

## 出血ならびに輸血時の臓器血液量の経時的变化

福 井 明\*

## 要 旨

VALMET 社製脳血流測定装置を応用して、出血ならびに輸血時における頭部、胸部、腹部、大腿部の血液量の経時的变化を測定した。すなわち、犬に 10 ml/kg の採血（出血）を 2 回くり返し、その 10 分後に採血血液をすべて輸血し、以後 80 分間上記 4 部位の血液量を経時的に測定した。

この結果、頭部での血液量は、出血後に出血前の 94% に、輸血後に 98% にと軽度の変化を認めた。胸部では同様に 80%、95% にと出血後に血液量は減少したが、輸血後早期に回復した。腹部では、出血後に 54% まで低下し、輸血後 80 分でも 74% までにしか回復しなかった。大腿部では、同様に 78% まで低下し、85% までにしか回復しなかった。

以上の結果、出血時における臓器血液量の低下は、腹部において最大で、輸血により循環血液量の正常化が計られて、心係数、血圧、その他の循環諸因子が出血前値に回復しても、腹部臓器血液量は回復しない事を認めた。

## はじめに

出血による循環血液量の減少が軽度の場合、血液貯蔵臓器からの予備血液の放出<sup>1)</sup>、末梢血管（主として静脈系）の収縮による末梢血管床容積の減少<sup>2)</sup>、リンパの静脈内流入<sup>3,4)</sup> などによって機能的循環血液の回復が計られる。さらに出血量が増加し、その量が 5 ml/kg を越えれば、上記の代償機能は作動し難くなる。そのため生体は、一部の臓器（皮膚、筋肉など）の血流量を犠牲にして、重要臓器（脳、肝、腎、心など）の血流量を維持

する<sup>5)</sup>。その結果、血液の大血管系への相対的集中化 (relative centralization) という状態が発生する。しかし、一部の臓器では還流静脈、とくに細静脈括約筋の収縮から、臓器内血液うっ滞を発生する<sup>6)</sup>。また、心拍出量の低下によって発生した臓器血液量の低下<sup>5,7)</sup> は、組織酸素供給の低下をもたらし、その臓器自身を障害する。これに対して脾、肝などの臓器では、動静脈シャント血流を減少させ、毛細血管流量を増加させて、臓器への酸素供給、代謝物の排除を維持する<sup>8)</sup>。

臨床上われわれは、循環血液量の低下に対して早期に容量負荷を行えば、比較的容易に中心血液量の回復、すなわち中心静脈圧、左房圧の上昇、そして心拍出量の増加を得ることが出来る。しかし、末梢循環不全は速やかに改善されないこと、すなわち末梢血管系の血流量（血液量）の低下の持続としての皮膚蒼白、表面-深部体温較差の増大の持続をしばしば経験する。この事実は、容量負荷によって増加した循環血液が、いずれかの臓器内に貯留されていることを示唆している。

Ravussin<sup>9)</sup>、森本ら<sup>10)</sup> は、循環血液総量の変化については経時的に測定しているが、個々の臓器血液量の変化については及んではない。中條ら<sup>11)</sup> は、ウサギに平均動脈圧 50 mmHg となる出血性ショックを作製し、その状態で放置し、ショック発生 2 時間後の脳、心筋、肺、肝、脾、胃、腎、骨格筋の血液量変化を観察している。しかし、連続的、経時的に観察したものではなかった。

筆者は、VALMET 社製局所脳血流測定装置 BI 1400 を応用し、出血時の臓器血液量の変化を経時的に観察し、また輸血、すなわち容量負荷によってこれが再びいかに変化するか観察した。

\*川崎医科大学麻醉科学教室

方 法

実験には、雑種成犬（体重 11.0~13.5 kg, 平均 12.3 kg）12頭を 25 mg/kg の pentobarbital sodium の静脈内投与により麻酔し、仰臥位とし、気管内挿管を行った。pancuronium bromide 0.4 mg/kg の静脈内投与にて筋弛緩をえて、酸素 2L/min, 笑気 4 L/min の混合ガスをアイカ社製ベンチレーター R60 を用いて換気し、呼吸、麻酔を維持した。その換気条件は、1 回換気量 15 ml/kg とし、呼吸回数は Paco<sub>2</sub> が 35~40 mmHg となるように調節した。直腸温を測定し、加温マットを用いてそれを 38~39°C の範囲内に維持した。

臓器血液量の測定法の詳細は、すでに発表しているが、以下大略について述べる。犬の左大腿動脈、右大腿静脈、左外頸静脈を外科的に露出し、これらの枝よりその血流を可及的に障害しないように、外径 2.4 mm のビニールカテーテルをそれぞれ 5 cm 中枢側へ挿入して固定した。上腹部正中切開にて開腹し、脾静脈の 1 分枝から外径 2 mm のビニールカテーテルを肝側に進め、その先端が門脈にあることを確認した後固定した。さらに肝、脾の位置を確認し閉腹した。また右外頸静脈の枝よりその血流を可及的に障害しないように、flow directed thermodilution catheter 5F を挿入し

