

心疾患患者における運動時および回復期の筋肉血液量動態と運動耐性: 大腿筋と下腿筋の比較

Changes in Blood Volume in the Muscles of the Thigh and Calf During Exercise and Recovery and Their Relationships to Exercise Tolerance in Patients With Cardiac Disease

鯨坂 隆一
渡辺 重行^{*1}
外山 昌弘^{*2}
松田 光生
山口 巖^{*1}

Ryuichi AJISAKA, MD, FJCC
Shigeyuki WATANABE, MD, FJCC^{*1}
Masahiro TOYAMA, MD^{*2}
Mitsuo MATSUDA, MD, FJCC
Iwao YAMAGUCHI, MD, FJCC^{*}

Abstract

Objectives. This study compared the blood-volume changes and recovery in the thigh and calf during leg exercise and evaluated the relationships to exercise tolerance.

Methods. The peak oxygen uptake and total hemoglobin level (blood-volume index), oxyhemoglobin level, and deoxyhemoglobin level in the thigh and calf were measured by near-infrared spectroscopy during leg ergometer exercise and recovery in 13 patients with cardiac disease (mean age: 66 ± 6 years, left ventricular ejection fraction: 31 - 82%).

Results. There was no significant difference between the increase in blood-volume index during exercise in the thigh and that in the calf. The increase in the blood-volume index during recovery in the calf was significantly greater than that in the thigh, mainly due to the difference in deoxyhemoglobin levels. There were no positive relationships between the peak oxygen uptake and increases in blood-volume index except for the increase in blood-volume index in the thigh during exercise ($r = 0.73$).

Conclusions. There was no significant difference between the increase in blood-volume index in the thigh and that in the calf during exercise, whereas the increase in blood-volume index during recovery in the calf was significantly greater than that in the thigh in patients with cardiac disease. Only the increase in the blood-volume index in the thigh during exercise is related to the leg-exercise tolerance in patients with cardiac disease.

J Cardiol 2002 Sep; 4(3): 95 - 102

Key Words

■ Blood flow (blood volume) ■ Cardiovascular disease ■ Exercise
■ Diagnostic techniques (near-infrared spectroscopy) ■ Muscle, skeletal

はじめに

全身運動では運動の強度に応じて複数の筋が運動に関与する。自転車エルゴメーター運動では、比較的低強度においては大腿四頭筋が主に動員されるのに対し

て、高強度の運動においては大腿四頭筋に加えて、ペダリング時の足関節のアンクリングなどに下腿の筋群が動員されることが健常者の筋電図を用いた研究により明らかにされている^{1,2)}。すなわち、全身運動では運動中の筋の動員パターンは運動筋ごとに異なること

筑波大学 体育科学系, ^{*1}臨床医学系 内科: 〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1; ^{*2}竜ヶ崎済生会病院 内科, 茨城 Institute of Sport and Health Sciences, ^{*1}Department of Medicine, Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba, Ibaraki; ^{*2}Department of Medicine, Ryugasaki Saiseikai Hospital, Ibaraki

Address for correspondence: AJISAKA R, MD, FJCC, Institute of Sport and Health Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Manuscript received April 11, 2002; revised July 12, 2002; accepted July 15, 2002

から、運動筋の運動時および回復期の血液量動態もそれぞれの筋において異なるかもしれない。

心疾患患者においては心不全の重症度に関連して運動時の運動筋血流量が低下していること、運動中の下肢の最高血流量と最高酸素摂取量が密に関連していることが知られている^{3,4)}。同様に、運動耐性の良否により、運動筋の運動時あるいは回復期の血液量動態に差異があることが知られている^{5,6)}。すなわち、運動耐性良好例では運動筋への十分な血液供給を反映して運動時の運動筋血流量は増加し、運動後回復期には急速な充血反応を示すのに対して、運動耐性不良例ではそれと対照的な動態を示すとされている^{5,6)}。

本研究の目的は心疾患患者を対象とし、自転車エルゴメーター運動において大腿と下腿の運動筋における運動時および回復期の血液量動態に差異があるか、それらと運動耐性あるいは左心機能とに関連があるかを検討することにある。

