

コロトコフ音と赤外線画像を使用した前腕静脈怒張度の推定

Estimation of forearm venous distention using Korotkoff sounds and infrared image

○藤崎佑真*, 長井力*, 佐川貢一*

○ Yuma Fujisaki*, Chikara Nagai*, Koichi Sagawa*

*弘前大学

*Hirosaki University

キーワード： 自動採血 (automatic blood sampling), 静脈 (vein), コロトコフ音 (Korotkoff sounds), 駆血 (avascularization), 近赤外線 (near infrared)

連絡先： 〒 036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地
弘前大学 大学院 理工学研究科 理工学専攻 知能機械工学コース 佐川研究室
藤崎佑真, Tel.: (080)3239-7802, E-mail: h18ms628@hirosaki-u.ac.jp

1. 緒言

臨床医療の場で、静脈血採血は被採血者の健康状態の把握や治療効果の確認のために広く用いられているが、今日の日本の少子高齢化に伴う医療従事者の不足¹⁾、待ち時間の長時間化²⁾、血液感染のリスク³⁾などが問題に挙げられており、採血自動化はこれらの有効な解決法であると考えられる。しかし、採血時の作業は医療従事者の感覚・経験に基づいて行われており、自動化に際しての判断基準に曖昧な部分が多い。駆血作業もその一つである。静脈採血における駆血作業の目的は、動脈から流入した血液を駆血部静脈でうっ滞させ静脈内圧を増大させることで、穿刺し易い太い静脈を確保し採血管へ流入する血液流量を増加させることにある。不適切な駆血は穿刺ミス、採血作業の長時間化の原因となる。現在駆血作業は、採血を行う医療従事者が静脈の感触や見た目から怒張状態を判断

し最適な強さで駆血を行っている⁴⁾。そこで本稿では、静脈採血における駆血作業を自動で行う装置の開発を目指し、静脈怒張度推定を自動化することを目的とする。そのために、前腕静脈怒張度と赤外線画像から抽出した前腕静脈太さ、コロトコフ音の関係を明らかにして、赤外線画像とコロトコフ音を使用した静脈怒張度推定の可能性について検討する。

2. 実験

2.1 概要

本稿では、被験者 4 名に対して実験 1, 実験 2, 実験 3 の 3 種類の実験を行った。実験 1 では、静脈怒張度と駆血圧の関係を調査するために、被験者上腕を駆血した時の静脈断面の超音波エコー画像を撮影し、静脈断面積から怒張度を判断した。実験 2 では、前腕の赤外線画像から作成した静脈抽出画像が駆血によってどのよ

うに変化するのか調査した。実験3では、駆血圧と発生する動脈音（コロトコフ音）の大きさの関係について調査した。

2.2 被験者情報

Table.1 に被験者情報を示す。収縮期血圧，拡張期血圧及び脈拍数は，実験実施直前に手首圧迫型自動血圧計 (TERUMO, ES-T300ZZ) を使用して測定し，その他項目の値は被験者の自己申告に基づいて得た。

Table 1 Information of subjects

Subject No.	1	2	3	4
Age	23	22	22	23
Sex	M	M	M	M
Height [cm]	168	178	173	165
Weight [kg]	60	52	68	50
BMI [kg/m ²]	21.3	16.4	22.7	18.4
Sytolic BP [mmHg]	115	113	111	114
Diastolic BP [mmHg]	78	67	66	68
Heart rate [pulse/min]	80	60	66	77

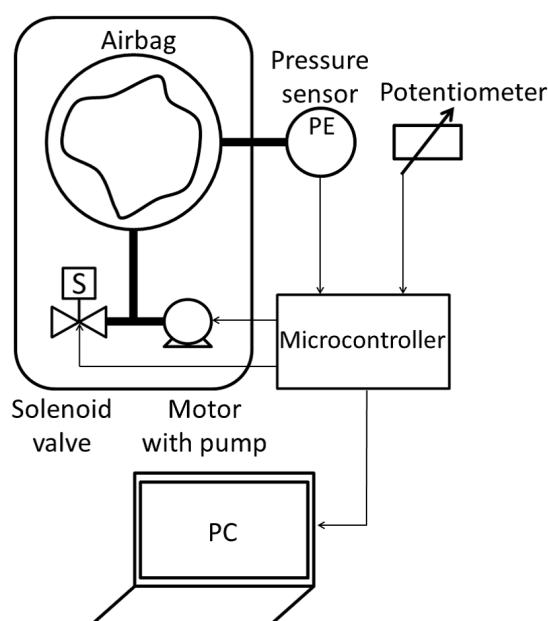


Fig. 1 Schema of the avascularization device.