た。

VALMET 社製局所脳血流測定装置 BI 1400 の検出器（コリメーター 70 mm, クリスタル直径 25 mm, 厚さ 12.5 mm）を、それぞれ犬の体表より図1のごとく頭部（とくに大脳部）、胸部（とくに心臓部）、腹部（とくに肝、脾部）、右大腿部に向けて固定した。

それぞれの動物から 5 ml の血液を採取し、その赤血球に約 2 mCi の <sup>99m</sup>Tc をフランス オリス社製 テクネシウム標識キット (REF:TCK-11) を用いて標識した。

これらの処置後、実験動物の酸、塩基平衡異常を補正（重炭酸ナトリウムの注入、あるいは呼吸数の補正）し、30分間循環動態の安定化を計った。

次に犬を無作為に以下の2群（B, C）に分けた。B群は7頭よりなり（平均体重 11.9 kg）、上記の <sup>99m</sup>Tc 標識赤血球を左外頸静脈カテーテルを介して注入すると同時に、上記4ヶ所の放射能値の連続測定を VALMET 社製局所脳血流測定装置を用いて開始した。また以下に述べる時期に心拍数、平均動脈圧、平均肺動脈圧、心拍出量の測定と動脈血血液ガス分析をおこなった。すなわち、標識赤血球注入後10分間放置して出血前値の測定をおこなった。その5分後、10 ml/kg の静脈採血をテルモ血液バック CPD (BB-SC 207J01) に5分間でおこなった。標識赤血球注入20分後、

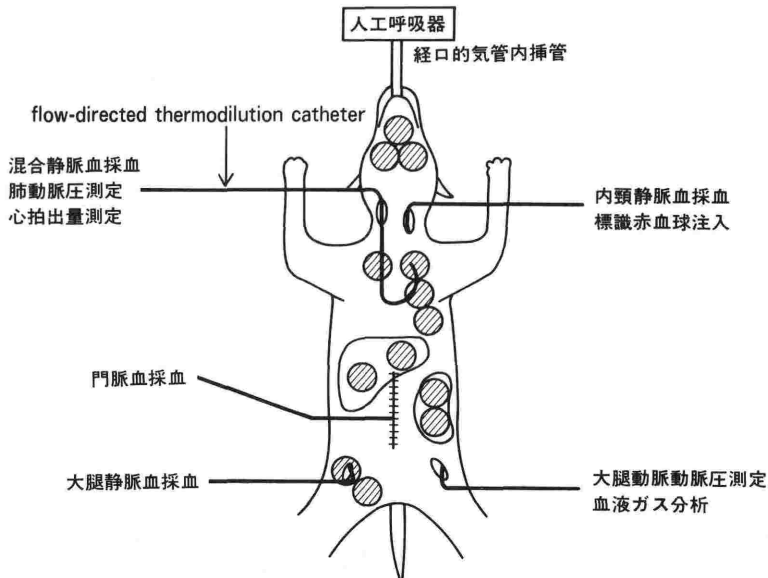


図1 カニューレーションならびに検出器固定の模式図  
 ⊙: 各検出器の固定部位

第2回目の測定(10 ml/kg 出血)をおこない、同量の採血をおこなった。そして、標識赤血球注入30分後に第3回目の測定(20 ml/kg 出血)をおこなった。その5分後に5分間で採血血液すべてをテルモ輸血セット(TB-A400L)を介して輸血し、輸血直後の測定をおこなった。さらに輸血後20分、輸血後40分、輸血後60分、輸血後80分の計4回、各パラメータの測定をおこなった。

C群は5頭よりなり(平均体重12.1 kg)、標識赤血球注入後、犬を麻酔状態のまま10分間放置して対照時の測定を、そして、標識赤血球注入後の20, 30, 40, 60, 80, 100, 120分に、すなわちB群の8回の測定時に対応して、測定をおこなった。

本研究開始前に予備実験として、標識赤血球を静脈内注入後、4部位における放射能値の平衡状態に到達するまでの時間(mixing time)を測定し、この時間が $448 \pm 27$ 秒( $n=6$ )であることを確認した<sup>13)</sup>。したがって、本研究では標識赤血球注入後10分間で、標識赤血球が各臓器内で均等となることを確認して、標識赤血球注入後10分より測定を開始した。また、予備実験として軽度(5-10 ml/kg)の出血後では、平衡状態に変化を認めないことを確認した<sup>13)</sup>。

また両群ともこれら8回の測定時、左外頸静脈、混合静脈、門脈、右大腿静脈それぞれから血液1 mlを採取し、それぞれヘマトクリット管(red tip heparinized micro-hematocrit capillary tubes: MONOJECT)に移し、遠心器(Kubota Hematocrit KH-1200A)で5分間、11,000回転の遠心をおこなって測定した。

