

4K, 8K 以上の高精細映像による毛細血管波状運動の分析と 個人識別個人健康情報の分析の可能性についての考察

金子 格¹, 湯田 恵美¹, 吉田 豊², 早野 順一郎³

概要: 4K, 8K 映像以上の高精細ビデオ映像から毛細血管の波状運動が検出できることがわかった. この情報からどのような情報が得られるかは今後の課題であるが, 個人識別や健康情報を抽出できる可能性がある.

キーワード: キーワード: 非均一ネットワーク, 接触検出, 感染者数, cocoa

Micro vascular wave and consideration of possibility on the analysis of personal identification and health information using 4k, 8k and higher quality video images.

Itaru Kaneko¹, Emi Yuda¹, Yutaka Yoshida², Junichiro Hayano³

Abstract: It has become clear that the micro vascular wave (MVW) can be detected using 4k, 8k and higher resolution video images. What kind of information can be obtained from this information is an issue for the future. But it may be possible to extract personal identification information and health information as well.

1. はじめに

4K, 8K 以上の高精細映像による毛細血管波状運動の分析と個人識別個人健康情報の分析の可能性について考察する. 前半では MVW とよばれる毛細管の波動現象をビデオ映像から分析する実験について述べる. そして後半で 4K, 8K 映像が普及した際に, このような分析が可能であることが, どのように影響するかを論じる.

2. MVW 観測実験

2.1. MVW とはなにか.

血管は脈波等によって拡張縮小し, その状態は皮膚表面からも観察できる. 一方血管は血流を自律的に制御する機構を持っていて, その挙動は相互に干渉して伝搬する性質を持つ. 毛細血管波状運動(Microvascular Wave, MVW)は, このような毛細血管の血管運動の伝播パターンである[1].

毛細血管のこのような運動は 1Hz 未満の周波数で時間とともに変動するが, 脈波ではなく血管の自律的な動きである.

2.2. ビデオ映像による MVW 検出の可能性

このような毛細血管の運動から様々な生体情報が得られる [2] [3]. 血管運動の観察にはサイドストリーム暗視野カメラ (SDF カメラ) が適している [4]. 一方, ビデオ画像から脈波を測定する田中らの研究もある [5].

MVW は毛細血管の動きが, 空間的に伝搬する現象であるので, 脈波と同じように皮膚表面から観測できる可能性がある. 我々のグループは実際にビデオ映像から MVW を観測することに成功した.

我々の方法では, MVW はいくつかの段階を経て分析される. 画像の濃淡において血管運動に関連する成分だけを取り出すため, キャプチャされたビデオフレームの差分画像を求める. これにより血流による小さな色の変化が強調される.

手の皮膚では, パターンが皮膚のすべての領域で血液による赤い色がまだら状に観察される. そしてそれは血流の変化により時間とともに変化している. それらの一部は毛細血管壁の動きによって引き起こされると考えられる. そのようなま

¹ 東北大学データ駆動科学・AI 教育研究センター, Center for Data-driven Science and Artificial Intelligence Tohoku University

² 名古屋市立大学, Nagoya City University

³ ハートビートサイエンスラボ, Heart Beat Science Lab

だらな赤い色のパターンの変動は細かい波のような時間的および空間的構造を持っている。

図1には手の画像が示されている。まだら模様は全体に見えるがたとえば(a)の円で示された部分にも赤色のわずかな濃淡が見えるだろう。静止画像ではわかりにくい動画ではこの濃淡が時間とともに変化していく。それらのまだら模様は数秒間隔で変動する。通常のカメラによる皮膚を通る色変化によるそのような血管運動の観察は、これまで評価されていなかった。

