

レジスタンス運動は運動後の 非活動筋エネルギー消費量を亢進させるか

国立沖縄工業
高等専門学校 永澤 健

Does Energy Expenditure in Non-exercising Muscle after Exercise Increase by Resistance Exercise ?

by

Takeshi Nagasawa

*Department of Integrated Art and Science,
Okinawa National College of Technology*

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effect of resistance exercise on muscle oxygen consumption ($\dot{V}O_{2mus}$) in nonexercising muscles after exercise. Seven healthy male subjects performed the six sets of unilateral knee extension exhausting exercise at 40%, 60%, and 80% of 1 repetition maximum (RM) with 3 min rest period between sets on separate days. The $\dot{V}O_{2mus}$ in nonexercising forearm flexor muscles (nonex $\dot{V}O_{2mus}$) at rest, at the end of exercise, and during recovery after exercise were measured by near infrared spectroscopy. $\dot{V}O_{2mus}$ was determined using the rate of decrease in oxygenated hemoglobin during arterial occlusion. The nonex $\dot{V}O_{2mus}$ at the end of exercise significantly ($p < 0.05$) increased 1.8 ± 0.2 , 1.7 ± 0.2 , 1.4 ± 0.3 fold of resting values at 40%, 60%, and 80%RM, respectively. The nonex $\dot{V}O_{2mus}$ decreased to the resting values after 3-10 min of recovery and did not change significantly until 120 min during recovery period at all exercise intensities. There were no significantly differences in nonex $\dot{V}O_{2mus}$ after exercise among all exercise intensities. This study suggested that knee extension resistance exercise induced increase in nonex $\dot{V}O_{2mus}$ after exercise and the increase of nonex $\dot{V}O_{2mus}$ after exercise is recovered to resting value in several minutes.

要 旨

本研究では、レジスタンス運動が運動後の非活動筋の筋酸素消費量 ($\dot{V}O_{2mus}$) を亢進させるか否かについて検討することを目的とした。7名の健康成人男性を対象として、膝伸展運動を40%、60%、80%RMの3条件の負荷強度で実施した。安静時、運動終了時および回復期に、非活動筋である前腕屈筋群の $\dot{V}O_{2mus}$ を近赤外分光法により測定した。 $\dot{V}O_{2mus}$ は動脈血流遮断時の酸素化ヘモグロビンの減少率から算出した。全ての負荷強度において非活動筋酸素消費量 ($nonex\dot{V}O_{2mus}$) は運動終了直後に最高値を示した。運動終了直後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ は安静値と比較して有意な増加 ($p<0.05$) を示した。(40%RM 1.8 ± 0.3 倍, 60%RM 1.7 ± 0.2 倍, 80%RM 1.4 ± 0.2 倍)。 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ は運動後3~10分目で安静値に回復し、運動後120分まで有意な変化がなかった。運動終了後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ は、全ての負荷強度間に有意差を認めなかった。以上のことから、膝伸展運動によるレジスタンス運動後、非活動筋のエネルギー消費量が亢進すること、非活動筋エネルギー消費量の亢進は運動終了数分で安静値に戻ることを示唆された。

緒 言

筋力トレーニングなどのレジスタンス運動は、加齢による筋力低下の予防や減量などの健康づくりを目的として広く実施されるようになってきている。近年、レジスタンス運動終了後に、数時間の間、エネルギー消費量が亢進した状態が続くことが報告されている^{15,16)}。この現象は、EPOC (運動後余剰酸素消費量) と呼ばれている^{2,7)}。レジスタンス運動によりEPOCが生じることは、レジスタンス運動の体重調節効果として注目される。これまでレジスタンス運動後のエネルギー消費量の変化については、呼気ガス分析法を用いて全身レベ

デサントスポーツ科学 Vol.27

ルでの変化を検討した研究が大部分を占めている^{3,15,16)}。しかしながら、レジスタンス運動後にエネルギー消費量が活動筋で高まっていることは推察されるものの、非活動筋でもエネルギー消費量が亢進しているか否かについては明らかでない。

近年、近赤外分光法 (NIRS) は運動時の筋の酸素化状態を非侵襲的に測定可能な方法として利用されている^{6,8)}。この近赤外分光法は、局所レベル (筋) での筋エネルギー消費量、すなわち筋酸素消費量 ($\dot{V}O_{2mus}$) の変化を捉えることも可能である^{8,14,17)}。したがって、近赤外分光法は運動後の非活動筋 $\dot{V}O_{2mus}$ ($nonexercising\dot{V}O_{2mus}$; $nonex\dot{V}O_{2mus}$) の変化の検討を行うための有力な手段であると考えられる。

