超音波血流量測定装置 (DFM-4500) による側臥位における上腕動脈血流 変化の定量的モニタ

上村 浩一* 佐藤 暢* 坪 浩子*²
能見登志恵*² 藤井 昭*²

Measurement of Blood Flow of the Brachial Artery in Lateral Position
by a Doppler Flow Meter (DFM-4500)

*Koichi KAMIMURA, Toru SATO,
Hiroko NAGI, Toshie NOHMI Akira FUJII
Department of Anesthesiology, Tottori
University School of Medicine*

Abstract

This is a report of using a new Doppler Flow Meter (DFM-4500 by Hayashi-Denki Co., Ltd.) to monitor changes in blood flow velocity and flowrate of the brachial artery with its diameter at the decubitus side of 31 healthy volunteers in lateral position.

This device utilizes a simultaneous combination of an ultrasonic echo tracking (A-mode) scan to determine the diameter of the artery and of a one-beam Doppler technique to measure the cross sectional area of the vessel. Blood flowrate of the brachial artery was 2.50 ± 1.13 ml/sec at control (supine resting), from which 29% decreased to 1.70 ± 0.90 ml/sec at 15 min., 40% 1.42 ± 0.75 ml/sec at 30 min., 45% 1.34 ± 0.78 ml/sec at 45 min. and 46% decreased to 1.25 ± 0.82 ml/sec at 60 min. after the beginning of decubitus position, respectively.

Thus, progressive and significant decreases were observed both in blood flow velocity and volume of the artery according to time-course of the position. However, the diameter of the artery showed a significant decrease only at 60 min. after the decubitus position. We conclude that this device is an important development in the field of noninvasive quantitative determination of blood flow in superficial arteries.

* 鳥取大学医学部麻酔学教室

*² 鳥取大学医学部附属病院手術部

(原稿受付：昭和58年9月3日)

はじめに

手術中患者は長時間同一姿勢を余儀なく保たなければならない。そのため体位によっては、循環障害、神経障害などの合併症が起こると報告されている¹⁾。側臥位において下敷きになった上肢の循環障害が考えられるが、その血流状態の変化を定量的に研究した報告は少ない。一方、めざましいMEの発達により、無侵襲に定量的な血流量の測定が可能となってきた。なかでもわが国で開発された、超音波定量的血流測定装置 QFM-1000 (林電気) による優れた基礎的、臨床的研究が報告されている²⁻¹⁰⁾。最近新たに QFM-1000 の普及版として、超音波血流量測定装置 DFM-4500 (林電気) が開発された。今回われわれは DFM-4500 を用い、側臥位における下側上腕動脈の血流状態の定量的変化を経時的に、無侵襲に測定し、興味のある知見を得たので報告する。

超音波血流量測定装置(DFM-4500)について

本装置は超音波を用い、1送波1受波方式の連続波ドプラ出力から血流速度を求め、また同時に血管の前、後壁からの超音波パルス反射波をエコトラッキング法で追跡し、血管径および拍動幅を計測する。演算制御にはマイクロコンピュータを用い、血管径から求めた断面積と血流速度の積から血流量を算出する。これらの測定および演算結果は、CRTディスプレイまたはプリンタに表示、記録するものである。血流量測定用プローブは血流速度測定プローブと

図 1 DFM-4500 の構成図

本装置は連続波ドプラ出力から血流速度を求め、同時に血管の前・後壁からのパルス反射波をエコトラッキング法で追跡し、血管径を測定する。演算制御にはマイクロコンピュータを用い、血管径から求めた断面積と血管径の積から血流量を算出する。

図 2 DFM-4500 の外観

右上のブラウン管が血管径測定時のモニターで、左上のブラウン管に血流量波形、血流速波形、血管径波形とそれぞれの絶対値。また心電図と心拍数が同時に表示される。

図 3 側臥位における下側上腕動脈血流の測定中の写真

左手でプローブを血流に対し垂直に当て、右手で血管前後壁からのパルス反射を、エコトラッキング法を追跡しているところである。

血管径測定用プローブより構成されるが、血流速度測定には $2 \times 8 \text{ mm}$ の角型セラミック振動子 (5 MHz 連続波)、血管径測定には 3 mm 丸型チタン酸バリウム振動子 (7.5 MHz パルス波) を用いている。図 1 に本装置の構成図、図 2 に外観の写真、図 3 に測定中の写真を示す。測定範囲は、1) 流量 $0.2 \sim 82 \text{ ml/秒}$ (誤差 $\pm 20\%$ 以内) 2) 血流速 $6 \sim 105 \text{ cm/秒}$ 。3) 血管径 $2 \sim 10 \text{ mm}$ 4) 分解能 0.3 mm 以下。5) 深度 $5 \sim 35 \text{ mm}$ (浅部計測用アダプタ使用で $2 \sim 30 \text{ mm}$) である。