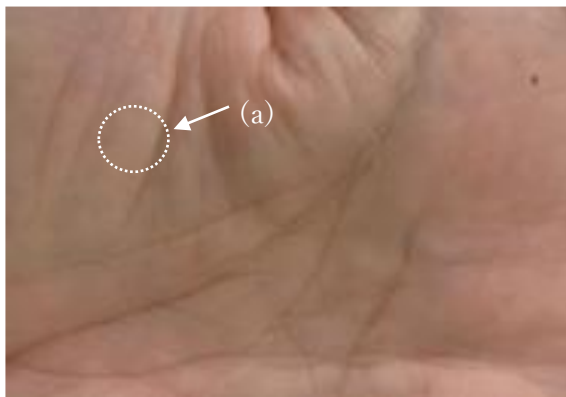


図1 表皮から観察される血流

本報告では2つの実験結果を示す。1) MVWに対応する特徴を抽出するためのビデオの画像処理。2) 単純な特徴抽出とその特徴抽出を使用した識別。識別実験と画像処理は統合されていないが今後これらを統合する予定である。

2.3. 実験の対象とデータ収集方法

被験者について説明する。被験者は2つのグループからなる。グループ1は3人の若い被験者からなり年齢は 32 ± 7 歳、女性1名と男性2名を含む。グループ2は5人の高齢者のグループで年齢は 75 ± 7 歳で全員男性である。被験者には実験の目的を説明して同意を得た。

被験者数は識別実験には不十分であるが画像処理の検証には十分であると考えられる。

映像は民生用ビデオカメラ (Everio R, JVCケンウッド co., Ltd.) を使用して、20cmの距離から被験者の手の中心をねらって録画した。図1は、キャプチャされたビデオのフレームを示している。

撮影は、手をテーブルに固定し、室温 24°C の静かな部屋で行われた。 $3\text{cm} \times 5\text{cm}$ の矩形の領域が9分ずつ撮影された。

録画されたビデオはMP4形式で記録した。

3. 画像処理による特徴抽出

我々はすでにMVWの可視化実験をおこなった[11]。ここではその概略を示す。

可視化実験の目的はFFTを使用して、通常目視しにくい血管運動を抽出することである。

MP4データからビデオフレームを抽出し、ビデオ全体のFFTを計算した。次に、いくつかの処理ステップを適用して、正確な差分画像を計算した。

記録中は常に手がわずかに動くため、単純なフレームの差分画像には、小さな動きによって引き起こされる大きなノイズが含まれる。

最初に、画像全体の2D (2次元) 相関を計算して、大まかな位置合わせを行った。これによりピクセル精度の位置合わせを得ることができる。図2はピクセル精度の位置合わせを行うことによって計算された差分画像を示している。

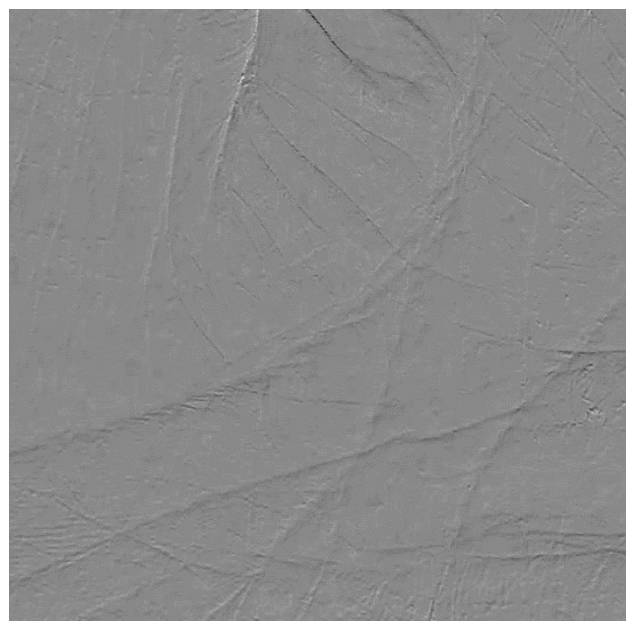


図2 ピクセル精度の位置合わせによる差分画像 (文献[11]より引用)

