

疲労困憊に至る膝伸展運動と足底屈運動が 下腿筋群と大腿筋群の血液量に及ぼす影響

飯室小百合* 清水 静代** 加賀谷淳子**

要 旨：本研究は被験者7名に椅座位姿勢で膝伸展運動あるいは足底屈運動を行わせ、大腿筋群と下腿筋群の血液量変化を近赤外線分光法により測定した。その結果、膝伸展運動時には下腿筋群の血液量が有意に減少したが、足底屈運動時の大腿筋群の血液量には有意な変化が見られなかった。このような結果は、同一の導血管から血液を供給されている筋群の活動が上位で起こるか下位で起こるかによって血液量に対する影響に相違のあることを示唆している。(J. Jpn. Coll. Angiol., 2003, 43: 323-326)

Key words: Muscle blood volume, Inactive muscle, Thigh muscles, Calf muscles, Exercise

緒 言

運動を持続させるには、活動筋の酸素需要を満たすために血流量を増加させる必要がある。活動筋への血流を部位特異的に増加させるために、交感神経性の血管収縮作用により腹部内臓器官や末梢の非活動部位など、他の部位の血流量を減少させる調節機構が存在する^{1,2)}。運動による筋交感神経活動の亢進は、活動筋にも作用するが、活動筋では筋組織内で産出された血管拡張物質により、活動筋への血液流入量を増加させることが示されている³⁾。したがって、両作用の兼ね合いによっては活動筋と非活動筋間だけでなく、異なる体肢の活動筋間や協働筋間でも血流量の調整が起こる^{3,4)}。一方、異なる筋群が、同一導血管から血液供給を受けている場合には、血管の分岐点における血管間の圧勾配が血流分配に影響することが考えられる。例えば、大腿動脈は深部と浅部に分岐し、それぞれ大腿と下腿筋群へ分岐するので、どちらかの筋群が活動すると、活動筋での血管拡張に伴って非活動筋の血管抵抗は相対的に高くなって血流量は減少すると考えられる。また、血管の上流部分で血流量が増加すると、それは活動していない筋へ血流量を供給する下流の血流量に影響を与える可能性もある。

そこで本研究は、膝伸展運動を行わせて下腿筋群の

血液量に与える影響と、足底屈運動を行わせて、大腿筋群の筋血液量に与える影響を明らかにすることを目的とした。前者は膝関節の伸展に、後者は足関節の伸展に直接関与しない筋群を対象とし、さらに、大腿動脈の上流と下流血管から血液供給を受けている筋群であることに着目した。

方 法

1. 被験者

被験者は女子大学生6名(22.8±1.0歳, 161.3±4.0cm, 59.3±31.8kg)であった。被験者には事前に実験の趣旨と実験に伴う危険性、参加への任意性を十分説明し、書面によって実験に参加する承諾を得た。

2. 運動プロトコール

被験者は、股関節角度100°(仰臥位:180°)の椅座位姿勢で、アクションメーター装置(VINE社製)を用いて、右脚の動的膝伸展運動(K運動)と動的足底屈運動(P運動)を行った。対側の左脚は、膝関節角度90°(膝完全伸展位:0°)、足関節角度90°(立位時:90°)に固定した。

K運動は膝関節角度90°から40°伸展する運動、P運動は足関節角度を100°から10°底屈する疲労困憊運動であった。運動強度は、両運動とも静的最大随意筋力の40%、運動のテンポは60回/分とし、メトロノームの音

* 日本女子体育大学大学院

** 日本女子体育大学基礎体力研究所

2003年3月18日受付 2003年8月25日受理

に合わせて実施した。

安静時の測定は右脚を膝関節角度 0° 、足関節角度 100° の底屈位で 5 分、その後、脚を膝関節角度 90° に変換し、さらに 5 分安静を行った後、運動を実施した。疲労困憊の規定は、動作範囲が 2 回連続して規定を下回った場合と運動のテンポが規定より遅れた場合とした。

3. 測定項目および測定方法

測定項目は、筋血液量を表す総ヘモグロビン・ミオグロビン濃度 (cHb/Mb) と組織酸素化指標 (TOI) とし、近赤外線酸素モニタ (NIRO-300: 浜松ホトニクス社製) を用いて 2 Hz で連続的にデータを取得した。また、胸部双極誘導法 (多用途テレメーター WEB-5000, 日本光電社製) によって記録した心電図から心拍数を測定した。

