

立位時の脈波伝播時間差を用いた PWV 計測の推定

Estimation of PWV measurement using pulse transit time in a standing position

○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 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. In order to realize measurement of PWV continuously, it is desirable to measure possible not in a dorsal position like before but in a standing position. In a standing position, pulse transit time is changed and we focused on PTT. For six subjects, we first measured PTT by the dorsal position for 5 minutes and by the standing position for 5 minutes. In order to detect PTT of two pulse waves, we used three methods: rising point, peak point, cross correlation. Detecting PTT in a standing position by these methods, we performed a regression analysis to approximate PTT of a standing position to of a dorsal position. As the result, R^2 of the regression line was 0.80 and it was significant.

Key Words: Pulse Wave Velocity, Standing Position, Pulse Transit Time, Regression Analysis

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播速度 (Pulse Wave Velocity, PWV) が利用されている。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⁽¹⁾。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, 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, 計測手技も簡便なことから, 計測を頻繁に行い続けて病気などのモニタリングを日常的に可能となる。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。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⁽²⁾に着目し, Fig. 1 のように動脈硬化のモニタリングの実現には立位による PWV 計測を実現する必要があると考えた。本研究では, 立位による PWV 計測を可能にするために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 PTT から仰臥位の PTT への推定を行った。

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の差 (Pulse Transit Time, PTT) で除したものである。 L_a は心臓から足首まで, L_b 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

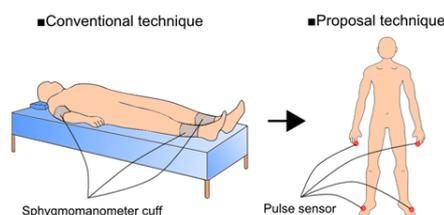


Fig. 1 Conventional technique and Proposal technique

$$\text{baPWV} = \frac{L_a - L_b}{\text{PTT}} \quad (1)$$

め⁽³⁾, 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。従来法では, 反射波の影響を受けないとされているために, PTT を波形の立ち上がり点によって算出している⁽⁴⁾。しかし, 立位時の足裏脈波の計測は, 重心動揺によって波形が変化することで正確な波形を出すのが困難になるため, 波形の誤った点を立ち上がり点としてしまうなど同定が困難になる。そこで本研究では, 立位で計測した 2 点の脈波の PTT を Fig. 2 に示す (i) 立ち上がり点, (ii) ピーク点, (iii) 相互相関法の 3 つの方法で算出し, 一定の計測時間内で最も PTT 値の変動が小さい方法を選択した。その方法によって算出した立位と仰臥位の PTT を回帰分析し, 立位の PTT を仰臥位の PTT へ近似した。さらに, その方法によって算出した仰臥位の PTT を従来法で求めた PTT への回帰直線を導出した。立位で計測した PTT を仰臥位で計測したものに近似できれば仰臥位の PTT を推定することができる。

3. 実験

健康成人男性 6 名 (23±1.0 歳, 176±10.0 cm, 65±7.0 kg) を対象に実験を行った。被験者にベッドの上で仰臥位にて安静にさせた後, Fig. 3 に示す脈波センサ (SEN-11574, sparkfun) を左手の指先および左足の指先に取り付け, 仰臥位 (5 分間), 立位 (5 分間) の順に移行を指示し, 計 10 分間 2 点の脈波をサンプリング周波数 1200 Hz で計測した。求めた PTT は 10 秒ごとに平均を求め, 5 分間の PTT より変動係数を算出し, 各体位および各手法での変動を検証した。また, 算出した全ての PTT の平均を平均 PTT とした。

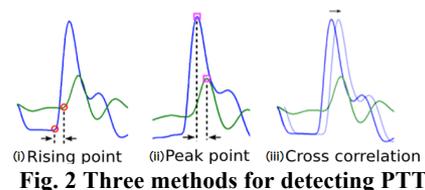


Fig. 2 Three methods for detecting PTT

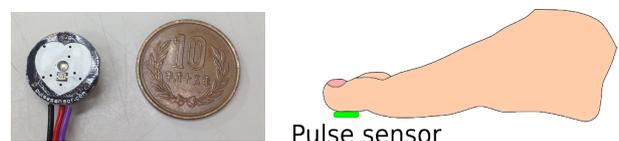


Fig. 3 Pulse sensor and measurement of toe pulse wave

Table 1 Average PTT and coefficient of variation by three methods

	平均 PTT [s]		変動係数	
	仰臥位	立位	仰臥位	立位
立ち上がり点	0.12±0.02	0.07±0.03	0.06±0.04	0.16±0.11
ピーク点	0.15±0.03	0.11±0.04	0.04±0.02	0.33±0.36
相互相関法	0.15±0.03	0.09±0.03	0.03±0.02	0.04±0.03