出血前(対照時)の所定の臓器の放射能値をCo、ヘマトクリット値をHto、臓器血液量を1とし、r分後のその臓器の放射能値を<sup>99m</sup>Tcの半減期より、出血前(対照時)測定時に補正し、これをCr、その臓器のヘマトクリット値をHtrとして、r分後のその臓器の血液量を(Hto×Cr/Htr×Co)×100(%)で表した。

また、心電図(II誘導)の観察を連続的におこない、経尿道的導尿によって尿量を測定した。

左大腿動脈カテーテルは、動脈血液ガス分析、ヘマトクリット値測定用採血、動脈圧測定用に使用した。動脈血液ガス分析は、Radiometer社製血液ガス分析装置(BMS3MK-2)にておこなった。

心拍出量測定には、Gould社製 Cardiac Out-

put Computer SP-1425を用いた。これを $0.112 \times$  体重<sup>2/3</sup>(kg)なる式から求めた犬の体表面積(m<sup>2</sup>)で除して心係数とした。平均動脈圧、平均肺動脈圧は、日本光電社製血圧トランスジューサー(TP-200T)を介して、日本光電社製記録計(WT-645G)に記録した。

得られた成績は、平均±標準偏差で表した。

統計学的検討は各測定項目に対して、出血前(対照時)から各測定時までの値をpaired t testによりおこなった。また、血液量の臓器別の比較は、同一測定時の頭部、胸部、腹部、大腿部の4部位間でstudent t testによりおこなった。また、これらの部位での血液量の変化の群間比較は、分散分析法によった。さらに、これらの臓器での経時的变化の比較にはANOVAを用いた。

## 結 果

### 1. 動脈血血液ガス分析(表1)

#### 1) 動脈血ヘマトクリット値

B群のヘマトクリット値は出血前、 $45 \pm 5\%$ であったが、出血によって $32 \pm 7\%$ まで低下した( $p < 0.01$ )。また輸血直後、輸血後20分にもそれぞれ、 $38 \pm 5$ 、 $39 \pm 5\%$ と低下を認めた( $p < 0.01$ )。しかしそれ以後、有意な変化を認めなかったが、輸血後80分には $42 \pm 4\%$ に回復した。

C群のヘマトクリット値は対照時、 $43 \pm 6\%$ であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

#### 2) Pao<sub>2</sub>

B群のPao<sub>2</sub>は出血前、 $135 \pm 13$  mmHgであったが、出血後、輸血直後、輸血後20分には、それぞれ $114 \pm 12$ 、 $109 \pm 14$ 、 $113 \pm 15$  mmHgと低下を認めた( $p < 0.01$ )。しかしそれ以後、有意な変化を認めなかった。

C群のPao<sub>2</sub>は対照時、 $131 \pm 17$  mmHgであったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

#### 3) pH

B群のpHは出血前、 $7.41 \pm 0.12$ であったが、出血後、輸血直後には、それぞれ $7.23 \pm 0.10$ 、 $7.26 \pm 0.11$ と低下した( $p < 0.01$ )。しかしそれ以後、有意な変化を認めなかった。

C群のpHは対照時、 $7.45 \pm 0.15$ であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

#### 4) Paco<sub>2</sub>

B群のPaco<sub>2</sub>は出血前、 $34.4 \pm 5.8$  mmHgであ

ったが、出血後、輸血直後、20分、40分には、それぞれ  $39.9 \pm 2.2$ ,  $41.1 \pm 2.9$ ,  $40.4 \pm 2.2$ ,  $40.9 \pm 4.6$  mmHg と上昇を認めた ( $p < 0.01$ ). しかしそれ以後、有意な変化を認めなかった。

C群の  $Paco_2$  は対照時、 $38.3 \pm 3.8$  mmHg であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

5) B. E.

B群のB. E. は出血前、 $-1.4 \pm 1.6$  mEq/l であったが、出血後、輸血後40分には、それぞれ、 $-3.6 \pm 2.2$ ,  $-4.0 \pm 1.3$  mEq/l ( $0.01 < p < 0.05$ ), 輸血直後、20分にはそれぞれ、 $-4.8 \pm 2.0$ ,  $-4.4 \pm 2.0$  mEq/l ( $p < 0.01$ ) と低下した。しかしそれ以後、

有意な変化を認めなかった。

C群のB. E. は対照時、 $-1.8 \pm 1.2$  mEq/l であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

2. 循環動態の変化 (表2)

1) 心拍数

B群の心拍数は出血前、 $172 \pm 13$  beats/min であったが、10 ml/kg 出血、20 ml/kg 出血、輸血直後にはそれぞれ  $180 \pm 9$ ,  $200 \pm 14$ ,  $185 \pm 8$  beats/min に上昇を認めた ( $p < 0.01$ ). しかしそれ以後、有意な変化を認めなかった。

C群の心拍数は対照時、 $170 \pm 12$  beats/min であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