そこで、本研究では、レジスタンス運動終了後に、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が亢進した状態が続くか否かを明らかにすることを目的とした。この目的を達成するために、本研究では負荷強度の異なるレジスタンス運動終了後に活動筋と非活動筋の $\dot{V}O_{2mus}$ の変化をNIRSにより検討した。

1. 方 法

1. 1 被検者

健康成人7名 (年齢 23.4 ± 2.9 歳, 身長 169.7 ± 5.3 cm, 体重 62.6 ± 5.4 kg, $\dot{V}O_{2max}$ 41.8 ± 8.1 ml/kg/min; 平均±標準偏差) を対象とした。高度にトレーニングされた被検者はいなかった。また、現在、定期的にレジスタンストレーニングを実施している被検者はいなかったが、全ての被検者は過去にレジスタンストレーニングを実施した経験があった。各被検者に対して、事前に実験の主旨と内容について十分説明した後、被検者として自主的に実験へ参加することの同意を得た。

1. 2 実験手順

本研究の実験プロトコルを図1に示した。各被検者は実験室に到着後、30分以上の安静を保

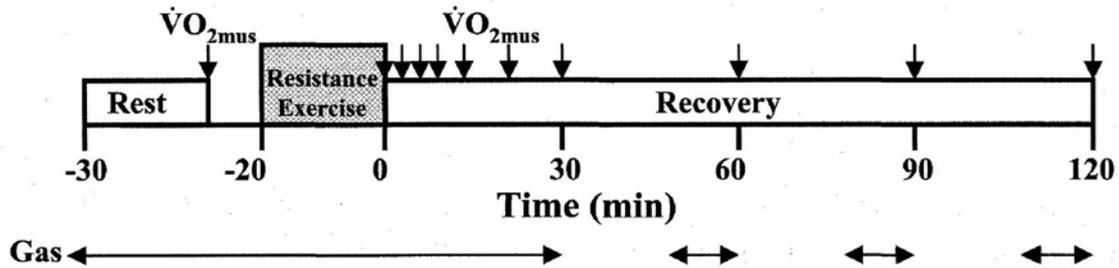


図1 Experimental protocol of nonexercising muscle oxygen consumption ($\dot{V}O_{2mus}$) measurement after resistance exercise. The nonexercising $\dot{V}O_{2mus}$ after exercise were determined by repeated brief arterial occlusion using NIRcws. $\dot{V}O_{2mus}$ was measured at rest, at the end of exercise, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120-min in recovery. Resistance exercise was performed 6 sets of unilateral knee extension exercise at 40%, 60%, and 80% of 1 repetition maximum with 3 min rest period between sets on separate days.

った。その後、ウォームアップを行い、レジスタンス運動として座位による一側の膝伸展運動を左右の脚で実施した。レジスタンス運動は3種類の負荷で日を変えて行った。運動施行順序はランダムに行った。運動終了直後から終了後120分までの間、NIRSにより非活動筋酸素消費量 (nonexercising $\dot{V}O_{2mus}$; nonex $\dot{V}O_{2mus}$) と活動筋酸素消費量 (exercising $\dot{V}O_{2mus}$; ex $\dot{V}O_{2mus}$) を測定した (図1)。非活動筋は前腕屈筋群、活動筋は外側広筋とした。

運動終了直後から終了後10分までの $\dot{V}O_{2mus}$ の測定はレッグエクステンションマシンで座位にて行い、その後、背もたれ付きの椅子に移動して座位安静状態で $\dot{V}O_{2mus}$ の測定を続けた。運動前後および運動中は右腕前腕部をアームレストの上に置き、右前腕部の筋活動が生じないように細心の注意を払った。前腕部の高さは心臓の位置になるように調節した。レジスタンス運動中に前腕部の筋活動がほとんど生じていないことを筋電図により事前に確認した。

NIRSのプローブは前腕屈筋群と外側広筋の表面上に粘着テープで装着し、プローブは、ずれないように弾性包帯を用いて適度な圧で固定した。動脈血流遮断は、上腕部と大腿部に装着した加圧帯を用いて280mmHg以上で加圧することにより行った。

