

原 著

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矢野博文* 松本信夫*
福井 明* 高折益彦*

要 旨

毛細血管は通過しないと考えられる直径 $9\ \mu\text{m}$ microsphere を使用して、急性出血、および出血性ショック時の諸臓器毛細血管血流の変動を検討するとともに、その静脈系への移行を観察することにより、種々の臓器における動静脈シャント血流の変動をも観察した。

急性出血、および出血性ショック時には、おもに脾、および肝において、心係数の低下と心拍出血量分画の低下に基づく臓器血流量減少が認められた。しかしその代償として、その他の臓器血流量は比較的正常に維持され、脳および副腎においてはむしろ血流量増加が認められた。また肝、腎、腹部臓器においては、臓器内動静脈シャント率の低下が観察され、動静脈シャント血管も循環血液量の低下時に、末梢組織への酸素供給に対して防御的に機能していることが確認された。

はじめに

手術中に発生するショックの大部分は出血性ショックであるが、 $5\ \text{ml/kg}$ 以下の出血の場合は、血液貯蔵臓器からの予備血液の放出、末梢血管床の収縮による血管床容積の減少¹⁾、リンパの静脈内流入²⁾³⁾ などにより循環血液量は正常に維持される。しかし、さらに出血量が増加すると循環血液量は減少し、心拍出血量も減少をきたし、末梢

循環不全、すなわち出血性ショックの状態となる。このような場合、生体はいわゆる重要臓器（心、脳、肝）の血流配分を優先し、他の臓器への血流を犠牲にすることが知られている⁴⁾。またそれと同様に、個々の臓器内においても減少した臓器血流を有効に利用するために、直接物質交換に参与する毛細血管血流を可能な限り増加させようとする生体反応が生じると想像されている。末梢組織の血管網に存在する動静脈シャント血流は毛細血管血流の調節機能を有しているといわれていて、末梢血管内圧変動、末梢血管内血流量変動に対して、その部の血行動態の維持のみならず組織代謝の維持に対して重要な役割を演じているものと考えられる。ショック時にもこのような動静脈シャント血流は重要な役割を演じているといわれ、とくにショックの可逆性を支配するともいわれている。

本研究では毛細血管は通過しないと考えられる直径 $9\ \mu\text{m}$ microsphere を使用して、急性出血、および出血性ショック時の諸臓器毛細血管血流の変化、さらにその静脈系への移行を観察することのできる臓器については、上記動静脈シャント血流の変化を同時に観察した。そして急性出血、および出血性ショック時における動静脈シャントの機能について検討を加えた。

研究方法

体重 $10\sim 14\ \text{kg}$ の雑種成犬 9 頭を対象に、ケタミン $2\ \text{mg/kg}$ の静脈内投与により麻酔を導入し、パンクロニウム $2\ \text{mg}$ を用いて気管内挿管し

*川崎医科大学麻酔学教室

た後、酸素 2 l/min, 笑気 4 l/min の混合ガスにて麻酔の維持を行った。1 回換気量 15 ml/kg, 換気回数 12 回/分の調節呼吸をアイカ社製ベンチレーター R60 にて行った。体温は直腸にて測定し、38~39°C の範囲内に維持した。第 4 肋骨で左側開胸し、左心耳より左房内に外径 2.4 mm ビニールカテーテルを挿入し、左房圧の連続的な測定および microsphere 注入に用いた。脳の還流静脈である内頸静脈を露出し、その側壁をその血流を可及的に障害しないように 20G の JELCO® 静脈留置用カテーテルで穿刺し固定した。次に開腹し、精巣あるいは卵巣静脈から上記静脈留置用カテーテルを刺入し、その先端が左腎静脈内に存在するように固定した。また脾静脈の 1 分枝から外径 2 mm のビニールカテーテルを挿入し、約 15 cm 肝臓側に進め、その先端が門脈にあることを確認した後固定した。さらに左大腿静脈へ、外径 2.5 mm, 長さ 40 cm のポリウレタン J 字カテーテルを挿入し、下大静脈まで進め、チューブ先端が肝静脈内に存在することを肉眼的に確認した後固定した。さらに左大腿動脈に外径 2 mm のビニールカテーテルを挿入し、中枢側へ 5 cm 進めて固定した。そしてこれは動脈圧測定、血液ガス分析、および心拍出量測定に用いた。閉胸、閉腹など全手術操作が終了した時点で、血液ガス分析を行い酸素分圧 (Pao₂) および炭酸ガス分圧 (Paco₂) の異常の有無を確認するとともに代謝性アシドーシスが認められた場合には 7% 重炭酸ナトリウムを用いて酸塩基平衡の補正を行った。

