

## 荷物移動動作時の中大脳動脈血流波形

### Blood velocity waveforms in the middle cerebral artery under posture change and lifting.

松尾崇(神奈川工大) 渡辺紳一(同) 反町睦(同) 北村亨(同) 古川優(アロン化成) 高橋龍尚(旭川医大)

Takashi MATSUO, Shin-ichi WATANABE, Mutsumi SORIMACHI, Tohru KITAMURA;  
Kanagawa Institute of Technology.  
Suguru FURUKAWA; ARON Kasei Co. Ltd.  
Tatsuhisa TAKAHASHI; Asahikawa Medical University.

**Abstract:** By using the ultrasound Doppler method the velocity waveforms in the middle cerebral artery were measured under four posture changes, supine  $\leftrightarrow$  standing and sitting  $\leftrightarrow$  standing, as well as lifting a weight of 98 N. The velocity waveforms were found to be markedly changed under posture change, especially under supine  $\rightarrow$  standing. Hemodynamic analysis of velocity profiles showed that velocity fluctuation and resistance index, which is known to be a good index of atherosclerosis in distal vessels, were also varied considerably under posture change and lifting.

**Keyword:** Blood Flow, Ultrasound Doppler, Middle Cerebral Artery, Posture Change, Lifting.

#### 1. 緒言

脳底部に存在するウィリス動脈輪は、太い動脈どうしに繋がりのある血管である。この動脈輪は脳への血流量を補償する血管構造であると考えられているが、動脈硬化や動脈瘤など血管病変の発生しやすい部位でもある。よって、脳血管病変の発生には血流が密接に関連していると考えられ、血流と血管病変との関連の研究は、医学と工学にまたがる大きなテーマとして発展してきた。工学的なモデル実験や数値シミュレーションの結果は、初期条件(流速波形)に大きく影響されると考えられる。しかし理想的な正弦曲線と仮定したり、手術時や安静時のデータを参照している研究が多い。

いっぽう、超音波による脳血管内血流測定は臨床では広く行われており、それらをまとめた本も出版されている<sup>(1)</sup>。しかし臨床や基礎医学研究では、安静時や手術時のデータ取得に重点がおかれている。我々は日常さまざまな活動を行い、また環境変化の影響を受けて生活している。これらは、心臓血管系のはたらきに変化を起し、脳血流に影響を及ぼすと考えられるが、活動時における脳血流のデータや知見は十分とは言えない。このことから、我々は動作中の人を対象とする測定に取り組んできた<sup>(2)(3)</sup>。

本研究では、脳血管内の血流特性の理解を深めることを目的として、姿勢変換および作業時に中大脳動脈血流波形を測定した。得られた血流波形の血行力学的な解析を行い、活動時の脳血液循環の特性について考察を行った。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 姿勢変換での測定

被験者は22歳~24歳の健常男子大学生7名とし、超音波ドップラー血流計を用いて、中大脳動脈(Middle Cerebral Artery: MCA)の流速波形を測定した。被験者には椅座位でプローブのついたヘッドギアを装着した。仰臥位(椅座位)で5分間の安静状態をとった後に測定を開始した。測定は経時的に、仰臥位(椅座位)で1分間、立位へと姿勢を変えて5分間、再び仰臥位(椅座位)へと姿勢を変えて5分間行った。姿勢変換は合図に従って被験者が能動的に、危険のない程度の速さで行った。姿勢変換の所要時間は、仰臥位 $\leftrightarrow$ 立位で3秒程度、椅座位 $\leftrightarrow$ 立位で1秒程度である。

##### 2.2 荷物持ち上げ時の測定

実験は、22-25歳の健常男子大学生7名を対象とした。

被験者には、立位安静3分、その後しゃがみ、続いて立位になり、その立位姿勢を1分間保持する動作を行ってもらった。この動作中、立位になるとき荷物を持つ場合と持たない場合について測定し、結果を比較した。荷物は98Nのものを使用した。

