

# 大動脈脈波速度に関する臨床検討

三 枝 宏 彰\*

## はじめに

生活の欧米化や人口の高齢化に伴い動脈硬化性病変を有する患者は増加している。そしてそのような患者を麻酔する際には麻酔薬の投与や血管内容量の変化に伴う血圧の変動が大きいということをしばしば経験する。しかし術前に動脈硬化性病変の程度を判定しそのリスクを予想する方法は確立されていない。そこで動脈硬化症の程度と相関があるといわれている大動脈脈波速度を用いて周術期の患者で大動脈脈波速度を測定し、その意義を検討した<sup>1-5)</sup>。大動脈脈波速度の有用性を検討するために、まず大動脈のコンプライアンスと大動脈脈波速度との関係を調べ、そして大動脈脈波速度が速い症例では、体外循環中に血圧変動はどうであるかを調べてみた。

## 方 法

### 1) 対 象

人工血管置換前後での大動脈脈波速度を測定では閉塞性動脈硬化症に対して大動脈大腿動脈バイパス術を施行した患者が2例、腎動脈下腹部大動脈瘤に対してY-グラフト置換術を施行した患者が5例であった。性別では男性5例、女性2例であった。年齢は60~80歳で平均年齢は70.6歳であった。人工血管はすべての症例で壁厚0.6 mmのダクロンを使用した。

大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動に関する測定では、狭心症に対して冠動脈バイパス術を施行した患者が8例であった。性別では男性6例、女性2例であった。年齢は56~72歳で平均年齢は64.5歳であった。

大動脈脈波速度と胸部下行大動脈の短軸像の面積変化率の測定では、冠動脈バイパス術を施行した患者が11例であった。年齢は51~76歳で平均年齢は68.1歳であった。

人工血管置換前後での大動脈脈波速度の測定では、陳旧性心筋梗塞および慢性腎不全を合併している症例が1例、高血圧症が4例（そのうち2例で有意では無い冠動脈狭窄を認めた。）、特に合併症の認められない者は2例であった。大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動に関する測定では、高血圧を合併している症例が7例、高脂血症を合併しているものが4例であった。

大動脈脈波速度と胸部下行大動脈の短軸像の面積変化率の測定では、高血圧を合併している症例が11例、高脂血症を合併しているものが3例、軽度の腎機能障害を合併しているものが2例であった。

### 2) 測定項目および測定時期

大動脈のコンプライアンスと大動脈脈波速度に関する検討は、人工血管置換前後での大動脈脈波速度を測定した。気管内挿管後で執刀前に、循環動態が安定した時期に人工血管置換前の大動脈脈波速度の測定を行った。

人工血管置換後の大動脈脈波速度測定は手術終了後、患者が覚醒する前で循環動態が安定した時期に行なった。また大動脈脈波速度測定と同時に、心拍数、血圧、一回拍出量、ヘマトクリット値を測定した。次に大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動の関係を検討するために、体外循環開始時の血圧低下 (initial hypotension) と大動脈脈波速度の関係を調べた。大動脈脈波速度測定は麻酔導入後、循環動態が安定しているときに行い、その後同一患者で体外循環開始時の最低の収縮期血圧を測定した。さらに大動脈の面積変化と大動脈

\*帝京大学医学部附属市原病院麻酔科

脈波速度の関係についても調べるために、大動脈脈波速度測定とともに音響定量法を用いて胸部下行大動脈の短軸像の面積変化率も麻酔導入後で循環動態が安定しているときに同様に測定した。

3) 大動脈脈波速度の測定原理

大動脈脈波速度の測定は、頸動脈、股動脈に脈波センサーを置き、そこでの拍動を検知し脈波を記録する。さらに胸骨右縁第2肋間（大動脈弁領域）に心音センサーを置き心音を記録し、また心電図も同時に記録する。頸動脈で検知した脈波の立ち上がりと股動脈での脈波の立ち上がりの時間差を T とし、頸動脈での脈波のノッチと心音の2音との時間差を Tc とすると大動脈弁口部で発生した脈波が股動脈に達する時間は T+Tc 秒と表される。心音センサーと股動脈においた脈波センサーとの直線距離を AF とすると、実際の動脈は屈曲、蛇行しているので補正值として1.3×AF を実際の動脈長として用いる。そしてこれらを用いると大動脈脈波速度 (PWV) は  $1.3 \times AF / (T + Tc)$

