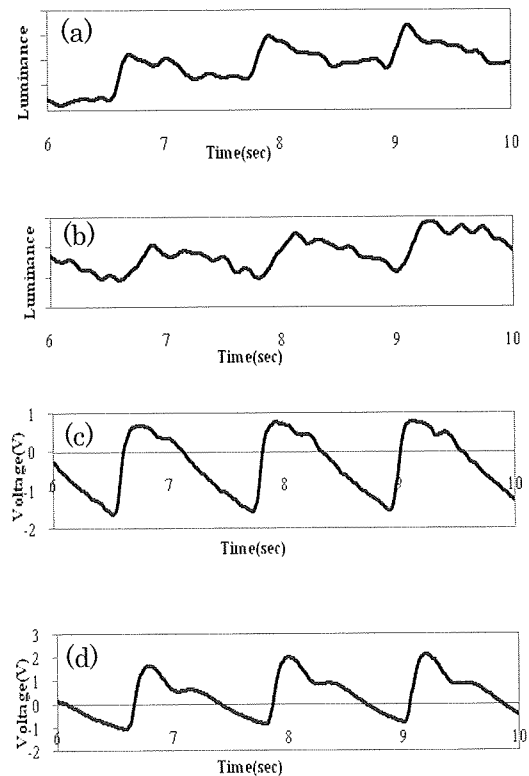


図3 脈波速度計測結果

際には、圧伝播に伴い減衰・分散・反射などから脈波波形が変化することを考慮し、これらの影響が最も少ないと考えられる脈波立ち上がり時点における差をとることとした。すなわち、手首と足首における ROI 平均輝度値の波形の立ち上がり位置の差 ΔT_L 、また、手の指尖と足の指尖の脈波波形の立ち上がり位置の差 ΔT_p を求めた。さらに、計測部位である 2 点の心臓からの距離の差 L を以下の式から求めた。その際には、両計測における計測位置、すなわち、手の指尖と手首までの距離、足の指尖と足の甲までの距離の差を加味した。

大動脈弁口～足首間距離： L_a (cm)

$$L_a = 0.8129 \times \text{身長} + 12.328$$

大動脈弁口～上腕間距離： L_b (cm)

$$L_b = 0.2195 \times \text{身長} - 2.0734$$

$$L = L_a - L_b \text{ (cm)}$$

以上から 2 点間の距離を求め、これを計測で得られた時間差で除すことで脈波速度 (PWV) を算出した。その結果、

Time Lapse 画像に基づき計測した脈波速度：PWV = 1176 (cm/sec)

脈波波形に基づき計測した脈波速度：PWV = 1127 (cm/sec) (いずれも、7 心拍の平均データ)

が得られ、その誤差は 4 % であった。以上から Time Lapse 画像に基づく脈波計測が可能である事が示され、画像による非接触定量計測の可能性が示された。しかし、画像計測から得られた波形に基づき算出した PWV は標準偏差が大きく、安静時で複数心拍を計測する必要があることが分かった。

(3) 画像計測メカニズムに関する検討

図 4 に、本計測のメカニズムに関する検討として、Time Lapse 画像を RGB 分解し、各色画像の ROI 輝度値変化を算出した結果を示す。すなわち、拍動に伴う輝度値変化の原因として皮膚血流を想定し、カラー画像を RGB 分解し、各々の画像における ROI の輝度値を計測した。

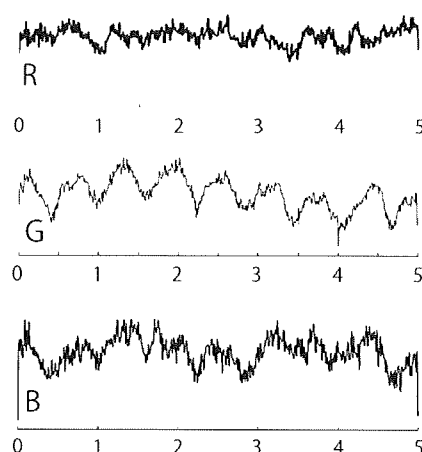


図 4 RGB 分解結果

図に示すように G 画像の輝度値変化にとくに良好な拍動波形が見られたことから、皮膚表面の循環血流の反映が要因の一つと考えられた。緑色 LED による反射光を利用した脈波計に関する研究 (前田, 田村ら, 第 7 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, 18, 2009, NDFutran et al. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2000, 126, 659-62) が近年行われ、田村らは緑色光の方が皮膚侵入距離が浅く良好な血流信号を捉えることができるとしていることから、同様の計測メカニズムが示唆された。その一方で、前腕皮膚拍動感知部位の動画を Optical flow 解析した Nakajima らの研究 (Rev. Sci. Instrum. 68 (2), 1331-6, 1997) は、拍動による皮膚振動を鏡面反射強度の変化としてとらえたものであり、また、著者らの予備実験からも、レーザ変位計による皮膚振動変化と画像輝度値波形の間には関連性を示すデータも得られており、画像計測のメカニズムとしては、今後、両者の詳細な検討が必要と考えられた。

