相対的強度の等しい前腕と下腿の同時運動に対する呼吸循環系応答

加賀谷淳子* 水口由紀** 高平稚子*** 片山幸子****

RESPIRO-CIRCULATORY RESPONSES TO FOREARM AND CALF EXERCISE PERFORMED SIMULTANEOUSLY AT AN EQUAL FRACTION OF MVC

ATSUKO KAGAYA, YUKI MINAKUCHI, WAKAKO TAKAHIRA
and SACHIKO KATAYAMA

Abstract

Respiro-circulatory responses to forearm and calf exercise performed simultaneously were compared with corresponding responses to forearm or calf exercise performed separately in 9 active women aged 21.1 yr on average. Handgrip exercise and plantar flexion were carried out for 60 s in a supine position at a frequency of 60 times $\cdot$ min $^{-1}$ and the load was adjusted to 1/3 MVC. Forearm blood flow (FBF) increased to 9.64 ± 1.00 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1} \cdot$ min $^{-1}$ immediately after handgrip exercise, and calf blood flow (CBF) to 12.72 ± 0.72 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1} \cdot$ min $^{-1}$ after plantar flexion. These increases in FBF and CBF were not significantly different from those after combined arm and leg exercise. Blood flow to inactive limbs showed no significant changes. Rises in systolic and diastolic blood pressure at the end of exercise were significantly higher after handgrip exercise than after plantar flexion. However, no significant difference was found in mean blood pressure among the three types of exercise. $\dot{V}_{O_2}$ and HR in combined exercise were significantly higher than those during handgrip exercise, but no significant difference was found between combined exercise and plantar flexion.

Thus the present results indicated that the circulation to active limbs was not restricted when exercise was performed at 1/3 MVC, and that inhibitory summation shown in the central respiro-circulatory response to increased active muscle mass could occur without restriction of the peripheral circulation to the active muscle.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1991, 40 : 447~454)

key words : Forearm blood flow, Calf blood flow, Combined exercise, Inhibitory summation

I. 緒 言

全身的運動時の呼吸循環系応答は、活動筋群が局所に制限される局所運動時の呼吸循環系応答に比べて大きい。しかし、身体の複数部位の筋群が同時に活動を行った時の中心循環系応答は、個々の筋が単独に活動した時の循環系応答の単純加算に

はならないとされており (Stenberg et al.¹⁰⁾, Secher et al.¹⁶⁾, Lind and McNicol²⁰⁾, Davies and Sargeant¹⁾, Secher et al.¹⁵⁾, Klausen et al.⁹⁾, Grucza et al.⁵⁾, Seals¹⁴⁾), 活動筋量の増加が呼吸循環系応答の大きさをすべて決定するわけではないと考えられる。その理由は、すでに Secher et al.¹⁵⁾ や Klausen et al.⁹⁾ が明らかにしているよう

*日本女子体育大学基礎体力研究所
〒157 東京都世田谷区北烏山8-19-1

**新宿ウェルネスセンター
〒160 東京都新宿区西新宿3-2-11

***北鎌倉女子学園高校
〒247 神奈川県鎌倉市山ノ内913

****東芝昇降機サービスKK
〒223 神奈川県横浜市港北区茅ヶ崎南1-2-1

Research Institute of Physical Fitness, Japan Women's
College of Physical Education 8-19-1 Kita-karasuyama,
Setagaya-ku, Tokyo
Shinjuku Wellness Center 3-2-11 Nishi-shinjuku,
Shinjuku-ku, Tokyo
Kitakamakura Joshi Gakuen High School 913 Yamanouchi,
Kamakura-shi, Kanagawa
Toshiba Elevator Service Co. 1-2-1 Chigasakiminami,
Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa

に、強度の高い他の筋群の活動が付け加えられると、局所血流が減少することから推察されるように、交感神経性の血管収縮が筋活動に伴う代謝性の血管拡張より優位になることが関係しているのではないと思われる。しかし、異なる体肢が同じ相対的強度(%MVC)で同時に運動したときの全身的な呼吸循環系応答は単純に活動させたときと変わらない(Lind and McNicol¹⁰⁾)とする報告や、運動の持続時間によって休息肢での血流は減少する場合と増加する場合があり、それは筋交感神経活動と連動している(Saito et al.¹³⁾)とする報告もある。したがって、運動条件によって、活動筋群の増加に対する呼吸循環系の対応は変わるとと思われる。しかし、これまでの報告では他の体肢の血流減少が運動強度、持続時間、活動部位、活動筋量のどの条件に依存して起こるかについては明らかではない。また、これまでの研究の多くは、片手と両手、片脚と両脚というように、体肢の片側と両側運動を比較して、活動筋量の相違による呼吸循環系応答の相違を検討^{1,5,6,14,19)}しており、筋量増加の影響を上・下肢の同時運動によって検討した報告は少ない^{10,15,16)}。しかし Taylor たち(1989)²²⁾が示したように非活動肢の循環系応答は、同側の upper 肢と対側の lower 肢では異なっているので、体肢の両側運動による筋群加算とは別に上・下肢同時運動による筋群増加に対する呼吸循環系の調節を明らかにする必要がある。

本研究は前腕と下腿という筋量の異なる2部位に、相対的筋収縮強度の等しい動的運動を同時に行わせて、それぞれの体肢への血流量と全身的な呼吸循環系応答を単独運動時と比べることにより、筋群の加算に伴う呼吸循環系応答の抑制的加算(Seals, 1989¹⁴⁾)がこの運動条件で生ずるかどうかということと、2部位の活動筋への血流量が互いに制限しあうかどうかを明らかにすることを目的にしている。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は年齢 22.1 ± 0.12 歳、身長 156.3 ± 1.6 cm、体重 53.3 ± 1.98 kg の健康な体育専攻女子大学生

9名である。被検者の中に規則的な持久的トレーニングを行っている人はいなかった。実験前に、実験目的、内容、実験に伴う危険について説明し、被検者となることの同意を得た。

B. 実験手順

被検者はあらかじめ、実験装置を取り付けた状態で、エルゴメータ運動の練習を行い、実験装置に十分慣れるようにした。

1) 最大筋力の測定

実験第1日目に最大努力で握握力、足底屈力をそれぞれ単独に発揮させて、最大等尺性筋力を測定した。また、握握と足底屈を同時に行って、各部位の最大筋力を測定した。握握力の測定にはハンドエルゴメータを使用し、中指の第2関節が直角になるようにハンドルを握った位置で最大筋力を発揮させた。足底屈力の測定は、脚エルゴメータのペダルに足をのせ、足関節を90度に保った状態で筋力発揮を行った。測定は1分間隔でそれぞれ5回実施して、最大、最小を除く3個の値を平均して個人の最大筋力とした。なお、前腕単独、下腿単独、前腕下腿同時筋力測定の順序は任意とし、間には十分な休息をとった。

2) 60秒間運動

被検者は仰臥位でハンドエルゴメータあるいは脚エルゴメータを用いて運動を行った。負荷は単独に行った握握力、足底屈力のそれぞれ1/3 MVCに相当するものとした。運動は60回/分のテンポでももりを2 cm 持ち上げる握握運動(H)と足関節を90度の位置から10度伸展する足底屈運動(P)をそれぞれ単独あるいは同時(H+P)に60秒間行った。運動前は30分間の安静を保ち、運動後は10分間の回復期をおいた。3種の運動は3~7日の間隔をおいて別の日に実施した。

C. 呼吸循環系応答の測定

前腕血流量(FBF)および下腿血流量(CBF)は水銀封入ラバーストレインゲージを用いて静脈閉塞法により、安静時、運動直後、回復期に測定した。各測定30秒前に足首と手首のカフに260 mmHg の圧を加えて、手および足への血流を遮断した。静脈阻止圧は大腿部は90 mmHg、上腕部は60 mmHgとした。心拍数(HR)は連続記録したECG

の R-R 間隔から算出した。酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の測定には自動呼吸代謝測定装置 (ミナト医科学社製 RM 300) を用い、10秒間隔で $\dot{V}O_2$ を算出した。血圧 (BP) は日本コーリン社製の自動血圧装置 (STBP 680) を用いて上腕の心臓レベルで測定した。