#### 3. 姿勢変換の結果および考察

##### 3.1 血流波形

Figure1には仰臥位から立位への姿勢変換における、被験者1名の血流波形を示してある。

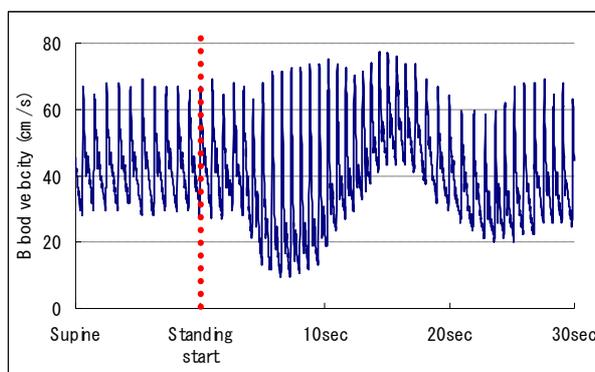


Fig.1 Velocity waveforms in the MCA during posture change [supine $\rightarrow$ standing].

血流速度の最高値である収縮期血流速度(Maximal systolic speed[cm/s])はあまり変化せず、血流速度の最低値である拡張期血流速度(Maximal diastolic speed[cm/s])が大きく変化した。平均血流速度(Mean maximal speed[cm/s])は拡張期血流速度と同様の傾向を示した。また、1心拍周期にも変化があった。なお、血流波形の変化は姿勢変換後30秒間に顕著に現れ、それ以降大きな変化はなかった。

##### 3.2 血流速度

Figure2には仰臥位から立位への姿勢変換における、被験者7名の血流速度の平均を示してある。

収縮期血流速度は、立位開始約18秒後に上昇が見られたが、全体を通して大きな変化はなかった。拡張期および平

均血流速度は、起立後まず大きく低下して立位開始約9秒後に最低値を示した。その後上昇して、拡張期血流速度は立位開始約17秒後に、平均血流速度は立位開始約18秒後に最高値を示した。その後低下して、立位開始約25秒後からは上昇と低下を繰り返してゆるやかに仰臥位時の値に近づいた

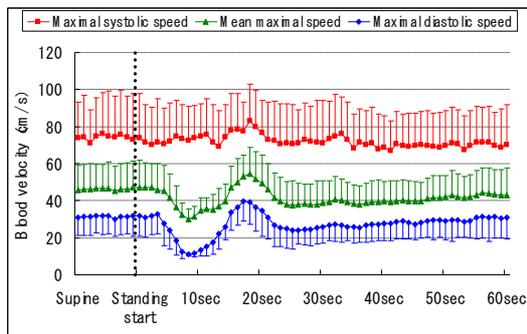


Fig.2 Blood velocity (cm/s) in the MCA during posture change [supine→standing].

3.3 瞬時心拍数

1心拍周期から瞬時心拍数*iHR* (Instantaneous heart rate [beats/min]) を算出した。Figure3には仰臥位から立位への姿勢変換における、被験者7名の瞬時心拍数の平均を示してある。

瞬時心拍数は、立位開始直後から上昇して立位開始約16秒後に最高値を示した。その後低下して、立位開始約23秒後以降は再びゆるやかに上昇した。立位開始後は常に仰臥位時よりも高い値を示した。

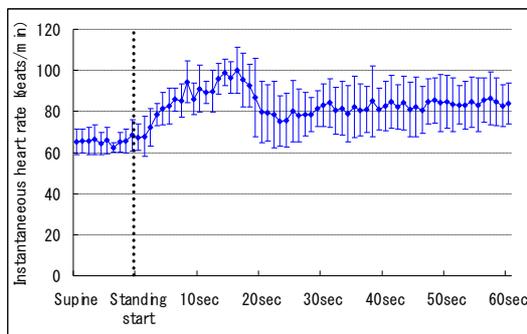


Fig.3 Instantaneous heart rate (beats/min) during posture change [supine→standing].