対象と方法

1. 対象

対象は後述する測定検査を受けることに事前の説明により同意が得られ、かつ症状の安定した外来通院中の心疾患患者13例であり、全例男性で、平均年齢は 66 ± 6 (範囲58-75)歳であった。身長、体重、および体格指数はそれぞれ、 165.0 ± 5.2 cm, 65.2 ± 6.1 kg, および 24.0 ± 2.7 kg/m²であった。13例中3例が体格指数25 kg/m²以上であり、日本肥満学会の基準⁷⁾による肥満に該当していた。心エコー図法による安静時左室駆出分画は31-82%に分布し、6例が50%未満の低下を認めた。このうち4例はNew York Heart Association (NYHA) Ⅱ日心機能分類 Ⅱ度に相当していたものの、他の症例には心不全症状を認めなかった。疾患の内訳は陳旧性心筋梗塞6例、拡張型心筋症1例、経皮的冠動脈形成術後の虚血が解除された狭心症1例、正常冠動脈の胸痛症候群(胸痛発作時に有意のST下降もしくは運動負荷試験陽性) 5例であった。

2. 方法

運動負荷試験に先立ち、後述する近赤外分光法測定部位である大腿外側広筋部および下腿腓腹筋部の皮脂厚を栄研式キャリパーにより測定した。

運動負荷には座位自転車エルゴメーター(Lode製

CORIVAL400)を用い、自転車エルゴメーター上で座位により十分な安静を取らせた後で、初回負荷量20 Wで開始し毎分10 Wずつ漸増した。対象中7例が冠動脈疾患患者であったが、胸痛あるいは虚血性心電図変化で中止された例はなく、目標心拍数(年齢別予測最大心拍数(220 - 年齢)の85% 到達、高度血圧上昇(収縮期血圧250 mmHg以上)、および強い下肢疲労(ペダル回転数が40回/minを維持できない)のいずれかにより中止した。運動中止後は再び自転車で5分間の安静を取らせた。運動中、呼気ガス分析を併用し、ミナト医科学製MG-360を用い、breath-by-breath法により、分時換気量、酸素摂取量、および炭酸ガス排泄量を測定し、最高酸素摂取量を運動耐容能の指標とした。運動負荷試験は室温23-25℃のもとで、短パンツ着用下で行った。13例全例が服薬中であり、服薬を中止せず検査を行った。

運動筋の血液量測定には島津製作所製近赤外分光装置OM200を用い、測定プローブを大腿外側広筋部または下腿腓腹筋部に装着し、それぞれ、総ヘモグロビン濃度動態から血液量変化を運動前安静時から回復期5分後まで連続的に測定・記録した。サンプリングタイムは1秒とした。また、酸素化ヘモグロビンおよび脱酸素化ヘモグロビン濃度の変化も同時に記録した。測定肢である右下肢は運動前、自転車のペダルの位置が最低になるように伸展させ、運動終了後も同様に自転車のペダルの位置が最低になるように測定肢を伸展するようあらかじめ指示し、実行させた。1秒ごとのサンプリングによる測定データは運動筋の収縮・弛緩の1回ごとの微妙な強弱などにより変動するため、それらの影響を小さくすべく、10秒間のデータを移動平均した。

Fig. 1に59歳、正常心機能例における大腿外側広筋部の血液量変化を酸素化および脱酸素化ヘモグロビン濃度変化とともに示す。運動筋血液量は運動開始直後、筋ポンプ作用により、筋肉内の血液が急激に静脈側に押し出されるため、いったん急激に減少するが⁸⁾、その後は筋への流入血流量の増加が静脈への流出血流量の増加を上回るために増加に転じている。本研究では運動開始直後の最低値(Fig. 1のa点での測定値)と運動中の最大値(Fig. 1のb点での測定値)の差を求めて、運動時の血液量増加指標とした。同様に、運動終了後回復期の血液量の最大値(Fig. 1のd点での測定値)と

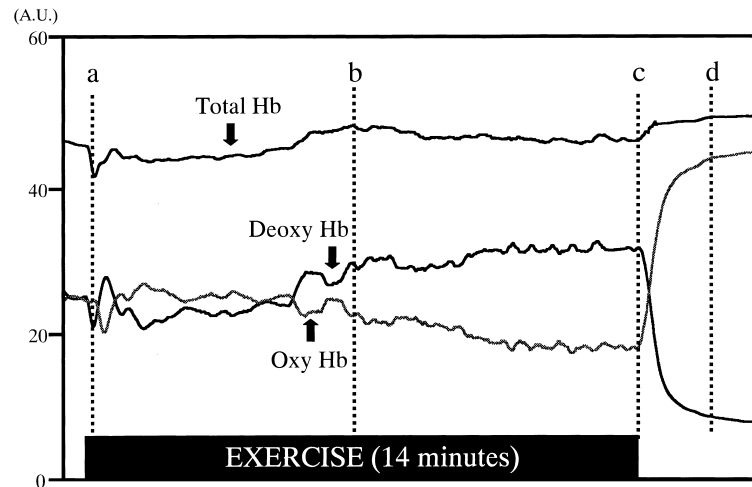


Fig. 1 Changes in the total hemoglobin, oxyhemoglobin, and deoxyhemoglobin levels of thigh muscle during exercise and recovery in a patient

