

下肢体表面色画像処理と時相解析を用いた簡易血流動態計測システムの開発

Simple mapping system of lower extremity hemodynamics using color image processing of skin surface and temporal duration analysis

○中野祐樹(東京電機大学) 野口展士(東京電機大学) 荒船龍彦(東京電機大学)

鷺尾利克(産業技術総合研究所) 鈴木孝司(東京女子医科大学)

千葉慎二(日本マイクロソフト株式会社) 福井康裕(東京電機大学)

矢野智之(横浜市立みなと赤十字病院) 本間章彦(東京電機大学)

Yuki NAKANO, Tokyo Denki University

Hiroo NOGUCHI, Tokyo Denki University

Tatsuhiko ARAFUNE, Tokyo Denki University

Toshikatsu WASHIO, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Takashi SUZUKI, Tokyo Women's Medical University

Shinji CHIBA, Microsoft Japan Co., Ltd

Yasuhiro FUKUI, Tokyo Denki University

Tomoyuki YANO, Yokohama City Minato Red Cross Hospital

Akihiko HOMMA, Tokyo Denki University

Abstract: In the case of treatment that refractory ulcer induced peripheral arterial disease, it is very important that the 2D tissue circulation area screening before debridement but there is no well-established and easy evaluation method. So that we developed image processing system (Opmap) using red brightness parameter changes of RGB gradation of skin surface, during inflate and deflate procedure. The procedure generally used in clinical situation as simple checking of hemodynamics. Firstly the lower leg of test subjects was fixed and inflated for temporal avascularization. 3min after, the inflating were released and skin surface color change were measured as HD movie with mirror-less single lens reflex camera. The little changes of red color parameter were emphasized and noise were reduced and compressed by mathematical formula which we have developed for this image processing. For validation check of our method, we made comparison between SPP value measured with TcPO₂.

Key Words: refractory ulcer, PAD, blood flow imaging

1. 研究背景

近年、我が国では高齢化および食生活の欧米化に伴う糖尿病や高血圧などの成人病を背景に、閉塞性動脈硬化症などの末梢動脈疾患(Peripheral Arterial Disease: PAD)と、それに伴う下肢難治性潰瘍患者が増加している。PADに伴う下肢難治性潰瘍は治療に難渋することが多く、下肢血流、創傷治療の状況を考慮して軟骨治療や手術治療が検討される。治療の鍵となるのが組織血流の評価であり、現在 TcPO₂が主流の機器として用いられている。TcPO₂を用いることにより無侵襲的に血流評価を行える。しかし同機器は原則として1箇所(皮膚酸素分圧)を測定する機器であり、実際の治療に際して足趾全体の血流評価を行うためには複数回の測定を行う必要があり、スクリーニングの手技としては煩雑であり時間を要する。また装置は比較的高額であり地域における疾患の治療の主体となる中核病院、予防医療の主体となる医院やクリニックには十分普及していない。我々の研究グループは、経皮酸素分圧測定(TcPO₂)に代わる、新たな表在血流の虚血スクリーニング手法 Opmap の開発を進めてきた。本研究では、Opmapによる血流評価の妥当性を、同じ被験者を用いた TcPO₂による皮膚灌流圧(以下 SPP)測定経過と比較し、定量的に検討する。

2. 方法

2-1 Opmapによる血流変化計測

健常者男性4名を対象に、左右どちらかの下肢、外果直上に血圧測定用のカフを巻き、第I趾にパルスオキシメータを装着する。250-330 mmHgの圧でパルスオキシメータの値が駆血により低下しプラトーを示す時点まで、もしくは最大5分間の駆血を行い、その後駆血を解除する。解除前より連続的にデジタルビデオカメラ(NEX-6, SONY)を用いて足背の色調の変化を動画にて記録する。撮影した動画を1sec当たり30枚のbmp画像として変換し、全フレームにおいてR値成分のみを抽出したRAW画像を作成する。駆血解除30秒前のフレームを基準フレーム f_0 とすると、 f_0 の座標 (x, y) における輝度値を $F(x, y, f_0)$ とする。駆血解除後の全フレーム画像において、フレーム番号を f とした場合、全画素において

$$\text{brightness}(x, y, f) = \frac{F(x, y, f) - F(x, y, f_0) + \text{BAmp_light}}{\text{BAmp_dark} + \text{BAmp_light}} \times 255$$

となる計算式に則って処理を行い輝度変化の領域を強調した。式中の $\text{brightness}(x, y, f)$ は処理後の輝度値を示しており、 BAmp_dark 及び BAmp_light の2つのパラメータは基準フレ

ームからの変化幅を定めている。2つのパラメータの実値は先行研究⁽¹⁾からノイズが目立たず、赤色色調変化が十分に確認することができる最適値を求め、本研究では、 $B_{Amp_dark} = 25$, $B_{Amp_light} = 10$ と定めた。

2-2 TcPO2 による SPP 計測

2-1 で行った同様の被験者に対して SPP 測定を行った。測定手順としては、まず測定部位を選択しレーザ血流計 (PAD3000, SensiLas, カネカメディクス) のレーザセンサ先端部が測定部位に当たるように設置しテーブで固定する。そして、その上からカフを巻きつけ固定し測定を開始した。測定箇所は足の指の間から 2 cm 上方の脛及び骨の間の軟部組織4点と踝の前縁から 2 cm 下方の1点, 計5点 (Fig.1) で行った。

