

強度を自己選択した運動中における骨格筋活動と強度認知との関係

林 容市¹⁾ 田中喜代次²⁾ 中垣内真樹³⁾ 木竜 徹⁴⁾

Effects of skeletal muscle activities on the perception of effort during self-selected aerobic exercise

Yoichi Hayashi¹, Kiyoji Tanaka², Masaki Nakagaichi³ and Tohru Kiryu⁴

Abstract

When individuals select their own exercise intensity, the factors contributing to the perception of exercise intensity are important. In particular, it is not clear whether the activity of the skeletal muscles influences the self-selected (SS) intensity. Previous investigations have reported that effort sense increases in response to greater neuromotor activity as measured by electromyography (EMG) during dynamic exercise. The purpose of this study was to examine the effects of skeletal muscle activity on SS exercise intensity by investigating the relationship between the ratings of perceived exertion (RPE) and EMG response. Seven healthy men (mean \pm SD, 22.2 \pm 0.4 years) performed two 20-min sessions of cycling exercise with a protocol involving the SS method, which consisted of 5 min of fixed-load cycling at 70% of maximal oxygen uptake followed by 15 min of cycling with the SS method (SSFL_{70%}). RPE in the femoral region (RPE-peripheral: RPE_p) was not correlated with the percentage peak wattage (% W_{peak}) and EMG indices in the femoral region during the SS protocol. While correlation coefficients between RPE_p and EMG indices showed significantly negative values during the SSFL_{70%} protocol, there was no significant correlation between them during the SS protocol. These results during SSFL_{70%} suggested that the decrease of agonist muscle exertion and stress in the joint were caused by the increase in revolutions per minute during cycling. The increase in revolutions per minute during SSFL_{70%} appears to affect the decrease in the exertion of the agonist muscles and the stress in the joint and subsequent decline in RPE_p. Since exercise intensity

-
- 1) 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
- 2) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
- 3) 長崎大学大学教育機能開発センター
〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14
- 4) 新潟大学大学院自然科学研究科
〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町8050番地
- 連絡先 林 容市

1. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
3. *Research and Development Center for High Education Nagasaki University*
1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki, 852-8521
4. *Graduate School of Science and Technology, Niigata University*
8050 Ikarashi 2-no-cho, Niigata, 950-2181
- Corresponding author hayashi@stat.taiiku.tsukuba.ac.jp

with the SS method is thought to be selected on the basis of cognitive feedback, these results suggest that tension of the skeletal muscle and agonist muscular exertion do not influence the perception of intensity during exercise with the SS method.

**Key words : Ratings of perceived exertion, surface electromyogram, Exercise intensity
(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 50: 437-447, July, 2005)**

キーワード：自覚的運動強度，表面筋電図，運動強度

1 緒 言

近年，健康の回復・維持・増進を目的とした運動場面において，運動者が主観的に強度を自己選択 (self-selected exercise intensity : SS) して運動する方法 (SS法) がいくつか提案されている (Dishman et al., 1994 ; 橋本ほか, 1991 ; 中村, 1996 ; 大蔵ほか, 2000 ; 林ほか, 2003). このSS法を用いることにより，運動者は自覚的な疲労感覚や努力感覚に基づいた自由な強度調節が可能となることから，内発的動機づけが高まり，運動の習慣化に大きく貢献する可能性をもつ (橋本ほか, 1991, 1992 ; 大蔵ほか, 2000).

SS法によって運動する場合には，心拍数 (heart rate : HR) などの生理的な強度のレベルよりも，認知レベルの情報が負荷選択に大きく影響するといわれている (中村, 1996). つまり，SS法で選択される強度には，単なる生理的な強度の大きさがそのまま反映されるのではなく，その強度をどの程度の「疲労感覚」や「努力感覚」などとして，身体が認知するかが重要となる。この運動強度の認知には種々の要因が関与していると予想されるが，筋電図 (electromyogram : EMG) で測定される骨格筋活動が，運動中の疲労感覚や努力感覚と関連するという報告がいくつかみられる。運動中の運動単位の動員やインパルス発射頻度の指標である積分筋電図 (integrated electromyograms : iEMG) の増大に従い，疲労感覚や努力感覚も増大・増強することが示唆されている (Cafarelli, 1977, 1982 ; Gandevia et al.,

1977 ; Jones and Hunter, 1983 ; McCloskey et al., 1983). また，漸増負荷テスト (Garcin et al., 1998 ; Perry et al., 2001) やレジスタンス運動 (Lagally et al., 2002) で得られるEMGの筋放電量と全身の自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion : RPE) との高い相関は，運動単位の活動が疲労感覚を発生させる機能と関連した結果であると推察されている (Lagally et al., 2002). そのため，SS法で運動した場合にもEMGで示される骨格筋活動の大きさが認知レベルに大きく影響を及ぼすと仮定できる。