表1 両群の血液ガス分析値の変化

		出血			輸血後				
		前	10ml/kg	20ml/kg	直後	20分	40分	60分	80分
動脈血ヘマトクリット (%)	B	$45 \pm 5$	$44 \pm 6$	$32 \pm 7^{**}$	$38 \pm 5^{**}$	$39 \pm 5^{**}$	$41 \pm 5$	$42 \pm 4$	$42 \pm 4$
	C	$43 \pm 6$	$42 \pm 5$	$41 \pm 5$	$42 \pm 4$	$43 \pm 3$	$42 \pm 5$	$41 \pm 6$	$42 \pm 5$
$Pao_2$ (mmHg)	B	$135 \pm 13$	$135 \pm 12$	$114 \pm 12^{**}$	$109 \pm 14^{**}$	$113 \pm 15^{**}$	$125 \pm 11$	$126 \pm 13$	$122 \pm 18$
	C	$131 \pm 17$	$140 \pm 13$	$142 \pm 16$	$136 \pm 15$	$130 \pm 18$	$121 \pm 24$	$118 \pm 13$	$124 \pm 15$
pH	B	$7.41 \pm 0.12$	$7.36 \pm 0.15$	$7.23 \pm 0.10^{**}$	$7.26 \pm 0.11^{**}$	$7.30 \pm 0.15$	$7.35 \pm 0.08$	$7.36 \pm 0.17$	$7.34 \pm 0.14$
	C	$7.45 \pm 0.15$	$7.47 \pm 0.17$	$7.38 \pm 0.18$	$7.39 \pm 0.20$	$7.40 \pm 0.25$	$7.37 \pm 0.21$	$7.42 \pm 0.13$	$7.46 \pm 0.20$
$Paco_2$ (mmHg)	B	$34.4 \pm 5.8$	$37.1 \pm 2.8$	$39.9 \pm 2.2^{**}$	$41.1 \pm 2.9^{**}$	$40.4 \pm 2.2^{**}$	$40.9 \pm 4.6^{**}$	$39.5 \pm 5.6$	$38.5 \pm 4.7$
	C	$38.3 \pm 3.8$	$41.9 \pm 3.1$	$41.1 \pm 3.3$	$41.2 \pm 2.7$	$42.2 \pm 2.8$	$41.5 \pm 4.4$	$39.0 \pm 3.8$	$42.1 \pm 3.3$
B. E. (mEq/l)	B	$-1.4 \pm 1.6$	$-2.4 \pm 1.5$	$-3.6 \pm 2.2^*$	$-4.8 \pm 2.0^{**}$	$-4.4 \pm 2.0^{**}$	$-4.0 \pm 1.3^*$	$-3.1 \pm 1.7$	$-3.4 \pm 2.5$
	C	$-1.8 \pm 1.2$	$-2.4 \pm 2.2$	$-2.5 \pm 2.3$	$-1.9 \pm 2.2$	$-2.3 \pm 2.5$	$-1.9 \pm 2.4$	$-1.5 \pm 2.2$	$-2.0 \pm 2.0$

出血前値との比較 \*: $0.01 < p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

$Pao_2$ : 動脈血酸素分圧,  $Paco_2$  動脈血炭酸ガス分圧

表2 両群の循環動態の変化

		出血			輸血後				
		前	10 ml/kg	20ml/kg	直後	20分	40分	60分	80分
心拍数 (beats/min)	B	$172 \pm 13$	$180 \pm 9^{**}$	$200 \pm 14^{**}$	$185 \pm 8^{**}$	$185 \pm 14$	$177 \pm 10$	$175 \pm 11$	$178 \pm 11$
	C	$170 \pm 12$	$174 \pm 8$	$172 \pm 10$	$172 \pm 8$	$170 \pm 7$	$171 \pm 8$	$171 \pm 10$	$178 \pm 10$
平均動脈圧 (mmHg)	B	$146 \pm 10$	$121 \pm 15^{**}$	$96 \pm 10^{**}$	$107 \pm 15^{**}$	$111 \pm 15^{**}$	$112 \pm 13^{**}$	$116 \pm 15^{**}$	$130 \pm 16$
	C	$138 \pm 12$	$141 \pm 13$	$145 \pm 18$	$138 \pm 14$	$140 \pm 14$	$142 \pm 13$	$140 \pm 19$	$138 \pm 18$
平均肺動脈圧 (mmHg)	B	$14 \pm 2$	$13 \pm 2$	$11 \pm 2^{**}$	$12 \pm 1^{**}$	$12 \pm 1^{**}$	$12 \pm 2$	$13 \pm 1$	$14 \pm 2$
	C	$15 \pm 3$	$14 \pm 3$	$14 \pm 4$	$12 \pm 5$	$12 \pm 2$	$11 \pm 2$	$12 \pm 3$	$13 \pm 4$
心係数 ( $l/min \cdot m^2$ )	B	$3.05 \pm 0.20$	$2.74 \pm 0.16^{**}$	$1.99 \pm 0.13^{**}$	$2.06 \pm 0.19^{**}$	$2.19 \pm 0.28^{**}$	$2.37 \pm 0.23^{**}$	$2.62 \pm 0.23^{**}$	$2.85 \pm 0.26$
	C	$3.14 \pm 0.18$	$3.24 \pm 0.31$	$3.01 \pm 0.22$	$2.96 \pm 0.27$	$3.07 \pm 0.09$	$3.10 \pm 0.15$	$2.95 \pm 0.21$	$2.99 \pm 0.16$