D. 統計処理

群間の差の検定には対応のある t 検定を使用し、危険率 5 % 以下を有意とした。グループのデータはすべて平均値 $\pm$ 標準誤差で示した。

III. 結 果

足底屈最大筋力は単独発揮時の 100.0 ± 5.9 kg に比べて、同時発揮では 71.7 ± 6.5 kg に有意 ($p < 0.01$) に減少した。しかし、握力 (31.2 $\pm$ 1.3 kg) に比べて同時発揮の方が低い平均値 (29.4 ± 1.5 kg) を示したものの両平均値間に有意差は見られなかった。

図 1 と 2 は前腕単独運動 (H) と下腿単独運動 (P) 時の活動肢と非活動肢の血流量を示したものである。図 1 の活動肢の FBF は運動終了直後に 9.64 ± 1.00 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ 、30 秒後はそれより高い 10.39 ± 0.70 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ に増加したが、それ以後は緩やかに低下した。それに対して、非活動肢の CBF は有意の変化を示さなかった。

Fig. 1. Forearm (active) and calf (inactive) blood flow after dynamic handgrip exercise. (FBF; Forearm blood flow, CBF; Calf blood flow)

Fig. 2. Calf (active) and forearm (inactive) blood flow after dynamic plantar flexions.

図 2 では活動肢の CBF が運動終了直後 12.72 ± 0.72 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ に増加し、その後は [H] 運動後の FBF に比べて急激な減少を示した。それに対して非活動肢の FBF は運動終了直後には安静時 (1.88 ± 0.18 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$) より高い 2.52 ± 0.45 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ を示したが有意差はなかった。しかし、30 秒、1 分後は直後より低い値を示した。30 秒後の値 (1.50 ± 0.23 ml $\cdot$ 100 ml $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$) は直後に対して有意 ($p < 0.05$) に低かった。図 3 は同時運動 [H+P] での FBF, CBF を

Fig. 3. Forearm (active) and calf (active) blood flow after combined arm plus leg exercise.

示したものである。どちらも図1, 2の単独運動時の血流量とほぼ同じ様に変化し, FBFはCBFより緩やかに減少した。運動終了直後の FBF, CBFの安静時から増加分は, 図4に示す通りである。各体肢の単独運動([H]あるいは[P])時と両体肢の同時運動[H+P]時の血流量の間に有意差はなかった。

Fig. 4. Comparison of blood flow increase immediately after arm and leg exercise performed separately (H, P) and simultaneously (H+P). (H; handgrip exercise, P; plantar flexions, H+P; combined handgrip plus plantar exercise)

運動終了時の収縮期血圧(SBP), 弛緩期血圧(DBP)ともに[H]が最も高く(120.1 ± 4.2 mmHg, 81.11 ± 4.37 mmHg), [H+P]に比べて有意であったが, 他はいずれも有意差がなかった。平均血圧[(収縮期血圧-弛緩期血圧)/3+弛緩期血圧]は3運動間に有意差はなかった。

[H+P]の HR, $\dot{V}O_2$ はそれぞれ 100.2 ± 4.6 拍/分, 7.84 ± 0.77 ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ であり, [H]の 87.6 ± 4.1 拍/分, 5.75 ± 0.36 ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ より有意($p < 0.01$)に高かった。しかし, [P]の 98.6 ± 5.1 拍/分および 7.06 ± 0.83 ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ と比べるとどちらの平均値も[H+P]の方がやや高かった(HR: 102%, $\dot{V}O_2$: 111%)ものの有意差はなかった。安静時から増加分を比較すると図5, 6の通りである。単独運動[H]の HR, $\dot{V}O_2$ は[P]および同時運動の[H+P]に対して, 有意($p < 0.05$)に低かった。しかし, 同時運動[H+P]の HR, $\dot{V}O_2$ はともに単独運動[P]より高い平均

Fig. 5. Increase in heart rate during arm and leg exercise.

Fig. 6. Increase in $\dot{V}O_2$ during arm and leg exercise.