実験室の気温は22~24℃、湿度は50~60%に

維持した。各被検者に対して測定前日の高強度な運動およびアルコールの摂取を避けるように指示をした。また、測定開始3時間前から水以外を摂らないように指示をした。

1.3 レジスタンス運動

レジスタンス運動は、プレートロード式のレッグエクステンションマシン (TUFFSTUFF社製CT-745) を用いて膝伸展運動を実施した。各被検者は、実験に先立ち膝伸展運動に十分慣れさせた後、左右の脚の最大挙上重量 (1RM ; 1 repetition maximal) をそれぞれ測定した。レジスタンス運動の負荷強度はこの1RMを基準とした (1RM右脚 36.8 ± 4.3kg, 左脚 35.7 ± 4.3kg ; 平均 ± 標準偏差)。1RMの測定は規定された動作範囲で1回挙上できる最大の重量とした。運動は40%1RM, 60%1RM, 80%1RMの3種類の強度を行なった。運動は右脚での一側の膝伸展運動を3セット実施した後、3分の休息を挟み、左脚で3セット実施した。運動は合計6セットとし、各セット間の休息は3分とした。各セットの運動は疲労困憊まで実施した。被検者は40%1RMで10回のウォームアップの終了後に5分間の回復を挟んで運動を開始した。運動時の膝関節角度の範囲は、最大伸展位を0度として、0度から90度までとした。疲労困憊の判定は負荷が挙上できなくなった時点、あるいは規定の動作速度が維持できなくな

った時点とした。運動の反復速度は膝伸展期1秒、膝屈曲期1秒（約30回/分）になるよう指示をした。動作速度を電子メトロノームにより合わせるように指示した。

1. 4 近赤外線分光法

運動後の非活動筋の酸素消費量の測定には近赤外線分光法による酸素モニタ装置（浜松ホトニクス社製、NIRO200）を使用した。このNIRS装置はプローブとコンピュータ制御の本体から成り、プローブには近赤外光の光源部と受光部がある。光源には775nm, 810nm, 850nmの3波長のレーザーダイオードを使用し、受光にはフォトダイオードを使用している。各波長の吸光度変化からModified Beer-Lambert (MBL) 方式を用いて、筋内の酸素化ヘモグロビン/ミオグロビン (oxy-Hb/Mb) および総Hb/Mb (total-Hb/Mb) の変化を算出した。本研究では測定部の光路長を実測していないため、データの定量化は困難である。したがって、各測定データは測定開始時からの相対的変化量で表した。プローブの送受光間距離は3.0cmとした。この場合、測定深度は皮膚表面から1~2cmの筋組織であると推定される⁶⁾。データのサンプリング周波数は2Hzとした。

1. 5 筋酸素消費量 ($\dot{V}O_{2mus}$) の測定

nonex $\dot{V}O_{2mus}$ と ex $\dot{V}O_{2mus}$ はNIRSを用いて一時的動脈血流遮断時法により算出した^{8,14,17)}。動脈血流遮断中の筋内oxy-Hb/Mb低下率は筋の酸素消費を反映するものと考えられている。oxy-Hb/Mb低下率は、動脈血流遮断開始直後でtotal-Hb/Mbが一定となっている時のoxy-Hb/Mbの5秒間のデータ（10データポイント）を最小二乗法により直線回帰し、その傾きにより算出した。 $\dot{V}O_{2mus}$ は、運動後のoxy-Hb/Mb低下率に対する安静時のoxy-Hb/Mbの低下率の比で表した。 $\dot{V}O_{2mus}$ の測定は、安静時、運動終了直後および運動終了

の1分、3分、5分、10分、20分、30分、60分、90分、120分に測定した安静時の $\dot{V}O_{2mus}$ は、2分ごとに3回測定し、その平均値を安静時の $\dot{V}O_{2mus}$ とした。動脈血流遮断時間は安静時が30秒間、運動後が20秒間とした。

1. 6 酸素消費量 ($\dot{V}O_{2pul}$)

安静時、運動時および運動後の全身レベル（肺胞）での酸素消費量 (Pulmonary $\dot{V}O_2$; $\dot{V}O_{2pul}$) を、自動呼気ガス代謝測定装置 (AE-300S ミナト医科学社製) を用いてBreath-by-breath法により測定した。安静時 $\dot{V}O_{2pul}$ は、安静時測定最後の5分間の平均値を採用した。レジスタンス運動中の $\dot{V}O_{2pul}$ は1~6セットの平均値とし、運動終了時の $\dot{V}O_{2pul}$ は運動終了直前の10秒間の平均値とした。運動後2分目までの $\dot{V}O_{2pul}$ は1分間の平均値を、運動後5分目までの $\dot{V}O_{2pul}$ は2分間の平均値を採用した。運動終了後10分目以降の $\dot{V}O_{2pul}$ は、5分間の平均値を採用した。採気用マスクは安静時から運動終了後30分目まで連続して装着した。運動終了30分以後は30分ごとにマスクを10分間装着した。

1. 7 統計処理

得られた各測定値は平均±標準誤差で表した。平均値の差の検定は一元配置分散分析を行った後に多重比較を行った。有意水準は全て5%未満とした。

2. 結果

2. 1 運動時と運動後のoxy-Hb/Mbの変化

レジスタンス運動終了直前から運動後における活動筋および非活動筋のoxy-Hb/Mbとtotal-Hb/Mbの変化の典型例を図2に示した。全ての被検者において動脈血流遮断中のoxy-Hb/Mbはほぼ直線的な低下を示した。

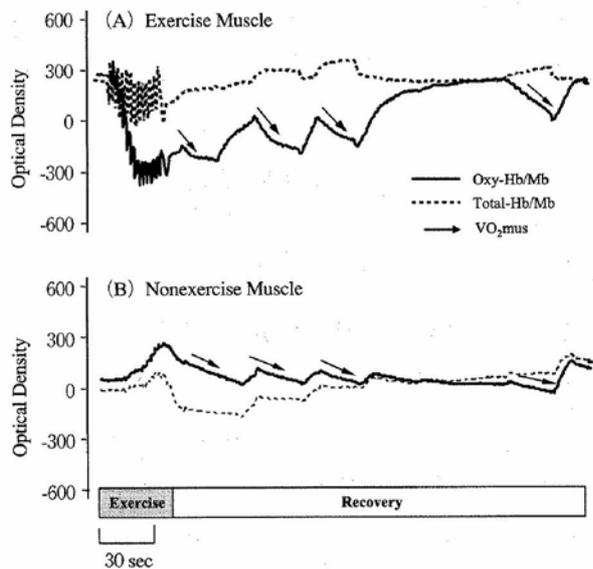


図2 Typical changes in oxygenated hemoglobin / myoglobin (Oxy-Hb/Mb) and total Hb /Mb (Total-Hb/Mb) level of exercising muscle (A) and nonexercising muscle (B) during knee extension exercise and recovery. Repeated brief arterial occlusion was performed in recovery period after exercise.

2. 2 レジスタンス運動の反復回数と運動中の平均 $\dot{V}O_{2pul}$

レジスタンス運動時の各負荷強度における反復回数の平均は、40RMが 27.3 ± 1.4 回、60RMが 15.6 ± 0.5 回、80RMが 9.4 ± 0.3 回であった。いずれの負荷強度においてもセット数の増加に伴い反復回数は低下を示した。

運動中の平均 $\dot{V}O_{2pul}$ は、40RMの $\dot{V}O_{2pul}$ (485 ± 15 ml) が60RMの $\dot{V}O_{2pul}$ (372 ± 12 ml) および80RMの $\dot{V}O_{2pul}$ (350 ± 1.3 ml) と比較して有意に高値を示した。60RMの $\dot{V}O_{2pul}$ と80RMの $\dot{V}O_{2pul}$ との間に有意な差はなかった。

2. 3 運動後の nonex $\dot{V}O_{2mus}$

レジスタンス運動の各負荷強度における運動後の nonex $\dot{V}O_{2mus}$ の変化を図3に示した。全ての負荷強度において nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は運動終了直後に最高値を示した。運動終了直後の nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は安静値と比較して有意な増加 ($p < 0.05$) を示した。(40%RM 1.8 ± 0.3 倍, 60%RM 1.7 ± 0.2 倍, 80%RM 1.4 ± 0.2 倍)。40%RMの nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は

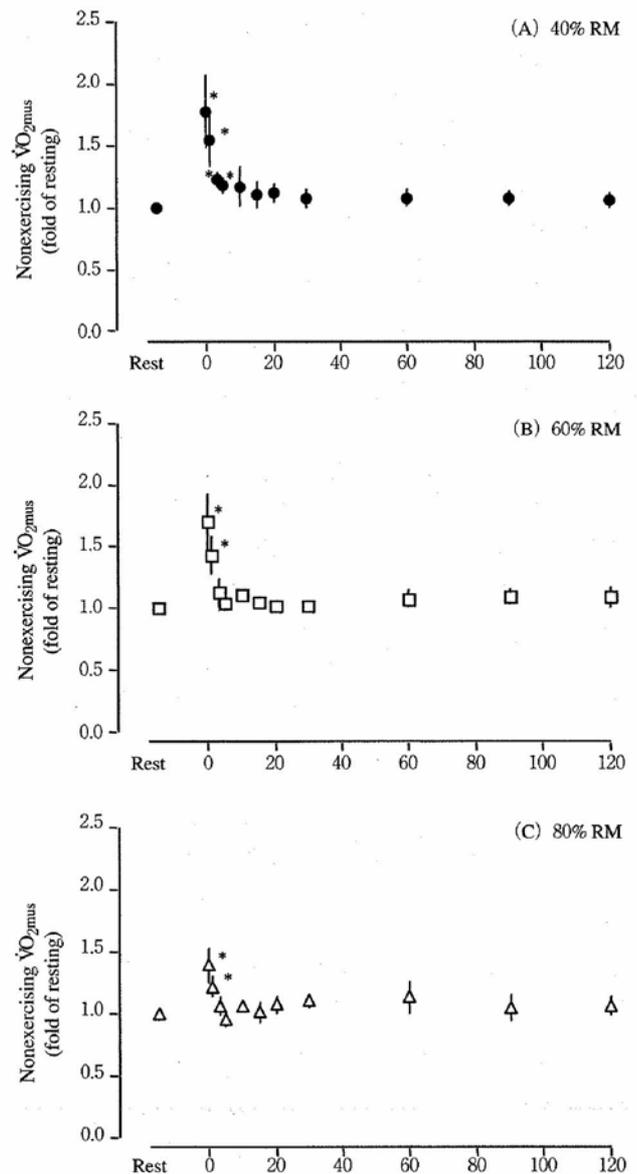


図3 Nonexercising $\dot{V}O_{2mus}$ at rest, at the end of exercise, and 120 min recovery after 6 sets of knee extension exercise at 40% (A), 60% (B), and 80% (C) of 1 repetition maximum.

Values are mean \pm SD * significant difference from resting value. $\dot{V}O_{2mus}$, muscle oxygen consumption

運動後10分目で安静値に回復した。一方、60%と80%RMの nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は運動後3分目で安静値に回復した。その後、nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は運動後120分まで有意な変化がなかった。

運動終了直後から120分目までの nonex $\dot{V}O_{2mus}$ は、40%RM, 60%RMおよび80%RMの負荷強度間に有意差を認めなかった。

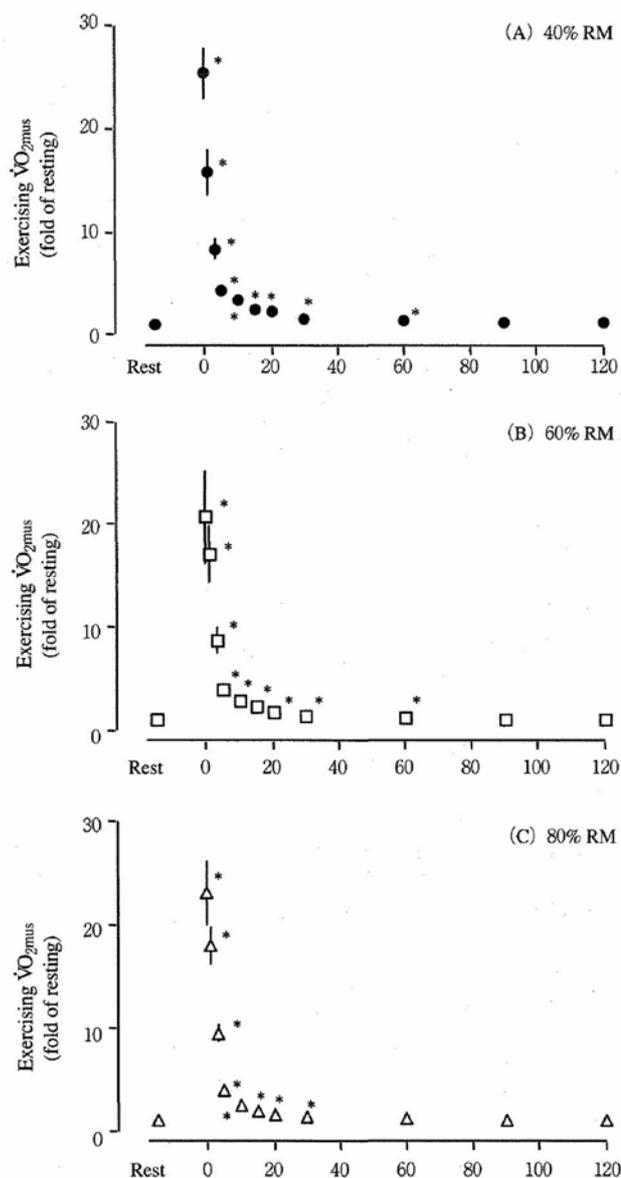


図4 Exercising $\dot{V}O_{2mus}$ at rest, at the end of exercise, and 120 min recovery after 6 sets of knee extension exercise at 40% (A), 60% (B), and 80% (C) of 1 repetition maximum.

Values are mean \pm SD * significant difference from resting value. $\dot{V}O_{2mus}$, muscle oxygen consumption

2. 4 運動後の $ex\dot{V}O_{2mus}$

各負荷強度における運動後の $ex\dot{V}O_{2mus}$ の変化を図4に示した。運動後の $ex\dot{V}O_{2mus}$ は、いずれの強度においても運動終了直後から有意な増加 ($p < 0.01$) を示し、時間の経過に伴い回復した。運動後の $ex\dot{V}O_{2mus}$ は40%RMおよび60%RMで運動後60分目まで、80%RMで運動後30分目まで、それぞれ安静値と比較して有意な増加を示した。

運動終了直後のから120分目までの $ex\dot{V}O_{2mus}$ は、

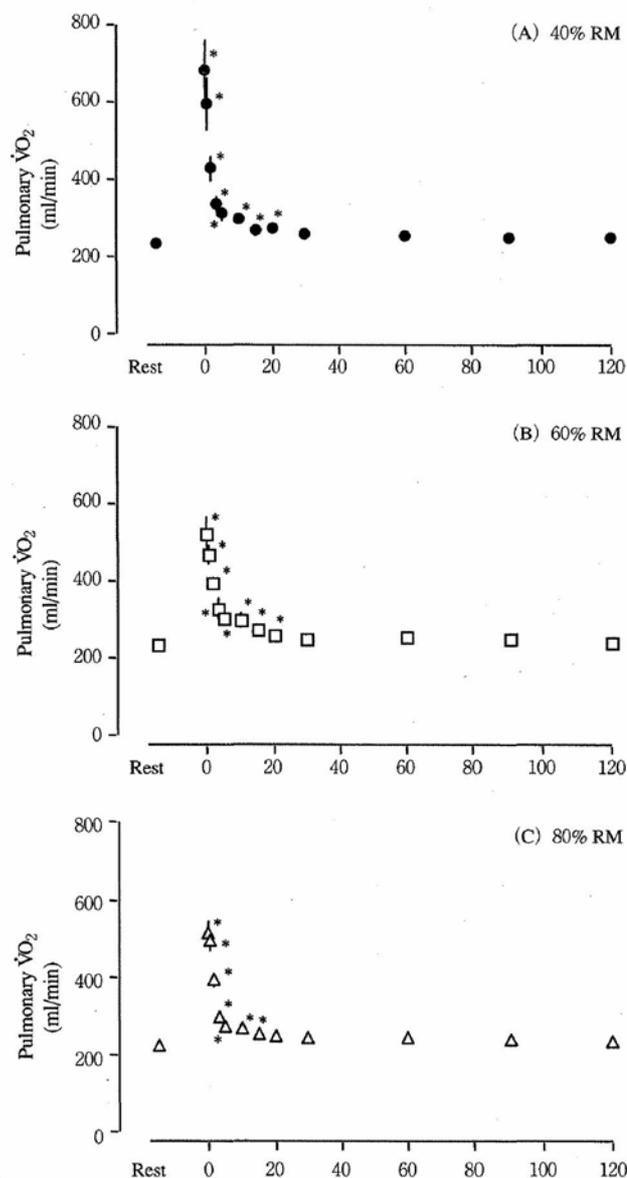


図5 Pulmonary $\dot{V}O_{2mus}$ at the end of exercise, and 120 min recovery after 6 sets of knee extension exercise at 40% (A), 60% (B), and 80% (C) of 1 repetition maximum.

Values are mean \pm SD * significant difference from resting value. $\dot{V}O_{2mus}$, muscle oxygen consumption

40%RM, 60%RMおよび80%RMの負荷強度間に有意差を認めなかった。

2. 5 運動後の $\dot{V}O_{2pul}$

各負荷強度における運動後の $\dot{V}O_{2pul}$ の変化を図5に示した。運動後の $\dot{V}O_{2pul}$ は、いずれの強度においても運動終了直後から有意な増加 ($p < 0.001$) を示し、時間の経過に伴い回復した。運動後の $\dot{V}O_{2pul}$ は40%RMおよび60%RMで運動後20分目

まで安静値と比較して有意な増加を示した。一方、80%RMの運動後の $\dot{V}O_{2pul}$ は運動後10分目まで、30分目および60分目まで有意な増加を示した。

運動終了直後から3分目までの40%RMの $\dot{V}O_{2pul}$ は、60%RMおよび80%RMの $\dot{V}O_{2pul}$ と比較して有意に高値を示した。

3. 考 察

本研究では、レジスタンス運動が運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ を亢進させるか否かについて検討した。その結果、膝伸展運動によるレジスタンス運動後、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が安静時より1.4~1.8倍に亢進することが示された。また、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の亢進は運動終了数分で安静値に回復することが示された。このことは、本研究で実施したようなレジスタンス運動が、運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の亢進に有効であることを示唆している。