出血前値との比較 \*\*:  $p < 0.01$

## 2) 平均動脈圧

B群の平均動脈圧は出血前、 $146 \pm 10$  mmHgであった。しかし、出血後には  $96 \pm 10$  mmHg、輸血後60分にも  $116 \pm 15$  mmHg と低下したままであった ( $p < 0.01$ )。しかし、輸血後80分には  $130 \pm 16$  mmHg と出血前値と差を認めなくなった。

C群の平均動脈圧は対照時、 $138 \pm 12$  mmHgであったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

## 3) 平均肺動脈圧

B群の平均肺動脈圧は出血前、 $14 \pm 2$  mmHgであり、出血後、輸血直後、輸血後20分までそれぞれ  $11 \pm 2$ ,  $12 \pm 1$ ,  $12 \pm 1$  mmHg と低下を認めた ( $p < 0.01$ )。しかしそれ以後、有意な変化を認めなかった。

C群の平均肺動脈圧は、対照時  $15 \pm 3$  mmHgであったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

## 4) 心係数

B群の心係数は出血前、 $3.05 \pm 0.20$  l/min $\cdot$ m<sup>2</sup>であったが、輸血後60分まで低下を認めた ( $p < 0.01$ )。しかし、輸血後80分には  $2.85 \pm 0.26$  l/min $\cdot$ m<sup>2</sup> と出血前値と差を認めなくなった。

C群の心係数は対照時、 $3.14 \pm 0.18$  l/min $\cdot$ m<sup>2</sup>であったが、それ以後、有意な変化を認めなかった。

## 3. 各臓器血液量の経時的变化 (表3, 図2)

B群の各臓器血液量は、頭部では 10 ml/kg 出

血後には  $104 \pm 5\%$  と有意な変化を認めなかったが、20 ml/kg 出血で  $94 \pm 3\%$  に低下した ( $p < 0.01$ )。また、輸血直後でも  $96 \pm 3\%$  と低下したままであった ( $p < 0.01$ )。しかしそれ以後には、出血前値と差を認めなくなった。

胸部では、10 ml/kg 出血には  $83 \pm 9\%$ 、20 ml/kg 出血には  $80 \pm 10\%$  にそれぞれ低下した ( $p < 0.01$ )。しかし、輸血直後には  $96 \pm 4\%$ 、輸血後80分には  $95 \pm 5\%$  まで回復した。

腹部では、10 ml/kg 出血には  $61 \pm 12\%$ 、20 ml/kg 出血には  $54 \pm 15\%$  に低下を認めた ( $p < 0.01$ )。輸血後も上昇を認めず、輸血後80分でも  $74 \pm 11\%$  までにしか回復しなかった ( $p < 0.01$ )。

大腿部では、10 ml/kg 出血には  $84 \pm 9\%$ 、20 ml/kg 出血で  $78 \pm 15\%$  にそれぞれ低下を認めた ( $p < 0.01$ )。輸血後80分にも  $85 \pm 9\%$  と低下したままであった ( $p < 0.01$ )。

10 ml/kg 出血、20 ml/kg 出血、輸血直後、輸血後20分において、腹部血液量が他の臓器血液量変化に比し有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。また、20 ml/kg 出血、輸血直後において、大腿部血液量は他の臓器血液量変化に比し有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。これらの変化は、C群の変化と比較しても有意な変化であった ( $p < 0.01$ )。

C群の各臓器血液量変化は、頭部、胸部、腹部、大腿部いずれの部位でも有意な変化を認めなかった。

表3 両群の臓器血液量の経時的变化

		出 血			輸 血 後				
		前	10 ml/kg	20 ml/kg	直 後	20分	40分	60分	80分
頭 部	B	100	$104 \pm 5$	$94 \pm 3^{**}$	$96 \pm 3^{**}$	$97 \pm 4$	$96 \pm 5$	$97 \pm 4$	$98 \pm 3$
	C	100	$98 \pm 4$	$99 \pm 5$	$98 \pm 4$	$97 \pm 4$	$98 \pm 6$	$98 \pm 4$	$97 \pm 5$
胸 部	B	100	$83 \pm 9^{**}$	$80 \pm 10^{**}$	$96 \pm 4$	$95 \pm 5$	$96 \pm 5$	$95 \pm 6$	$95 \pm 5$
	C	100	$98 \pm 3$	$101 \pm 4$	$101 \pm 5$	$98 \pm 4$	$99 \pm 3$	$97 \pm 5$	$98 \pm 6$
腹 部	B	100	$61 \pm 12^{**}$	$54 \pm 15^{**}$	$68 \pm 15^{**}$	$70 \pm 13^{**}$	$74 \pm 16^{**}$	$76 \pm 14^{**}$	$74 \pm 11^{**}$
	C	100	$101 \pm 10$	$98 \pm 6$	$95 \pm 9$	$93 \pm 11$	$94 \pm 7$	$97 \pm 5$	$98 \pm 6$
大 腿 部	B	100	$84 \pm 9^{**}$	$78 \pm 15^{**}$	$86 \pm 9^{**}$	$87 \pm 11^{**}$	$86 \pm 12^{**}$	$86 \pm 10^{**}$	$85 \pm 9^{**}$
	C	100	$101 \pm 7$	$98 \pm 4$	$96 \pm 4$	$95 \pm 6$	$97 \pm 5$	$99 \pm 4$	$98 \pm 3$