表 1 DFM-4500 と QFM-1000 の測定比較

QFMを基準としたDFMの平均誤差値は平均流量0.88%, 平均流速4.12%, 平均管径2.34%で, 生体変動の代表としての心拍数4.36%より低く, 許容範囲内と考えられる。

ID NO,	平均流量		誤 差 %	平均流速		誤 差 %	平均管径		誤 差 %	心 拍 数		誤 差 %
	Q F M ml/s	D F M ml/s		Q F M cm/s	D F M cm/s		Q F M mm	D F M mm		Q F M B.P.M	D F M B.P.M	
1	7.64	7.67	0.39	19.34	20.23	4.6	7.09	6.87	— 3.1	50	49	— 2
2	7.71	7.87	2.08	24.00	23.47	— 2.2	6.40	6.46	0.94	65	65	0
3	10.84	10.91	10.91	26.03	26.29	0.99	7.28	7.23	—0.69	62	64	3.23
4	10.51	10.47	—0.38	32.09	28.70	—8.67	6.46	6.76	4.64	41	46	12.2
平均誤差		0.88		4.12		2.34		4.36				

方 法

実験 1 : QFM-1000 と DFM-4500 の比較

健康成人 4 名を対象に安静仰臥位における右総頸動脈の血流量, 血流速度, 血管径, 心拍数の測定を両装置を用い, それぞれ 10 回ずつ行い, 両者の測定結果を比較検討した。

実験 2 : DFM-4500 による側臥位における上腕動脈の血流変化

対象は無麻酔下の健康成人 31 名で, 平均年齢 30.2 ± 5.5 歳, 男 17 名, 女 14 名であった。

実験方法は超音波血流量測定装置 DFM-4500 を用いて, コントロール値として安静仰臥位の上腕動脈の血流量, 血流速度, 血管径を測定した後, 側臥位とし, 15 分, 30 分, 45 分, 60 分後の下側上腕動脈の血流量, 血流速度, 血管径を測定した。測定回数は各ステージに 3 回測定しその平均値を求めた。側臥位は手術用ベットの上で側臥位とし下側上肢はベット付属の上肢台の上に, 体軸に対し約 90° の角度で固定し, 腋窩枕は使用しなかった (図 3)。

結 果

実験 1

QFM-1000 による測定結果を基準にして, DFM-4500 による測定結果を比較した結果を表 1 に示す。比較誤差値に一が付いたものは, QFM の測定値に対し DFM の測定値が少ないことを示す。QFM を基準とした DFM の平均誤差値は, 平均流量 0.88%, 平均流速 4.12%, 平均管径 2.34% であった。一般に臨床上的測定

においては, 生体変動 (これを心拍数でみた場合, ここでは 4.36% となる) を考慮して, 誤差値が 10~15% の範囲内ならば許容範囲にあると考えられるので, DFM による測定誤差は許容範囲にあると考えられる。

実験 2

側臥位による下側上腕動脈の血流変化を図 4, 5, 6 に示す。血流量はコントロール値 2.50 ± 1.13 ml/秒が, 側臥位 15 分後に 29% 減少して, 1.70 ± 0.90 ml/秒となり, 30 分後は 40% 減少して, 1.42 ± 0.75 ml/秒, 45 分後には 45% 減少して 1.34 ± 0.78 ml/秒, 60 分後には 46% 減少して 1.25 ± 0.82 ml/秒といずれも有意に低下し, 進行性の血流減少が認められた。血流速度も血流量と同様に減少し, コントロール値 $15.61 \pm$

図 4 血流量の変化

(コントロール値 2.50 ± 1.13 ml/秒より側臥位 15 分後 1.70 ± 0.90 ml/秒 (29% 減), 30 分後 1.42 ± 0.75 ml/秒 (40% 減), 45 分後 1.34 ± 0.78 ml/秒 (45% 減), 60 分後 1.25 ± 0.82 ml/秒 (46% 減) と, 有意に進行性の減少を示す。

