

光電脈波センサを用いた立位時 PWV 推定に関する研究

Study on Estimation of PWV during standing using photoplethysmographic sensor

○ 西巻 祐, 前田 祐佳, 水谷 孝一, 若槻 尚斗 (筑波大)

Yu NISHIMAKI, Yuka MAEDA, Koichi MIZUTANI, and Naoto WAKATSUKI, University of Tsukuba

**Abstract:** Measuring pulse wave velocity (PWV) is used as one of the indices of arteriosclerosis. If it can be measured continuously, illness can be found and diagnosed in an early stage. The measurement in a standing position would help to realize measurement of PWV continuously. Pulse transit time (PTT) is changed by position change and we focused on PTT and pulse arrival time (PAT) which is time from R-wave to pulse wave. For ten subjects, we measured pulse wave and electrocardiogram (ECG) for 20 second after 5 minute in a dorsal position and a standing position. In order to detect the differences from two positions, we calculated PAT of finger and toe and compared them. As the results, there was a significant difference in PAT of toe between two positions but a similar tendency was not shown in PAT of finger. We performed a regression analysis to approximate finger PAT of a standing position to that of a dorsal position. As the result,  $R^2$  of the regression line was 0.798 and it was significant. These results suggested that PWV in a dorsal position could estimate from PAT of finger in a standing position.

**Key Words:** Pulse Wave Velocity, Standing Position, Pulse Transit Time, Pulse Arrival Time

1. 序論

現在、血管の老化あるいは動脈硬化の指標の一つとして脈波伝搬速度 (Pulse Wave Velocity, PWV) が利用されている<sup>(1)</sup>。脈波とは心臓の拍動による血液の容積変化をとらえたもので、PWVは体表面の異なる2点で脈波を集録し、その2点の時間差と2点間の距離から計測される<sup>(2)</sup>。柔軟な血管の場合、心臓から押し出された血液により生じた拍動は血管壁が吸収しながら伝わるため伝搬時間が長くなるが、動脈硬化が進行した場合は血管の柔軟性がなくなり拍動を吸収できずに伝わるため、伝搬時間は短くなる。この原理からPWVが動脈硬化の指標とされている。PWVは2点の選び方によって数種類あるが<sup>(2)</sup>、現在日本で広く行われている標準的な計測方法はbaPWV (brachial-ankle PWV) 計測によるものである。これは、上腕と足首に圧電カフを巻く方法で、計測に要する時間も短く、計測手技も簡便である。しかし、計測するにはbaPWV計測装置のある病院に来院し、安静仰臥位にて計測する必要があるため日常的に計測するのは困難な現状にある。そこで、指先から簡便に計測可能な光電脈波によるPWV計測<sup>(3)</sup>に着目し、Fig.1のように立位によるPWVの測定値より仰臥位での測定値への補正を試みた。立位での計測が実現すれば体重計などの装置に組み込むことができ、日常の動作の中でPWV計測を行うことができる。また、計測を頻繁に行い続けることで病気や動脈硬化などのモニタリングを日常的に可能となり、PWVの日々の計測からその変動や異常値が検出されれば、早期診断を促し、より早い対策をとることが可能となる。本研究では、立位によるPWV計測の実現に向け脈波センサを手指および足指に取り付け仰臥位と立位の脈波をそれぞれ集録し、立位のPWVから仰臥位のPWVへの推定を行った。

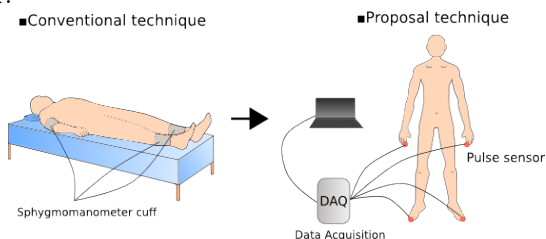


Fig.1 Conventional technique and Proposal technique

2. 計測手法

baPWVは、式(1)に示すように心臓からそれぞれの点までの距離の差を、拍動がそれぞれの点に伝わる伝搬時間 (Pulse Transit Time, PTT) の差で除したものである。L<sub>a</sub>は心臓から足首まで、L<sub>b</sub>は心臓から上腕までの血管長を表している。これらの血管長は推定式を用いて身長から算出されているため<sup>(4)</sup>、仰臥位から立位になることでPWVに大きく影響するのはPTTであると考えられる。本研究では計測部位の上腕と足首を、それぞれ手の指先と足の甲に置き換え、光電脈波センサを用いて脈波を集録し、PTTの変化を検証した。また、baPWV計測で用いるPTTはFig.2に示す①の時間であるが、体位の変化が手脈波と足脈波に与える影響を識別することができないため、本研究では心電図を同時に計測しR波とそれぞれの脈波のPTTを算出し体位の変化がそれぞれの計測部位に与える影響を調べた。一般に、R波と脈波の伝搬時間をPAT (Pulse Arrival Time, PAT) と呼ばれ、以下Fig.2に示す②と③の時間をそれぞれPAT<sub>finger</sub>、PAT<sub>toe</sub>と表記する。