被験筋は、右大腿部の外側広筋 (VL) と大腿直筋 (RF)、下腿部の腓腹筋内側頭 (MG) とヒラメ筋外側部 (SOL) とした。VL と RF の測定部位は大腿長の 50%、MG は下腿長の 30% に相当する位置とした。また、SOL は腓腹筋外側頭の遠位部とし、測定部位に腓腹筋が含まれないように、あらかじめ超音波縦断画像 (SSD-1000, ALOKA 社製) で確認し、決定した。照射および検出プローブ間の距離は、大腿部 4 cm、下腿部 3 cm とした。得られた値は、運動開始時の 2 秒間の平均値を 0 として正規化した。また、運動持続時間は、疲労困憊時を 100% とした相対的な変化で示し、10% ごとに前 2 秒間の値を平均して用いた。

4. 統計処理

得られた各変数の群の値は、平均値 (mean) $\pm$ 標準誤差 (S.E.) で示した。2 群の平均値間の差の検定には、対応のある t 検定を用いた。また、経時的变化の差の検定には、繰り返しのある一元配置の分散分析を用い、有意差が得られた場合には Fisher's PLSD を用いて事後検定を行った。統計処理の結果は、危険率 (p) 5% 未満で有意とした。

結 果

疲労困憊までの運動持続時間は、P 運動で 181.0 ± 44.5 秒、K 運動で 44.5 ± 7.5 秒であった。また、心拍数は、P 運動では運動開始直後 (86.0 ± 4.0 拍/分) と疲労困憊時 (87.0 ± 3.8 拍/分) に有意な上昇はみられなかったが、K

運動では運動開始直後の 85.0 ± 3.6 拍/分から疲労困憊時には 120.0 ± 4.1 拍/分に増加した ($p < 0.05$)。

Fig. 1 に K 運動時の大腿筋 (VL, RF) と下腿筋 (MG, SOL) の Δ cHb/Mb と Δ TOI の変化を示した。運動を開始すると Δ cHb/Mb は VL, RF においても一旦減少し、運動持続時間 20% の時点で最低値を示した。それ以降は緩やかな増加傾向を示した。それに対して、下腿の MG と SOL では運動の持続に伴って減少し続けた。その減少は、運動持続時間 10% の値に対して、MG では持続時間 60%、SOL では 70% 以降から有意であった。

VL と SOL の Δ TOI は、運動開始後徐々に低下し、運動持続時間の 30~40% 以後一定値を維持した。それに対して、MG と SOL では変化がみられなかった。

Fig. 2 は P 運動時の Δ cHb/Mb と Δ TOI の変化を示している。MG と RF の Δ cHb/Mb は脚伸展運動時の VL, RF と同様に開始時に一旦減少し、その後は大きな変化はみられなかった。VL と RF の Δ cHb/Mb は減少傾向を示すものの、有意な変化は認められなかった。 Δ TOI は、MG で減少傾向を示したが、他の 3 筋では減少がみられなかった。

考 察

本研究では、膝伸展運動が下腿筋の血液量に与える影響と足底屈運動が大腿筋群に与える影響を調べたところ、膝伸展運動によって下腿筋群の筋血液量は有意に減少するが、足底屈運動によって大腿筋群の血液量の減少はみられないことが示された。

これまでの報告では、運動中の非活動体肢での血流量の減少はその部位での血管収縮によると考えられている^{1,5)}。さらに、下肢陰圧負荷 (LBNP) や血管収縮物質の注入により、筋交感神経を亢進させると近赤外線分光法によって測定した筋血液量の減少が確かめられている⁶⁾。このような知見に照らして考えると、本研究の膝伸展運動時に下腿筋群の血液量が減少したのは、その部位での血管収縮を反映していると考えられる。下腿部の血液量の減少には皮膚血流量の関与も否定できないが、近赤外線分光法の送受光間距離を考えると、主に筋血液量の変化をとらえていると考えられる。この減少は、活動筋である大腿筋群に蓄積した代謝産物が代謝受容器を介して求心性刺激を送り、それが遠心性に下腿筋群の血管収縮作用を起こした結果である⁵⁾と説明できる。これには、機械受容器反射によ