(4) 医 学 Vol. 54, No. 6 (1984)

図5 血流速度の変化

コントロール値 15.61 ± 7.74 cm/秒より、15分後 10.68 ± 6.10 cm/秒 (29%減)、30分後 9.58 ± 5.89 cm/秒 (36%減)、45分後 8.53 ± 4.81 cm/秒 (41%減)、60分後 8.13 ± 5.45 ml/秒 (43%減)と有意に進行性の減少を示す。

図6 血管径の変化

コントロール値 4.54 ± 0.41 mmに比し60分値 4.38 mm (3.1%減)を除き有意な変化は認められない。

7.74cm/秒より、15分後 10.68 ± 6.10 cm/秒 (29%減)、30分後 9.58 ± 5.89 cm/秒 (36%減)、45分後 8.53 ± 4.81 cm/秒 (41%減) 60分後には、 8.13 ± 5.45 cm/秒 (43%減)といずれも有意で進行性の減少を示した。血管径は 4.54 ± 0.41 mmより15分後 4.52 ± 0.53 mm 30分後 4.45 ± 0.81 mm、45分後 4.41 ± 0.60 mmと有意な変化は示さなかったが、60分後は 4.38 ± 0.52 mm (3.1%減)と軽度ではあるが、有意な減少を認めた。

考 察

側臥位は開胸手術、泌尿器手術、整形外科の手術などによく用いられるが、この体位は臨床で種々な問題がある。呼吸に及ぼす影響としては、全肺容量が立位に比し10%減少する¹¹⁾と報

告されている。循環系への影響としては、末梢血管の圧迫が重要である。今回の研究で下側上腕動脈の血流量が、15分で29%、30分で40%、45分で45%、60分で46%と、進行性の減少を示したが、この結果は側臥位での末梢血管の圧迫による影響を定量的に示していると思われる。本研究では無麻酔下の健康成人を対象に行ったが、実際の症例では麻酔下でより長時間、同一姿勢を保つことが多く、圧迫による愁訴もなく防御反応もないので、より重篤な循環障害を起こすであろうと考えられる。また麻酔によっては、低体温、低血圧などの特殊条件下にさらされる場合もあり、同条件下の側臥位における下側上腕動脈の循環障害は、さらに進行しやすいと考えられる。また動脈硬化等の血管自体に疾患をもつ患者では、不可逆性の変化を来す危険さえあり、細心の注意が必要である。

これらの循環障害を防止するためには、末梢循環のモニタとそれによる実際的な経過の追求が必要である。麻酔下では自覚症状の訴えを得られないため、浮腫、チアノーゼなどの他覚的所見が手掛りとなるが、これらの症状が出現する前に血流の変化をモニタすることが理想的である。今回われわれの用いた超音波血流量測定装置は、無侵襲で定量的に繰り返し表在動脈の血流量を測定できるので、末梢循環の直接的モニタとして有力な武器になり得ると思う。また側臥位による下側上腕動脈における血流量減少の安全限界としては、本実験の結果ではコントロール値の約50%の 1.25 ± 0.8 ml/秒で、自覚的に疼痛やシビレを訴えても不可逆的になるものはなかったので、1時間位の短時間では、コントロール値の約50%が一応の安全限界としてよいのではないと思われる。

われわれは側臥位における下側上肢の圧迫を減ずる工夫として、今まで腋窩枕を腋窩に挿入してきたが、腋窩枕自身による肋骨、腋窩の圧迫症状を訴えることもあり、検討する必要がある。今後、本装置のような定量的血流量モニタを用い、よりすぐれた工夫を科学的に追求していきたいと思う。

定量的血流量モニタとして数年前よりわが国で開発された超音波定量的血流量測定装置QF

図7 DFM-4500 と QFM-1000 のプローブ構造図

偏位計プローブで血管径、血流速用プローブで血流速度を、同時に同部位で測定する。血流速プローブは、DFM-4500では1送波1受波方式で、QFM-1000は1送波2受波方式である。

なおDFM-4500用プローブでは偏位計プローブを中枢側に装着したとき正極性、末梢側に装置したとき負極性で波形表示される。またQFM-1000用プローブは、装置の特性が逆流阻止型であり、かつ総頸動脈での測定に便利のように、偏位計プローブが末梢側となるように指定されており、その場合正極性で波形が表示される。