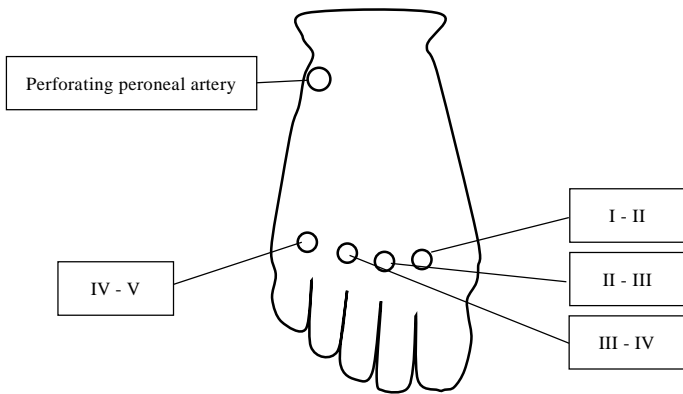


Fig.1 Measurement points on right ankle

3. 結果

3-1 Opmap

Opmap で導出した足趾5点の赤色輝度値変化の計測結果を Fig.2 に示す。

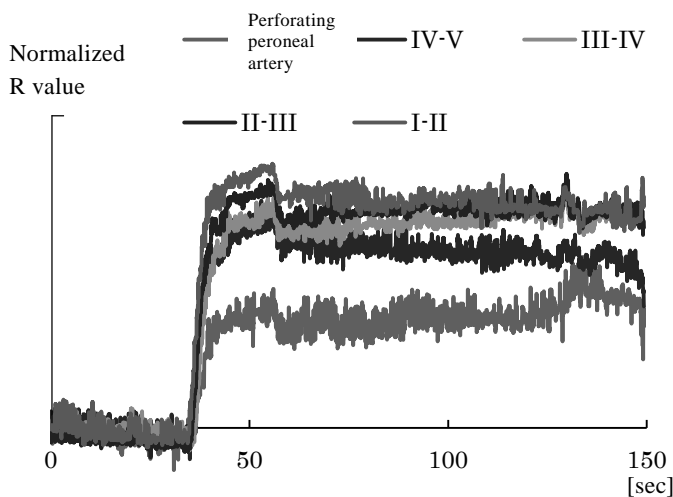


Fig.2 Result(Participant A)

3-2 TcPO2 との比較

SPP 測定結果と比較するために、Opmap で計測された波形に対して新たな3つの指標を提案した (Fig.3) ⁽¹⁾。

SPP 測定結果と Opmap の比較を Table1 に示す。

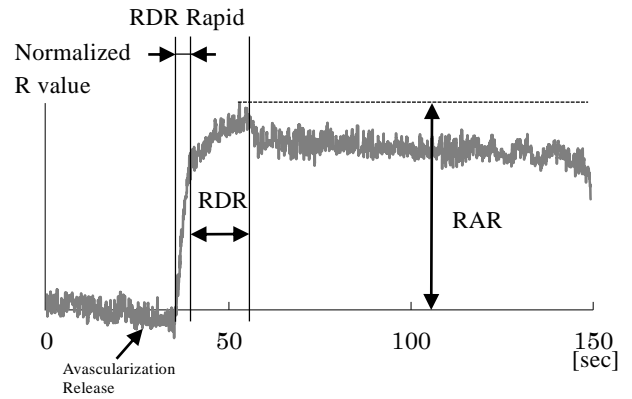


Fig.3 Performance Index of Opmap

Table1 Opmap and SPP Compared (Participant A)

	SPP [mmHg]	RDRr [sec]	RDR [sec]	RAR [R value]
Participant A	71.40	6.31	14.27	0.42
Participant B	107.40	18.74	8.88	0.71
Participant C	108.60	22.94	6.90	0.54
Participant D	68.00	9.00	4.86	0.22

さらに、データと TcPO2 による SPP 計測結果を用い、ピアソンの積率相関係数からその相関を求めた。

Opmap 解析結果からの3つの指標 RDR, RDR rapid, RAR について RDR の 0.92 と最も高く、次いで 0.87 の RAR, 0.81 の RDR rapid という結果となった。

4. 考察および結論

PAD に起因する下肢難治性潰瘍の患者の血流動態の把握において、1箇所ずつの計測となる TcPO2 に代わる、同時多点の新たな表在虚血スクリーニング手法の確立のため、ビデオカメラによる駆血、駆血解除の皮膚表在色調変化計測と画像処理を組み合わせたマッピングシステムを構築し、SPP 計測結果と比較した。

その結果、Opmap 解析結果から導出した指標 RDR と SPP の間に相関関数 0.92 という有意な相関関係を得ることができた。よって、Opmap を用いて解析を行うことにより、SPP 計測による血流評価と代替できる可能性が示された。なお、機序、因果については今後明らかにしておく必要がある。

参考文献

(1) 荒船龍彦, 加藤峰士, 小林英津子, 鈴木孝司, 鷲尾利克, 中川敦寛, 舟久保昭夫, 矢野智之, 表面色情報を用いた簡易血流動態計測手法の検討, LIFE2013抄録誌 2013