出血前値を100%、出血前値との比較 \*\*: $p < 0.01$

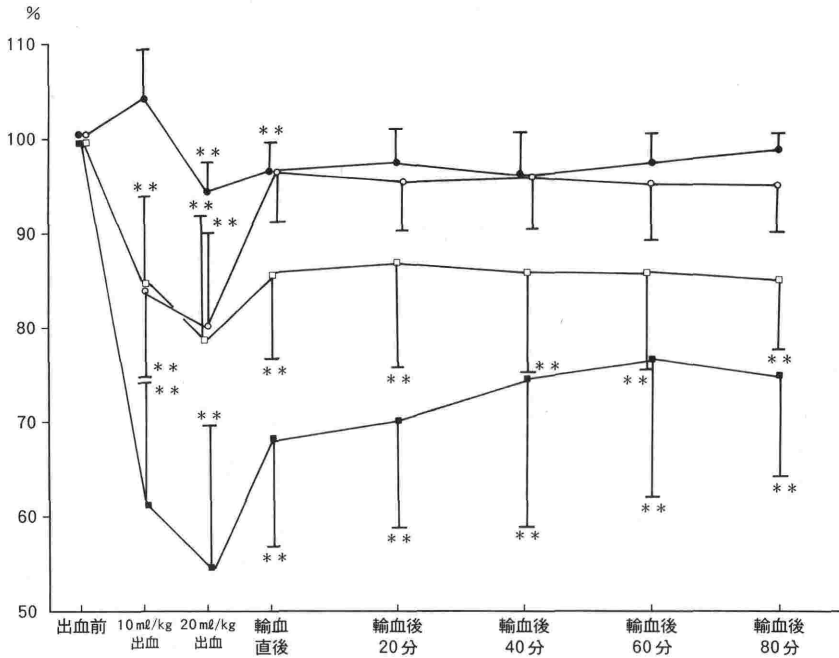


図2 B群の各臓器血液量変化  
出血前値を100%  
出血前値との比較 \*\*:p<0.01  
●—●:頭部, ○—○:胸部  
■—■:腹部, □—□:大腿部

考 察

今回の研究における総量 20 ml/kg の出血は、循環動態の変化から評価して、moderate shock 状態をもたらしたと思われた。この出血量は、犬の予想循環血液量の29%に相当し<sup>10)</sup>、Weil ら<sup>14)</sup>の出血性ショック重症度分類で moderate shock (循環血液量の25-35%出血)に相当する。また、心拍数は 200 beats/min と上昇、平均肺動脈圧は 11 mmHg、心係数は 1.99 l/min・m<sup>2</sup> と低下した。しかし、平均動脈圧は 96 mmHg までの低下であり、動脈血液ガス分析においてもその変化は軽度であった。したがって、今回の出血量と平均動脈圧では、犬の臓器血流量を維持出来る程度の変化であったと推定される。

蘇原ら<sup>15)</sup>は、血管系を3つの区分に分け、臓器に血液を送り込むための経路にあたる動脈系では、心拍出量が臓器血流量を規定する。次に、臓器の毛細血管系では、主として平均循環時間が規定する。第三には、臓器からの血液の排出路である静脈系では、末梢静脈圧が臓器血流量を規定す

る。したがって、心拍出量、臓器血流量、ならびに末梢静脈圧は、臓器血流量を決定する因子となっている。さらに臓器血流量は、人工呼吸、麻酔薬の影響も受ける。すなわち、人工呼吸中の陽圧呼吸下では静脈還流が抑制され、心拍出量が低下し臓器血流量の低下が増強される。中條ら<sup>16)</sup>は、0.75%ハロセン、2%デイエチルエーテルの麻酔薬を用い、これらが犬の循環血液量、ならびに臓器血流量(脳、心筋、肺、胃、肝、脾、膵、腎、小腸、筋肉)におよぼす影響について研究した。すなわち、ハロセン麻酔下では肝、脾の血液量が減少、脳の血液量が増加、循環血液量是不変であった。デイエチルエーテルでは、循環血液量は増加したが、臓器血流量には変化を認めなかった。そこで、今回の研究で、麻酔薬の臓器血流量におよぼす影響をC群で観察した。この結果、本研究で使用した麻酔薬では、臓器血流量測定開始後の2時間は、各臓器の血液量に影響をおよぼさなかった。