3.4 血流量

中大脳動脈の1分間あたりの血流量*F* [ $cm^3/min$ ]および、中大脳動脈の1心拍あたりの血流量*FP* [ $cm^3/pulse$ ]は、下記の式で算出できる。

$$F = f \times A \dots\dots\dots (1)$$

$$f = V_m \times 60 \dots\dots\dots (2)$$

$$FP = f \times A \dots\dots\dots (3)$$

$$fp = \frac{V_m \times 60}{iHR} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、*A* : 中大脳動脈の断面積 [ $cm^2$ ]、*V<sub>m</sub>* : 平均血流速度[cm/s]、*iHR* : 瞬時心拍数[beats/min]、*f* : 血流量指数 (flow index) *fp* : 血流量指数 (pulse flow index) である。中大脳動脈の断面積*A*は、姿勢変換時には変化しないと報告されている<sup>1)</sup>。よって、中大脳動脈の1分間あたりの血流量*F*は血流量指数*f*に比例すると考えられる。ま

た、中大脳動脈の1心拍あたりの血流量*FP*は血流量指数*fp*に比例すると考えられる。Figure4には、仰臥位から立位への姿勢変換における、被験者7名の血流量指数*f*および血流量指数*fp*の平均を示してある。血流量指数*f*の経時的な変化は、平均血流速度の変化と同様の傾向を示した(詳細は3.2血流速度を参照)。

血流量指数*fp*は、立位開始直後から低下して立位開始約8秒後に最低値を示した。その後、立位開始約20秒後まで上昇し、再び低下した。立位開始約25秒後以降は再びゆるやかに上昇した。なお、立位開始後は常に仰臥位時よりも低い値を示した。

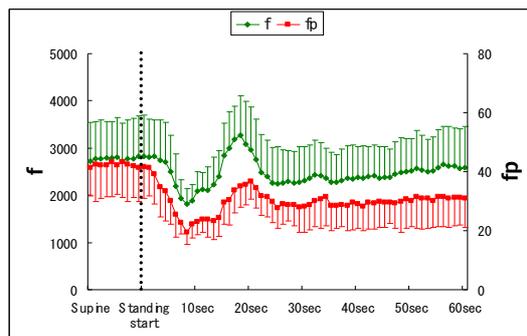


Fig.4 Flow index (*f*), pulse flow index (*fp*), during posture change [supine→standing].

3.5 流速変動度および抵抗指数

流速変動度 (*VF* : Velocity fluctuation) は平均血流速度を基準として、流速にどの程度変動があるかを表わす。また、抵抗指数 (*RI* : Resistance index) は、変動する流れと定常的に流れている血流の比率を表わす。姿勢変換が脳血流に与える影響を力学的に調べるために、両者を算出した。

$$VF = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V_m)^2}{n}} \dots\dots\dots (5)$$

$$RI = \frac{V_s - V_d}{V_s} = 1 - \left(\frac{V_d}{V_s}\right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、*V<sub>i</sub>* : 時間*t<sub>i</sub>*のときの流速[cm/s]、*V<sub>m</sub>* : 平均血流速度[cm/s]、*n* : 1心拍あたりのサンプリングデータ数、*V<sub>s</sub>* : 収縮期血流速度[cm/s]、*V<sub>d</sub>* : 拡張期血流速度[cm/s]である。Figure5には、仰臥位から立位への姿勢変換における、被験者7名の流速変動度*VF*および抵抗指数*RI*の平均を示してある。

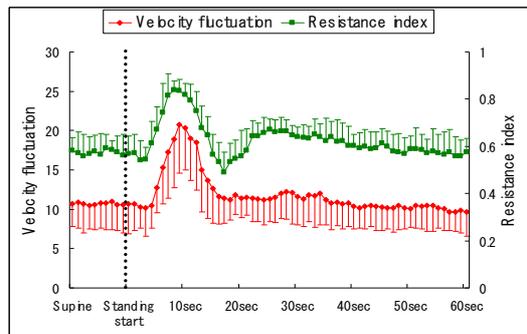


Fig.5 Velocity fluctuation, resistance index during posture change [supine→standing].

流速変動度は、立位開始約9秒後に最高値を示すまで急激に上昇した後、急激に低下した。その後、立位開始約18秒後以降はゆるやかに低下した。流速変動度は最高値で仰臥位時の2倍の値となった。

抵抗指数は、立位開始直後に若干低下した後、大きく上昇して立位開始約8秒後に最高値を示した。その後、低下して立位開始約17秒後に最低値を示した。その後、立位開始約25秒後まで再び上昇し、それ以降はゆるやかに低下して仰臥位時の値に近づいていった。抵抗指数は最高値で、仰臥位時の1.5倍の値となった。