このとき求めた相関係数には、通常単一ドットの鋭いピークではなく、複数のぼやけたピークが含まれている。そこで最大値を選択して位置合わせをして差分をとると1ドット以下のずれは補正されないで残る。そのため図2には、1ドット以下のずれによるエラーが残り、画像の濃淡のエッジ(境界)部分に大きなノイズが残る。

次にサブピクセル(1ピクセル以下のずれ幅)の位置合わせを行う。これにはフレーム間の伝達関数を用いる。

1ピクセル以下のずれ幅は伝達関数の形で表せる。1ピクセル未満のずれ幅があった場合にも、画像全体から計算された2D伝達関数を補正に使用すると、1ピクセル以下の動き補償が行える。しかし伝達関数のすべての要素を使うと、2つの画像の偽の類似性に対応する無意味な成分が含まれてしまう。伝達関数のうち意味があるのは先

に求めた荒い位置合わせでえられたマッチングの位置の近傍だから、その周りのみを残して残りをマスクする。

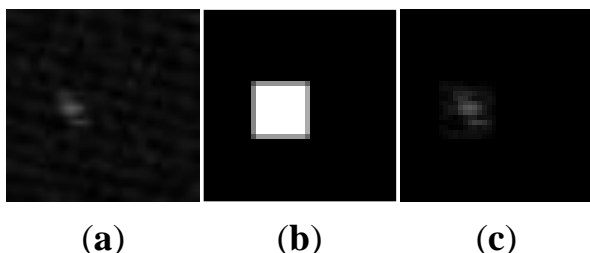


図 3 マスク処理(文献[11] より引用)

図 3 にそのようなマスク処理を示す。伝達関数全体(a)はノイズを含んでいる。図では非常に薄いノイズが全体に見られる。(b)はマスクする領域を表す。マスク処理を適用することでノイズ成分のない伝達関数(c)が得られる。

この伝達関数を適用することにより、副次的な利点として、平均照明と振幅も、動き補償と同時に、画像処理の単一の処理ステップ内で補償される。

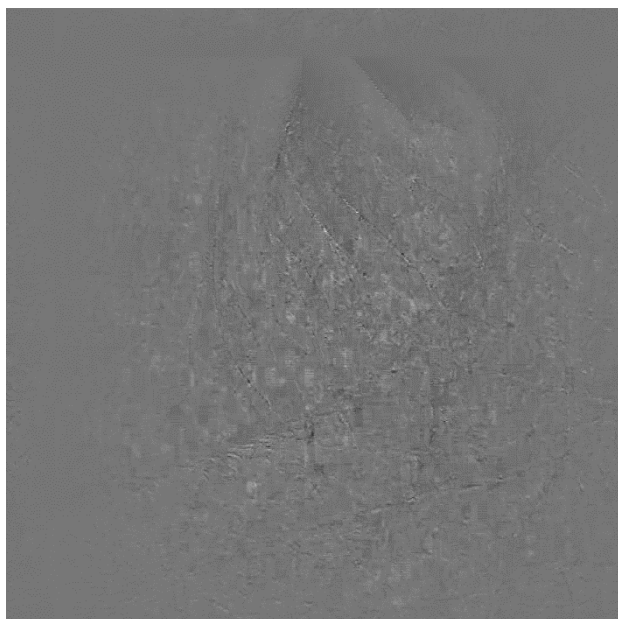


図 4 1 ピクセルより細かい位置合わせを行った差分画像(文献[11] より引用)

伝達関数で再度高精度のピクセル以下の位置合わせを行った画像で差分画像を求め、得られた結果を図 4 に示す。エッジの影が削除され、2つのフレームの差分のみが残っている。明瞭でノイズのない差分画像が得られている。位置合わせ誤差によるエッジノイズは効果的に除去された。