The blood volume (total hemoglobin level) rapidly decreased immediately after starting exercise probably due to the muscle-pumping action, but increased during exercise. After the end of exercise, the blood volume increased again. The increase in total hemoglobin level during exercise or during recovery was calculated as the maximum value during exercise (at point *b*) or recovery (at point *d*) - the initial minimum value during exercise (at point *a*) or the value at the end of exercise (at point *c*) respectively. The increase in the oxyhemoglobin or deoxyhemoglobin level during exercise or during recovery was calculated in the same way as total hemoglobin.

Hb = hemoglobin; A.U. = arbitrary unit.

運動終了時 (Fig. 1のc点での測定値)の血液量との差を求めて、回復期の血液量増加指標とした。酸素化および脱酸素化ヘモグロビンについても、総ヘモグロビンと同じ計測点を用いて同様にその増加度を測定した。酸素化および脱酸素化ヘモグロビンの増加度については、血液量変化に対する関与を明らかにするために運動時血液量増加指標の測定ポイントにおける値を用いて算出した。このため個々の指標の最大値とは必ずしも一致していない。

Fig. 2にFig. 1と同じ症例の下腿腓腹筋部における各指標の変化を示す。大腿と同様の方法により、運動中および回復期の各指標の変化を評価した。

全体の測定値は平均±標準偏差で示した。大腿と下腿の測定値の比較検定には、Wilcoxonの符号付き順位和検定を、測定値間の関連はPearsonの相関係数を用いて検討し、いずれも $p < 0.05$ を有意差の判定基準とした。

結 果

大腿外側広筋部および下腿腓腹筋部の皮脂厚はそれぞれ 3.6 ± 1.2 , 3.2 ± 1.1 mmであり、対象に3例の肥

満者が含まれていたが、いずれも7 mm以上の例はなかった。

運動の中止理由は目標心拍数到達5例、高度血圧上昇1例、強い下肢疲労7例であった。

運動時血液量増加指標からみた運動中の運動筋血液量増加度は大腿が下腿より大であったが、統計学的には有意ではなかった (Table 1)。運動中の血液量変化に対する酸素化および脱酸素化ヘモグロビンの関与を大腿 (Fig. 1)と下腿 (Fig. 2)で比較すると、筋肉での酸素消費を反映するとされる⁹脱酸素化ヘモグロビン濃度の増加が大腿に比べて下腿で小さいことがわかる。

全例についてみると、酸素化ヘモグロビン濃度の減少度には大腿と下腿で有意の差異は認められなかったが、脱酸素化ヘモグロビン濃度の増加度は大腿が下腿より有意に大なる傾向を認めた (Table 1)。

回復期の運動筋血液量増加は下腿が大腿より有意に大であった (Table 1)。回復期血液量変化に対する酸素化および脱酸素化ヘモグロビンの関与をみると (Figs. 1, 2)、大腿においては運動後、急激かつ顕著な酸素化ヘモグロビン濃度の増加と鏡像変化的な急激かつ顕著な脱酸素化ヘモグロビン濃度の変化があり

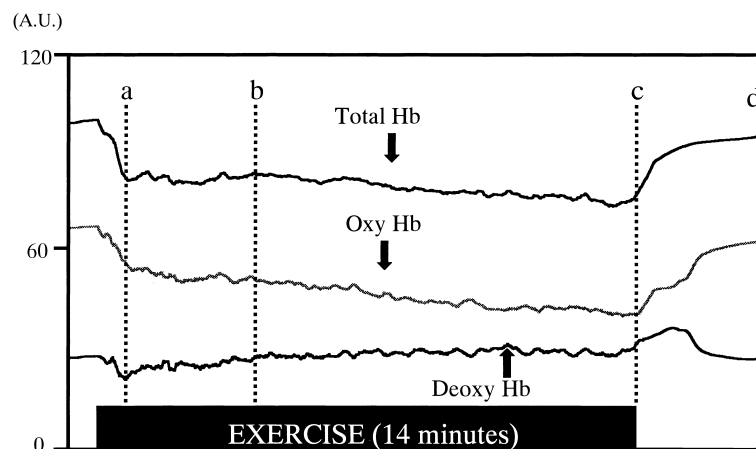


Fig. 2 Changes in the total hemoglobin, oxyhemoglobin, and deoxyhemoglobin levels of calf muscle during exercise and recovery in the same patient as Fig. 1

The blood volume (total hemoglobin level) rapidly decreased immediately after starting exercise probably due to the muscle-pumping action. After the end of exercise, the blood volume increased again. The increase in the total hemoglobin level during exercise or during recovery and the increase in the oxyhemoglobin or deoxyhemoglobin level during exercise or during recovery were calculated in the same way as Fig. 1.