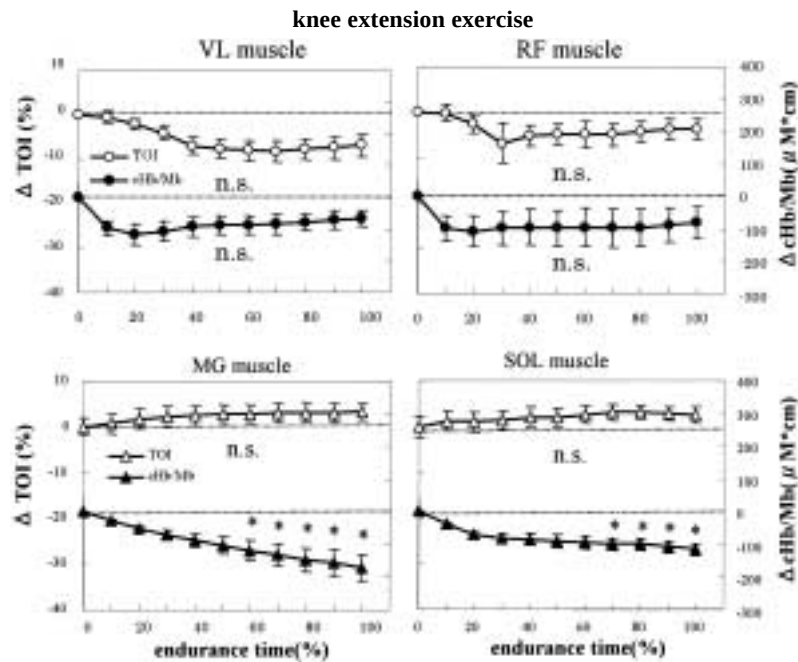


Figure 1 The time course of changes in muscle blood volume and TOI in VL, RF, MG and SOL muscles during knee extension exercise.

Data represent mean $\pm$ S.E.
n.s.; compared among values obtained at different time of 10% to 100%.

*; $p < 0.05$ vs 10%

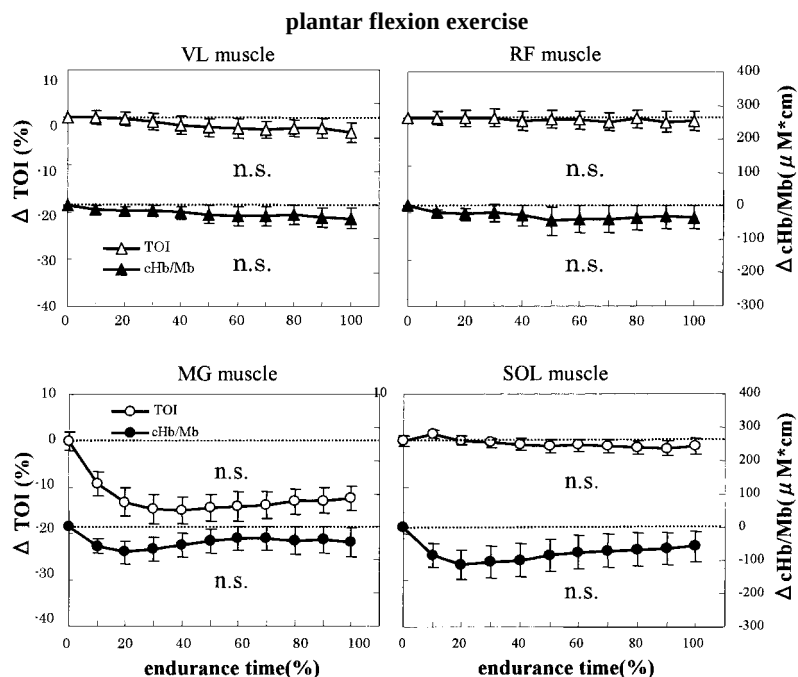


Figure 2 The time course of changes in muscle blood volume and TOI in VL, RF, MG and SOL muscles during plantar flexion exercise.

Data represent mean $\pm$ S.E.
n.s.; compared among values obtained at different time of 10% to 100%.