値を示したものの, 有意差はなかった。

IV. 論 議

全身的な呼吸循環系応答に対して, 筋量の増加がどのように関係しているかについては, 片手の運動と両手の運動, 片脚運動と両脚運動というように体肢の両側をモデルとして研究したものが多。その場合両側運動で活動する筋量は, 片側運動のほぼ2倍になるはずであるが, 心拍出量, 心拍数, 血圧, 筋交感神経活動などの循環系応答は筋量の増加に比べて小さいか, (Davies and Sargeant¹¹, Imms と Mehta⁶, Seals¹⁴), 変わらない(Stenberg et al.¹⁰, Lind and McNicol¹⁰, Klausen et al.⁹, Grucza et al.⁵)と報告されている。この様な結果は非活動肢の血流減少(Eklund et

al.³⁾, Kitamura et al.⁸⁾, Klausen et al.⁹⁾, Gaffney et al.⁴⁾, Saito et al.¹³⁾ や強度の低い活動時の筋で見られる血流減少(Secher et al.¹⁵⁾)から示唆されるように活動筋群の増加が末梢の特定部位での血流減少を起こすことが一つの原因であると考えられている。しかし、他の非活動体肢の循環系に対する影響は、上下肢のそれぞれの対側肢に対するものと、上肢と下肢間の影響とは異なるとされている(Taylor et al.²²⁾)。また、その影響は加えられた運動の強度(Secher et al.¹⁴⁾)や時間(Gaffney et al.⁴⁾, Saito et al.¹²⁾, Taylor et al.²²⁾)によっても異なることを示唆する報告がなされている。しかし、活動中の他の体肢の末梢循環に影響を及ぼす運動の条件についてはこれまで明らかにされなかった。

本研究は、収縮強度が相対的に等しい(1/3 MVC) 60秒間の掌握運動[H]と足底屈運動[P]が互いにどう影響するかを体肢の血流量と HR, BP, $\dot{V}O_2$ から明らかにしようとした。実際に発揮できる筋力の最大値は単独運動より同時運動の方が低く、特に足底屈力は有意な低下を示した。したがって、本研究で与えられた負荷は各体肢が単独に発揮した最大筋力を基準としてみれば、前腕・下腿の両体肢で等しいが、同時運動時に発揮し得る筋力の最大値を基準としてみれば前腕より下腿の方が高いことになる。本研究の結果、前腕と下腿の運動を同時に行っても、運動終了時血流量は単独運動時と相違のないことが明らかになった。下肢運動時の $\dot{V}O_2$ に対する上肢運動時の $\dot{V}O_2$ は 70~85% (Stenberg et al.¹⁹⁾, Secher et al.¹⁶⁾, Karlsson et al.⁷⁾)であるとされている。本研究のプロトコールでも、活動筋量は前腕より下腿の方が大きいと考えられ、実際に $\dot{V}O_2$ 増加量も下腿運動時の方が有意に高かった。それにも拘らず Secher たち(1977)¹⁵⁾の示したような血流量減少は起こらなかった。本研究では Secher たちの研究と違って両体肢の相対的運動強度を等しくしていることを考えると、一つの体肢の運動が、活動している他の体肢へ影響を与えるかどうかは筋量ではなく筋収縮の相対的強度に依存していることが示唆される。Taylor たち(1989)²²⁾は脚運動

時に非活動肢の腕あるいは脚での血管抵抗の増加は運動強度(%peak $\dot{V}O_2$)が高くなるほど顕著であることを示している。また、 P_H の低下を起こすような強度の前腕運動は下腿の血管収縮を起こす(Sinoway et al.¹⁶⁾, Systrom et al.²⁰⁾)ことや前腕運動の強度が高くなると筋交感神経活動が高くなる(Saito et al.¹²⁾)ことは、複数筋が同時に活動した後、他の体肢の循環系応答に影響を与える要因として筋収縮強度の関与が大きいことを示唆している。Saito たち(1986)¹²⁾の結果では、収縮張力が45%MVC になると、著しい筋交感神経活動の増加が起こっているが、1/3 MVC 強度でも非活動肢での筋交感神経活動の増加や血管収縮が観察されている(Saito et al.¹³⁾)。したがって、本研究で用いた 1/3 MVC は非活動肢での血管収縮を引き起こす可能性のある強度である。さらに、Seals (1989)¹⁴⁾の報告によれば、両側の掌握運動時の筋交感神経活動は単独運動より高い値を示している。それにも拘らず、本研究のように活動している他の体肢では血流減少が起きなかったということは、代謝性の血管拡張がそれを上回ったことを示唆している。