Abbreviations as in Fig. 1.

Table 1 Changes in total hemoglobin, oxyhemoglobin, and deoxyhemoglobin levels in the thigh vastus lateralis muscle and in the calf gastrocnemius muscle during exercise and recovery

	Thigh	Calf	<i>p</i> value
Δ Total Hb _{EX} (A.U.) □	6.7 ± 2.8 □	4.7 ± 5.0 □	NS□
Δ Oxy Hb _{EX} (A.U.) □	- 3.2 ± 3.7 □	- 1.8 ± 3.1 □	NS□
Δ Deoxy Hb _{EX} (A.U.) □	9.9 ± 4.9□	6.5 ± 4.9□	< 0.10□
□	□	□ □	□
Δ Total Hb _{REC} (A.U.) □	2.8 ± 3.2□	13.6 ± 10.9□	< 0.01□
Δ Oxy Hb _{REC} (A.U.) □	19.6 ± 11.5□	12.3 ± 9.4 □	NS□
Δ Deoxy Hb _{REC} (A.U.) □	- 16.8 ± 11.6	1.3 ± 7.7	< 0.01

Increase in total hemoglobin level during exercise or during recovery (Δ Total Hb_{EX} or Δ Total Hb_{REC}) was calculated as the maximum value during exercise or recovery - the initial minimum value during exercise or the value at the end of exercise, respectively. The increases in oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin levels during exercise (Δ Oxy Hb_{EX}, Δ Deoxy Hb_{EX}) or during recovery (Δ Oxy Hb_{REC}, Δ Deoxy Hb_{REC}) were also calculated in the same way. □ EX = exercise; REC = recovery. Other abbreviations as in Fig. 1. □

(Fig. 1), 血液量の増加は動脈血の流入増加により生じるものの、血液の流出も多いため、全体としての血液量の増加は小さくなっている。一方、下腿においては、酸素化ヘモグロビン濃度が増加し、脱酸素化ヘモグロビン濃度が減少していないため (Fig. 2), 血液量のより大きな増加が生じている。全例についてみると、酸素化ヘモグロビン濃度の増加度には大腿と下腿で大腿が大きい傾向はあるものの有意な差異は認められなかったが、脱酸素化ヘモグロビン濃度の増加度は下腿

が大腿より有意に大であった (Table 1)。

大腿および下腿の運動時運動筋血液量変化と運動耐性指標である最高酸素摂取量との関連を Fig. 3 に示した。Fig. 3 - 左の大腿においては両者間に有意な正の相関を認めたのに対して、Fig. 3 - 右の下腿においてはまったく関連を認めなかった。

大腿および下腿の回復期運動筋血液量変化と最高酸素摂取量との関連を Fig. 4 に示した。Fig. 4 - 左の大腿においても Fig. 4 - 右の下腿においても両者間には有