T+Tc と表すことができる (図1)。

4) 麻酔方法とモニタリング

人工血管置換前後での大動脈脈波速度の測定では、手術前日21時より絶飲食とし、手術当日は年齢65歳以下のものでは前投薬としてジアゼパム10mgを手術2時間前に経口投与した。

大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動に関する測定及び大動脈面積変化に関する測定では、手術当日は前投薬としてモルヒネ10mg、およびスコポリアミン0.5mgを手術室入室30分前に筋注した。また術前より常用している循環器系に対する薬物は、術当日も継続とした。

人工血管置換前後での大動脈脈波速度の測定では、麻酔法は4例で全身麻酔と硬膜外麻酔を併用し、3例は全身麻酔のみで手術を行った。硬膜外カテーテルは手術前日に挿入した。

麻酔導入はミダゾラム、フェンタニールで行ない、筋弛緩薬としてベクロニウムを用い気管内挿管した。麻酔の維持は亜酸化窒素、酸素、イソフルランを用い、適宜フェンタニールを追加した。また硬膜外麻酔を併用した症例では人工血管置換後クランプを解除してから、適宜局所麻酔薬を注入した。

大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動に関する測定、及び大動脈脈波速度と胸部下行大動脈の短軸像の面積変化率の測定では、全症例で全身麻酔のみで手術を行った。麻酔導入はミダゾラム、フェンタニールで行い、筋弛緩薬としてバンクロニウム及びベクロニウムを用い気管内挿管した。麻酔の維持は亜酸化窒素、酸素、イソフルランを用い、適宜フェンタニールを追加した。

患者入室後、心電図 (II, V5誘導) をモニターし、橈骨動脈に20G留置針を挿入して観血的動脈圧測定を行った。また、気管内挿管後、右内頸静脈より8.5Fr シースイントロデューサーを挿入し、持続心拍出量測定用肺動脈カテーテルを留置した。さらに経食道心エコープローブを挿入し、術中のモニターとして使用した。

結 果

人工血管置換前後で心拍数は  $57.4 \pm 5.5$  bpm (mean±SD) から  $69 \pm 9.0$  bpm (mean±SD) と増加した。収縮期血圧は人工血管置換前では  $121.4 \pm 21.0$  mmHg (mean±SD) 人工血管置換後

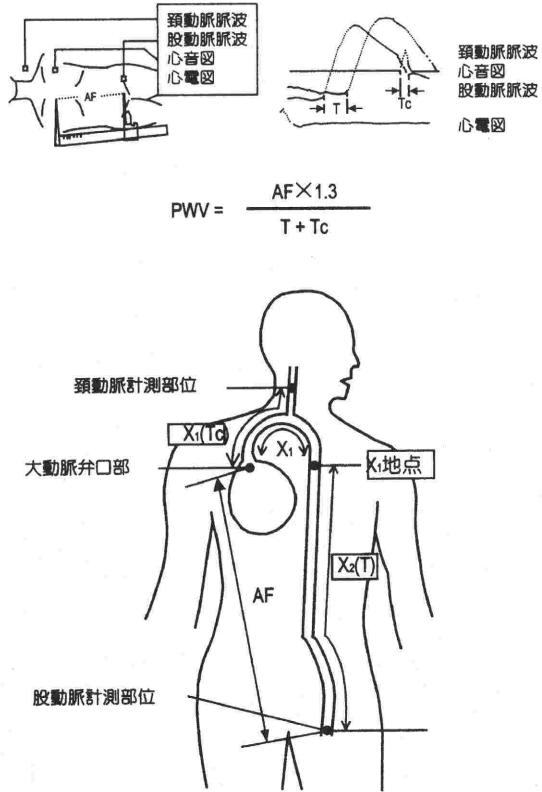


図1 脈波速度計測位置および計測法

では128.0±23.2 mmHg (mean±SD) であり変化は有意ではなかった. 同様に拡張期血圧も人工血管置換前では63.7±12.0 mmHg (mean±SD) 人工血管置換後では64.0±15.2 mmHg (mean±SD) であり変化はなかった. 一回拍出量も同様に人工血管置換前では52.7±8.2 ml (mean±SD) 人工血管置換後では55.0±10.2 ml (mean±SD) であり

有意な変化は認められなかった. ヘマトクリット値も人工血管置換前では31.0±2.4% (mean±SD) 人工血管置換後では31.6±3.4% (mean±SD) であり変化はなかった. 一方, 大動脈脈波速度は人工血管置換前では10.4±2.4 m/s (mean±SD) であったが, 人工血管置換後では13.3±3.0 m/s (mean±SD) と有意に増加した (表1).