一方、体肢の両側の筋力を同時に発揮させると片側ずつ単独発揮させた時より小さくなるという Ohtsuki(1983)¹¹⁾や Secher たち(1988)¹⁷⁾の報告から考えると、複数部位で同時に一定張力を発揮させるためには、骨格筋を支配する中枢神経系の興奮水準が単独運動より相対的に高くなければならないと思われる。また、Fujiwara たち³⁾は肘屈曲運動時の H 反射が同側の下肢(非活動肢)では促進的に、対側の下肢では抑制的になること、その影響は %MVC が高いほど大きいことを示している。このように自律神経系のみならず体性神経系においても、一つの体肢の運動は他の体肢を支配する神経系の興奮・抑制に影響を与えているので、本研究の結果はそれらとも関連させてとらえる必要があろう。また、Taylor たち(1988)²²⁾は活動筋の post-exercise hyperemia が筋の電氣的活動の増加に伴って増加すると述べているので、上肢と同側の下肢の同時運動では、骨格筋での代謝性の血管拡張性刺激は単独運動時に比べて大き

くなっているはずである。しかし、それにも拘らず単独運動時と同時運動時の血流量増加に差が生じなかったという本研究の結果は同時運動によって増加した血管収縮性刺激は、同運動で増加した代謝性血管拡張を抑える程度のものであったことを示すものである。そして、血流量の増減は一つの筋の張力の大きさだけではなく、同時に活動する他の筋との相対的強度に依存して変化するものといえる。Secher たち(1977)¹⁵⁾の示した両体肢の $\dot{V}O_2$ の割合があるレベルを超えると血流減少が起きるという結果は、加えられた運動体肢の筋量の影響を示すだけでなく強度の因子の影響をも示唆しているものと考えることができる。

次に、HR や $\dot{V}O_2$ のような中枢性の呼吸循環応答の大きさが、複数筋の同時運動によって加算されていくかどうかについてみると、本研究の最大下負荷運動の加算においても、単独運動の $\dot{V}O_2$ 、HR の両体肢の加算よりは小さいことが明らかになった。これは上肢、下肢に最大運動を行わせて、同時運動時の $\dot{V}O_2$ や HR を単独運動時と比較したこれまでの報告(Stenberg et al.¹⁰⁾, Lind and McNicol¹⁰⁾, Secher et al.¹⁰⁾, Secher et al.¹⁵⁾, Klausen et al.⁹⁾)と一致するものである。本研究では、Secher たち¹⁵⁾や Klausen たち⁹⁾のように、活動筋群の加算による活動肢での血流減少は起こらなかったにも拘らず $\dot{V}O_2$ や HR は抑制的加算(inhibitory summation, Seals 1989¹⁴⁾)になった。したがって、 $\dot{V}O_2$ や HR が活動筋量の増加に比べて小さいという結果は、必ずしも活動筋群の血流減少によってのみ説明されるものではないことが示唆された。

本研究のように、活動体肢への血流減少がないにも拘らず、同時運動の呼吸循環系応答が両体肢を単独に運動させたときの単純加算にならないということは、もし呼吸で測定した $\dot{V}O_2$ が活動筋の $\dot{V}O_2$ を表すとすれば、そこでの動静脈酸素較差は同時運動で減少したことになる。しかし、片脚運動と両脚運動時の動静脈酸素較差を調べた Klausen たち(1982)⁹⁾の報告ではそのような結果は得られていない。また、掌握運動では、片側運動時より両側運動時の方が HR の増加があるにも

拘らず、1 回拍出量(SV)は減少し、心拍出量($\dot{Q}$)は変わらない(Grucza et al.⁵⁾)ことが示されているので、HR の増加をもって $\dot{Q}$ の増加と考えることはできない。本研究のような負荷条件の運動で増加した両体肢への血液供給が、 $\dot{Q}$ の増加を伴ったものであるか、 $\dot{Q}$ の増加なしに末梢的な血流分配の変化によるものであるかは興味あるところであるが、本研究ではそれを説明するデータは得られていない。