$$baPWV = \frac{L_a - L_b}{PTT} \tag{1}$$

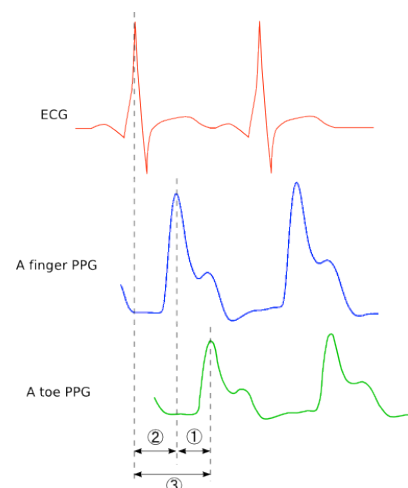


Fig.2 Pulse Transit Time and Pulse Arrival Time

3. 実験

健康成人男性 10 名 (23±1.0 歳, 176±10.0 cm, 60±7.0 kg) を対象に実験を行った. Fig.3 に示す脈波センサ (SEN-11574, sparkfun) を被験者の右中指指尖部と右の足甲にそれぞれ取り付け, 立位で 5 分間安静にした後に 20 秒間脈波を計測した. 同様に, 仰臥位で 5 分間安静後も 20 秒間脈波を計測し, この過程を 3 回繰り返し行った. 一般に, 姿勢変換により重力の影響で血圧変動が起こるが, その後血圧の調節が体内で行われ, その姿勢における定常状態に戻ると言われている<sup>(5)</sup>. 田原らは姿勢変換後の血圧測定は 3 分後以降に行うことが望ましいとしている<sup>(6)</sup>ため, 本実験においては安静時間を 5 分とした. 脈波の集録はサンプリング周波数 1200 Hz で計測した. 脈波集録後, それぞれの体位における PAT<sub>finger</sub> と PAT<sub>toe</sub> を算出した. Fig.4 は実験の様子である.

4. 結果

2 つの PAT の変動の典型例をある被験者の実験結果を元に Table.1 に示す. 被験者全員の結果も同様に, 体位の変化により PAT<sub>toe</sub> は値が大きくなり, PAT<sub>finger</sub> は体位の変化の影響をあまり受けないことがわかった.

次に, 計測回数ごとに被験者全員の PAT<sub>finger</sub> と PAT<sub>toe</sub> の平均とその偏差を求めた結果を Fig.5,6 に示す. 体位の変化による 2 つの PAT の有意差を検証するため対応のある t 検定を行った結果, PAT<sub>toe</sub> は p<0.0001 となり, 有意差が示されたが, PAT<sub>finger</sub> は p=0.34 (>0.05) となり, 有意差はないことが示された.

また, 被験者全員の 1 回目の計測結果を元に, PAT<sub>finger</sub> と PAT<sub>toe</sub> それぞれの体位変化による相関を求めたグラフを Fig.7,8 に示す. Fig.7,8 に示すように, PAT<sub>toe</sub> は相関が低いのに対し PAT<sub>finger</sub> の相関係数は R=0.798 となり高い相関があることを示し, その結果から立位から仰臥位の PAT<sub>finger</sub> 推定式は式(2)のようになった.

$$y = 0.8141x + 0.0602 \quad (2)$$

1 回目の計測結果より求めた推定式から 2 回目と 3 回目に得られた立位から仰臥位の 2 つの PTT を推定し実際の値との誤差率を求めたものを Table.2 に示す.



Fig.3 Pulse sensor (SEN-11574, sparkfun)



Fig.4 Situation of experiment on dorsal position

5. 考察

PWV は血圧の影響を非常に受けるとされており<sup>(7)</sup>, 体位の変化により 2 点とも計測部位の PTT が変化することが予想されたが, Table.1 に示したように体位の変化により PAT<sub>toe</sub> は値が大きく変化しているのに対して, PAT<sub>finger</sub> での変化が少ないことが示された.

**Table.1 The results of certain subject**

	PAT <sub>finger</sub> [s]		PAT <sub>toe</sub> [s]	
	立位	仰臥位	立位	仰臥位
1 回目	0.2984	0.3026	0.3758	0.4370
2 回目	0.2988	0.3040	0.3725	0.4647
3 回目	0.3013	0.3087	0.3729	0.4467

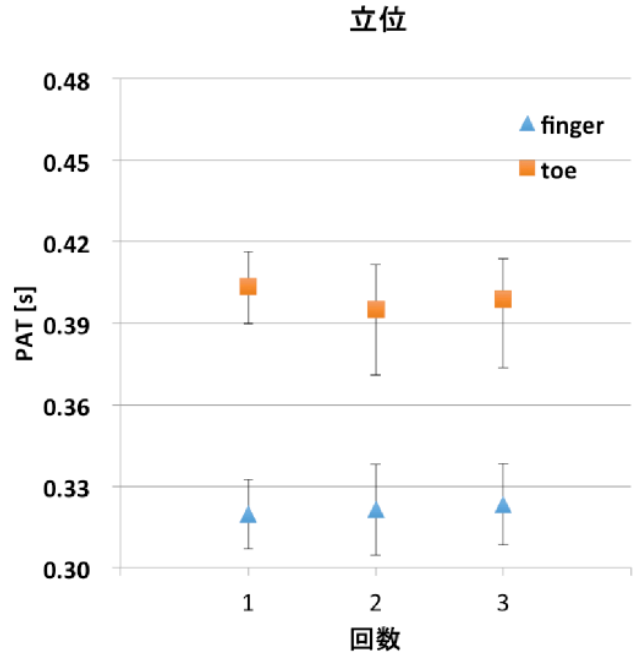


Fig.5 The Average PAT<sub>f</sub> and PAT<sub>t</sub> on standing position

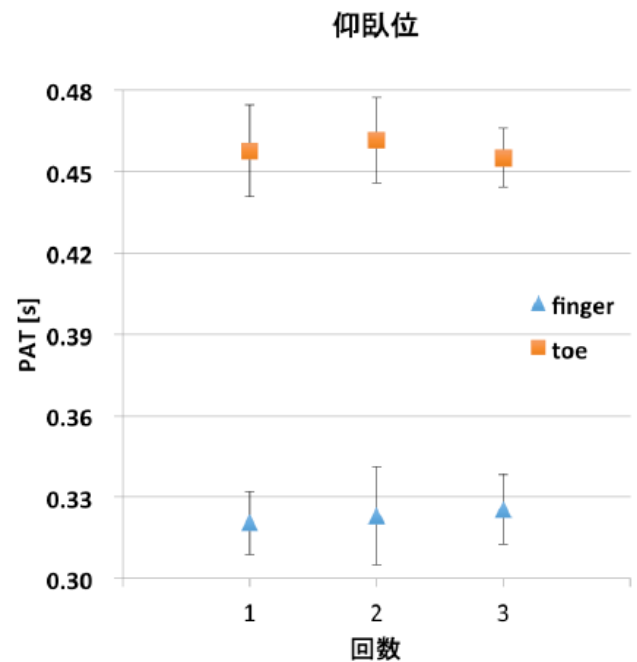


Fig.6 The Average PAT<sub>f</sub> and PAT<sub>t</sub> on dorsal position

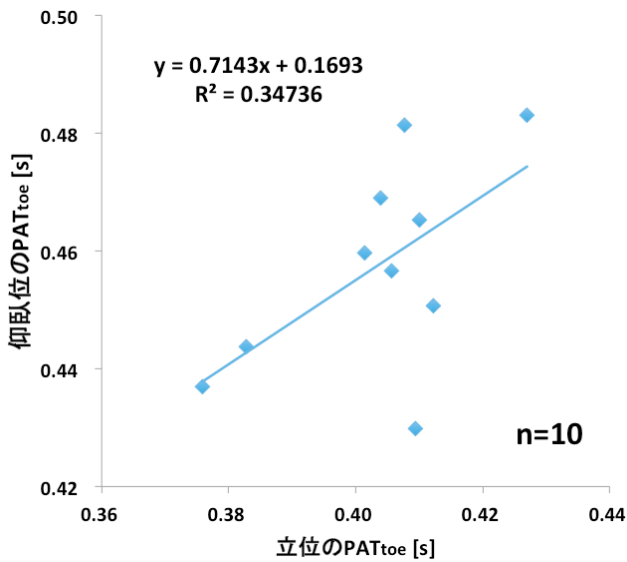


Fig.7 Regression lines from PAT<sub>toe</sub> on standing and PAT<sub>toe</sub> on dorsal