大動脈脈波速度と体外循環時の血圧変動に関する測定では, 大動脈脈波速度は6.8~14.7 m/s でその平均は9.3 m/s であった.

体外循環開始時の最低の収縮期血圧は40~66 mmHg でその平均は55.4 mmHg であった. (表2)

大動脈脈波速度と体外循環開始時の最低の収縮期血圧の関係を図2に示す. 縦軸に大動脈脈波速度, 横軸に体外循環開始時の最低の収縮期血圧をとると, 両者に有意な負の相関関係が認められた. 即ち, 血圧の低いものでは, 脈波速度は遅かった.

表2 大動脈脈波速度と体外循環開始時の血圧

	大動脈脈波速度 (m/s)	血圧 (mmHg)
症例1	9.0	53.0
症例2	7.2	66.0
症例3	14.7	40.0
症例4	6.8	66.0
症例5	8.0	54.0
症例6	9.0	58.0
症例7	10.3	46.0
症例8	9.4	60.0
平均	9.3	55.4

表3 大動脈脈波速度と大動脈面積変化率

	大動脈脈波速度 (m/s)	大動脈面積変化率 (%)
症例1	8.3	10.0
症例2	12.7	9.0
症例3	7.0	12.0
症例4	7.0	7.0
症例5	9.9	9.0
症例6	7.3	9.0
症例7	10.4	13.0
症例8	10.8	8.0
症例9	14.7	7.0
症例10	13.0	8.0
症例11	14.0	8.0
平均	10.1	9.5

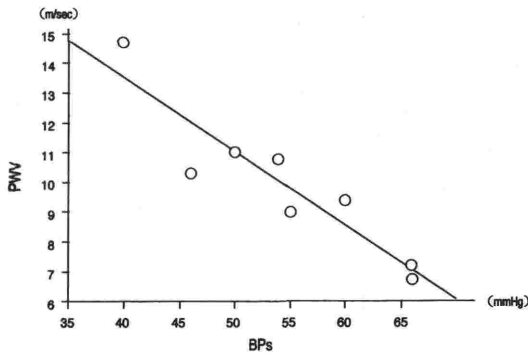


図2 PWVと体外循環時の血圧の関係

表1 グラフト置換前後の循環動態・ヘマトクリット値・脈派速度の変化

	心拍数 (bpm)		収縮期/拡張期血圧 (mmHg)		一回拍出量 (ml)		ヘマトクリット (%)		脈波速度 (m/s)		増加率 (%)
	置換前	置換後	置換前	置換後	置換前	置換後	置換前	置換後	置換前	置換後	
症例1	53.0	55.0	130/59	99/48	47.0	49.0	31.0	29.0	9.6	12.0	25.0
症例2	52.0	82.0	128/59	100/49	47.0	72.0	33.0	30.0	11.6	14.1	21.6
症例3	62.0	74.0	105/56	120/55	66.0	57.0	31.0	38.0	10.5	15.3	45.7
症例4	65.0	71.0	144/62	149/62	43.0	39.0	34.0	31.0	13.9	19.7	41.7
症例5	52.0	63.0	138/84	134/82	56.0	61.0	29.0	28.0	7.0	9.1	30.0
症例6	56.0	64.0	140/76	160/86	58.0	54.0	32.0	34.0	12.4	13.5	8.9
症例7	62.0	75.0	92/50	134/66	47.0	53.0	27.0	31.0	8.3	9.6	15.7
平均±標準偏差	57.4±5.5	69.4±9.0	121.4±21.0/63.7±12.0	128.0±23.2/64.0±15.2	52.0±8.2	55.0±10.2	31.0±2.4	31.6±3.4	10.4±2.4	13.3±3.0	26.9±13.3

(症例1, 2; 閉塞性動脈硬化症 症例3-7; 腹部大動脈瘤)