末梢循環系に抑制が起きない状態で、全身的な呼吸循環系が筋量の増加に比例した増加をみせない理由の一つとして、次のような可能性も考えられる。本研究の $\Delta\dot{V}O_2$ や ΔHR は運動による骨格筋の酸素摂取量の増加だけに応答したのではなく、呼吸筋や心筋などの骨格筋以外の部位での代謝の高進をも反映するものである。同時運動[H+P]の応答が単独運動[H]と[P]の応答の加算ではないということは、骨格筋以外の部位からの需要に対する中枢性の呼吸循環系応答が、同時運動でも著しく増加するわけでないことを示唆しており、それが抑制的加算を生じた原因になっているかもしれない。しかし、この点については、本研究からは説明できないので、今後さらに検討されねばならない。

V. 要 約

本研究は、相対的筋収縮強度の等しい(1/3 MVC)動的運動を前腕と下腿に同時に行わせて、筋群の増加に伴う呼吸循環系応答の抑制的加算がこの運動条件で生ずるかどうかどうかということと、2 部位の活動筋への血流量が互いに制限しあうかどうかを明らかにすることを目的にしている。被検者は活動的な女子大学生 9 名であり、対象とした運動はテンポ60回/分の掌握運動[H]と足底屈運動[P]および前腕・下腿同時運動[H+P]であった。いずれも運動時間は60秒である。得られた結果を要約すると以下の通りである。

1) 掌握力と足底屈力を同時に発揮させると、どちらもそれぞれを単独で発揮したときより小さくなり、特に足底屈筋力の低下は有意($p<0.01$)であった。

2) 1/3 MVC 負荷での動的掌握運動〔H〕あるいは足底屈運動〔P〕を、それぞれ単独に60秒間行った時の活動肢の血流量 (FBF, CBF) は $9.64 \pm 1.00 \text{ ml} \cdot 100 \text{ ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と $12.72 \pm 0.72 \text{ ml} \cdot 100 \text{ ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ に増加した。

3) 単独運動〔H〕時の非活動肢の CBF は有意の変化を示さなかった。単独運動〔P〕時の非活動肢の血流量 FBF も運動直後は安静時より高い平均値を示したものの、有意差はなかった。

4) 両体肢を同時に運動〔H + P〕させた直後の血流量は、FBF, CBF とともに、単独運動直後の平均値と有意差はなかった。

5) 運動終了時の血圧は、収縮期、拡張期ともに〔H〕運動がもっとも高く、〔H + P〕運動に比べて有意であった。しかし、平均血圧は、3 運動間に有意差はなかった。

6) 同時運動〔H + P〕の HR, $\dot{V}O_2$ はそれぞれ 100.2 ± 4.6 拍/分, $7.84 \pm 0.77 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり、〔H〕より有意 ($p < 0.01$) に高かったが、〔P〕と比べると、どちらの平均値も有意差はなかった。安静時からの増加分を比較しても、〔H + P〕運動時の HR, $\dot{V}O_2$ は単独運動〔H〕と〔P〕の HR, $\dot{V}O_2$ を加算したものより小さかった。

7) 本研究の結果から、1/3 MVC に相当する張力を発揮して行う前腕と下腿の60秒間同時運動では、両体肢への血液供給は互いに制限し合うことなく、単独運動時と同レベルの血流量が確保されることが示された。それにも拘らず HR, $\dot{V}O_2$ は単純加算より小さくなっており、全身的な呼吸循環応答に見られる抑制的加算は活動筋への血流減少がなくても起こりうることを示唆された。

本研究の要旨は、第45回日本体力医学会において報告した。

(受付 平成3年1月9日)