#### 4. 荷物持ち上げ時の結果

##### 4.1 血流波形

Figure 6は被験者1名の血流波形を表している。立位安静からしゃがみ、その後荷物を持って立ち上がる動作をしたときの結果である。収縮期血流速度は、動作開始直後やや減少し、約4秒後から上昇する傾向を示した。拡張期速度は、運動開始後5秒あたりから急激に下がり、10秒あたりまで下がり続けた。しかし、その後は緩やかに上昇した。この傾向は、座位—立位変換、仰臥位—立位変換時とよく似ている。

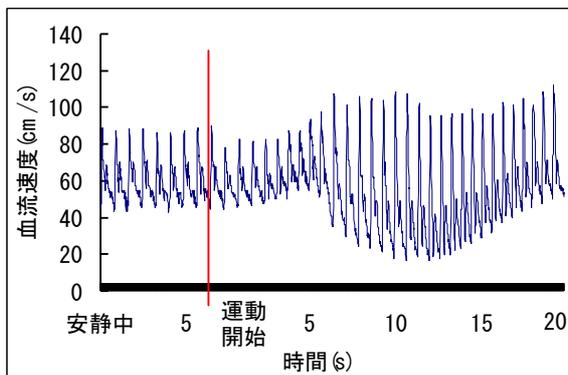


Fig.6 Velocity waveforms in the MCA during squat followed by lifting.

##### 4.2 血流速度の変化の結果

Figure 7に被験者7名の平均の血流速度を計算した結果を示してある。これは動作開始から20秒間の血流速度の平均値を示している。収縮期血流速度、拡張期血流速度、平均血流速度すべて、荷物有りの場合が有意に速くなることを示している。

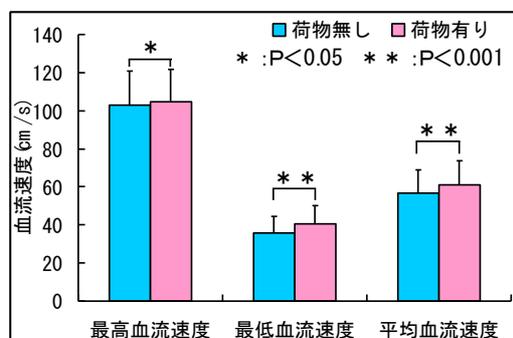


Fig.7 Comparison of blood velocity between posture change and lifting.

##### 4.3 瞬時心拍数の変化について

瞬時心拍数を血流波形から求め、被験者について平均を

とった。その結果、しゃがみこんだ時点で瞬時心拍数が減少し、立位になると増加するという傾向がみられた。荷物有りとなしで比較した結果、瞬時心拍数は、荷物有りの方が多くなる(心拍は速くなる)という結果が得られた。荷物の負荷が影響することが明らかになった。

#### 5. 結言

本研究では、4種類の姿勢変換、および荷物持ち上げ動作において中大脳動脈血流波形の瞬間的な変化を測定することができた。その結果は次のようにまとめられる。

- (1) 姿勢変換においては、収縮期血流速度はあまり変化せず、拡張期血流速度が大きく変化する。
- (2) 血流波形の変化は姿勢変換後30秒間に顕著に現れ、それ以降大きな変化はなくなる。
- (3) 瞬時心拍数は姿勢ごとに異なる。
- (4) 姿勢変換によって血流量・流速変動度・抵抗指数は大きく変化する。
- (5) 立位→しゃがみ→立位の体位変換中に、98Nの荷物を持つ場合には、持たない場合に比較して血流速度も心拍数も増加することが分かった。

#### 6. 参考文献

- (1) Reutern G-M. and Budingen H-J.: Ultrasound Diagnosis of Cerebrovascular Disease, Georg Thieme Verlag, 1993.
- (2) T. Matsuo, S. Watanabe, et. al.: Blood flow velocity waveforms in the middle cerebral artery at rest and during exercise. J. Artificial Life and Robotics, vol.16, pp.398-402, 2012.
- (3) S. Watanabe, T. Matsuo, et al.: Comparison of blood flow velocity in the middle cerebral artery between men and women at rest and during exercise, Therapeutic Res. 30(4), pp.537-544, 2009.

[謝辞] 本研究の一部は、科学研究費・基盤研究(C)一般(No.24500479)、および神奈川工科大学・重点配分経費(平成23年度、24年度)の援助により行われた。