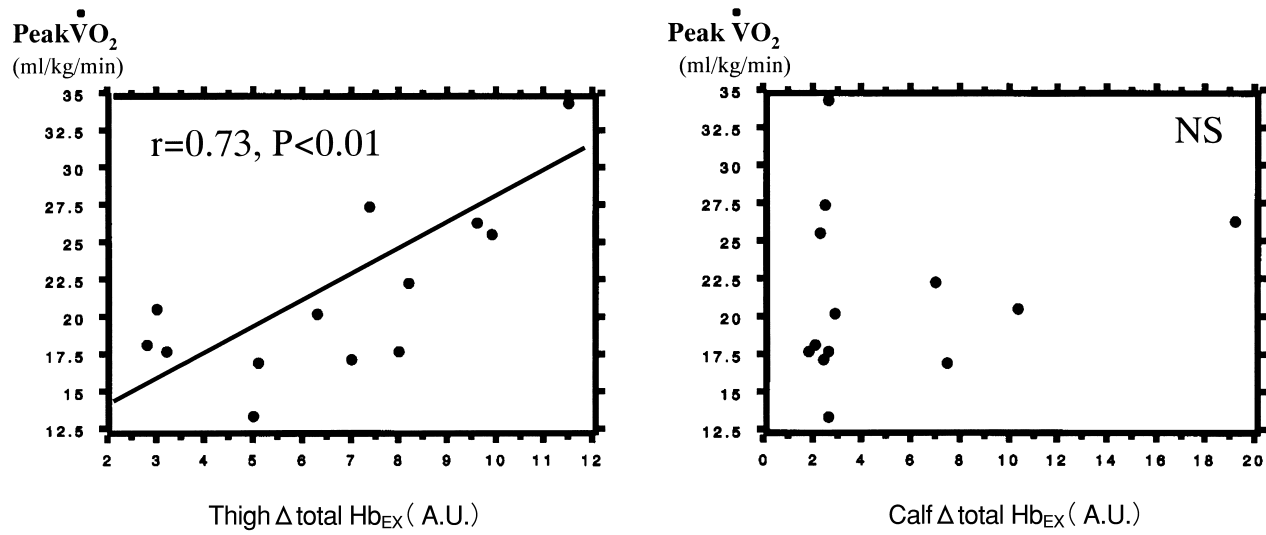


Fig. 3 Relationships between the peak oxygen uptake and the change in the blood volume of the thigh muscle (left) or in the calf muscle (right) during exercise

There was a significant ($r = 0.73$) positive relationship between the peak oxygen uptake and the change in the blood volume of the thigh vastus lateralis muscle during exercise, whereas there was no significant relationship between the peak oxygen uptake and the change in the blood volume of the calf gastrocnemius muscle during exercise.

Peak $\dot{V}O_2$ = peak oxygen uptake. Other abbreviations as in Fig. 1, Table 1.

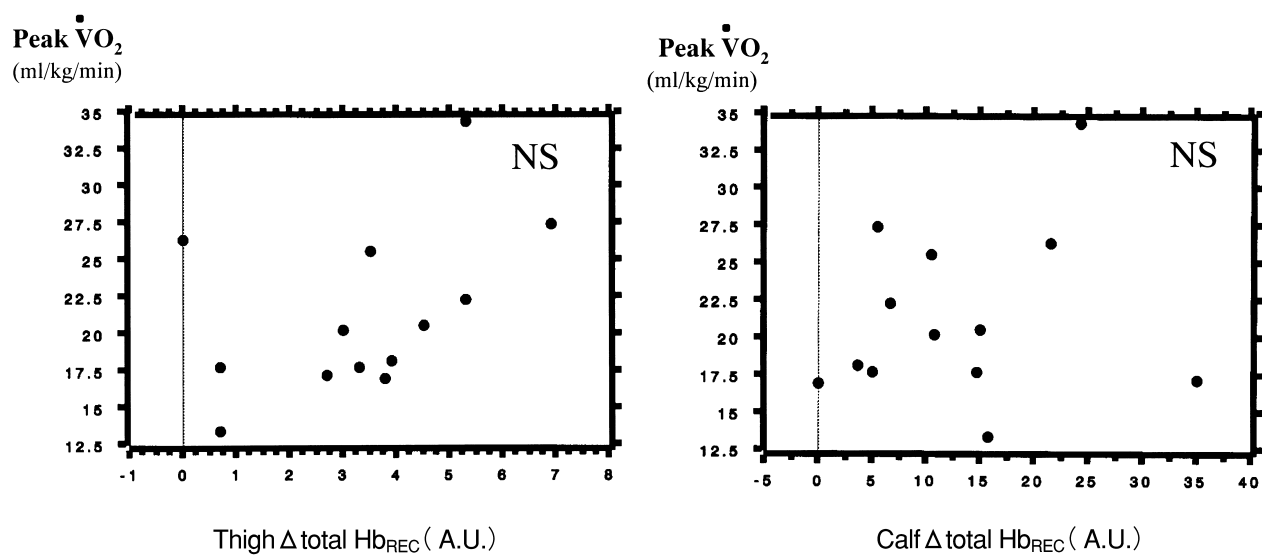


Fig. 4 Relationships between the peak oxygen uptake and the change in the blood volume of the thigh muscle (left) or in the calf muscle (right) during recovery

There was no significant relationship between the peak oxygen uptake and the change in the blood volume of the thigh vastus lateralis muscle during recovery or the change in the blood volume of the calf gastrocnemius muscle during recovery.

Abbreviations as in Figs. 1, 3, Table 1.