その他、非生理的な体位の影響、測定前のカンジュレーションによる外科的ストレスの影響、使用

薬剤による中枢、および末梢神経系への薬理的な抑制、ならびにホルモン分泌なども臓器血液量に変化をおよぼす。しかし本研究では、これらの因子の安定化を待って実験を開始した。

今回の研究において、頭部の血液量は、10 ml/kg 出血で変化なく、20 ml/kg 出血で出血前の94%に低下した。しかし、輸血後、20分にはすでに出血前値に回復した。脳においては、脳血管の自動調節作用により血流量が保たれたためではないかと思われる。

大血管系を含む胸部の血液量は、出血直後80%まで低下した。すなわち、血液の大血管への相対的集中化、心拍出量維持の代償機能の作動を認めなかった。今回の研究での乏血状態時間は25分間の短時間であり、出血の程度（量ならびに出血の速度）も中程度であったためと思われる。すなわち、集中化が発生するのには、さらに苛酷な出血、長時間の乏血状態が必要と予想される。しかし、輸血直後には96%とすみやかに回復していた。

正常状態で、腹部臓器血液量は全循環血液量の20%を占める<sup>17,18)</sup>。また、犬の肝、脾、腎、肺、心の血液量はそれぞれ 147, 510, 81, 310, 66 ml/kg であるといわれる<sup>15)</sup>。また中條ら<sup>11)</sup>は、腹部臓器の出血による変化は、脾、胃、腎ではほとんど認められないが、肝において著明であったと報告している。これらより、血液量の多い腹部臓器は出血に対応する最大の臓器であり、また血液貯蔵臓器としても重要な役割を呈していると思われる。腹部の血液量の低下は、出血時に測定部位中最大で、10 ml/kg 出血でも出血前値の61%に、20 ml/kg 出血では54%に低下した。また、輸血後80分経過しても74%までにしか回復しなかった。

中條らの研究<sup>11)</sup>では、出血は平均動脈圧が 50 mmHg となるまでおこない、ショック導入後2時間そのまま放置している。この結果をそのまま本研究と対比することは好ましくないが、この肝血液量の著しい減少が、今回の研究結果、すなわち、腹部臓器の血液量低下に大きく関与していることが推測された。実験中の腹部臓器の肉眼的所見でも、出血、ならびに輸血後も肝、脾は収縮したままであったことからこの事実が裏づけられた。

輸血による臓器血液量の回復率においては、腹部と大腿部が不良で ( $p < 0.01$ )、腹部では輸血後80

分経過しても74%、大腿部では85%までの回復しか認めなかった。中條ら<sup>19)</sup>は、出血性ショックに対する治療として、輸血単独では生体全体の臓器血液分布を改善しえないと報告している。すなわち、単なる戻し輸血単独群、脱血した血液に等量の生理食塩水を添加した群、さらに脱血した血液に等量の6 w/v% デキストランを添加した群の3群で各臓器（脳、心、肺、胃、肝、脾、腎、筋肉）の血液量の改善効果を比較検討したところ、輸血のみでは腹部臓器（胃、肝）に血液がうっ滞するのみで他の臓器血液量の回復は認めなかった。しかし、デキストランを添加することによって、脾、腎の臓器血液量を輸血単独よりも増加させることを認めている。しかし、今回の研究では、中條らの結果と相反し、輸血による肝での血液うっ滞は認められず、さらに腹部での臓器血液量の回復は認められなかった。この理由として、今回の研究では、腹部臓器（肝、脾）に可能な限り検出器を固定して血液量を測定したが、腎、腹部大動静脈、消化管からの放射能の干渉も否定出来ず、本法では確実に肝、脾のみの血液量を表わしているとはいいたい可能性があった。したがって、それぞれの変化が相殺されてしまった可能性も否定できない。また、中條らの研究<sup>19)</sup>とは、出血状態の程度、出血持続時間が異なったため、異なる結果が得られたものと思われる。

大腿部の血液量が減少したままであったことについては、持続した交感神経系の興奮状態が持続し、末梢血管の収縮状態が続いたためではないかと思われる。

今回の研究で、腹部臓器血液量は測定した4部位中最大の変化を示し、かつ輸血のみではその血液量を正常に回復させないことを認めた。したがって、これらの臓器血液量を改善するには、いかなる治療法が必要であるか検討することが残された。また、輸血された血液が今回測定した臓器以外のどの部位に移動したかも不明であった。これらの点については今後の研究を待たねばならない。