⁵¹Cr (100 μCi) を標識した直径 9 ± 1 μm microsphere (3M社: 以下 MS と略す。) を界面活性剤 Tween 80® 0.05 ml を用い生理食塩水 2 ml 中に浮遊させ、これをカテーテルを介して左房内へ急速に注入し、直ちに前述の 4 静脈 (内頸一、左腎一、肝静脈、および門脈) から、内径 1 mm, 長さ 8,500 mm のポリエチレンチューブにツルース万能持続吸引器 A-2 型® を用いて 0.2 ml/sec の速度で 40 秒間にわたり採血した。そして採血後このチューブの血液部分を可及的に静止状態に保ちつつ 40 等分し、それぞれのチューブ内血液の比放射能値を Packard 社製 5320 型 auto-gamma scintillation spectrometer にて測定した。そしてそれぞれの比放射能値を採血時間に応じてプロットし、動脈側から静脈側へシャントした

MS 量の時間的推移を示す曲線を得た。そしてシンプソンの公式を用いてその曲線の積分値を近似計算し、各静脈へシャントした MS 量の総量を算出した。一方すべての実験終了時に、脳、腎、肝、および腹部臓器を摘出して、これらの臓器それぞれに捕捉された MS 量を測定し、その測定値にシャント血中の MS 量を加えてそれぞれの臓器に流入した全 MS 量を算出した。そしてその値に対するシャント血中の MS 量の割合をもってシャント率とした。

次に 12 ml/kg, および 24 ml/kg の出血を作成 (1 回目 12 ml/kg の脱血を行い、さらに 12 ml/kg の脱血を追加する。: 以下それぞれを 12BL, 24BL と略す。) し、それぞれの時点で ¹²⁵I (40 μCi) 標識、および ⁴⁶Sc (50 μCi) 標識 MS を用いて出血前 (BL 前) と同様に動静脈シャント率の算出を行った。

また動静脈シャント率を算出した 4 臓器をも含めた 14 臓器それぞれについて、各出血時における臓器血流量、および心拍出量分画 (血流分布率) を算出した。すなわち、すべての実験終了時に各臓器を摘出し、microsphere method⁵⁾ に従って、各臓器に捕捉された MS の比放射能値の測定によりこれらをもとめた。臓器血流量は各臓器の wet weight 100 g に対する血流量とした。なお肝の血流量、および心拍出量分画は、肝のみの比放射能値と門脈系へ静脈還流を有するすべての腹部臓器の比放射能値の和から算出した。心係数の算出は Lundberg ら⁶⁾ の方法に準じ、注入した MS を利用して行った。すなわち MS 注入直後の一定時間内に、左大腿動脈から他の静脈血同様ツルース万能持続吸引器を用いて血液を採取し、この血中の MS 量と左房内へ注入した MS 量から心係数を算出した。

血液ガス分析、心拍数、平均左房圧、平均動脈圧、ヘマトクリット値、および心係数の測定は、BL 前、12, および 24BL 時それぞれについて行った。

すべてのデータは平均値および標準偏差値で表現し、paired t-test により推計学的有意差を検討し、p < 0.05 を有意とした。

成 績

BL 前、12, および 24BL 時における Pao₂ は

それぞれ 117±22, 124±28, 120±28 mmHg, Paco₂ はそれぞれ 32.7±4.0, 30.3±3.9, 30.1±4.6 mmHg であった。pH はそれぞれ 7.398±0.045, 7.393±0.049, 7.388±0.053 であってこれらの因子については出血による変動は認められなかった。しかし base excess はそれぞれ -3.7±1.9, -5.2±2.1, -5.7±2.3 mEq/l と、24BL 時に base excess の減少を認めた (0.025<p<0.05)。