意な関連を認めなかった。

各部位の運動時・回復期運動筋血液量変化と左心機能指標である左室駆出率との関連を検討した。Fig. 5には運動時大腿の血液量増加指標との関連の結果のみ示したが、いずれの血液量増加指標も左室駆出率と有意な関連を認めなかった。

考 察

1. 近赤外分光法による血液量測定

近赤外分光法はLambert-Berrの法則により皮下2-3cmの組織におけるヘモグロビン・ミオグロビンの濃度およびその酸素化状態を非侵襲的に評価することが可能であり、四肢においては骨格筋の血液量の変化を評価することができる^{10,11)}。本法は測定部位の皮脂厚の影響を受け、皮脂厚が7mm以上では筋内の血液量測定は困難とされている¹²⁾。しかし、本研究では大腿外側広筋部、下腿腓腹筋部とも皮脂厚が7mm以上の例はなく、筋血液量の評価は妥当に行えたと考えられる。

今回の測定では運動直後の最低値を基準として、各指標の運動による増加度を評価した。渡辺ら¹³⁾の検討において、運動直後の最低値を基準にしたときに総ヘモグロビン濃度の運動時増加度と大腿静脈血流のそれとの間に良好な相関が得られたことに基づいてこの基準を採用した。

2. 大腿と下腿の運動時の運動筋血液量変化

運動時の運動筋血液量増加は大腿のほうが下腿より大きかったが、統計的には有意ではなかった。これは脱酸素化ヘモグロビンの増加については大腿がより大きい傾向を認めたものの、酸素化ヘモグロビンの減少度においては両者間に有意な差がなかったためと考えられる。

健常人での運動時血液量変化を大腿と下腿で比較した報告はない。三浦ら¹⁾は健常人において、自転車エルゴメーター運動における酸素化ヘモグロビンの動態について検討し、大腿での酸素化ヘモグロビンの有意な減少が150Wで始まるのに対して、下腿のそれは250Wであることを示した。すなわち、150W以下の運動強度では酸素化ヘモグロビンの減少は軽度でかつ大腿と下腿に差異を認めなかった¹⁾。本研究では全例150W以下で運動を終了しており、心疾患患者の運動

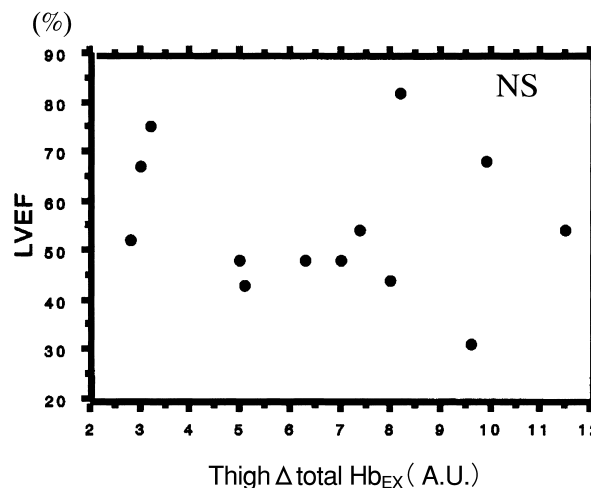


Fig. 5 Relationship between the left ventricular ejection fraction and the change in the blood volume of the thigh muscle during exercise

There was no significant relationship between the left ventricular ejection fraction and the change in the blood volume of the thigh vastus lateralis muscle during exercise.

LVEF = left ventricular ejection fraction. Other abbreviations as in Fig. 1, Table 1.

耐性の低さが大腿と下腿の酸素化ヘモグロビン動態に差異を生じせしめなかった可能性がある。また、健常人では下腿の運動への関与が大腿より遅れるのに対して、心疾患患者では下腿の運動への関与が相対的に早期に始まることを示唆しているのかもしれない。この理由は明らかではないが、運動耐性の低い心疾患患者では主動筋である大腿四頭筋の筋量が少ないために、早期に下腿筋が動員される可能性などが考えられる。

3. 大腿と下腿の回復期の運動筋血液量変化

回復期の運動筋血液量変化は下腿が大腿より有意に大であった。酸素化ヘモグロビン濃度の回復期の増加は大腿が下腿よりむしろ大きい傾向があったが、脱酸素化ヘモグロビン濃度の減少が大腿では顕著なため、大腿の回復期血液量の増加は両者が相殺されて小さくなる。一方、下腿では運動後の酸素化ヘモグロビン濃度の増加は大腿より小さい傾向があったが、脱酸素化ヘモグロビン濃度の減少が下腿では生じにくいいため、回復期血液量のより大きな増加が生じると考えられた。本研究では運動後、自転車のペダルの位置が最低になるように測定肢を伸展するように指示し実行させたため、下腿がより大きな重力の影響を受け静脈血が