本論文の内容は、第35会日本麻酔学会総会（1988年6月 金沢）にて発表した。

稿を終えるにあたり、終始ご指導、御校閲を賜った恩師川崎医科大学麻酔科学教室、高折益彦教

授に心から感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) Bendixen, H. H., Laver, M. B.: Hypoxia in anesthesia: A review. *Clin. Pharmacol. Ther.* 6: 510-539, 1964.
- 2) 高折益彦: 外科領域における出血と輸液. *最新医学* 29: 1983-1989, 1974.
- 3) Cope, O., Litwin, S. B.: Contribution of the lymphatic system to the replenishment of the plasma volume following a hemorrhage. *Ann. Surg.* 156: 655-667, 1962.
- 4) Nelson, N. C., Nelson, J. L., Weldon, W. E., et al.: Mechanisms of change in thoracic duct lymph flow during hypotensive states. *Ann. Surg.* 171: 883-891, 1970.
- 5) Neutze, J. M., Wyler, F., Rudolph, A. M.: Changes in distribution of cardiac output after hemorrhage in rabbits. *Am. J. Physiol.* 215: 857-864, 1968.
- 6) Lillehei, R. C., Longerbeam, J. K., Bloch, J. H., et al.: The nature of irreversible shock. Experimental and clinical observations. *Ann. Surg.* 160: 682-710, 1964.
- 7) Dunn, J. R., Deavers, S., Huggins, R. A., et al.: Effect of hemorrhage on red cell and plasma volume of various organs of the dog. *Am. J. Physiol.* 195: 69-72, 1958.
- 8) 矢野博文, 松本信夫, 福井 明, 高折益彦: 諸臓器の毛細血管血流ならびに動静脈シャント血流に及ぼす急性出血および出血性ショックの影響. *循環制御* 7: 1065-1071, 1986.
- 9) Ravussin, P., Archer, D. P., Meyer, E., et al: The effects of rapid infusions of saline and mannitol on cerebral blood volume and intracranial pressure in dogs. *Can. Anaesth. Soc. J.* 32: 506-515, 1985.
- 10) 森本武利: 体循環のコンプライアンスと血液量. *脈管学* 26: 305-309, 1986.
- 11) 中條信義, 高折益彦, 石井 孝: ショックにおける臓器血液量変化—出血性ショックとエンドトキシンショックとの比較—. *麻酔* 27: 502-508, 1978.
- 12) 福井 明, 矢野博文, 高折益彦: 経時的臓器血液量の測定方法. *日本 Shock 学会雑誌 Shock* 3: 47-48, 1988.
- 13) 福井 明, 高折益彦: 経時的臓器血液量の測定法. 循環制御投稿予定.
- 14) Weil, M., Shubin, H.: *Diagnosis and treatment of shock*. Baltimore, Williams and Wilkins, Co., 1967.
- 15) 蘇原泰則, 堀 原一: 臓器血液分布と血流配分. *呼吸と循環* 30: 715-718, 1982.
- 16) 中條信義, 松本治夫, 高折益彦: 麻酔薬 (ハロセン, デイエチールエーテル) が臓器血液量, 血流量に及ぼす影響. *麻酔* 29: 641-647, 1980.
- 17) Bradley, S. E., Marks, P. A., Reynell, P. C., et al.: The circulating splanchnic blood volume in dog and man. *Trans Assn Amer physicians* 66: 294-302, 1953.
- 18) Delorme, E. J., Macpherson, A. I. S., Mukherjee, S. R., et al.: Measurement of the visceral blood volume in dogs. *Quart J Experi Physiol* 36: 219-231, 1951.
- 19) 中條信義, 小川泰樹, 高折益彦: 出血性ショックの治療と臓器血液量, 臓器血流量変化. *麻酔* 27: 1047-1053, 1978.



## Changes in the blood volume of the cephalic, thoracic, abdominal and femoral regions following hemorrhage and transfusion

Akira Fukui

Department of Anesthesiology, Kawasaki Medical School  
577 Matsushima, Kurashiki City, Okayama, 701-01

Changes in the blood volume of the encephalic, thoracic, abdominal and femoral regions were determined by a cerebrowflowmeter (VALMET BI 1400) at the time of hemorrhage and subsequent transfusion.

We withdrew 10 ml/kg of the blood twice (total 20 ml/kg) from a dog, and all of the blood was retransfused at the subsequent 10 minutes. In the meantime, the blood volumes in the four organs above were measured continuously.

The blood volume in the encephalic region showed a slight change (decreases to 94% and 98% on hemorrhage and retransfusion respectively).

In the thoracic region, the blood volume decreased to 80% and 95% on hemorrhage and retransfusion respectively.

Early recovery was observed after retransfusion, namely from 80% to 96%.

In the abdominal and femoral regions, the blood volume showed decreases to 54% and 78% after hemorrhage and recovered only to 74% and 85% after retransfusion respectively. Those decrease in the blood volume remained until 80 minutes after.

In none of these four organs, the blood volume following retransfusion recovered completely to the value before hemorrhage.

The decrease in organ blood volume at the time of hemorrhage was greatest for the abdominal region, and the blood volume remained still at a low value even after the return of cardiac output and blood pressure to pre-hemorrhage values.

**Key words:** organ blood volume, hemorrhage, retransfusion,  $^{99m}\text{Tc}$