2.3 駆血装置

上腕圧迫型自動血圧計 (TERUMO, ES-P2000BR) の部品であるプラスチックフレームケース，エアバック，電磁弁2つ，ポンプ付モータ2つを利用して，任意の駆血圧を発生することのできる装置を作製し，これを使用して後述の実験を行った。駆血装置の概略図を Fig.1 に示す。この駆血装置は，ポテンシオメータの回転角を調整することで目標駆血圧 (エアバッグ内圧) を設定し，気圧センサ (METRODYNE MICROSYSTEM, MIS-2503-015G) からの信号を受け取ったマイクロコントローラ (Arduino UNO R3) が電磁弁とポンプ付モーターを制御することで，0mmHg から 200mmHg までの任意の駆血圧を発生・維持させることができる。また，マイクロコントローラと USB 接続された PC のモニタから，設定した目標駆血圧と現在の駆血圧を確認できる。

2.4 実験1：超音波エコー画像による静脈断面積の測定

実験1では静脈怒張度と駆血圧の関係を調査した。Fig.2 左に示すように，駆血装置で被験者上腕を駆血した時の静脈断面積を超音波画像から計測し，駆血時と非駆血時の静脈断面積比で静脈の怒張度を判断する。その手順を以下に示す。

- 1) プローブの押し付けによる静脈圧迫を防ぐため，駆血装置に挿入された被験者の左腕静脈に超音波診断用ゲルを多めに塗布する。この時，静脈は左前腕肘窩付近で最も触知できるものを選択した。
- 2) 被験者上腕を駆血装置で駆血し，目標駆血圧に達して 20 秒経過した後，汎用超音波画像診断装置 (GE Healthcare, Vscan Extend) で対象静脈断面を撮影する。

- 3) 駆血圧を 0mmHg にして 30 秒の休憩時間をとる。

以上の作業 2, 3 を 160mmHg までの範囲で 20mmHg 刻みに駆血圧を設定し、繰り返し行う。Fig.3 のように撮影された超音波画像中の静脈断面を楕円と仮定し、長径 D_1 、短径 D_2 から静脈断面積 $S = \pi D_1 D_2 / 4$ を求める。なお、長径 D_1 、短径 D_2 の測定には汎用超音波画像診断装置の 2 点間距離計測機能を使用した。

2.5 実験 2 : 赤外線画像から抽出した静脈の怒張度の測定

実験 2 では Fig.2 右に示すように、実験 1 と同様に被験者上腕に駆血装置で 20mmHg 刻みに 160mmHg までの駆血圧を加え、前腕赤外線画像を撮影した。得られた画像に対して数値処理ソフト MATLAB、画像処理ソフト ImageJ を使用して静脈抽出画像処理を行い、抽出された静脈の画素数を計測し、この画素数を非駆血時と比較することで駆血による静脈の怒張度の変化を判断する。撮影は、赤外線 CCD カメラ (Mintron Enterprise, MK-0323E) を 27cm 四方の板に 940nmLED を 46 個を等間隔に配置した投光器に固定したものを使用し、前腕部から約 7cm 離れた位置から行った。この時、同カメラの AGC(Automatic Gain Control) 機能による画像の明るさ変化を補正するために、灰色色紙を前腕とともに撮影する。得られた 480pixel × 720pixel の 8bit グレイスケール画像を以下の処理手順で静脈抽出する。また、この画像処理の流れを Fig.4 に示す。

- 1) 灰色色紙中の平均輝度値が各画像で等しくなるように画像全体にゲイン補正をかけ、ノイズ除去のために 5pixel × 5pixel のマスクを使用した移動平均フィルタで平滑化した後、直径 41pixel の円形構造要素でブラックハット変換する。

- 2) ブラックハット変換画像中の低輝度域にはノイズが多く含まれるため、輝度値 5 以上が白色となるように二値化し、画像の前腕部のみを抽出する。
- 3) 白色画素数を数える。

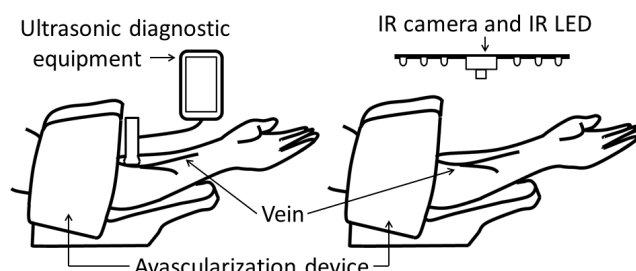


Fig. 2 Environment of the experiment 1, 2.

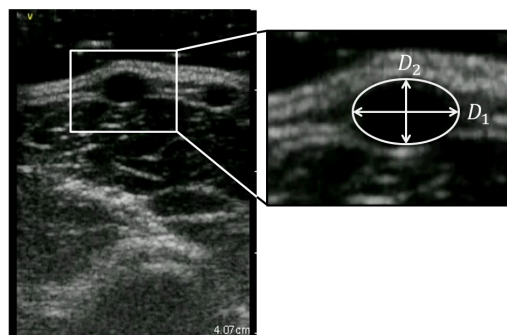


Fig. 3 The ultrasonic image of a vein.

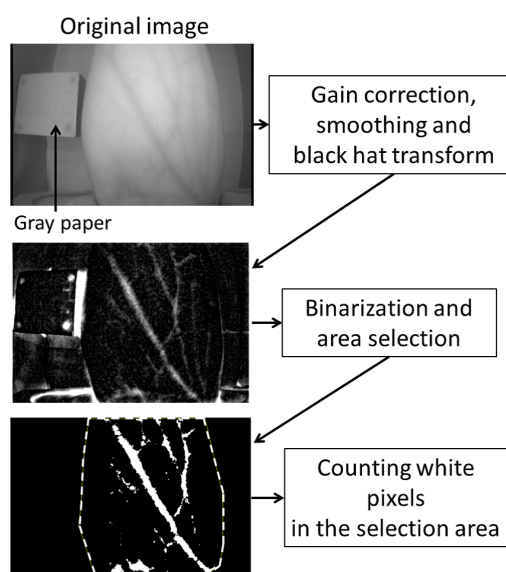


Fig. 4 The flow of image processing.

2.6 実験3：動脈音の測定

実験3ではコロトコフ音の大きさと駆血圧の関係进行调查した。Fig.5に示すように、腕圧迫型自動血圧計 (TERUMO, ES-P2000BR) の血圧測定での減圧過程を利用し、聴診器のゴム管に小型マイクを挿入した動脈音測定用マイクを使用して被験者肘窩の動脈音を測定した。それと同時に同血圧計のエアバッグ内圧を気圧センサ (METRODYNE MICROSYSTEM, MIS-2503-015G) でサンプリング周波数500Hzのデータロガーを使用して取得した (Fig.6)。

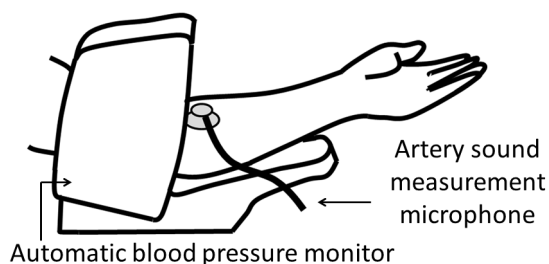


Fig. 5 Environment of the experiment 3.

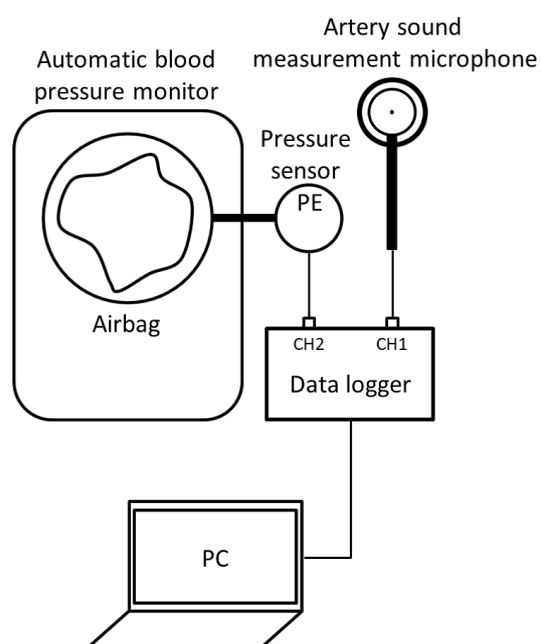


Fig. 6 Device of the experiment 3.