貯留しやすかったことも、この結果に關与したと思われる。筋肉内の静脈は平滑筋が乏しくかつ交感神経の分布が少ないため¹⁴⁾、起立負荷における下肢静脈血貯留は約90%が筋肉血管に生じるとされている¹⁵⁾。

4. 運動耐性との関係

運動筋の血液量変化は運動強度が軽い場合は運動筋への酸素供給が酸素消費を上回るために血液量が増加するが、運動強度が上昇すると酸素の供給と消費がバランスされ、平衡状態になり、さらに高度の運動では消費が供給を上回って、減少に転じると考えられている。したがって、運動時血液量増加指標はエルゴメーター運動での同一仕事率に対する酸素消費に大きな個人差がないとすれば、運動筋への酸素供給を反映すると考えられる。実際、渡辺ら¹³⁾は心疾患患者において自転車エルゴメーター運動における大腿の運動時血液量増加指標と大腿静脈血流量増加度に非常に良好な正の相関があることを報告している。最大運動能の規定因子は単一ではないと考えられるが、運動筋への酸素供給能は其中で重要な規定因子と考えられ、そのため、運動時血液量増加指標と最高酸素摂取量との間に良好な関連を認めたと考えられる。下腿の運動時血液量増加指標との関連がなかったのは運動への関与が大腿より相対的に小さいからであろう。渡辺ら⁵⁾も運動時の大腿筋血液量反応と運動耐能とは良好な関連を有することを報告している。

運動後回復期の運動筋血液量反応と運動耐能との間には、大腿、下腿いずれにおいても関連は認められ

なかった。今回とほぼ同じ対象において大腿外側広筋の反応性充血時血液量増加反応と運動耐能との間に有意な正の相関を認めているので¹⁶⁾、意外な結果であるとも思えるが、運動後の血液量反応には前述のように静脈血の流出・貯留の影響が大きいことが理由と考えられる。

5. 心機能との関係

安静時心機能、とくに左室収縮機能と運動耐能との間には有意な関連がないことが知られている¹⁷⁾。今回の検討では安静時左室収縮機能と運動筋血液量反応とも有意な関連を認めなかった。同様に、我々の検討では下腿の反応性充血時血液量増加反応と左室収縮機能との間にも有意な関連を認めていない¹⁶⁾。

6. 問題点

症例数が少なく、心疾患の内訳が多様であったこと、治療薬服用下での検査であったことのために、統計学的に有意にならなかった結果があるとも考えられるので、さらに検討が必要がある。また、大腿、下腿の筋量の測定も機序の解明に必要である。

結 論

心疾患患者において、大腿と下腿の運動時および運動後回復期の運動筋血液量変化には運動後回復期において差異を認めた。運動耐性とは大腿筋の運動時血液量変化のみが関連を有し、下腿筋のそれや回復期血液量反応の大きさは関連を認めなかった。

要 約

目 的: 自転車エルゴメーター運動では大腿および下腿の筋肉が運動に關与する。それらの運動への關与の差異が運動時と回復期の運動筋血液量動態に及ぼす差異およびその運動耐性との関連を心疾患患者において検討した。

方 法: 症状の安定した心疾患患者13例(平均年齢66±6歳,左室駆出率31-82%)を対象とした。症候限界自転車エルゴメーター心肺多段階漸増運動負荷試験を実施し、近赤外分光法を用いて、大腿外側広筋部および下腿腓腹筋部の総ヘモグロビン濃度(血液量指標)、酸素化ヘモグロビン濃度、および脱酸素化ヘモグロビン濃度の運動時および回復期の動態を、それぞれの増加度により評価した。運動耐性指標としては最高酸素摂取量を用いた。

結 果: 運動時の運動筋血液量の増加度は大腿が下腿より大きかったが、有意ではなかった。一方、回復期の運動筋血液量の増加度は下腿が大腿より有意に大きかった。回復期の酸素化ヘモグロビン濃度の増加は大腿が下腿より大きい傾向があったが、脱酸素化ヘモグロビン濃度は大腿では顕著に減少したのに対して、下腿では減少が少ないか逆に増加した。大腿での運動時血液量増加度