る調節⁵⁾も除外できない。また、本研究の膝伸展運動では、心拍数が増加しているの、高位中枢からの指令(セントラルコマンド)の関与もあると推察される。

一方、大腿筋群の筋血液量は足底屈運動による変化

がみられなかった。この結果は、足底屈運動時の下腿での血管拡張によって、大腿浅部動脈下流の血管抵抗を低下させ、相対的に大腿深部動脈下流の血管抵抗を高めることにはならなかったことを示している。足底

屈運動は大腿動脈の分岐部より上流にある総大腿動脈の血流量を増加させる⁴⁾ことや、大腿動脈の血流速度は分岐後の下腿へ流れる大腿動脈と比較して、大腿へ流入する大腿深動脈の方が速いことが確認されている⁷⁾。このことと本研究の結果を考えると、大腿筋群の血液量が増えなかったことは、末梢(下腿)での血管拡張によって上位血管(総大腿動脈)の血流量が増加すると、上位で分岐する他の血管(大腿深部動脈)への血流量を増加させる方向で影響を与えた可能性を示している。したがって、本研究の結果は、同一の導血管から血液を供給されている筋群の活動が上位で起こるか下位で起こるかによって血液量に対する影響に相違のあることを示唆している。

しかし、本実験のプロトコールでは、血管の解剖学的位置関係による血管抵抗の勾配や両運動による血管収縮作用の量的比較が明らかではなく、今後さらに検討が必要である。

文 献

- 1) Secher NH, Clausen JP, Klausen K et al: Central and regional circulatory effects of adding arm exercise to leg exercise. *Acta Physiol Scand*, 1977, **100**: 288-297.
- 2) Osada T, Katsumura T, Hamaoka T et al: Reduced blood flow in abdominal viscera measured by Doppler ultrasound during one legged knee extension. *J Appl Physiol*, 1999, **86**: 709-719.
- 3) Kagaya A, Saito M, Ogita F et al: Exhausting handgrip exercise reduces the blood flow in the active muscle exercising at low intensity. *Eur J Appl Physiol*, 1994, **68**: 252-257.
- 4) Quaresima V, Homma S, Azuma K et al: Calf and shin muscle oxygenation patterns and femoral artery blood during dynamic plantar flexion exercise in humans. *Eur J Appl Physiol*, 2001, **84**: 378-394.
- 5) Rowell LB and O'Leary DS: Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *Am J Physiol*, 1990, **69**: 407-418.
- 6) Hansen J, Thomas GD, Harris SA et al: Differential sympathetic nerve control of oxygenation in resting and exercising human skeletal muscle. *J. Clin. Invest*, 1996, **98**: 584-596.
- 7) Kornet L, Hoeks APG, Lambregts J et al: Mean wall shear stress in the femoral arterial bifurcation is low and independent of age at rest. *J Vasc Res*, 2000, **37**: 112-122.
- 1) Secher NH, Clausen JP, Klausen K et al: Central and regional circulatory effects of adding arm exercise to leg ex-

Effect of Exhaustive Knee Extension and Plantar Flexion Exercises on Muscle Blood Volume of Inactive Thigh and Calf Muscles.

Sayuri Iimuro*, Shizuyo Shimizu** and Atsuko Kagaya**

*Graduate School of Sport Science, Japan Women's College of Physical Education, Tokyo, Japan

**Research Institute of Physical Fitness, Japan Women's College of Physical Education, Tokyo, Japan

Key words: Muscle blood volume, Inactive muscle, Thigh muscles, Calf muscles, Exercise

The purpose of this study was to investigate the effect of exhaustive dynamic knee extension (KE) and plantar flexion (PF) exercises on muscle blood volume of inactive thigh and calf muscles. Six female subjects participated in this study. Total hemoglobin/myoglobin, which is related to change in muscle blood volume, was measured using near infrared spectroscopy from vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF), medial gastrocnemius (MG) and lateral solues (SOL) muscle. KE and PF exercises were performed until exhaustion at 40% maximal voluntary contraction, and a frequency of 60 contractions•min⁻¹. The muscle blood volume of inactive MG and SOL started to decrease significantly (p<0.05) after the onset of KE exercise. However the muscle blood volume of inactive VL and RF muscle did not differ significantly during PF exercise. Decrease of muscle blood volume in calf muscles is provably due to the elevated sympathetic activation inactive muscle vasculature. On the other hand, unchanged blood volume in thigh muscles may suggest that distribution of blood in lower limb was provably depend on the increased blood flow in common femoral arterial caused by thigh muscle exercise. These results suggest that the blood distribution of inactive muscles at the exhaustive knee and ankle exercise differed in lower and upper inactive leg muscles.

(J. Jpn. Coll. Angiol., 2003, **43**: 323-326)