次に、動画の全フレームについてこのような差分画像を求めてから MVW の空間周波数スペクト

ルを求めた。

周波数領域で計算された 2 次元の自己相関を 1024x1024 でサンプリングした。周波数スペクトルの性質上、周波数スペクトルの 4 つの象限は対称である。以下では最初の象限のみを表す。また最大 64 周波数ラインまでの DC (直流) を削除した。したがって、スペクトルの四隅は黒く表示されている。これらの低周波数帯域は手の形状を反映しているが、画像の比較的細かい模様に関しては対応していない。

図 5 は、画像の 2 次元の空間領域自己相関の結果を示す。「elderly1」の場合、2D スペクトルの左上隅に明るい部分が見られる。これは、4Hz 付近にピークがあると解釈される。

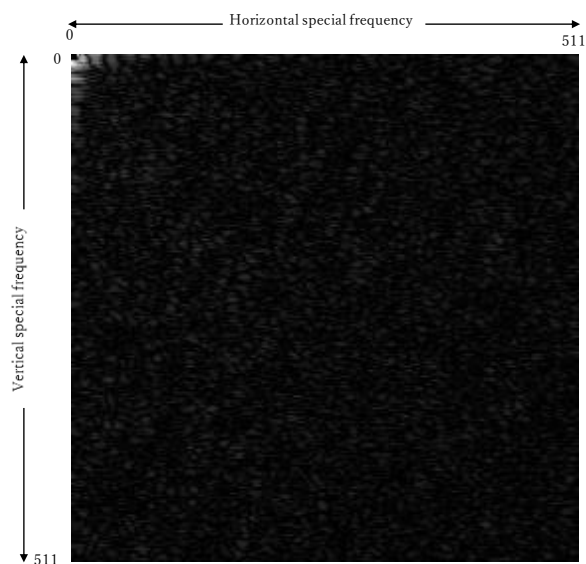
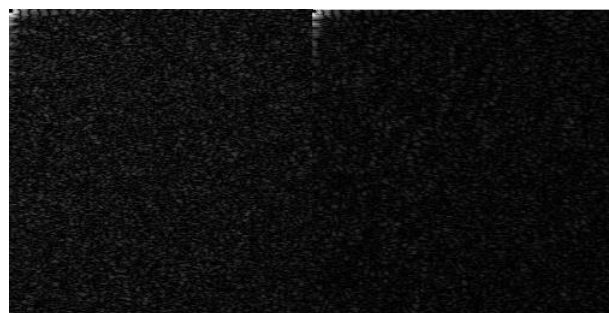


図 5 二次元の空間領域自己相関(文献[11] より引用)



(a)→Young subjects (b)→Elderly subject

図 6 異なるグループの空間自己相関(文献[11] より引用)

図 6 は、(a) 若い (左) および (b) 高齢者 (右) の被験者の MVW の自己相関を示す。結果として得られる 2D 相関パターンの特徴は、皮膚を通る血管に対応する空間的および時間的特性が含ま

れると考えられる。現状では被験者数が限られているから、より多くの被験者によりさまざまな年齢層の間でこれらの特徴を分析するのは今後の課題である。

4. Spatial and temporal feature analysis

次に、我々は MVW を生物学的特徴として利用できる可能性も示した[11]。以下ではその概略を示す。

この実験では先にもとめた特徴は使用せずにより大域的な特徴を用いて分析を行う。

この方法ではまず 1 秒ごとに静止画像を抽出する(先の方法では 1/30 秒おきの抽出だったがここでは 1 秒おきにサンプルする)。

手の中心の半径 r (赤色) 内の円形領域の平均 RGB (赤・緑・青) 値を毎秒計算する。1 秒ごとの平均値は時系列として扱われ、値の時間遷移のパワースペクトルを計算した結果を図 7 に示す。

サイズを $r=0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15\text{mm}$ と変えて比較した。