3. 実験結果と考察

実験1, 実験2, 実験3の各被験者の結果を正規化した結果を Fig.7, Fig.8, Fig.9に示す。

Fig.7の横軸は駆血率で、これは0%が拡張期血圧 (SBP), 100%が収縮期血圧 (DBP) となるように各被験者の駆血圧を正規化した値である。また、縦軸は駆血時と非駆血時の静脈断面積の比であり、駆血率40%前後の時に最大の約1.6となる。このことから、駆血率40%前後で最適な静脈怒張状態を実現できることがわかる。40%前後よりも低駆血率側では静脈血管が開放され駆血部で血液をうっ滞させることができず、逆に高駆血率側では動脈血管が閉塞され前腕部への血液流入が不足したことが原因で静脈断面積比が小さくなったと考えられる。

Fig.8の横軸は駆血率で、縦軸は駆血時と非駆血時の前腕静脈を示す白色画素数の比であり、駆血率100%(SBP)までは直線的に増加しその後横ばいとなる。ここで、Fig.7のように高駆血率側で白色画素数比が落ち込まなかったのは、白色画素数を決定する要因として静脈断面積の他に、上腕圧迫による皮膚の緊張で静脈の深さが変化しているためと考えた。しかし、現在使用している汎用超音波画像診断装置ではその変化を測定することは難しく、この仮説の検証ができなかった。また、Fig.8のグラフの中には被験者2のデータは入っていない。これはFig.10に示す誤抽出部によって他の3名の被験者と大きく傾向の異なる結果が出たためである。誤抽出の原因は前腕全体を明るく照らせなかったことに加え、前腕近くの背景に明るい部分が存在したことで、明色背景中の暗色パターンを抽出する処理であるブラックハット変換で前腕縁部の暗色部が抽出されてしまったことにある。これを改善するために、今後撮影装置の検討が必要である。

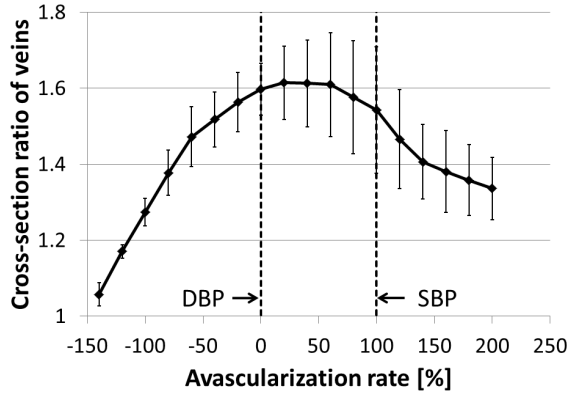


Fig. 7 Relationship between cross section ratio of vein and avascularization rate.

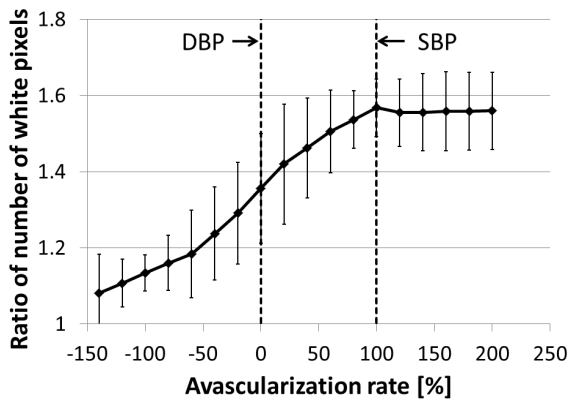


Fig. 8 Relationship between ratio of number of white pixels ratio and avascularization rate(Except subject 2).

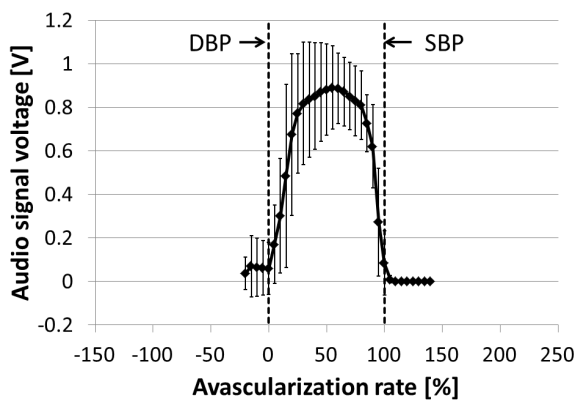


Fig. 9 Relationship between artery sound and avascularization rate.

