反射式光電法を用いた血管位置検出法の開発

Development of An Arterial Detective Method by Using Reflection-type Photoplethysmography

○下村 翔大¹(山工大), 大田 慎一郎²(山大院), 末永 弘美²(山大院)

正 安田 利貴²(山大院), 斉藤 俊²(山大院)

1. 山口大学 工学部 機械工学科, 2. 山口大学 大学院 医学系研究科

○Shota SHIMOMURA¹, Shinichiro OTA², Hiromi SUENAGA²

Toshitaka YASUDA², Takashi SAITO²

1. Dept. of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi University,

2. Graduate School of Medicine, Yamaguchi University

1. 緒言 我々は、これまで光電脈波波形から、血管硬度を非侵襲的に推定する研究を行ってきた。一般的に、脈波波形を精度良く計測するには、計測対象となる血管とセンサの位置関係を常に一定に保つ必要がある。そこで、本研究では、光センサ(光電脈波法)を用いた動脈位置検出システムの構築を図り、圧力センサ(トノメトリ法)を用いた脈波測定装置の簡素化を目指す。

光センサを用いた血管位置検出に際して、血管およびその周辺組織による散乱光強度への影響が不明である。よって、本論文の目的は、異なる波長の光源を有する光センサを用いた動脈の脈波測定結果を、生体を模擬した光伝播解析の計算結果、超音波による脈波波形と比較、検討し、受発光部位置を変化させた場合における異なる波長の散乱光強度変化を明らかにすることである。

2. 脈波測定実験および光伝播解析 本実験では、一般成人男性の右手首橈骨動脈を対象とし、実測および光伝播解析を行った。脈波測定装置は反射型光センサ(YU-01, オプトテクノ), 発光および受光用光ファイバ($\phi=0.98\text{mm}$), 光ファイバホルダ(受発光間隔 $SD=2\text{mm}$)および XY 軸リニアテーブルからなる。図 1 に示すように、動脈が発光部の真下にくる位置 $IP(\text{Incidence Position})=0[\text{mm}]$ を中心とし、皮膚表面にて受発光部を左右に $\pm 4[\text{mm}]$ まで $1[\text{mm}]$ 間隔で水平に移動させた、計 9 点での測定を行った。発光部 LED 波長は、生体組織の光特性を検討するために、530, 650, 810[nm]とした。

図 2 に示すモデルより、定常状態とした光拡散方程式を用いて、二次元光伝播解析を行った。計算領域は $16[\text{mm}] \times 16[\text{mm}]$, グリッド幅は $0.01[\text{mm}]$ であり、血管位置および径変化は超音波診断装置(Prosound SSD6500SV, アロカ)による実測より、動脈の中心を深さ方向 $x=5.31[\text{mm}]$, 水平方向 y の中心 $y=8[\text{mm}]$ に位置させ、橈骨動脈の径変化の最大値 $d=2.46[\text{mm}]$ と最小値 $d=2.38[\text{mm}]$ の 2 通りで解析を行った。

3. 結果および考察 図 3(a)に、血管が発光部の中心に位置するとき($IP=-1[\text{mm}]$)の実測の脈波波形、また、図 3(b)に動脈の正確な脈波波形を示すものとして、超音波による径変化のグラフを示す。図 4 に示すグラフは、それぞれの波長における、受発光部位置を変化させたときの脈波の振幅を表している。波長 810[nm]の脈波波形において、 $IP=-3.0[\text{mm}]$ の位置で振幅のピークが表れている。一方、図 3(a)より波長 530[nm]の波形では、超音波による径変化の波形との決定係数 R^2 を求めたとき、上下反転させたもので $R^2=0.8912$, 反転させていないもので $R^2=0.1353$ と上下反転していると考えられる波形が得られているのに対し、 $IP=-3[\text{mm}]$ での波形では上下反転させたもので $R^2=0.2468$, 反転させていないもので $R^2=0.4118$ であり、どちらも言えない波形となっている。また、図 5 は、光伝播解析により、血管径 $d=2.38, 2.46[\text{mm}]$ における散乱光強度の差をとったものであるが、波長 530[nm]の波形が、実測結果と同じく反転していることから、それぞれの波長による血管での散乱係数、吸収係数の違いから、径変化に対する散乱光強度の変化が逆転したものと考えられる。これらの結果より、この 2 波長

の測定による、脈波の振幅、反転現象の有無から動脈位置が推定可能であると考えられる。しかし、波長 810[nm], 受発光部位置 $IP=-3[\text{mm}]$ における脈波波形で振幅のピークが得られた理由については不明である。得られた原因としては、同じ受発光部位置 $IP=-3[\text{mm}]$ において、波長 530[nm]の脈波波形に反転現象が起こっていなかったことから、毛細血管の存在などが考えられる。今後、超音波などによる測定から動脈周辺の詳細な組織の分布を明らかにし、それを元にした光伝播解析から、この現象を明らかにしていく。

4. 結言 脈波測定実験において、発光部の真下に血管が位置するとき、波長 810[nm]の脈波波形に振幅のピークが表れ、受発光部の中心に血管が位置するとき、波長 530[nm]の脈波波形に反転現象が起こった。

Fig.1 The Experimental Set-up

Fig.2 Analysis Model

(a) Photoplethysmography

(b) Ultrasonic Pulse Wave

Fig.3 Time Course of Pulse Wave

Fig.4 Effect of Incidence Light Wavelengths on Reflected Light Intensity

Fig.5 Analysis Result of Reflected Light Intensity

参考文献

- 大田 慎一郎, 安田利貴, 斉藤俊: 動脈の力学指標の提案, 日本機械学会論文集(掲載決定), 2008