$r=0$ の場合、実際には $r=0$ の領域を使用せず、単一ピクセルの赤色を求めた。

パワースペクトルから異なる半径ごとに、低周波数帯域パワー (0~0.25Hz) と高周波数帯域パワー (0.25~0.5Hz) を計算した。平均パワーを超えるピーク周波数の数を半径ごとに計算した。

このような計算により、濃淡模様の粗さ関連するスペクトルの特徴が得られる。

血管の視認性は色ごとに異なるため、分析は色 (R, G, B) ごとに比較した。

図 8 は、 $r=0$ (1 ピクセルに対応) の各 r 値でのパワーの違いを示す。実線は低周波数帯、細い点線は高周波数帯である。

図 8 では、高低に分けた周波数帯域における半径 r とパワーの変化を、2 つのグループの間で比較している。

若い被験者のグループでは半径 r の増加によるパワーの減少が大きかった。特に高周波域では減少が大きかった。また、若い被験者では、半径 r が大きくなると、低周波パワーは緩やかに減少し、高周波帯域のパワーは増加した。対照的に、高齢者の場合、半径 r の増加によりパワーは明確に変化しなかった。

図 10 では周波数を細かく分割した際のピークの数と比較した。

若い被験者では、半径 r が増加すると、ピークの数が増えた。緑色の場合、 $r=3$ まで減少し、その後 $r=4$ から再び増加した。青色ではピーク周波数の数は、赤と緑のそれよりも少なかった。一方、高齢者のピーク頻度は若年者に比べて増加し

た。

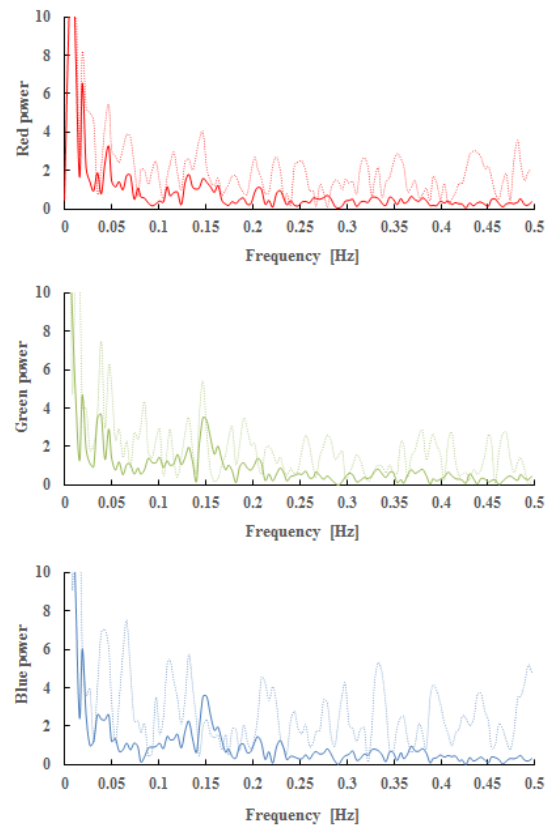


図 7 $r=0, r=15$ におけるパワースペクトル(文献 [10] [11] より引用)

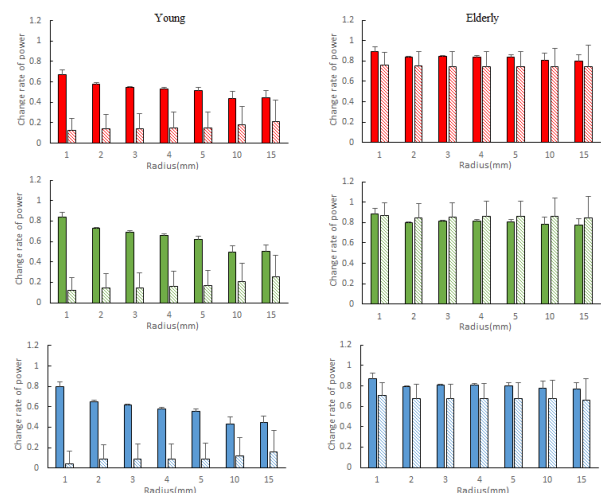


図 8 異なる r (横軸)におけるパワーの変化(文献 [10][11] より引用)