心拍数は表1の如く BL 前 199±18, 12BL 時 205±17, 24BL 時 214±12 b.p.m. であって、出

血による増加傾向を認め、平均左房圧はそれぞれ 4.1±2.2, 2.5±1.4, 1.7±1.1 mmHg とそれぞれの出血時において低下がみられた (12BL 時 0.01<p<0.05, 24BL 時 p<0.01)。平均動脈圧はそれぞれ 137±22, 121±43, 116±14 mmHg, ヘマトクリット値はそれぞれ 55.2±8.5, 53.3±7.5, 48.7±8.6%, 心係数はそれぞれ 2.7±0.9, 2.4±0.6, 1.7±0.7 l/min·m² であって、3者ともに 24BL 時に有意な低下を認めた (平均動脈圧および心係数では 0.01<p<0.05, ヘマトクリット値では p<0.01)。

表1 心血管系各パラメーターの出血による変動

	出血前	12 ml/kg 出血	24 ml/kg 出血
心拍数 (beat/min)	199±18	205±17	214±12
平均左房圧 (mmHg)	4.1±2.2	2.5±1.4*	1.7±1.1**
平均動脈圧 (mmHg)	137±22	121±43	116±14*
ヘマトクリット値 (%)	55.2±8.5	53.3±7.5	48.7±8.6**
心係数 (l/min·m ²)	2.7±0.9	2.4±0.6	1.7±0.7*

出血前に比して有意 (平均±標準偏差)
 * : 0.01<p<0.05
 ** : p<0.01

臓器血流量は表2の如く、12BL 時に肝、および脾において、また 24BL 時にこれらに加えて甲状腺および大網において減少した。すなわち肝においては BL 前値の 115.0±32.2 ml/min·100 g から、12BL 時に 83.1±24.5 ml/min·100 g へ、さらに 24BL 時に 67.4±28.8 ml/min·100 g へと血流量の減少が認められた (p<0.01)。また脾においても同様に、血流量は BL 前値の 149.6±66.4 ml/min·10 g からそれぞれ 86.8±69.8, 47.3±37.8 ml/min·100 g へと減少した (p<0.01)。さらに 24BL 時には甲状腺において 54.0±29.2 から 22.7±10.2 ml/min·100 g へ (p<0.01)、大網において 13.7±9.9 から 5.3±3.1

表2 各臓器血流量の出血による変動

(単位 : ml/min·100 g)

	出血前	12 ml/kg 出血	24 ml/kg 出血
脳	38.6±13.9	44.3±18.8	46.5±20.4**
甲状腺 (両側)	54.0±29.2	44.3±19.3	22.7±10.2**
左心室壁	148.4±61.3	131.2±43.4	122.3±70.9
右心室壁	64.6±37.6	67.7±37.5	46.8±26.7
肝	115.0±32.2	83.1±24.5**	67.4±28.8**
大網	13.7±9.9	10.8±7.5	5.3±3.1*
胃	15.2±11.4	15.6±6.7	12.9±6.2
小腸	20.8±9.7	22.6±14.6	20.9±12.4
大腸	11.3±3.7	15.4±6.5	15.5±9.3
膵	30.4±16.2	24.8±8.3	20.3±12.2
脾	149.6±66.4	86.8±69.8**	47.3±37.8**
腎 (左側)	223.6±88.1	201.6±62.9	224.3±135.5
副腎 (左側)	65.1±17.5	83.5±11.1**	88.6±24.0*
骨格筋†	7.7±4.1	6.6±5.0	5.1±3.1

† : 右側大腿および下腿の全骨格筋 (平均±標準偏差)

出血前に比して有意
 * : 0.01<p<0.05
 ** : p<0.01

ml/min·100 g へ (0.01<p<0.05) と血流量が減少した。一方脳, 副腎においては血流量の増加が認められた。すなわち脳では 24BL 時に 38.6±13.9 から 46.5±20.4 ml/min·100 g へ (p<0.01), 副腎では BL 前 65.1±17.5 ml/min·100 g であった血流量が, 12, および 24BL 時にはそれぞれ 83.5±11.1 (p<0.01), 88.6±24.0 (0.01<p<0.05) ml/min·100 g へと増加した。

心拍出量分画は表 3 の如く, 出血により肝および脾において減少した。すなわち肝における心拍出量分画は BL 前 27.02±10.46% であったが, 12BL 時に 19.70±5.89% に低下した (p<0.01)。

