

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700498

研究課題名（和文）圧入力に対する脈波応答特性に基づく血管特性推定システムに関する研究
 研究課題名（英文）Estimating system for a vascular property based on pulse wave responses to cuff pressure

研究代表者

杉田 典大（SUGITA NORIHIRO）

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90396458

研究成果の概要（和文）：

本研究では、血管の特性を精度よく推定することを目的として、血管内に任意のタイミングで圧脈波波形を発生させるシステムの構築を行った。また、脈波のセンサ部への到達時刻をより高い精度で捉えるアルゴリズムの検討を行った。この結果、連続血圧値に基づいてカフ圧をコントロールすることで、血管特性の推定を行う際の個体内変動が小さいことが分かり、提案したアルゴリズムは脈波の局所的な乱れに比較的強いことが示された。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is development of estimating system for a vascular property with high accuracy. To fulfill this purpose, a system that can change pressure in the blood vessel in desired patterns was developed. In addition, a new algorithm to detect arrival times of pulse waves at a sensor was also developed. An experiment using the developed system showed that there is a possibility to decrease intraindividual variability in the vascular property estimation by controlling pressure in the blood vessel according to blood pressure measured in the other side of the body. And the proposed algorithm was relatively robust to noise included in pulse waves.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：医用工学

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：脈波，伝搬特性，血管特性

1. 研究開始当初の背景

日本人の三大死因うちの二つである心臓病と脳卒中は、動脈が硬化することにより引き起こされることが知られている。動脈硬化は、メタボリックシンドローム（内臓脂肪症候群）に代表されるように、その因子が潜在的であり、病気とは診断されない段階であっても複数の要因が重なることで急速に進行

する可能性がある。近年、このような発症前の予備群に対する診断が重要視されるようになり、血管の特性をより詳細に調べられる検査法が望まれている。

現在、血管特性を推定する方法としては、超音波画像や圧・容積脈波などを用いたものが挙げられる。このうち超音波計測では、血管の様子を画像として精細に捉えることが

できる一方で、装置が大型、高価であることや、被験者に負担をかける場合が多い。一方、圧・容積脈波計測では、前者ほど精細な情報は得られないものの、比較的簡単に計測ができる装置も安価である。

脈波を用いた指標としては、脈波伝播速度のように、主に脈波が伝わる速さを用いて血管のコンプライアンスを推定するものや、脈波波形の形状から血管の特性を推定する加速度脈波[1]がある。これらの指標は臨床でも広く用いられているが、血管形状や生体ゆらぎなどの影響を強く受けるため[2]、簡易かつ非侵襲的で、血圧変動や血管形状の影響を最小限に抑えて特性推定ができる手法が望まれる。

これに対し申請者らは、脈波形状に基づく血圧情報から圧受容器反射などの自律神経系反応を推定する手法の提案を行ってきた。この中で、独立成分分析などの手法を用いて血圧情報に関するパラメータと血管の特性に関するパラメータを分離する方法などを模索したが、生体ゆらぎの影響が大きく正確な推定には至っていない。

【参考文献】

- [1] 佐野祐司 ほか：加速度脈波による血液循環の評価とその応用，労働科学，61(3)，129-143，1985
- [2] 小沢 俊 ほか：脈波速度に関する臨床的，ならびに実験的研究，脈管学，20，121-129，1980

2. 研究の目的

本研究では、上腕を一本の電気回路における分布定数線路と考え、上腕部分の血管を任意のパターンで圧迫することにより脈波に信号を重畳し、観測点で得られた信号に対して適切な情報処理を施すことによって血管特性を推定する方法を提案する。さらに、血管への圧迫を行なう信号入力点や脈波波形観測点の位置を複数に設定することで、脈波波形における反射波の影響や血管収縮活動の推定、脈波に含まれる動脈成分と静脈成分の分離などが可能となると期待される。