5. 4K, 8K 映像からの MVW 検出の可能性

日本では 2000 年ごろから 4k,8k 放送の技術開発や国際標準の策定が活発化し、その完成を受けて 2014 から実験放送、試験放送を経て 2019 年から本放送が開始された[12]。現在既存の BS 放

送の受信設備で 6ch, BS 左旋, CS 左旋などを増設すれば 16ch の放送が受信でき, 録画タイムシフト視聴も可能である. 4K, 8K 放送では従来にくらべ格段の高精細化と色分解能が実現されている.

今回皮膚の 2×3cm を HD で撮影したが, 8 カメラであれば 2×3cm が画面の 1/16 に収まるシーンであれば同等の解像度と色分解能が得られる. したがって検証は必要であるが 8K 動画からの MVW 検出は十分可能と考えられる.

MVW は血管の配置だけでなくその動的特性も繁栄しているから, 個人特定が可能な可能性があるのはもちろんであるが, 生体的状態を細かく読み取れる可能性もあるのではなからうか. 今後生体的状態を読み取る研究が進むと期待されるが一方で 4k, 8k 映像からはそのような情報が読み取れる可能性について社会的認知とコンセンサスを確立しておく必要があると考えられる.

6. 生体的情報の保護についての課題

ではこのような技術が適切に利用されるためにはどのような社会的な仕組みが可能だろうか.

これまで個人や外面的な行動が映像からは読み取れたわけだが, 生体的な状態まではこれまで容易には知られることがなかった. 高精細な記録が普及するとそこからは, 生体的情報までもが分析されうる状況が生まれることは, これまでにない新たな課題を生むのではないかと考えられる.

予想される反応として, このような状況による被撮影者に不都合な事案が発生すれば, 8k で撮影されることを拒否したい, という感情が生まれることは当然予想される. もちろんそのような感情が高まれば, せっかく高精細で撮影できる技術が実現したのにその利点が失われてしまう.

撮影に許諾を求めたり, 撮影した画像の目的に細かい許諾を必要としたりするように, 法的な仕組みを作っても, 効果があるとは限らない. 現実には撮影の許可を求める撮影者はむしろ善良であり, 真に悪意をもって撮影しようとする者の撮影を阻むことは難しい.

本発表は 4K, 8K 映像に関するものであるが, 同様のことはゲノム情報にもいえる. ゲノムのフルシーケンスは現在数万円で可能である. 劇的にコストダウンを続けており 10 年後には一般の人が手軽に利用できるサービスになると予想される. この時, ゲノムの分析を依頼されたサービスがその分析が本人から依頼されたことを確認する手段はないと考えられる. したがって他人のゲノムでも本人と偽って分析することは可能であ

るし, そもそもすべてのフルシーケンス分析サービスに他人のゲノム分析を行わないという規範を求めることは困難ではないかと考えられる.

分析器を製造できる技術はやや難易度は高いが, 世界のどの国のメーカーも作る事ができ, サービスに必要なのはサンプルの受け取りと結果を送る通信路だけなので, 不適切なゲノム分析の利用を防止する効果的な手段はなさそうである.

そこで不適切な利用を完全に防止できないとしてもある程度防止するにはどうすべきだろうか. こうした生体情報の「分析行為」や「分析ツール」へのアクセスを制限することも必要なのではないかと考えられる.