脾では BL 前 3.13±1.32% であった心拍出量分画が 12, および 24BL 時にそれぞれ 1.67±0.97 (p<0.01), 1.27±0.79 (0.01<p<0.05)% へと低下した。一方脳, 大腸, 腎, および副腎においては心拍出量分画の上昇が認められた。すなわち脳における心拍出量分画は BL 前に 1.88±0.57% であったが, 12, および 24BL 時にはそれぞれ 2.10±0.69 (0.01<p<0.05), 3.14±1.03 (p<0.01)% へと上昇した。また腎, および副腎においては, 24BL 時にそれぞれ 4.67±2.04 から 6.48±2.28% へ (0.01<p<0.05), 0.05±0.02 から 0.08±0.02% へ (p<0.01) と心拍出量分画の上昇

表 3 各臓器における心拍出量分画の出血による変動

(単位: %)

	出 血 前	12 ml/kg 出血	24 ml/kg 出血
脳	1.88±0.57	2.10±0.69*	3.14±1.03**
甲状腺 (両側)	0.04±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02
左 心 室 壁	3.70±1.04	3.65±1.36	4.57±1.40
右 心 室 壁	0.91±0.36	1.01±0.49	0.98±0.34
肝	27.02±10.46	19.70±5.89**	22.34±5.89
大 網	0.64±0.44	0.53±0.32	0.35±0.15
胃	1.01±0.47	1.27±0.60	1.55±0.86
小 腸	3.89±2.92	4.09±3.00	5.03±2.99
大 腸	0.51±0.18	0.72±0.34*	0.98±0.37**
脾	0.49±0.21	0.48±0.23	0.51±0.25
脾	3.13±1.32	1.67±0.97**	1.27±0.79*
腎 (左側)	4.67±2.04	4.36±1.13	6.48±2.28*
副腎 (左側)	0.05±0.02	0.06±0.02	0.08±0.02**
骨 格 筋†	2.68±1.06	2.74±2.47	3.04±2.37

†: 右側大腿および下腿の全骨格筋

(平均土標準偏差)

出血前に比して有意

*: 0.01<p<0.05

** : p<0.01

表 4 出血による直径 9 μm microsphere の動静脈シャント率の変動

(単位: %)

	出 血 前	12 ml/kg 出血	24 ml/kg 出血
脳	8.3±3.1	7.3±3.4	6.9±2.6
肝	1.9±1.5	0.4±0.6**	0.9±0.8*
腎	8.4±5.8	5.1±3.6*	4.3±3.6*
腹部臓器†	16.7±12.5	11.9±8.9	7.5±6.3*

†: 門脈系への静脈還流を有するすべての腹部臓器

(平均土標準偏差)

出血前に比して有意

*: 0.01<p<0.05

** : p<0.01

が認められた。

臓器内動静脈シャント率は表4の如く、脳では出血による変動はみられず、BL前、12、および24BL時それぞれ 8.3 ± 3.1 、 7.3 ± 3.4 、 6.9 ± 2.6 %であった。しかし肝、腎、および腹部臓器（門脈系へ還流静脈をもつすべての臓器）では低下がみられた。すなわち肝ではBL前 1.9 ± 1.5 %であったが、12、および24BL時にはそれぞれ 0.4 ± 0.6 ($p < 0.01$)、 0.9 ± 0.8 ($0.01 < p < 0.05$)%へ、腎でも 8.4 ± 5.8 %からそれぞれ 5.1 ± 3.6 、 4.3 ± 3.6 (いずれも $0.01 < p < 0.05$)%へと低下した。また腹部臓器での動静脈シャント率はBL前 16.7 ± 12.5 %であったが、24BL時に 7.5 ± 6.3 %へと低下した ($0.01 < p < 0.05$)。

考 案

Marcus ら⁷⁾は4種類の異なる直径を有するMSを用いて脳の動静脈シャント血管の大きさを検討し、直径6~13 μm のMSのシャント率が8%ともっとも多く、直径15 μm 以上のMSのシャント率は2%以下であったことを報告した。このことより本研究で用いた直径9 μm のMSは動静脈シャントの検索においては妥当な大きさを有していたと考えられる。一般にMS法による臓器血流量の測定には、MSを諸臓器の血管床において完全に捕捉させるために通常直径15 μm 以上の大きさのものが使用され⁵⁾、直径9 μm のMSは臓器内動静脈シャントを通過するために不適当であるといわれている⁸⁾。しかし諸臓器にとって有効な血流となる毛細血管血流量のみを測定することが目的であれば、むしろ動静脈シャントを通過する直径9 μm 大のMSが適当であると考えられる。