3. 研究の方法

(1) 圧入力カフ及びセンサの試作

血管をある信号で精度よく圧迫するためには、遅れが少なく、出来る限り線型の性質をもったアクチュエータが必要である。

また、脈波の計測点としては、精神的影響や環境温の影響を極力少なくするため、細動脈の少ない、手掌部より上腕寄りの箇所が適当と思われる。具体的には橈骨動脈付近を想定しているが、センサと皮膚とを常に同じ状態で密着させるのが難しい可能性があるため、センサの形状や測定状態を工夫し、安定

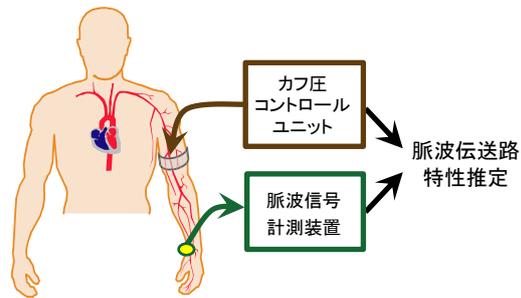


図1：カフ圧のコントロールにより、脈波に重畳した信号を末梢側の脈波センサで計測することで、2点間の伝送路特性を計算する。

した脈波波形が得られる手法を模索する。測定する脈波としては、計測が容易な光電脈波を想定しているが、伝達特性などを考慮し、ストレインゲージ脈波、空気脈波などについても検証を行なう。

(2) 解析手法の確立及びセンサ配置位置の検討

血管特性の解析手法として以下のようなアプローチを想定し、これらを組み合わせることで、より再現性の高い指標の確立を目指す。

- ・システム工学におけるパラメータ同定
- ・情報理論における情報伝達量
- ・統計処理による多変量解析

センサから得られる脈波波形の S/N が解析手法に対して十分ではない場合、発光部の出力を調節すると共に、複数のセンサを同時に装着して加算処理を行なう等の改良により、所望の S/N が得られるようにする。

(3) 電気回路モデルを用いたシミュレーション

上腕部を電気回路における分布定数線路と仮定した場合の脈波の伝播をコンピュータ上でシミュレーションすることで、最適な圧入力信号を見つける。

また、入力点や観測点を複数に拡張した条件でシミュレーションを行ない、各点の配置について最適な位置を検討する。

(4) 実測データの収集

はじめに、健常な被験者を対象として数十名程度のデータを収集し、解析法の妥当性に関して検証を行なう。また、従来の血管診断法である超音波画像や脈波伝播速度などとの比較を行なう。各被験者について再現性を確認する実験を実施し、従来指標と比べてロバストであるかどうかの検証を行なう。

さらに、Head-up tilt 試験、寒冷昇圧試験等の自律神経機能検査を行い、神経活動の

変化に関する基礎データ収集を行なう。薬理的な神経ブロックの影響や、切開による血管観察などの必要があれば、動物実験を実施する。

4. 研究成果

まず、血管内に任意のタイミングで圧脈波波形を発生させるシステムの構築を行った。具体的には、圧縮空気と電磁弁を用いて、上腕に装着したカフ内の圧力を制御できる機構とし、カフ内圧をリアルタイムに計測できるようにした。健常者を対象として何例かデータを計測した後、以下の点について改良を行った。

カフ圧の制御について、電磁弁のむだ時間を補償するようにアルゴリズムの改良を行った。さらに、カフ圧を低下させて上腕の血管を開放する際の応答速度が極めて低かったことから、従来のカフの代わりとして空気圧によって収縮する人工筋肉を用いた。これらの改良によってある程度の応答速度向上がはかれたが、測定部位への負担が大きくなることに加え、脈波の波形にノイズが混入するといった問題が発生した。そこで、カフを従来のものに戻した上で、カフ圧を発生させる部分にカフ内を短時間で陰圧にできる機構を加えることで、応答速度の向上を達成した。

一方、観測点としては、カフ位置より下流側で比較的血管径が大きく、精神的状態の変化や環境温の影響が極力少ないであろう手首などの箇所が適当であると考えていたが、これらの部位では安定した測定が難しかったため、手の指尖に装着した光電容積脈波センサからの波形を用いることとした。