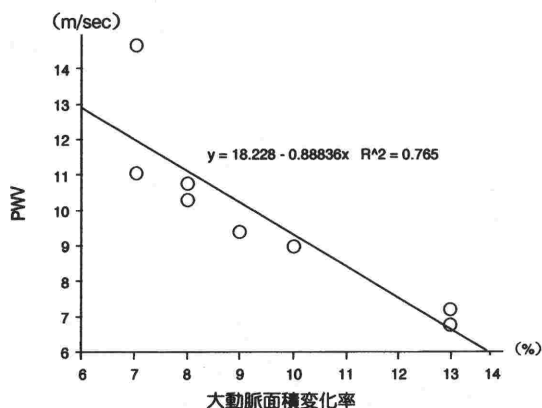


図3 PWVと大動脈面積変化率の関係

胸部下行大動脈の短軸像の面積変化率は7～13%でその平均は9.5%であった(表3)。

大動脈面積変化率と大動脈脈波速度の関係を図3に示す。縦軸に大動脈脈波速度、横軸に大動脈面積変化率をとると、大動脈面積変化率と大動脈脈波速度には有意な負の相関がみられた。

## 考 察

人工血管置換により大動脈脈波速度は全ての症例で増加した。このことは、大動脈をコンプライアンスの低い人工血管で一部置換すると生体の本来の大動脈の性状とは大きく変化することを示している<sup>6)</sup>。

大動脈脈波速度と血管を弾性管と仮定して血管壁の性状の関係を考えると、血管のコンプライアンスは血管のヤング率E、血管の半径r、血管壁厚hを用いると $C = \pi r^2/E (h/2r)$ と表すことができる。

さらに上記のパラメータに加えて血液密度 $\rho$ を用いると脈波伝播速度は $V = \sqrt{\pi r^2 / \rho C}$ と表せる。そして前述の式より脈波伝播速度は $V = \sqrt{Eh / \rho (2r)}$ と導くことができる。この式はMoens-Kortewegの式と呼ばれ脈波伝播速度の研究に一般に用いられている。

手術に使用した人工血管の壁厚は0.6mmと生体の大動脈壁よりも薄いものと考えられる。

人工血管置換術前後で動脈圧にも有意な変化は認められなかったことより、大動脈の半径にも大きな変化はなかったと推測される。さらに人工血管置換術前後でヘマトクリット値に有意な変化は

認められなかった。これらの結果とMoens-Kortewegの式から大動脈脈波速度の変化は大動脈の一部をコンプライアンスの低い人工血管に置換したために生じたと考えられる。

経食道心エコー法を用いた胸部下行大動脈の短軸像における、音響定量法を用いた大動脈の面積変化率と大動脈脈波速度の関係を調べた結果より、コンプライアンスの低い血管では、血管内圧変化が大きく違わなければ拍動に伴う径の変化が小さいと解釈した。このことからコンプライアンスが低い血管では大動脈脈波速度が速くなると推測する。

人工心肺装置を用いて体外循環を開始すると血圧低下が生じるがこれをinitial hypotensionという。Initial hypotensionは血液希釈による血液粘度の低下、血中カテコラミンの希釈、肺循環系が消失するためアンギオテンシン1の代謝阻害、ブラジキニンなどの血管拡張物質の不活化の阻害などが主な原因と考えられている<sup>7)</sup>。

大動脈脈波速度と体外循環開始時の最低の収縮期血圧の関係より、大動脈脈波速度が速い程体外循環開始時に血圧が下がりやすいことが判明した。

即ち、動脈硬化などで血管のコンプライアンスが低い患者では、体外循環開始に伴う急激な血管抵抗の変化や血管内容量の変化により健常者より血圧低下が顕著にあらわれたためと推測された。

大動脈脈波速度は血管のコンプライアンスの変化を反映し、体外循環に伴う血圧変動の指標になりうる可能性がある。

## 文 献

- 1) 石出信正, 滝島 任: 心力学とその臨床. 東京, 文光堂, 1990, pp.129-153
- 2) O'Rourke MF, Kelly R, Avolio A: The Arterial Pulse. Philadelphia & London, Lea & Febiger, 1992
- 3) Hamilton WF, Remington JW, Dow P: The determination of the propagation velocity of the arterial pulse wave. Am J Physiol 144: 521-535, 1945
- 4) 長谷川元治: ヒト大動脈脈波速度に関する基礎的研究. 東京慈恵会医科大学雑誌 85: 548-567, 1970
- 5) 長谷川元治: 大動脈脈波速度(PWV)による診断. 動脈硬化ハンドブック. 五島雄一郎, 後藤由夫編. 東京, 医薬ジャーナル社. 1990, pp.196-213
- 6) 林紘三郎: 人工血管の機械的性質と力学的適合性. 臨床水電解質 6: 353-360, 1986
- 7) 草川 實: 体外循環の実際. 東京, 南江堂. 1991, pp.137-138