Table 2 Correlation coefficient of PTT by three methods

	相関係数 R^2
立ち上がり点	0.68
ピーク点	0.36
相互相関法	0.87

本研究は当該倫理委員会の承認を得た後、全ての被験者に実験の内容および主旨に関する十分な説明の上、同意を得て実施した。

4. 結果

4-1 被験者の総データ

2つの体位で計測した被験者全員の平均 PTT と計測時間内の変動係数をまとめた結果を Table 1 に示す。網掛けされている値が従来法によるものである。Table 2 では、3つの手法の立位とそれに対応する手法の仰臥位の PTT に回帰分析を行い、相関の程度を示す R^2 を求めた。 R^2 の値から相互相関法を用いた仰臥位と立位相関が最も強いことが示された。

4-2 回帰分析

4-1 より、立位時の PTT 算出には相互相関法を選択した。本実験では、まず(a)立位で相互相関法を用いた PTT を(b)仰臥位で相互相関法を用いた PTT に近似し、それを(c)仰臥位で立ち上がり点を用いた従来法による PTT に近似し、本来の値との誤差を検証した。Fig. 4 に(a)から(b)への回帰直線と(b)から(c)への回帰直線を示す。2つの回帰直線を用いて、立位の相互相関法による PTT から従来法への回帰直線は式(2)になった。

$$y = 0.6023x + 0.054 \quad (2)$$

Table 3 では式(2)の回帰直線によって立位の PTT から算出した仰臥位の PTT と従来法による PTT との誤差率を求めた。相関係数は $R^2=0.80$ となった。

5. 考察

Table 1 から立ち上がり点で算出した PTT のみ反射波の影響を受けないため他の手法より値が小さくなっていることが示された。また、立位で計測した PTT が仰臥位で計測した PTT より小さい値であることが確認できる。これは立位になり重力の影響を受けることで計測点の血圧が変化したことが原因の一つであると考えられる。Table 1 に示すように、立位時で最も変動が小さい手法は相互相関法であった。前述のように、立位時の脈波計測は困難なため、立ち上がり点による変動係数が大きくなったと考えられる。相互相関法では、10秒間ずつ相互相関を行っているため、立位により波形が歪んだとしても、影響が小さかったことが考えられる。

また、本実験の回帰分析による式(2)の相関係数が $R^2=0.80$ となり、有意な回帰直線であることが示された。誤差率も最も高いもので 12.71%であったため、立位による PWV 計測

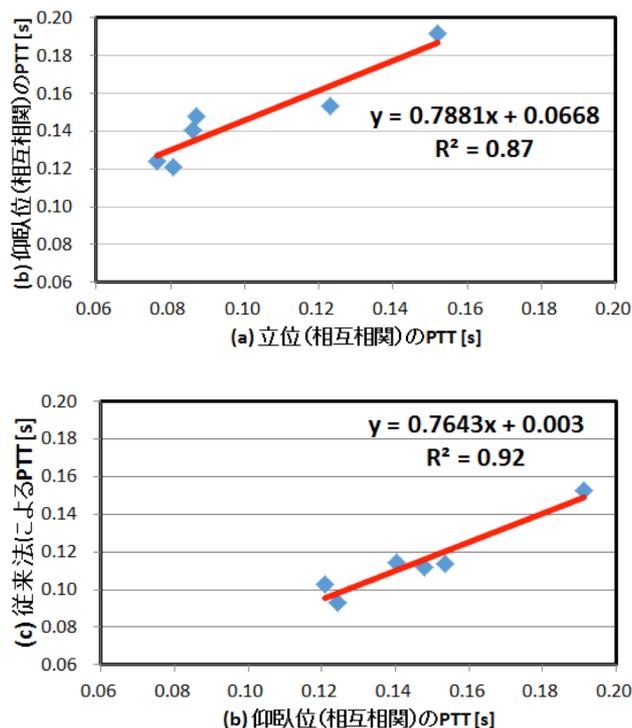


Fig. 4 Regression lines from (a) to (b) and from (b) to (c)

Table 3 Error rate

	A	B	C	D	E	F
誤差率[%]	4.64	0.05	12.71	7.48	7.34	5.00

を仰臥位による PWV 計測に近似することは十分に可能であることが示唆された。

6. まとめ

本研究では、立位による PWV 計測を可能にするために脈波センサを手指と足指に取り付け仰臥位と立位の脈波をそれぞれ集録し、回帰分析を行った。立位で計測した2点の脈波の PTT を(i)立ち上がり点、(ii)ピーク点、(iii)相互相関法の3つの方法で算出し、一定の計測時間内で最も PTT 値の変動が少なく、かつそれぞれの手法で仰臥位と立位の PTT の相関係数が大きい手法は相互相関法であることが結果より示された。相互相関法によって算出した立位と仰臥位の PTT を回帰分析し、それにより立位から算出した仰臥位の PTT を従来法で求めた PTT への回帰直線を導出した。得られた回帰直線の相関係数は $R^2=0.80$ で有意であることがわかり、誤差率も高いもので 12.71%となった。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)宗像正徳:「PWVを知るPWVを診る」, 中山書店, 2006, p.38
 (2) 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.
 (3)小澤利男, 増田義昭, "脈波速度", メジカルビュー社, 東京, 2002