のみが運動耐性指標と有意な正の関連を認めた($r = 0.73$)。

結 語: 心疾患患者において, 運動筋血液量変化は回復期において大腿と下腿で差異を認めた。運動耐性とは大腿の運動時血液量動態のみが関連を認めた。

J Cardiol 2002 Sep; 40(3): 95 - 102

文 献

- 1) 三浦 哉, 荒木秀夫, 的場秀樹: 自転車こぎ運動時の外側広筋および腓腹筋外側部における酸素化と筋放電量との関係. 体力科学 1999; **48**: 413 - 420
- 2) 西尾進也, 勝村俊仁, 浜岡隆文, 長田卓也, 下光輝一: 自転車運動時の下肢筋酸素濃度変化の非侵襲的測定. 臨床スポーツ医学 1997; **14**: 659 - 663
- 3) Wilson JR, Martin JL, Ferraro N: Impaired skeletal muscle nutritive flow during exercise in patients with congestive heart failure: Role of cardiac pump dysfunction as determined by the effect of dobutamine. *Am J Cardiol* 1984; **53**: 1308 - 1315
- 4) Sullivan MJ, Knight JD, Higginbotham MB, Cobb FR: Relation between central and peripheral hemodynamics during exercise in patients with chronic heart failure: Muscle blood flow is reduced with maintenance of arterial perfusion pressure. *Circulation* 1989; **80**: 769 - 781
- 5) 渡辺重行, 鰐坂隆一, 坂本和彦, 武安法之, 江田一彦, 杉下靖郎, 稲葉 武, 外山昌弘, 斉藤 巧, 山内孝義, 増岡健志: 運動筋部の血液量および酸素化動態と換気閾値との関連. *Ther Res* 1995; **16**: 331 - 335
- 6) Chance B, Dait MT, Zhang C, Hamaoka T, Hagerman F: Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *Am J Physiol* 1992; **262**: C766 - C775
- 7) 佐藤祐造: 肥満と肥満症の正しい理解. *in* 肥満・肥満症の指導マニュアル(日本肥満学会編), 医歯薬出版, 東京, 1997; pp 1 - 28
- 8) Sheriff DD, Rowell LB, Scher AM: Is rapid rise in vascular conductance at onset of dynamic exercise due to muscle pump? *Am J Physiol* 1993; **265**: H1227 - H1234
- 9) Hamaoka T, Iwase H, Shimomitsu T, Katsumura T, Murase N, Nishio S, Osada T, Kurosawa Y, Chance B: Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *J Appl Physiol* 1996; **81**: 1410 - 1417
- 10) Hampson NB, Piantadosi CA, Jobsis-VanderVliet FF: Near infrared optical monitoring of cat skeletal muscle during hypercapnia. *Adv Exp Med Biol* 1986; **200**: 523 - 530
- 11) Seiyama A, Hazeki O, Tamura M: Noninvasive quantitative analysis of blood oxygenation in rat skeletal muscle. *J Biochem(Tokyo)* 1988; **103**: 419 - 424
- 12) 弘原海剛, 木村 穰, 大島秀武, 宮本忠吉, 田中繁宏, 藤本繁夫: ランプ負荷運動に伴う近赤外分光法(NIRS)の筋内酸素動態の検討: 評価方法の試作と運動能力との関連について. 体力科学 1999; **48**: 125 - 136
- 13) 渡辺重行, 武安法之, 石井智香子, 新井恵美, 稲葉武, 石山実樹, 江田一彦, 仁科秀崇, 坂本和彦, 外山昌弘, 斉藤 巧, 森本隆史, 新富義侯, 鰐坂隆一, 山口 巖: NIRSでみた骨格筋. *心臓リハビリテーション* 2001; **6**: 155 - 156
- 14) Rothe CF: Physiology of venous return: An unappreciated boost to the heart. *Arch Intern Med* 1986; **146**: 977 - 982
- 15) Buckley JC, Peshock RM, Blomqvist CG: Deep venous contribution to hydrostatic blood volume change in the human leg. *Am J Cardiol* 1988; **62**: 449 - 453
- 16) Ajisaka R, Matsuda M, Watanabe S, Yamaguchi I, Toyama M: Calf flow reserve measured by venous-occlusion near-infrared spectroscopy: Relationship to exercise tolerance. *J Cardiol* 2001; **38**: 203 - 209 (in Jpn with Eng abstr)
- 17) Sullivan MJ, Hawthorne MH: Exercise intolerance in patients with chronic heart failure. *Prog Cardiovasc Dis* 1995; **38**: 1 - 22