このように自己選択される強度に対して，脚部の骨格筋活動が大きく貢献すると予想される一方で，これまでの先行研究のほとんどが，SS法を用いて運動した場合に選択される負荷やそれに対応した生理的強度の程度，または運動中における全身のRPE変化などから観察がなされているのみである。その中で，運動習慣が選択する負荷に影響を及ぼす (Dishman et al., 1994 ; 大蔵ほか, 2000) ことが示されている。林ほか (2003) は，SS法で運動中の強度認知に対して，運動者が身体感覚や動作に注意を向けるといった認知的方略が大きく影響する可能性を述べている。これらのことは，運動負荷の大きさやそれに応じて変化すると予想される骨格筋活動が，SS法で運動中の強度認知レベルにそれほど大きく貢献しない可能性を示唆するものである。先行研究 (Garcin et al., 1998 ; Perry et al., 2001 ; Lagally et al., 2002) と異なり，骨格筋活動の大きさが運動時の強度認知レベルの程度に貢献しないならば，SS法という特殊な方法で選択される強度は他の生理的・心理的要因により大きく影響を受けることになる。しかしながら，SS法での運動時における

「強度認知レベル」と「骨格筋活動」に関する厳密な検討はこれまでおこなわれておらず、両者の関係については現在でも不明な点が多い。

そこで本研究では、運動中の疲労感覚や努力感覚の生成に関連すると言われるEMGを、運動者が主観的に強度を自己選択した自転車駆動時に測定し、脚部のRPEとの相関をみることにより、強度を自己選択する運動時における、運動者の強度認知レベルへ及ぼす骨格筋活動の影響について検討することを目的とした。

II 方 法

1. 対象者

本研究の対象者は、過去5年以上にわたり運動習慣のない平均年齢 22.2 ± 0.4 歳（平均値 \pm 標準偏差）の健常な成人男性7名であった。対象者の身長、体重、body mass index (BMI) は、それぞれ 171.7 ± 5.0 cm, 71.0 ± 11.6 kg, 24.5 ± 3.2 kg/m²であった。すべての対象者に対し、個別に研究の目的および測定内容を説明したのち、研究参加への承諾を得た。

2. ランプ運動負荷テストによる最高酸素摂取量の決定

測定にはCOMBI社製電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (STB-1400) を用いた。サドル高は対象者の脚長に合わせて調節し、ペダルが最下部に達したときに膝関節が大きく曲がらないように設定した。運動中は心電図とHRを観察し、データの収集とともに運動中の事故防止に努めた。

すべての対象者において、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$ peak) を決定した。プロトコルとしては、負荷をかけない状態 (0 W) で2分間のウォーミングアップ後、毎分15 Wずつトルクを高めるランプ負荷を採用した。ランプ負荷テスト中の1分間のペダル回転数 (revolution per minute : rpm) は、電子メトロノームを用いて60rpmで一定に維持するよう指示した。 $\dot{V}O_2$ peakは、1) $\dot{V}O_2$ のleveling-off (前の負荷段階と比較した $\dot{V}O_2$ の上昇度が150 ml/min以下)、2) 呼吸交換比が1.10以

上、3) 運動時HRの最高値が予測最大HR (220—暦年齢) の90%以上、の3つの判定基準のうち2つ以上を満たす値が出現していることを条件として求めた (Tanaka et al., 1990)。

3. 運動強度を自己調節する運動の実践方法

ランプ負荷テストから3日以上の間隔を空け、全対象者に対してプロトコルが異なる2回の運動をおこなわせた。一つの運動には、運動開始から終了までの20分間、強度を自己選択するプロトコル (SS法) を用いた。もう一方の運動には、5分間の固定負荷運動後に強度を自己選択する (self-selected exercise intensity after performance at a prescribed fixed load : SSFL) というプロトコル (林ほか, 2003) を採用した。SSFLにおける最初の5分間の固定負荷には、各対象者の $\dot{V}O_2$ peakの70% (70% $\dot{V}O_2$ peak) が得られた負荷 (W) を採用した (SSFL_{70%})。SS法、SSFL_{70%}両プロトコルでの運動は、3日以上の間隔を空け、対象者ごとにランダムに実施した。SS法およびSSFL_{70%}での運動実施に際しては、ランプ負荷テストと同様の自転車エルゴメータを用いて、十分なウォーミングアップをおこなわせた。SS法での運動時に $\dot{V}O_2$ を測定している先行研究 (Dishman et al., 1994 ; Kravitz et al., 1997 ; 大蔵ほか, 2000) の結果をもとに、 $\dot{V}O_2$ peakの約30%を強度の自己選択に大きく影響が及ばない強度レベルと判断し、これを超えない負荷をウォーミングアップに用いた。SS法ではこのウォーミングアップに続き、対象者に物理的強度 (摩擦抵抗) および自転車の回転数を自己選択させ、運動を遂行させた。SS法での運動時には、原則として運動開始から終了まで2分ごとに、SSFL_{70%}での運動時には、運動開始5分目および6分以降2分ごとに負荷を調節する機会を与えた。負荷調節に際しては、林ほか (2003) が用いた言語教示を、対象者が運動中随時見ることのできる場所に掲示し、それに基づいた負荷を選択するように指示した。具体的には、「心地よく、やりがいのある強さであること」、「過剰な息切れや大腿部の痛みが生じないこと」、「20分の自転車駆動