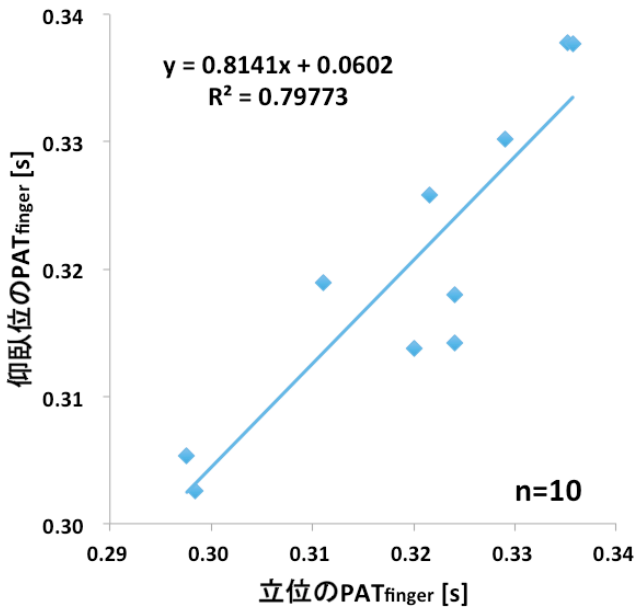


Fig.8 Regression lines from PAT<sub>finger</sub> on standing and PAT<sub>finger</sub> on dorsal

Table.2 The error rates of twice and third times

	2回目	3回目
PAT <sub>finger</sub>	2.9±1.8%	2.5±1.5%
PAT <sub>toe</sub>	1.2±4.2%	5.3±3.7%

一般に、計測部位の血圧は心臓よりも低い位置にあればあるほど重力の影響を受けて血圧が高くなるため、足の血圧の方が体位の変化により大きく影響を受ける<sup>(5)</sup>。一方、手指先の血圧も立位時には変化しているはずだが、足の血圧よりもその影響が少ないと考えられるため今回のような結果になったと考えられる。また、心電図も同時に計測することで、体位の変化がそれぞれの計測部位に与える影響を検証することができ、これにより立位時の計測で仰臥位のPWVを推定するにはR波と手脈波を計測してPAT<sub>finger</sub>

を求めれば仰臥位のPWVを推定可能であると考えられる。また、Fig.6に示す本実験の1回目に行った結果の相関係数はR=0.798となり、有意な推定式であることが示された。この推定式によって2回目と3回目の仰臥位のPAT<sub>finger</sub>を求めた結果、誤差率は平均2.7%となり立位時の計測から仰臥位のPAT<sub>finger</sub>を推定することが可能であることが示唆された。

6. まとめ

本研究では、立位でのPWV計測を可能にするために、立位で計測したPWVから仰臥位で計測したPWVを推定することを目的とし実験を行った。本実験では、立位と仰臥位でそれぞれ安静後に手足の脈波と心電図を同時に計測し、体位の変化が手脈波と足脈波に与えている影響を検証した。R波と手脈波の伝搬時間をPAT<sub>finger</sub>、R波と足脈波の伝搬時間をPAT<sub>toe</sub>と表記し、実験の結果PAT<sub>toe</sub>は体位の変化の影響を受けるのに対し、PAT<sub>finger</sub>は影響をあまり受けないことがわかった。このことから、仰臥位のPWV推定にはR波と手脈波を計測しPAT<sub>finger</sub>を用いることで推定可能であることが示唆された。実際に被験者全員のデータを元に相関係数を求めたところR=0.798となり、仰臥位のPWVを推定したところ誤差率は平均2.7%となり、以上の結果から、本研究により、立位におけるPWV計測が可能であることが示唆された。

参考文献

- (1) 山科章:PWV—動脈硬化の新たな指標, Arterial Stiffness, No.11-(909)
- (2) 宗像正徳:「PWVを知るPWVを診る」, 中山書店, 2006, p.38
- (3) An-Bang, L., Po-Chun, H., Zong-Li, C., Hsien-Tsai, W., “Measuring pulse wave velocity using ECG and photoplethysmography”, Journal of Medical Systems, Vol. 35, No. 5 (2011), pp. 771-777.
- (4) 小澤利男, 増田義昭, “脈波速度”, メジカルビュー社, 東京, 2002
- (5) 焼廣益秀, 二宮石雄: 循環調節, 二宮石雄, 安藤啓司, 彼末一之, 松川寛二編, スタンダード生理学, 初版, 文光堂, 東京, 162-174, 2002.
- (6) 田原康玄, 小原克彦, 大西美智恵, 植木章三, 矢野宏光, 山本善邦, 伊賀瀬道也, 山縣英久, 名倉潤, 三木哲郎: 老年者の起立性血圧変化 測定時間の影響. 日本老年医学会雑誌, 39(2), 193-196, 2002.
- (7) Yamashina A, et al. Nomogram of the relation of brachial-ankle pulse wave velocity with blood pressure. Hypertens Res 2003;26:801-6.