実際の血管特性を反映する情報として、まず、脈波の伝搬速度の解析を行った。脈波伝搬速度は、血管の硬さをあらわす指標として既に臨床で用いられているが、自然な心拍変動の下で計測するため、心周期や血圧の変動に影響を受けることが知られている。これに対し、本研究で構築したシステムによって適切なタイミングでカフ圧をコントロールできれば、カフ位置より上流側の影響をほぼ無視した状態で血管の脈波伝搬特性を定量化することが可能であると考えられる。実際、本システムにおいて得られたデータを解析した結果、心臓の拡張末期に脈波を発生させるようカフを制御することで、脈波伝搬速度の個人内における分散が抑えられる可能性が示された。

続いて、圧脈波発生タイミングの違いに関する基礎データの収集を行った。具体的には、心電図の R 波を検知してからある一定の時間経過後に圧脈波を生成する場合と、指尖部に装着した容積補償型連続血圧計から得られる血圧値に基づいて生成のタイミングを

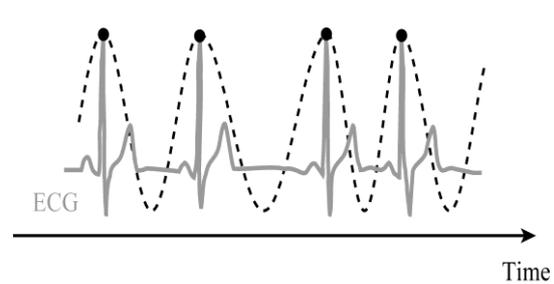


図 2: 心電図波形, 脈波波形の瞬時位相情報に基づく脈波伝搬時間推定アルゴリズム. 本図では, 心電図波形を周期性信号とみなしてその瞬時位相を算出している例を示している.

決める場合とで比較を行った。その結果、連続血圧値に基づいてカフ圧をコントロールする方式の方が、血管特性の推定を行う際の個体内変動が小さいことが分かった。このことは複数のデータから確かめられ、提案手法が血管特性を反映する従来の指標と比べてロバスト性が高いことが確認できた。

一方で、血管内に圧脈波を生成する際に瞬間的に血管内に自然の脈波によって生じる最高血圧よりも高い圧が生じる場合があることなどから、血管のコンプライアンスが低下した高齢者や血管に障害をもつ患者に直接適用する場合には問題がある可能性が明らかとなった。

また上記システムの構築に加えて、脈波のセンサ部への到達時刻をより高い精度で捉える方法の検討を行った。具体的には、心電図波形や脈波を周期信号とみなした上でその瞬時位相を算出し、位相情報から伝搬時間に相当する情報を取り出すアルゴリズムを構築した。(図 2)

本アルゴリズムと脈波の立ち上がり位置から伝搬時間を求める従来法との比較を行った結果、本アルゴリズムは脈波の局所的な乱れに比較的強いことが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. Norihiko Sugita, Makoto Yoshizawa, Masayuki Murakoshi, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe and Shin-ichi Nitta, Extraction of the Mayer wave component in blood pressure from the instantaneous phase difference between electrocardiograms and photoplethysmograms, *Artificial Life and Robotics*, 15(4), 2010, pp.522 - 525. [査読有]

[学会発表] (計 3 件)

1. Norihiro Sugita, Estimation of Blood Pressure Variability from the Temporal Difference in the Instantaneous Phase between Electrocardiogram and Photoplethysmogram Signals, The 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, 2010/2/24, Sendai, Japan.
2. Masayuki Murakoshi, Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, Noriyuki Homma, Tomoyuki Yambe and Shin-ichi Nitta, Pulse Transmission Time based on Temporal Difference in the Instantaneous Phase between Electrocardiogram and Photoplethysmogram Signals, International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2010/2/5, Beppu, Japan.
3. Makoto Abe, Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Shigeru Chiba, Tomoyuki Yambe and Shin-ichi Nitta, Estimation of Blood Pressure Variability Using Independent Component Analysis of Photoplethysmographic Signal, The 31th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009/9/3, Minneapolis, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉田 典大 (SUGITA NORIHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号 : 90396458

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし