

反応性充血に及ぼす皮膚血流の影響

Effect of Skin Blood Flow on Reactive Hyperemia in the Human Calf

齊藤 満 宮村 実晴

Mitsuru SAITO Miharu MIYAMURA

The present study was undertaken to elucidate the effect of skin blood flow on reactive hyperemia and reproducibility of peak flow in reactive hyperemia after arterial blood flow occlusion for three minutes. Blood flow of the calf in both right and left legs was determined by means of strain gauge plethysmograph at room temperature of 20-26°C. For purpose of measurement, skin blood flow was occluded only in the left leg by adrenaline injection with iontophoresis (hereafter called the treatment leg) : skin blood flow was estimated from the difference in the calf blood flow between the right calf without iontophoresis and the left calf with iontophoresis. Results obtained in this study are as follows:

- 1) Average values and standard deviation for calf blood flow at rest were 3.4 ± 1.2 for the right leg and 3.4 ± 0.9 ml/100ml/min for the nontreated left leg. There was no significant difference between these two values.
- 2) Resting calf blood flow in the left leg was decreased by 21% when the left leg was treated by iontophoresis.
- 3) Despite no significant difference of peak blood flow in the reactive hyperemia between the right and left calf without iontophoresis, significant decrease ($9\% = 2.6$ ml/100ml/min) was observed in the left leg by the iontophoresis. The difference in the reactive hyperemia between the right leg and treated left leg was about 3% and this difference statistically was not significant.
- 4) Muscle blood flow accounted for 91% of peak flow in the reactive hyperemia after arrest of arterial blood flow. However, peak flow in the skin (41.6 ml/100ml/min) as expressed per 100ml tissue was greater than that in the muscle tissue (38.2ml/100ml/min).
- 5) Coefficients of variation of resting blood flow, peak flow and hyperemia were 11.3, 6.6 and 13.7%, respectively.

In conclusion, the effect of skin blood flow on the reactive hyperemia is only minor, whereas repeatability of peak flow in the reactive hyperemia determined with strain gauge plethysmograph seems to be considerable high.

ラバーストレンゲージプレチスモを用いて測定した下腿血流量には、筋だけでなく筋以外の組織の血流も含まれる。したがって、下腿筋の反応性充血を評価するためには、筋以外の血流量の影響を明らかにしておくことが望まれる。

特に、皮膚血管は動静脈吻合枝が多く、環境温や体温の変化で容易に血管拡張や収縮反応が引き起される。Kroese⁸⁾は、下腿の反応性充血では皮膚血流の割合は筋のそれに比べて小さいと報告しているが、Bonde-Petersen と Siggaard-Andersen¹⁾は、反応性充血の初期ではほとんどが皮

膚血流によるものと報告しており、両者の報告に大きな違いがみられる。

本研究では、ラバーストレンゲージを用いて測定した反応性充血において、皮膚血流がどの程度関与しているか、これにともなう反応性充血の個人内変動がどの程度であるかを確かめようとした。

方 法

循環器系に異常のみられない健康な男子大学生 15 名を測定の対象とした。彼らの平均年齢、身長及び体重は、それぞれ、 22 ± 2.0 (\pm SD) 才、

豊田工業大学 名古屋大学総合保健体育科学センター

Toyota Technological Institute Reserch Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

171±4.6cm 及び 61±4.4kg であった。

下腿血流量は、水銀封入ラバーストレンゲージを用いた静脈閉塞法によって測定した。すなわち、下腿最大囲に 20g の張力でラバーストレンゲージを装着し、膝直上方に巻いたカフ（幅 8cm）を 65~75mmHg に加圧し、下腿周囲径の変化を記録した。これから、Whitney の方法¹⁷⁾により下腿血流量を算出した。なお、静脈閉塞用カフの加圧 15 秒前から足頸部に巻いたカフ（幅 4cm）を

Fig. 1. Peak flow and hyperemia in reactive hyperemia.

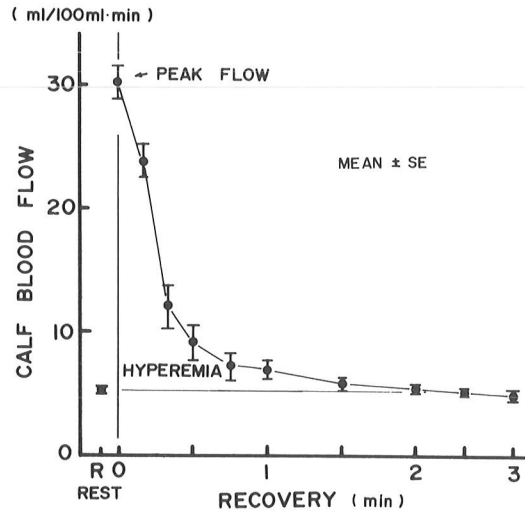
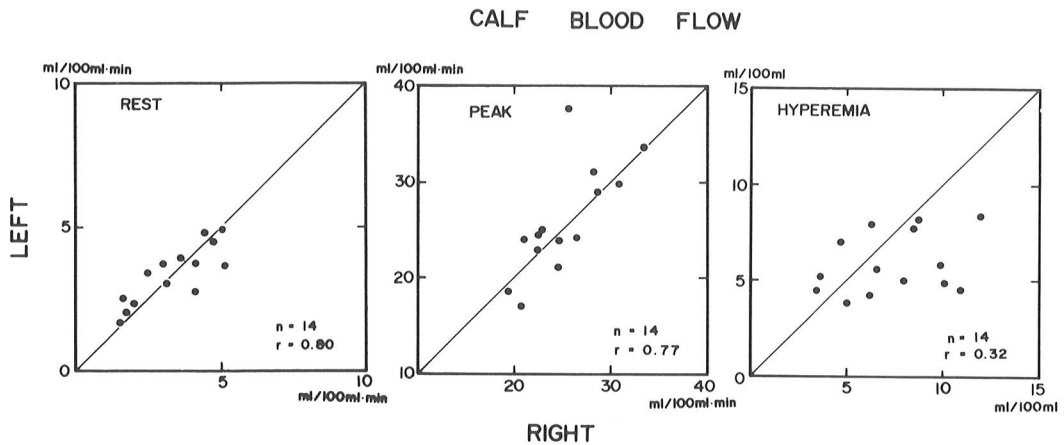


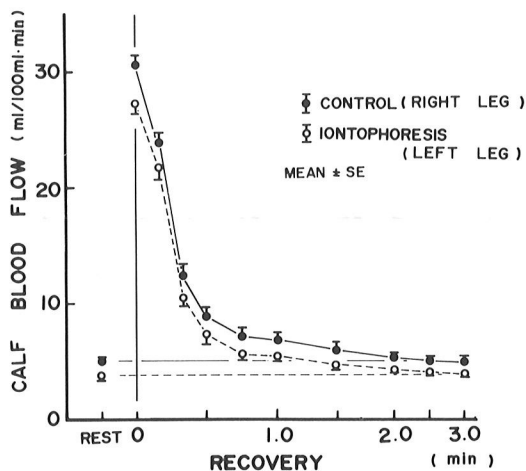
Fig. 2. Relationship of right and left calf blood flow at rest, peak flow, and hyperemia after three minute of arterial occlusion.



260mmHg に加圧し、足部の循環を分離した。反応性充血（3 分間の血流阻上後の血流）を測定するため被検者を仰臥位とし、下腿が心臓と同じ高さになるように腫を支え、足頸部に巻いたカフを 260mmHg に加圧したのち、膝直上方に巻いたカフを 295-300mmHg に加圧して大腿動脈流入停止を行った。3 分間の動脈流入停止後、動脈停止用カフ圧をすばやく 70mmHg に減圧し、動脈流入再開直後の血流量を測定した。続いて、再開後の 10, 20, 30, 45 秒, 1 分で血流量を測定し、1 分以後は 30 秒毎に回復の 3 分まで測定を続けた。足頸部カフは、動脈流入停止から回復の 1 分までは 260mmHg の圧を維持し、1 分以後は血流の測定ごとに加圧した。

ところで、反応性充血は図 1 に示したような回復の経過を辿る。本実験では、動脈流入停止前の血流を安静血流とし、5 回の測定値の平均値で示した。動脈流入再開直後、又は 10 秒後の測定で最も高い血流量の値が得られた。これをピーク流量（peak 流量）とした。充血量は、安静流量を越えた回復期の血流量の総和とし、安静流量を越えた回復期の面積から算出した。但し、回復の 3 分までに安静値に戻らないものが 3 件あったが、これらは 3 分までの値として充血量を算出した。

Fig. 3. Reactive hyperemia after three minute of arterial occlusion in right (control leg) and left calf arresting of skin circulation with iontophoresis of adrenaline.



下腿の皮膚血流は、イオン透過法⁶⁾により経皮的にアドレナリンを下腿に透過させ皮膚血流を遮断することにより求めた。すなわち、左側肢下腿に pH5.4 の磷酸三ナトリウム (Na_3PO_4) 溶液 100ml/mg のアドレナリン (ボスミン, 第一製薬) を加え 34~36°C に加温し, 脱脂綿にしみ込ませて左側下腿に巻きつけた。右下腿には同温の生理食塩水をしみ込ませた脱脂綿を巻きつけ, そ

の上から, 両下腿に銅電極 (幅 18cm×長さ 35cm) を巻き固定した。続いて, 両電極間に 20 分間, 直流電流を通電した。最初の 5 分間は 0.3mA, 10~12V, その後は 0.5mA, 15V まで高めた。また, 溶液の温度低下による下腿組織及び血流量の低下を最少にするために, 34~36°C に加温したアドレナリン溶液及び食塩水を電極内に随時注入した。

アドレナリンを透過させた側の下腿血流量 (左側: 以下処置肢という) と透過させなかった側の下腿血流量 (右側: 以下対照肢と言う) との差を皮膚血流とした。

実験手順

実験 1

被検者が実験室に来室したのちは, 半袖, 短パンツに更衣させ, 実験用の台上で仰臥姿勢で安静にさせた。このあと下腿最大囲にラバーストレングージを 20g の張力で装着した。20 分以上の仰臥安静を保持したあと, 安静血流量を 15 秒間隔で 5 回測定した。続いて反応性充血の測定を実施した。測定は, 左右一側ずつ行ない, その順序は任意に決定した。しかし, 日を替えた 2 回の測定において, 同一被検者では同じ順序で実施した。

Fig. 4. Relationship between control right calf and treated left calf with iontophoresis of adrenaline in blood flow at rest, peak flow, and hyperemia after three minute of arterial occlusion.

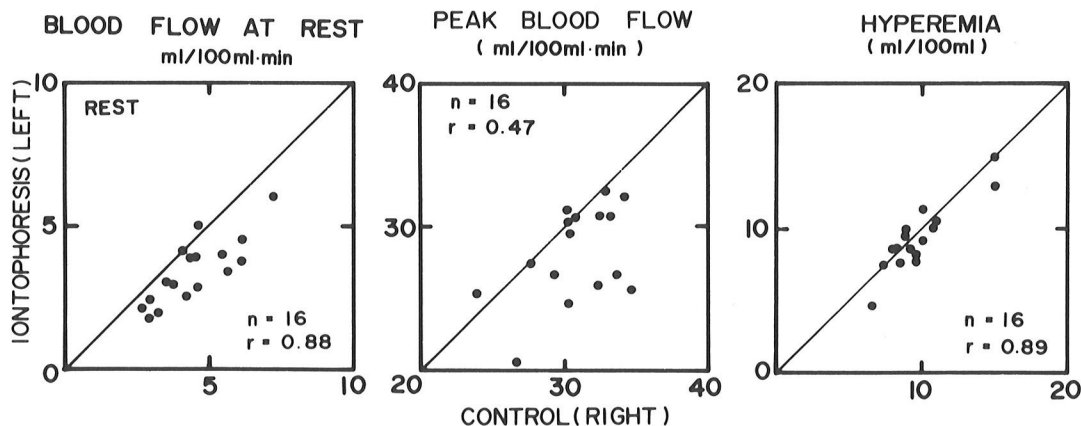


Fig. 5. Comparison of the calf blood flow at rest, peak flow, and hyperemia for the first and second measurements in control leg.

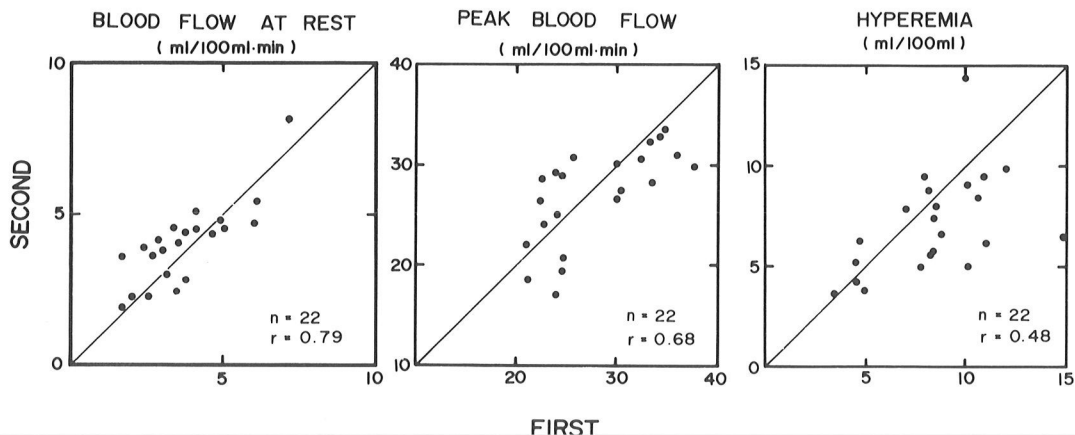
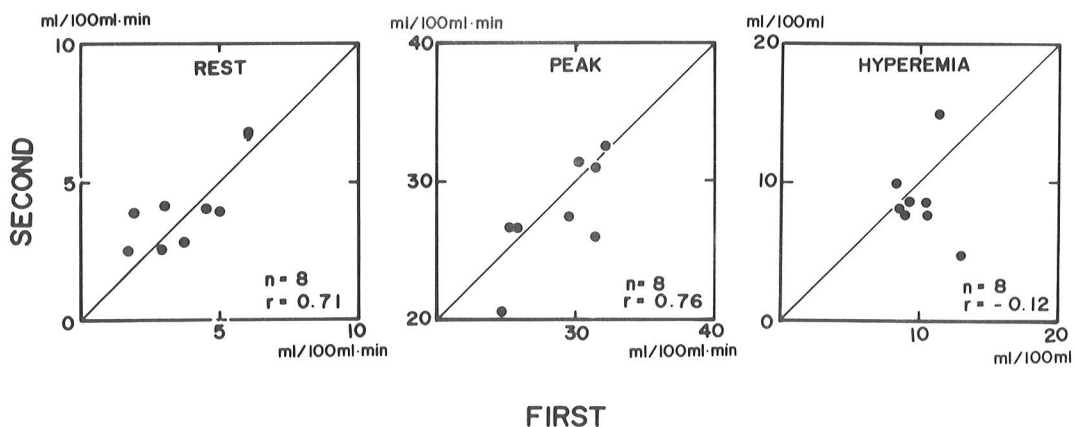


Fig. 6. Comparison of blood flow at rest, peak flow, and hyperemia for the first and second measurements in treated calf with iontophoresis of adrenaline.



実験 2

先の実験 1 の場合と同様、被検者は実験室に来たのち、半袖シャツ、短パンツとなり、そのあと台上で仰臥姿勢をとった。こののち、下腿部にイオン渗透用電極を取り付け 20 分間の通電を行った。アドレナリンの経皮渗透後下腿最大囲にラバーストレンゲージを装着し、両側同時に安静血流量を測定した。続いて、両側同時に 3 分間の動脈流入停止後反応性充血を測定した。

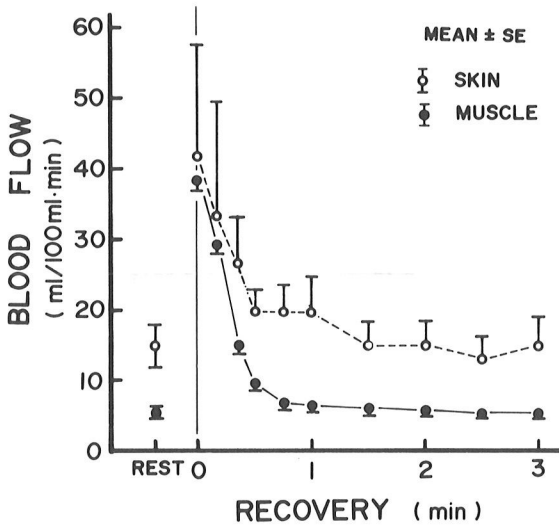
実験時の室温は 20°~26°C であったが、各測定においては、ほぼ 1°C 以内の変動であった。

実験 1 及び 2 ともに同一被検者について、日を替え 2 回測定した。1 回目と 2 回目との測定間隔は 2 日から 10 日であった。

変動係数及び統計処理

1 回目と 2 回目との測定値の変動係数 (BF_{cv}) は、(1) 式によって算出した。

Fig. 7. Reactive hyperemia in skin and muscle of calf after three minute of arterial occlusion.



$$BF_{cv}(\%) = |BF_1 - BF_2| / (BF_1 + BF_2) \times 100 \dots (1)$$

ここで BF_1 及び BF_2 は、それぞれ 1 回目と 2 回目との測定値をあらわす。

右・左両側下腿及び 1 回目と 2 回目との測定値の差の検定は、 t -検定を用いて行ない、5% 以下の危険率の値を有意と判定した。

結 果

左・右下腿血流量比較

安静血流、peak 流量及び充血量について、右側と左側下腿との比較を図 2 に示した。安静血流と peak 流量及び充血量の平均値と標準偏差は、それぞれ 3.4 ± 1.2 と $3.4 \pm 0.9 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$, 25.1 ± 3.9 と $26.0 \pm 5.8 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$ 及び 7.4 ± 2.6 と $5.9 \pm 1.5 \text{ ml} / 100 \text{ ml}$ であった。いずれの値においても両側間の差はみられなかった (表 1)。

皮膚血流

皮膚血流遮断肢 (処置肢) と対照肢の反応性充血を図 3 に示した。また、安静、peak 流量及び充血量の平均値と標準偏差を表 2 に示した。表 2 で示した通り、安静及び peak 流量は、対照肢が 4.7 ± 1.4 , $30.7 \pm 2.8 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$ であり、処置肢が 3.7 ± 1.3 , $28.1 \pm 3.2 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$ であった。皮膚血流遮断による下腿血流量の低下率は、安静時で 21%, peak 流量で 9% であり、この差は有意であった。充血量は、対照肢、処置肢の値がそれぞれ 9.6 ± 2.3 及び $9.3 \pm 2.3 \text{ ml} / 100 \text{ ml}$ であり、その差は 3% と小さく、両側の差はみられなかった。また、処置肢と対照肢との間で充血量は相関関係がみられたが、peak 流量の相関関係はみられなかった ($0.1 < p < 0.05$) (図 4)。

測定値の個人内変動

図 5, 6 は、対照肢及び処置肢の安静血流、peak 流量及び充血量について、1 回目と 2 回目の値との比較を示したものである。日を替えて測定したときの初回と 2 回目の安静血流、peak 流量

Table 1. Resting blood flow, peak flow, and hyperemia after three minute of arterial occlusion in the right and left calf

	No. of legs	Resting flow (ml/100ml/min)	Peak flow (ml/100ml/min)	Hyperemia (ml/100ml)
Right	14	3.4 (1.2)	25.1 (3.9)	7.4 (2.6)
Left	14	3.4 (0.9)	26.0 (5.8)	5.9 (1.5)
Regression coefficient		0.80**	0.77**	0.32 ^{ns}

Figures in parenthesis indicate standard deviation.

** $p < 0.001$, ns; not significant

Table 2. Resting blood flow, peak flow, and hyperemia after three minute arterial occlusion in the control calf of right leg and treated calf of left leg

	No. of legs	Resting flow (mℓ/100mℓ/min)	Peak flow (mℓ/100mℓ/min)	Hyperemia (mℓ/100mℓ)
Control leg (right calf)	16	4.7 (1.4)	30.7 (2.8)	9.6 (2.3)
Iontophoresis with adrenaline (left calf)	16	3.7 (1.3)	28.1 (3.2)	9.3 (2.3)
Regression coefficient		0.87**	0.47 ns	0.89**
t-values		5.304**	3.092*	0.976 ns

Figures in parenthesis indicate standard deviation.

** p < 0.001, * p < 0.01, ns; not significant

Table 3. Coefficient of variation of resting flow, peak flow, and hyperemia in control and treated leg calf

	No. of legs	Resting flow (mℓ/100mℓ/min)	Peak flow (mℓ/100mℓ/min)	Hyperemia (mℓ/100mℓ)
Control calf				
First	22	3.7 (1.4)	27.8 (5.2)	8.4 (2.7)
Second	22	4.0 (1.3)	27.0 (4.6)	7.1 (2.5)
Difference		-0.3 (0.8)	0.8 (4.0)	1.3 (2.7)
t-values		1.505 ns	0.991 ns	2.066 ns
Coefficient of variation (%)		11.3 (8.1)	6.6 (4.3)	13.7 (10.0)
Treated calf (with iontophoresis)				
First	8	3.6 (1.4)	28.6 (2.7)	10.0 (1.5)
Second	8	3.8 (1.3)	27.7 (3.5)	8.6 (2.7)
Difference		-0.2 (1.0)	0.9 (2.2)	1.4 (3.3)
t-values		0.539 ns	1.010 ns	1.047 ns
Coefficient of variation (%)		14.3 (8.8)	3.6 (3.2)	13.7 (13.5)

Figures in parenthesis indicate standard deviation.

ns; not significant

及び充血量の平均値と標準偏差は、対照肢下腿では、 3.7 ± 1.4 と $4.0 \pm 1.3 \text{ml}/100\text{ml} \cdot \text{min}$, 27.8 ± 5.2 と $27.0 \pm 4.6 \text{ml}/100\text{ml} \cdot \text{min}$ 及び 8.4 ± 2.7 と $7.1 \pm 2.5 \text{ml}/100\text{ml}$ であり、皮膚血流遮断肢下腿(処置肢)は 3.6 ± 1.4 と $3.8 \pm 1.3 \text{ml}/100\text{ml} \cdot \text{min}$, 28.6 ± 2.7 と $27.7 \pm 3.5 \text{ml}/100\text{ml} \cdot \text{min}$ 及び 10.0 ± 1.5 と $8.6 \pm 2.7 \text{ml}/100\text{ml}$ であった。両側ともに1回目と2回目の値との間に有意の差はみられなかった。

1回目と2回目の測定値の変動係数は、対照肢及び処置肢で、それぞれ安静血流が11.3, 14.3%, peak流量が6.6, 3.6%, 充血量が13.7, 13.7%であり、両側ともにpeak流量の変動係数が最も小さく、安静血流と充血量はほぼ同じ値であった。

論 議

安静血流及びpeak流量の左右両側差はみられなかった(表1)。これまで多くの研究者によって両側の血流差のないことが報告されているが^{2) 7) 14)}, 本実験の結果はこれらの報告と一致するものである。また、真島ら⁹⁾は、キセノクリアランス法で測定した下腿筋血流量は両側で差がないと述べていることから、本結果の安静時皮膚血流量については、両側で差がないものといえよう。

本実験では、一側下腿にアドレナリンを投与し、皮膚血流を遮断することにより皮膚の血流を見積った。骨^{10) 11)}や脂肪組織¹²⁾の血流量が小さく、下腿血流量の大部分が骨格筋と皮膚の血流であるとして、下腿最大囲における筋組織が69%, 皮膚組織が6.0%とすれば¹⁵⁾, 骨格筋と皮膚の組織100ml当りの血流量は図7のように示される。安静では、筋の血流量は5.1, 皮膚のそれは14.9ml/100ml·minとなり、反応性充血のpeak流量は、筋が38.2ml/100ml·min, 皮膚が41.6ml/100ml·minであった。Kroese⁸⁾は、皮膚血流量を足頸部の血流量で代表し、下腿の筋及び皮膚の血流量を求めたところ、安静では筋血流が3.0, 皮膚血流が8.9ml/100ml·minであったと報告している。これら筋及び皮膚血流の値は、ともに本結果より低い値である。本実験とKroeseとの差は皮膚血流の見積り方の差異によるものと考えられ

る。すなわち、Kroeseは、皮膚組織に皮下脂肪も含めた値で皮膚血流量を算出したため低くなったものと思われる。また、筋血流の差は、本研究の筋血流の算出で脂肪組織を考慮しなかったためにKroeseの値に比べて大きくなったものと考えられる。

peak流量では、Kroeseは筋が28.8ml/100ml·min, 皮膚が58.4ml/100ml·minの値であったと報告している。これらの値は、安静と逆に、Kroeseの算出した皮膚血流量の方が本結果より高いことになる。先に述べたように、Kroeseは、足頸部の血流から皮膚血流を見積ったが、この場合には、足部からの帰還血も足頸部の周囲径増大に参与したことが考えられる。したがって、Kroeseの方法で求めた皮膚血流量は過大に見積った可能性がある。さらに、下腿血流量に占める皮膚血流量の割合は、本研究では、安静が21%, peakが9%であったが、Kroeseは、それぞれ60%, 28%であり、本研究の3倍に達した。恐らく、このように皮膚血流量の割合が本結果に比べて大きくなった主な原因は、測定法の違いによる皮膚血流量の見積りの差異によるものであろう。

Bonde-Petersen と Siggaard-Andersen¹⁾は、水プレチスモとキセノクリアランス法を併用して反応性充血を測定し、反応性充血の初期の数10秒間の血流量の増大はほとんどが皮膚血流によるものであると報告している。この結果は本結果と著しく異なる。この差は、キセノクリアランス法による筋血流量の測定に原因があると考えられる。すなわち、キセノンが筋組織から浄化される時間が、動脈血の流入と一致せず、遅れが生じること^{1) 16)}, 水プレチスモでは、静脈閉塞を行なうことから、一時的に下腿組織でうっ血が生じ、下腿部からの血液の流出が遅れる。これらのことが、反応性充血初期のキセノクリアランスと下腿血流量との誤差を生じさせるものと考えられる。さらに、キセノクリアランス曲線が安定するまでには数10秒間から数分間要する¹⁶⁾。これらのことは、反応性充血初期の筋血流量を過少に評価することにつながるものである。

Coles と Cooper²⁾は、前腕を用いて本研究と同

様の方法で反応性充血を測定した。その結果、peak 流量は、対照肢に比べて皮膚血流遮断肢では約 50% 減じることを報告した。この減少の程度は、本実験の結果と比べてかなり大きいものである。これについては、Coles と Cooper らが水プレチモを用い、水温を 34°C にし、本研究の室温条件 20~26°C より高い条件で測定されたこと、また、前腕は下腿に比べて骨格筋の割合が小さく³⁾、前腕血流量に占める皮膚血流量の割合が相対的に大きくなったことによるものと思われる。

ところで、peak 流量の変動係数に関しては、本研究では 6.6% であり、Dahn⁴⁾⁵⁾が報告した値 23.8% よりもはるかに小さかった。この差異の原因としては、まず測定法の違いを挙げることができる。すなわち、Dahn は水プレチモを用いて測定したが、(1) 水プレチモ法はラバーストレンゲジ法に比べて測定手順が複雑であり、その取り扱いに熟練を要すること⁵⁾、(2) 水プレチモの水温が 34°C に保たれているが、室温が 20 から 24°C の条件であることからこの温度差が皮膚血流や下腿中心部の血流量を変化させたことによるものかもしれない。

皮膚血流を遮断したときの peak 流量の変動係数は対照肢に比べて小さく 3.6% であったが、この差は有意ではなかった。皮膚血流を遮断した側としない側の peak 流量の変動係数で差がみられなかったことは、反応性充血での皮膚血流の割合が小さいことと、筋での peak 流量の変動の小さいことを示すものである。したがって、20~26°C の室温で、ラバーストレンゲジを用いて測定した反応性充血の peak 流量の再現性は高いといえよう。

対照肢と処置肢との充血量の差はみられなかった。充血量は、安静流量を越えた流量の総和で示したことから、皮膚血流の差は除外されたとみてよいであろう。しかし、充血量の変動係数は両側ともに 13.7% であったが、その範囲は 2.0 から 47.7% と大きなものであった。このことは、動脈流入停止による反応性充血の大きさが単に動脈流入停止地域での血管拡張物質の生成のみならず、脈管支配神経の緊張状態を反映しているのかもしれない

れないが¹³⁾、これについては今後の研究を待たねばならないだろう。

要 約

経皮的にアドレナリンを下腿皮膚に滲透させ、皮膚血流を遮断して反応性充血に及ぼす皮膚血流の影響を確かめた。下腿血流量は、ラバーストレンゲジプレチスモグラフで測定した。

1) 安静血流は、右側下腿が $3.4 \pm 1.2 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$ 、左側下腿が $3.4 \pm 0.9 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$ で差はみられなかった。皮膚血流遮断によって、安静血流は 21% 減少した。