M-1000 は、頸動脈血流の絶対値計測を目的として開発され、その原理の詳細は古幡^{2,3)}が報告している。超音波ドプラー法と超音波パルスエコー-tracking法を用い、照射角に依存しない血流絶対速波形と壁偏位波形とを同時測定し、流速と管断面積の積により絶対流量の波形と数値を表示するものである。

血流速測定には、3枚のセラミック振動子(5MHz)を用い、送波用振動子を 65° としこれを中心左右2枚の受波振動子が 10° の角度をもつ(1送波2受波)ことにより照射角依存性がなく、壁偏位用振動子と血流速用振動子の合計4つの音波が深さ15mmで交叉するように配置して、血流量測定プローブを構成している(図7)。電磁流量計と比較した誤差は $\pm 10\%$ 以下であることが確認されている。

また測定範囲は1) 流量0.16~186ml/秒、2) 血流速5~105cm/秒、3) 血管径2~15mm、4) 分解能0.5mm以下、5) 深度8~25mmである。本装置を用いた臨床研究は、吉村ら^{4,5)}や、山口ら⁶⁾、水上ら⁷⁾の報告のように、主に脳内・外科領域で行われていた。大屋⁸⁾は非観血的心拍出量の測定を試みている。最近ではペインクリニックにおいて神経ブロックによる血流変化の研究^{9,10)}などが報告されるようになり、今後とも広範囲の分野で利用されるであろう。

本研究で用いたDFM-4500は、血流計測方式を1送波1受波形式としたため、角度依存性

図8 DFM-4500 と QFM-1000 の計測精度 (角度依存性) の比較

グラフの縦軸は装置の電磁流量計に対する計測誤差、横軸はプローブの血流に対する傾斜角度を示す。QFMは角度依存性が少ないが、DFMでは傾斜角度が大きくなると誤差が増加する。

があり、定量的計測の性能はQFM-1000と比較すると劣るが、血流に対し直角にプローブを当てると、実験1で示したように誤差も少なく再現性も良好である(図8)。またプローブは小型になり、総頸動脈より細い動脈ではQFM-1000よりも測定しやすく、また経済的な利点をもっている。今後、脳内・外科のみならず、血管外科、整形外科、内科、麻酔科などで広く普及していく装置と思われる。

(6) 医器学 Vol. 54, No. 6 (1984)

結 論

超音波血流量測定装置 (DFM-4500) を用い、側臥位による下側上腕動脈の血流量の変化を、無麻酔下健康成人31名において、定量的に測定した。血流量は側臥位により、15分、30分、45分、60分後に、71%、60%、55%、54%といずれも有意に低下した。本装置は血流状態の変化の定量的モニタとして極めて有用である。

文 献

- 1) 杉浦良啓他：麻酔と体位，臨床麻酔 3 (11) : 1433-1440, 1979.
- 2) 古幡博他：血流速度の絶対値計測をめざした超音波ドプラ法，医用電子と生体工学，16 (4) : 264-268, 1979.
- 3) 古平国泰他：非観血的脳血流量測定装置の開発 (財)医療技術研究開発財団，昭和53年度研究開発報告書，1979.
- 4) 吉村正蔵他：超音波定量的血流測定装置における脳疾患診断，映像情報，13 : 775-781, 1981.
- 5) 吉村正蔵他：内頸，外頸動脈および椎骨動脈血流量の超音波による無侵襲的定量測定法の開発，脈管学 22 (3) : 191-198, 1982.
- 6) 山口克彦他：超音波定量的血流量測定装置による脳血管障害の診断，脳神経33 (4) : 359-364, 1981.
- 7) 水上公宏他：脳血流量異常の非侵襲的診断，臨床科学 19 (1) : 9-14, 1983.
- 8) 大屋厚夫：超音波ドップラー法と超音波カルディオグラフィー法の併用による非観血的心拍出量測定法，岡山医学会雑誌 92 (5) : 675-684, 1980.
- 9) 上村浩一他：星状神経節ブロックと頸部硬膜外ブロックにおける総頸動脈血流の変化，麻酔32 (11) : 159, 1983.
- 10) 一色淳他：星状神経節ブロックの皮膚温，指尖容積脈波，血流量に及ぼす影響。臨床麻酔 7 (3) : 325-328, 1983.
- 11) 恩地裕：麻酔の反省，南江堂，p. 39, 1955.