本研究では、全ての負荷強度において運動終了直後に $nonex\dot{V}O_{2mu}$ が、安静値と比較して有意な増加を示した。レジスタンス運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の変化を検討した研究はこれまでほとんどない。運動様式は異なるが、本研究と同様にNIRSを用いて50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での20分間の自転車運動後の前腕屈筋群の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の変化を検討している研究によれば、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が安静時の約1.6倍まで増大することを報告している¹⁰⁾。さらに、侵襲的方法により、運動時の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ を検討した研究によれば、非活動脚の $\dot{V}O_{2mus}$ が運動時に安静時の約2.2倍¹³⁾、および約1.5倍¹⁾に増大することが報告されている。運動条件や $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の測定方法などの実験条件が違ふものの、これら先行研究^{1, 10, 13)}における運動時の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の増加値は、本研究で得られたレジスタンス運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の値である1.4~1.8倍とほぼ一致するものである。

本研究で観察されたレジスタンス運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の増加は、本研究から主たる要因を

決定つけることはできないが、先行研究から判断すると、血中エピネフェリンと乳酸の上昇に起因している可能性が考えられる。運動時の交感神経活動の亢進による血中エピネフェリンの増加が非活動筋のグリコーゲン分解量を促進して、運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ を増加させる可能性が指摘されている⁴⁾。さらに、運動時の血中乳酸の上昇が、運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ を増加させた可能性も示されている。非活動筋では運動中に活動筋で産生された乳酸を循環血中から取り込み、乳酸を酸化する役割がある^{9, 13)}。先行研究によれば、自転車運動後の血中エピネフェリンおよび血中乳酸の増加量が運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の増加量と関連することが報告されている¹⁰⁾。一方、本研究で観察された低強度運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の増加は、筋温度の上昇やエピネフェリン以外のホルモンの上昇などが関与している可能性も考えられる。運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が増加するメカニズムに関して検討するために、レジスタンス運動後の血中ホルモンや乳酸の動態等を測定する必要がある。

本研究においてレジスタンス運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ の上昇は、運動後3~10分目で安静値まで回復した。一方、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ と比較して、運動後の $ex\dot{V}O_{2mus}$ と $\dot{V}O_{2pul}$ の上昇は長時間持続していた。このことは、レジスタンス運動後の非活動筋でのエネルギー消費量の増大は、全身および活動筋レベルでのエネルギー消費量よりも短時間で安静レベルに回復することを示唆している。自転車運動について検討した研究では、運動後の $nonex\dot{V}O_{2mus}$ は運動後5分目で安静値まで回復することが報告されている¹⁰⁾。 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が運動後数分で回復する理由は明らかでないが、先行研究において非活動筋による血中乳酸の取り込みは運動後約5分で止まることが示されている^{9, 11)}。したがって、非活動筋での血中乳酸の取り込みが止まったために、 $nonex\dot{V}O_{2mus}$ が運動後数分で回復した可能性も考えられる。

有酸素性運動では、運動強度が高いほど運動後の全身レベルでの $\dot{V}O_2$ が上昇した状態が持続することがよく知られている^{2, 3, 5)}。一方、レジスタンス運動においても高い運動強度（負荷強度）の方が、運動後の全身レベルでの $\dot{V}O_2$ が上昇した状態が持続することが示唆されている³⁾。本研究では負荷強度の違いによって、レジスタンス運動後の $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ が変化するか否かについても検討した。その結果、運動終了後の $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ は、全ての負荷強度間に有意差を認めなかった。膝伸展運動によるレジスタンス運動後の血中アドレナリンや血中乳酸は、負荷強度の違いによって変動することが報告されている¹²⁾。血中エピネフエリンは運動強度が高いほど、運動が長いほど上昇する⁵⁾こと、血中乳酸濃度は負荷強度や運動時間によって大きく変動することが知られている。先行研究において、血中エピネフエリンおよび血中乳酸の増加量が自転車運動後の $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ の増加量と関連するという報告がある¹⁰⁾。以上のことから判断すると、レジスタンス運動の負荷強度やセット数を変えることで、運動後の $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ がさらに増大するか、あるいは $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ が上昇した状態が長時間持続する可能性も考えられる。本研究ではレジスタンス運動が1種目のみで負荷強度が3条件であったが、レジスタンス運動の負荷強度、セット数、回復時間等の運動条件の違いが $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ に及ぼす効果についてさらに検討する必要がある。

本研究結果は、レジスタンス運動が運動に直接関与していない筋群のエネルギー消費量を亢進させる効果があることを示唆している。本研究では非活動筋の測定部が前腕屈筋群に限られていたため、その他の非活動筋群でどの程度 $\dot{V}O_{2\text{mus}}$ が変化していたか不明である。前腕屈筋群以外の非活動筋でも本研究と同様の結果が得られるか検討する必要がある。また、本研究で用いたNIRSは光路長の測定ができないため、定量値で $\dot{V}O_{2\text{mus}}$ の