Fig.9の横軸は駆血率で、縦軸は動脈音測定用マイクで取得した脈拍音声信号電圧の振幅である。DBP, SBP間で発せられる動脈音はコロトコフ音と呼ばれ、駆血率20%~80%の間で大きく発生しており、Fig.7に見られる最適怒張状態の駆血率40%前後と同様の傾向であることがわかる。以上の結果より、コロトコフ音による最適怒張状態の推定が可能であることが考えられる。しかし、動脈音測定はアクチュエータの作動や被験者のわずかな体動で大きな雑音を含んでしまうために、赤外線画像からの情報を使用してその妥当性を確認することで、より信頼性の高い静脈怒張度推定ができると考える。

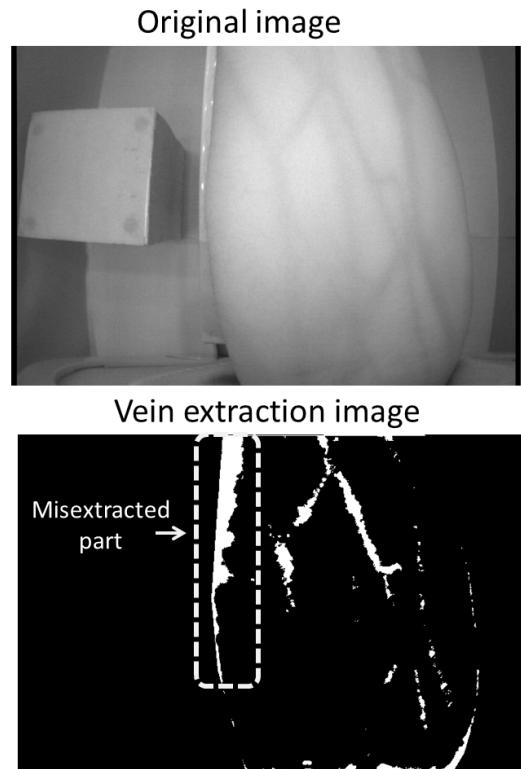


Fig. 10 Misextracted part of the subject 2 (Non avascularization).

4. 結言

本稿では、静脈血採血における駆血作業を自動で行う装置の開発を目指し、駆血を行ったときの超音波エコー画像中の静脈断面積と画像処理によって得た静脈抽出赤外線画像、動脈血管が絞られた時に発生するコロトコフ音を比較し、赤外線画像とコロトコフ音を使用した静脈怒張度推定の可能性について検討した。その結果、上腕を駆血率40%前後で駆血した時に肘窩の静脈断面積は非駆血時と比較して1.6倍と最も大きくなり、それとほぼ同駆血率でコロトコフ音が発生することがわかった。また、赤外線画像から抽出した静脈を表す白色画素数比は収縮期血圧までは駆血率とともに上昇し、その後横ばいとなることがわかった。これらの結果より、コロトコフ音による最適怒張状態の推定と赤外線画像からの情報を使用した推定の信頼性の向上が可能であると考えられる。今後は、誤抽出を発生させない赤外線画像撮影環境の構築と、コロトコフ音測定と赤外線画像撮影を行うことのできる駆血装置の作製を行う予定である。また、今回は赤外線画像から前腕全体の静脈を抽出したが、怒張度は前腕で一様でない可能性がある。このため推定精度向上のためにある限られた領域内の静脈に注目した怒張度推定も考えている。

参考文献

- 1) 厚生労働省:血液事業報告平成28年度版, <<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000154567.html>>,17/18(2017)
- 2) 齊藤順子, 井上文緒, 小島佳也, 杉本一博, 保嶋実:弘大病院中央採血室におけるトラブルについて, 臨床病理, 58(6), 577/580(2010)
- 3) 厚生労働省:必要医師数実態調査, <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/hitsuyouishisuu/index.html>,2(2010)
- 4) 福家幸子, 山岡麗, 千崎陽子:注射・採血ができる, 医学書院, 103/118(2015)
- 5) 河野陽子, 松本真理子, 白石須美子, 井出利幸:静脈血管怒張に有効な駆血圧と駆血時間の関係-採血に効果的な駆血方法の検討-, 日本看護協会論文集 看護総合, 37, 日本看護協会出版会, 436/438(2006)
- 6) 小畑秀文:モルフォロジー, コロナ社, 82/87(1996)
- 7) 松村裕子, 市村美香, 佐々木新介, 村上尚己, 森將晏, 荻野哲也:静脈穿刺に有効な静脈怒張を得るための適切な駆血圧と静脈怒張に関与する客観的指標について, 岡山県立大学保健福祉学部紀要, 19, 岡山県立大学, 31/38(2012)
- 8) 早川吉彦, 山下拓慶, 大粒来孝, 妙瀬田泰隆, 佐川盛久, 近藤篤, 辻由美子, 本田明:近赤外線イメージングによる皮下異物の検出実験, 医用画像情報学会雑誌, 27(3), 医用画像情報学会, 50/54(2010)