本研究における12BL時には、心係数は不変であるもののbase excessはマイナス方向へ移行する傾向にあり、軽度の末梢循環不全が存在していたと考えられる。さらに24BL時には心係数も低下して、明らかに出血による末梢循環不全、すなわち出血性ショックの状態が導入されたと思われる。

臓器血流量は、出血性ショック時、主として脾、および肝で減少したが、これには心係数の減少ばかりでなく、これら2臓器の心拍出量分画の低下が大きく影響していたと考えられる。脾において

は24BL時に、心拍出量分画値は脱血前より59%低下し、それに心係数の低下も加わって血流量は68%減少した。このことは脾の血液貯蔵臓器としての機能に関係しているとも考えられる。すなわち出血に伴う血管運動神経反射の作動により血液貯蔵臓器への血液流入が減少したためと思われる。また肝血流に関しては、出血時に肝固有動脈への心拍出量分画が増加することが報告されている⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾。しかし肝固有動脈からの血流のみならず門脈からの血流、すなわち消化管、脾、脾など門脈への静脈還流を有する腹部臓器の血流をも含めた肝への全血流について検討した本研究では、肝全体の心拍出量分画は出血によりむしろ低下し、それに伴って全肝血流量は減少した。Neutge ら⁴⁾やKaihara ら¹⁰⁾もこのような出血性ショック時の全肝血流量の減少を報告している。

一方左心室壁、腸管、腎では出血後も血流量が比較的正常に保たれていて、心拍出量分画も上昇傾向にあった。また脳、副腎においては出血によりむしろ臓器血流量が増加したが、これらでは心拍出量分画上昇の程度が大きく、24BL時に脳においては出血前の約1.7倍に、副腎においては約1.6倍に上昇した。Forsyth ら¹¹⁾もサルにおける出血性ショックモデルで心拍出量分画の上昇に基づく12%の副腎血流量増加を認めている。そして以上のことは出血性ショック時の生体防御機構のひとつであると考えられる。すなわち循環血液の喪失に対して、生体はおもに脾および肝への心拍出量分画を低下させ、これらへ分配されるべき血流を重要臓器に優先的に再分配することによって循環血液量の不足を代償し、生体全体の機能を維持しようとしていると考えられる。

Kaihara ら¹⁰⁾は直径50 μm のMSを使用し、イヌの出血性ショックモデルで心拍出量分画を算出しているが、ほぼ本研究と同じ結果を得ている。しかし本研究での腎における心拍出量分画の絶対値は彼らの報告の約70%にすぎなかった。この原因としては、直径9 μm MSの腎からの脱落が考えられる。Hales ら¹²⁾はウサギの耳介の血管の観察により、血管径より20%大きな径をもつMSでも徐々に血流にそって流れることを報告している。腎はその臓器重量に比して血流量が大で、その血流速度も非常に速いものといわれている。そのため一度血管網に捕捉されたMSが徐々に

脱落するものと考えられる。したがってこのように MS が腎から脱落することに基づき、腎における動静脈シャント率値は実際の値より高値になっている可能性が考えられ、今後の検討が必要と思われた。

出血前の動静脈シャント率の値は、脳、および腎ではともに約8%で Marcus ら⁷⁾の報告と同様の値となったが、肝では1.9%でこれらに比して低値となった。肝組織では肝固有動脈、および門脈の2系統から由来する毛細血管が肝細胞索の間で複雑な血管網を形成しており、このような解剖学的な特徴に基づいてシャント率が低値となったと考えられる。また肝の末梢血管では内皮細胞の一部が Kupffer 細胞となり細胞内皮系がよく発達している。すなわち生体にとって異物である MS はこの細網内皮系により末梢血管内で捕捉され、その結果シャント率が低値となったとも考えられる。一方、腹部臓器の動静脈シャント率は16.7%と他の3者に比して高値となった。腹部臓器の末梢循環系において動静脈シャント率が高いことはよく知られており、Delaney¹³⁾ はイヌの上腸間膜動脈内に直径 20 μm MS を注入し、その14~17%が静脈系へシャントすることを認めている。