変化を示すことができなかった。そのため、安静に対して $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ が増大したかを示すことができたが、 $\dot{V}O_{2\text{mus}}$ は相対値であった。 $\text{nonex}\dot{V}O_{2\text{mus}}$ を定量値で示すことができれば、レジスタンス運動後のエネルギー消費量の亢進にどれくらい非活動筋のエネルギー消費量が貢献しているかを知ることが可能である。

以上のことから、膝伸展運動によるレジスタンス運動後に、非活動筋のエネルギー消費量が安静時の1.4~1.8倍亢進することが示された。運動後の非活動筋における $\dot{V}O_{2\text{mus}}$ の増加は負荷強度が40%、60%、80%RMのいずれの条件においても観察された。このことから、膝伸展運動によるレジスタンス運動を実施した後、活動筋のみならず非活動筋のエネルギー消費量が亢進することが示唆された。しかしながら、非活動筋エネルギー消費量の亢進は運動終了数分で安静値に戻ることが示された。本研究成果は、健康づくりを目的としたレジスタンス運動の実践の場においても、運動指導者や運動実践者に対しても有用な情報になるものと考えられる。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。本研究を進めるにあたり多大なる協力を頂きました国立石川工業高等専門学校の岩竹淳氏、東京理科大学理工学部市村志朗氏、ならびに新宿鍼灸柔整専門学校森口哲史氏に深く感謝いたします。また、実験データの収集にご協力頂きました国立沖縄工業高等専門学校のスタッフの皆様にご心より感謝いたします。

文 献

- 1) Ahlborg G., Hagenfeldt L., Wahren J. Substrate utilization by the inactive leg during one-leg or arm exercise. *J. Appl. Physiol.*, 39, 718-723 (1975)

- 2) Bahr R. Excess postexercise oxygen consumption--magnitude, mechanisms and practical implications. *Acta. Physiol. Scand. Suppl.*, 605, 1-70 (1992)
- 3) Borsheim E., Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.*, 33, 1037-60. (2003)
- 4) Borsheim E., Bahr R., Hansson P., Gullestad L., Hallen J., Sejersted O.M. Effect of beta-adrenoceptor blockade on post-exercise oxygen consumption. *Metabolism.*, 43, 565-571 (1994)
- 5) Borsheim, E., Knardahl, S., Hostmark, A.T., Bahr, R. (1998) : Adrenergic control of post-exercise metabolism. *Acta. Physiol. Scand.*, 162, 313-323.
- 6) Chance B., Dait M.T., Zhang C., Hamaoka T., Hagerman F. Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *Am. J. Physiol.*, 262, C766-775 (1992)
- 7) Gaesser G.A., Brooks G.A. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16, 29-43. (1984)
- 8) Hamaoka T., Iwane 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.*, 81, 1410-7 (1996)
- 9) Lindinger M.I., Heigenhauser G.J., McKelvie R.S., Jones N.L. Role of nonworking muscle on blood metabolites and ions with intense intermittent exercise. *Am. J. Physiol.*, 258, R1486-94 (1990)
- 10) Murakami M., Katsumura T., Hamaoka T., Osada T., Sako T., Higuchi H., Esaki K., Kime R., Shimomitsu T. Effects of epinephrine and lactate on the increase in oxygen consumption of nonexercising skeletal muscle after aerobic exercise. *J. Biomed Opt.*, 5, 5406-5410 (2000)
- 11) Poortmans J.R., Delescaillie-Vanden Bossche J., Leclercq R. Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, 45, 835-839 (1978)
- 12) Pullinen T., Nicol C., MacDonald E., Komi P.V. Plasma catecholamine responses to four resistance exercise tests in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80, 125-1231. (1999)
- 13) Richter E.A., Kiens B., Saltin B., Christensen N.J., Savard G. Skeletal muscle glucose uptake during dynamic exercise in humans: role of muscle mass. *Am. J. Physiol.*, 254, E555-561 (1988)
- 14) Sako T., Hamaoka T., Higuchi H., Kurosawa Y., Katsumura T. Validity of NIR spectroscopy for quantitatively measuring muscle oxidative metabolic rate in exercise. *J. Appl. Physiol.*, 90, 338-344. (2001)
- 15) Schuenke M.D., Mikat R.P., McBride J.M. Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86, 411-417 (2002)
- 16) Thornton M.K., Potteiger J.A. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 715-722 (2002)
- 17) Van Beekvelt M.C., Colier W.N., Wevers R.A., Van Engelen B.G. Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 90, 511-519 (2001)