(4) 画像のサンプリングレートに関する検討

本実験で撮影に利用した高速度ビデオカメラは、コンシューマレベルの製品としては、現状では一般的なデバイスとはなりえないため、サンプリングレートに関して検討を行った。すなわち、モバイルデバイスに内蔵されたカメラなどに、本計測技術を組み込む際の設計指針を得

る目的で、画像計測条件をどこまでダウンスケールすることが可能か検討した。具体的には、以下の方法にて、故意にサンプリングレートを落とした画像データを作成し、そのデータからバイタルサイン情報の抽出可能性を検討した。

100 frame/sec の撮影速度により ROI の画像データを得て、さらにそのデータを故意に間引くことで (downsampling), 5, 10, 20, 25, 50 frame/sec の輝度値変化データを作成した。次にこのデータを補間することにより (up-sampling), 再度 100 Hz のデータを作成した。それぞれの輝度値変化データの周波数解析を行うことで 10 秒間の平均心拍数の算出を行った。その結果、平均心拍数の算出結果のばらつきとしては $\pm 1\%$ 以下であることがわかり、低速度の撮像デバイスであっても、10 秒間 (10 心拍程度) 撮影し、平均心拍数を算出するのであれば、十分計測が可能であることが示された。

[今後の研究の方向, 課題]

カメラデバイスによる画像計測を応用した非接触バイタルサイン計測技術は他に類を見ない。たとえば血圧脈波検査装置 (オムロンコーリン form PMV, フクダ電子 Vasera VS-1000) などはカフ、マイク、電極等を身体装着する必要がある。画像計測を利用しない競合技術、すなわち、通常のバイタルサイン計測技術には、非接触・非侵襲・無拘束を満たすものが無く、本シーズ技術が優位性を有する。画像を用いる計測方法では被計測者のプライバシー侵害が懸念されるが、本法は ROI 内の平均輝度値に基づく計測手法であるため、故意にピントを外したばけ画像からも血流信号が得られることを確認している。この点は、生活環境への導入に際して大きなメリットと考える。

本計測デバイスの今後の展開として 2 つの方向性をあげたい。まずは、住宅環境へのインストールが考えられる。実験住宅に関しては、著

者らは、過去のさまざまな実験住宅を参照したうえで、Real Life 生体計測技術のインストールにふさわしい住宅設計を 2007 年度に開始し、2009 年に実験住宅として完成させた (<http://ochahouse.com/>)。その住宅の特徴としては、skeleton-infill 構造による大空間の創出、計算機スペースと居住スペースの完全分離、配線を考慮したフレーム構造などがあげられる。これにより、技術革新が著しいユビキタスコンピューティングに対しても、容易なデバイスやシステムのインストール、メンテナンス、機器更新が保証されることが考えられる。また、居住空間には計算機やデバイスが露出されることがない設計となっており、「被計測意識」が局力生じない様にも配慮している。この住宅において、実際に、本研究で開発を行ったデバイスを持ち込み、計測実験を進めてきたが、実験室環境とは異なり、現在ではまだ、十分な照明条件等の計測頑健性が得られておらず、住環境下における計測に関しては、今後さらに検討する必要がある。住宅以外の生活者への還元手法としては、モバイルデバイスへのインストールがあげられる。カメラの撮影条件に関する検討は先に述べたが、それ以外にも、エンドユーザへの情報の提示方法を考案する必要がある。すなわち、計測により得られたバイタルサインデータそのものを一般ユーザに提示しても理解しにくいいため、それらを有益な情報・サービスへと変換する応用技術 (例えば、健康アドバイスやストレス度チェックなど) などの開発もあわせて行う必要がある。

[成果の発表, 論文等]

近藤早紀, 高野千尋, 太田裕治: Time lapse 画像を用いた脈波速度計測手法の確立. 第 7 回生活支援工学系学会連合大会, 19 (2009)

[謝 辞]

本研究に関わる実験やデータ解析に際し、お茶の水女子大学大学院近藤早紀さんはじめ、同大学人間工学研究室の皆様にはたいへん協力頂きました。記して感謝いたします。