出血時の臓器内動静脈シャント率は、末梢循環不全があまり進行していないと推測される 12BL 時においても、肝、および腎において低下を認めた。そして明らかに出血性ショックの状態を認める 24BL 時には、これらに加えて腹部臓器においてもシャント率が低下した。以上のことにより諸臓器の動静脈シャント血管は、出血に伴う循環血液量減少に対して、個々の臓器内において早期よりその血管を通過する血流を減少させることにより有効な臓器毛細血管血流を増加させ、組織代謝に必要な酸素供給を維持するように機能していると考えられる。しかしその機構にも限界があり、出血が進行すると脾、肝などの血流量が減少し、それらを犠牲にすることによって脳、心筋、腎などの重要臓器の血流が維持されると考えられた。

以上の如く、急性出血、および出血性ショック時には、生体全体としては脾、肝などの臓器血流が犠牲になることにより、また各臓器内において

は動静脈シャント血流が減少することにより、循環血液量の低下が代償されていることが示唆された。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Nelson, N. C., Nelson, J. L., Weldon, W. E., Vela, A. R.: Mechanisms of change in thoracic duct lymph flow during hypotensive states. *Ann. Surg.* 171:883~891, 1970.
- 4) 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.
- 5) 印南比呂志, 山口佳晴, 小杉 功, 岡田和夫：臓器血流の検討における Microsphere の利用。医学のあゆみ 86：250~256, 1973.
- 6) Lundberg, C., Schoenberg, M. H.: Comparison of the Fick principle and the radioactive microsphere method in measuring cardiac output during haemorrhagic shock. *Acta. Physiol. Scand.* 123:293~297, 1985.
- 7) Marcus, M. L., Heistad, D., Ehrhardt, J. C., Abboud, F. M.: Total and regional cerebral blood flow measurement with 7~10-, 15-, 25-, and 50- μm microspheres. *J. Appl. Physiol.* 40:501~507, 1976.
- 8) Fan, F. C., Schuessler, G. B., Chen, R. Y. Z., Chien, S.: Determinations of blood flow and shunting of 9- and 15- μm spheres in regional beds. *Am. J. Physiol.* 237(1):H25~H33, 1979.
- 9) 小杉 功, 岡田和夫, 山口佳晴, 山村秀夫, 印南比呂志, 河口太平：ショック時の血流の体内分布⁽⁴⁾—アシドーシス補正の影響。臨床生理 2：476~480, 1972.
- 10) Kaihara, S., Rutherford, R. B., Schwentker, E. P., Wagner, H. N.: Distribution of cardiac output in experimental hemorrhagic shock in dogs. *J. Appl. Physiol.* 27(2):218~222, 1969.
- 11) Forsyth, R. P., Hoffbrand, B. I., Melmon, K. L.: Redistribution of cardiac output during hemorrhage in the unanesthetized monkey. *Circ. Res.* 27:311~320, 1970.
- 12) Hales, J. R., Cliff, W. J.: Direct observations of the behavior of microspheres in microvasculature. *Bibl. Anat.* 15:87~91, 1977.
- 13) Delaney, J. P.: Arteriovenous anastomotic blood flow in the mesenteric organs. *Am. J. Physiol.* 216:1156~1161, 1969.

**Acute hemorrhage and organ microcirculation in dogs,
particular reference to arterio-venous shunt**

Hirofumi Yano, Nobuo Matsumoto, Akira Fukui and Masuhiko Takaori

Department of Anesthesiology, Kawasaki Medical School, Kurashiki, 701-01

The effect of hemorrhage on arterio-venous shunt in peripheral minute vessels was investigated in 9 dogs. Under either 12 ml/kg or 24 ml/kg hemorrhage, the radioactive isotope labeled, 9 μ m diametral microspheres were injected into the left atrium and the blood flow and the organ fraction of cardiac output were determined in the 14 organs. Arterio-venous shunt was measured by continuous collecting of venous blood for 40 seconds from the brain, liver, kidney, and splanchnic organs.

During the hemorrhage, the blood flow into the spleen, liver, thyroid glands, and great omentum decreased markedly, paralleling to the decreases in not only cardiac output but also in

its organ fraction. In other 10 organs, however, the blood flows were maintained comparably normal in spite of decrease of the cardiac output as a result of increase in the cardiac output fraction. The arterio-venous shunt was decreased in liver, kidney, and splanchnic organs under the hemorrhage, while it was maintained unchanged in the brain.

These results suggest that the changes of the distribution of cardiac output associated decrease of the arterio-venous shunt seem to compensate the reduction of organ blood flow for maintenance of basal oxygen supply in the tissues and organs.

Key words: hemorrhage, organ blood flow, distribution of cardiac output, arterio-venous shunt, microsphere