もちろん分析ツールも技術自体は知られているから, 公知の知識を用いて自作することは, いつでも可能であるから, 分析自体を規制することはあまり意味がないという反論があるかもしれない. しかし分析ツールの構築はある程度スキルを必要とし, 構築までに一定の統計情報へのアクセスも必要であるから, 分析ツールの構築や利用の制限がまったく不可能なわけではない. 特に分析に必要な統計情報の保持を規制することは, たとえばわいせつ画像の保持を規制するように, 違反者を摘発処罰することはある程度可能なので, 入力となる個人の下データの制限よりは効果的に行えると考えられる.

今後生体情報の管理はますます重要な課題となると考えられる. 分析能力の限界の確認と, 生体情報の保護に関する検討は 4k, 8k の普及に際して十分に検討しておくべき課題の一つではないだろうか.

7. まとめ

ビデオ映像からの MVW(毛細管の波動的な自律運動)の検出が可能であることを示した. 4K, 8K 映像からそのような生体的性質の検出の可能性を論じ, 個人特定や個人の生体情報の取得についての検討の必要性を論じた.

参考文献:

- [1] Funk, W.; Endrich, B.; Messmer, K.; Intaglietta, M. Spontaneous arteriolar vasomotion as a determinant of peripheral vascular resistance. *Int. J. Microcirc.* 1983, 2, 11-25.
- [2] Geddes, J.B.; Carr, R.T.; Karst, N.J.; Wu, F. The Onset of Oscillations in Microvascular Blood Flow. *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.* 2007, 6, 694-727.
- [3] Gregori-Pla, C.; Delgado-Mederos, R.; Cotta, G.; Giacalone, G.; Maruccia, F.; Avtzi, S.; Prats-Sánchez, L.; Martínez-Doménech, A.; Camps-Renom, P.; Martínez-Frías, J.; et al. Microvascular

- cerebral blood flow fluctuations in association with apneas and hypopneas in acute ischemic stroke. *Neurophotonics* 2019, 6, 025004.
- [4] Liu, C.; Gomez, H.; Narasimhan, S.; Dubrawski, A.; Pinsky, M.R.; Zuckerbraun, B. Real-time Visual Analysis of Microvascular Blood Flow for Critical Care. In Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, USA, 7-12 June 2015 .
- [5] Sugita, N.; Obara, K.; Yoshizawa, M.; Abe, M.; Tanaka, A.; Homma, N. Techniques for estimating blood pressure variation using video images. In Proceedings of the 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italy, 25-29 August 2015.
- [6] Cole, W.C.; Gordon, G.R.; Braun, A.P. Cellular and Ionic Mechanisms of Arterial Vasomotion. *Single Mol. Single Cell Seq.* 2019, 1124, 297-312.
- [7] Kapela, A.; Nagaraja, S.; Parikh, J.; Tsoukias, N.M. Modeling Ca²⁺ signaling in the microcirculation: Intercellular communication and vasoreactivity. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 2011, 39, 435-460.
- [8] Aalkjaer, C.; Nilsson, H. Vasomotion: Cellular background for the oscillator and for the synchronization of smooth muscle cells. *Br. J. Pharmacol.* 2005, 144, 605-6165.
- [9] Lossius, K.; Eriksen, M. Spontaneous Flow Waves Detected by Laser Doppler in Human Skin. *Microvasc. Res.* 1995, 50, 94-104.
- [10] Yoshida, Y.; Yuda, E.; Miura, Y.; Ueda, N.; Hayano, J.; Kaneko, I. Relation between frequency of opening and closing of vascular and area of skin by microvascular wave. In Proceedings of the 2018 IEEE ICCE-TW, Taichung, Taiwan, 19-21 May 2018.
- [11] Itaru Kaneko, Yutaka Yoshida, Emi Yuda, Junichiro Yahano. Sensing of Microvascular Vasomotion Using Consumer Camera. *Sensors*, 21, Issue 18, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/18/6256>
- [12] 総務省, 4K8K の政策 – 4K 放送・8K 放送の推進 – , https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/housou_suishin/4k8k_suishin/policy.html(取得 2021/10/9)