2) 反応性充血の peak 流量は、右・左側下腿で差はみられなかったが、皮膚血流遮断によって 9% ($2.6 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$) 低下した。この差は有意であった。しかし、充血量は、皮膚血流遮断肢と対照肢との差は 3% であり、有意でなかった。

3) 3 分間の動脈流入停止後反応性充血の peak 流量は、91% が筋によるものであったが、組織 100ml 当りの血流は、皮膚 ($41.6 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$) が筋 ($38.2 \text{ ml} / 100 \text{ ml} \cdot \text{min}$) より大きかった。

4) 皮膚血流遮断肢と対照肢とでは、充血量の差はみられなかった。

5) 日を替えて測定した安静血流、peak 流量、及び充血量の個人内変動係数は、peak 流量が最も小さく 6.6%、安静血流は 11.3%、充血量は 13.7% であった。

6) ストレンゲジプレチスモを用いて測定した反応性充血は、室温が 20~26°C の条件であれば、皮膚血流の影響は小さく、再現性は高いといえる。

文 献

- 1) Bonde-Petersen, F. and J. Siggaard-Andersen. Blood flow in skin and muscle, evaluated by simultaneous venous occlusion plethysmography and ¹³³xenon clearance. Scand. J. clin. Lab. Invest. 19:113-119, 1967.
- 2) Coles, D.R. and K.E. Cooper. Hyperaemia following arterial occlusion or exercise in the warm and cold human forearm. J. Physiol. 145:241-250, 1959.
- 3) Cooper, K.E., O.G. Edholm, and R.F. Mottran. The blood flow in skin and muscle of the human

- forearm. *J. Physiol.* 128:258-267, 1955.
- 4) Dahn, I. On clinical use of venous occlusion plethysmography of calf. *Acta Chir. Scand.* 130:42-60, 1965.
 - 5) Dahn, I. On clinical use of venous occlusion plethysmography of calf. II. Results in Patients with arterial disease. *Acta Chir. Scand.* 130:61 - 75, 1965.
 - 6) Edholm, O.G., R.H. Fox, and P.K. Macpherson. The effect of body heating on the circulation in skin and muscle. *J. Physiol.* 134:612-619, 1956.
 - 7) 片山文路, 池谷義道, 丸山仁司, 磯野直希, 高島耕. Impedance 法による安静時下腿血流量測定の基礎的検討, 総合リハ. 8:216-220, 1980.
 - 8) Kroese, A.J. The contribution of muscle and skin circulation to reactive hyperemia in the human lower limb. A study with strain gauge plethysmography. *VASA* 6:9-14, 1977.
 - 9) 真島東一郎, 大橋正洋, 尾賀 幹, 萩島秀男, 飯尾正宏, 阿部正秀, 外山比南子, 岩倉博光. 脳血管障害片麻痺患者の筋血流量, 総合リハ. 4:297 - 303, 1976.
 - 10) McPherson, A., L.T. Scales, and L.H. Gordon. A method of estimating qualitative changes of blood flow in bone. *J. Bone Jt. Surg.* 43-B:791 - 799, 1961.
 - 11) Michelsen, K. Hemodynamics of the bone marrow circulation. *Acta Physiol. Scand.* 73:264 - 280, 1968.
 - 12) Nielsen, S.L. and P. Sejrnsen. Reactive hyperemia in subcutaneous adipose tissue in man. *Acta Physiol. Scand.* 85:71-77, 1972.
 - 13) Paterson, N.A.M. The effects of increased vasomotor tone on reactive hyperemia in the human forearm. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* 45:651 - 660, 1967.
 - 14) Patterson, G.C. and R.F. Whelan. Reactive hyperemia in the human forearm. *Clin. Sci.* 14:197 - 209, 1955.
 - 15) Tønnesen, K. H. Simultaneous measurement of the calf blood flow by strain-gauge plethysmography and the calf muscle blood flow measured by ¹³³Xenon clearance. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 21:65-76, 1968.
 - 16) Tønnesen, K. H. and P. Sejrnsen. Washout of ¹³³Xenon after intramuscular injection and direct measurement of blood flow in skeletal muscle. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 25:71-81, 1970.
 - 17) Whitney, R.J. The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol.* 121:1-27, 1953.

(昭和 59 年 1 月 20 日受付)