文 献

- 1) Davies, C. T. M. and Sargeant, A. J. (1975) : Effects of training on the physiological responses to one- and two-leg work. *J. Appl. Physiol.*, **38**, 377-381.
- 2) Eklund, B., Kaijser, L. and Knutsson, E. (1974) : Blood flow in resting (contralateral) arm and leg during isometric contraction. *J. Physiol.*, **140**, 111-124.
- 3) Fujiwara, T., Yanagisawa, K., and Hanaoka, M. (1988) : Modification of lower extremity motoneuron activities by volitional contraction of elbow flexor muscle in man. *New Horizons of Human Movement, SOSCOC Abst.* III pp 120-121.
- 4) Gaffney, F. A., Sjogaard, G. and Saltin, B. (1990) : Cardiovascular and metabolic responses to static contraction in man. *Acta Physiol. Scand.*, **138**, 249-258.
- 5) Grucza, R., Kahn, J., Cybulski, G., Niewiadomski, W., Stupnicka, E. and Nazar, K. (1989) : Cardiovascular and sympatho-adrenal responses to static handgrip performed with one and two hands. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **59**, 184-188.
- 6) Imms, F. J. and Mehta, D. (1989) : Respiratory responses to sustained isometric muscle contraction in man : the effect of muscle mass. *J. Physiol.*, **419**, 1-14.
- 7) Karlsson, J., Bonde-Petersen, F., Henriksson, J. and Knuttgen, H. G. (1975) : Effects of previous exercise with arm or legs on metabolism and performance in exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol.*, **38**, 763-767.
- 8) Kitamura, K., Yasuda, Y., Miyamura, M. and Matsui, H. (1980) : Blood flow of the ipsilateral and contralateral lower limbs after isometric contraction. *Jap. J. Physiol.*, **30**, 301-304.
- 9) Klausen, K., Secher, N. H., Clausen, J. P., Hartling, O. and Trap-Jensen, J. (1982) : Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. *J. Appl. Physiol.*, **52**, 976-983.
- 10) Lind, A. R. and McNicol, G. W. (1967) : Circulatory responses to sustained handgrip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static. *J. Physiol.*, **192**, 595-607.
- 11) Ohtsuki, T. (1983) : Decrease in human voluntary isometric arm strength induced by simultaneous bilateral exertion. *Behav Brain Res.* **7**, 165-178.
- 12) Saito, M., Mano, T., Abe, H. and Iwase, S. (1986) : Responses in muscle sympathetic nerve activity

- to sustained hand-grip of different tension in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **55**, 493-498.
- 13) Saito, M., Mano, T. and Iwase, S. (1990) : Changes in muscle sympathetic nerve activity and calf blood flow during static handgrip exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **60**, 277-281.
 - 14) Seals, D. R. (1989) : Influence of muscle mass on sympathetic neural activation during isometric exercise. *J. Appl. Physiol.*, **67**, 1801-1806.
 - 15) Secher, N. H., Clausen, J. P., Klausen, K., Noer, I. and Trap-Jensen, J. (1977) : Central and regional circulatory effects of adding arm exercise to leg exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **100**, 288-297.
 - 16) Secher, N. H., Larsen, N. R., Binkhorst, R. A. and Bonde-Petersen, F. (1974) : Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, **36**, 515-518.
 - 17) Secher, N. H., Rube, N. and Eilers, J. (1988) : Strength of two- and one-leg extension in man. *Acta Physiol. Scand.*, **134**, 333-339.
 - 18) Sinoway, L., Prophet, S., Gorman, I., Mosher, T., Shenberger, J., Dolecki, M., Briggs, R. and Zelis, R. (1989) : Muscle acidosis during static exercise is associated with calf vasoconstriction. *J. Appl. Physiol.*, **66**, 429-436.
 - 19) Stenberg, J., Åstrand, P. -O., Ekblom, B., Royce, J. and Saltin, B. (1967) : Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J. Appl. Physiol.*, **22**, 61-70.
 - 20) Systrom, D. M., Kanarek, D. J., Kohler, S. J. and Kazemi, H. (1990) : ³¹P nuclear magnetic resonance spectroscopy study of the anaerobic threshold in humans. *J. Appl. Physiol.*, **68**, 2060-2066.
 - 21) Taylor, J. A., Chase, P. B., Enoke, R. M. and Seals, D. R. (1988) : Cardiovascular adjustments to rhythmic handgrip exercise : relationship to electromyographic activity and post-exercise hyperemia. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **58**, 32-38.
 - 22) Taylor, J. A., Joyner, M. J., Chase, P. B. and Seals, D. R. (1989) : Differential control of forearm and calf resistance during one-leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, **67**, 1791-1800.