を最後まで遂行できること」, 「呼吸循環器系の機能に十分な効果が期待できること」の4つであった。運動負荷 (W) は対象者自身が自転車エルゴメータのハンドルに付属するパネルを操作することにより調節させた。また, ペダル回転数はカテコラミンの分泌量や全身のRPEに影響をおよぼす (Coast et al., 1986) ことから, 一定に規定せず自由に選択させた。運動中の回転数 (rpm) や負荷 (W) は, 1分ごとに記録した。この負荷を回転数で除し, 摩擦抵抗値をキロポンド (kp) として2分ごとに算出した。なお, 自転車エルゴメータの操作パネルに覆いをかけることにより, 対象者には運動中に自らが選択している負荷および回転数が把握できないようにした。

本研究では, SS法を用いた運動中の強度認知に対する骨格筋活動の影響について検討している。先行研究では, 運動中の認知レベルを評価するために, 身体部位を特定しない全身のRPEを用いている。しかしながら, 今回用いたSS法, SSFL70%両プロトコルでの運動はともに自転車エルゴメータを用いており, EMGも大腿部から導出している。そのため, EMGの導出部位における自覚的な疲労感覚や努力感覚, 痛みなどの状態を把握することを目的として, 脚部のみRPE (RPE-peripheral : RPEp) を求めた。なお, このRPEpは, Ekblom and Goldbarg (1971) の提唱した2因子モデルにおいてはcentral factor (呼吸循環の因子) とともに, 「身体全体のRPE」を構成する2因子のうちの一つとされている。RPEpは, 2分ごとの負荷調節タイミングの10から15秒前に, Borg scale (Borg, 1973) を日本語訳した判定表 (小野寺・宮下, 1976) を用いて測定し記録した。

4. 各運動中の呼吸循環器諸量および筋電図の測定

ランプ負荷テスト, SS法およびSSFL70%で運動中の一回換気量, $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ は, Mijnhardt社製の自動呼気ガス分析器 (Oxycon Alpha) を用いて測定した。本研究では呼気ガス指標はbreath-by-breath法で分析したが, 1測定

値ごとの変動が大きいいため, 30秒ごとの平均値に換算して出力した。

表面筋電図は, 皮膚に近接し, かつ自転車駆動時に主要な働きをする骨格筋 (Ericson et al., 1985) の中から, 数多くの先行研究 (Seburn et al., 1992 ; Garicin et al., 1998 ; Perry et al., 2001 ; 佐々木ほか, 2002) で用いられている外側広筋 (右側) に4線アクティブアレイ電極 (DEM社製) を貼付し導出した。皮膚表面をアルコールで拭き, 筋線維の方向に沿って電極を貼付した後, 膝関節の屈曲が最も大きくなるペダル位置に透過型ホトインタプラントを設置した。このペダル位置において, 自転車エルゴメータのペダルが5回転するごとに1回の表面筋電図を導出し, 409.6 msecを増幅度60 db, 5.3から1 kHzの帯域で差動導出した (佐々木ほか, 2002)。その後, PCMCIAタイプのA/D変換カード (National Instruments製, DAQCard-700) によって, 周波数5 kHz, 量子化ビット数12 bitsで筋電図をサンプリングし, パネルPC (Kiwi製, Panel PC686) のハードディスクに記録した。測定した表面筋電図ごとの整流化平均値 (averaged rectified value : ARV) と平均周波数 (mean power frequency : MPF), iEMGを算出した。本研究では自己選択される負荷への影響を考慮して回転数を一定に規定していないため, 1分間あたりの骨格筋の収縮回数は不確定である。しかし, 筋電図の測定値のばらつきやアーチファクトなどの要因を取り除くため, ARV, MPF, iEMGそれぞれにおいて1分間あたりの平均値を求め, 各測定値として解析に用いた。

5. 統計解析

SS法およびSSFL70%での運動時に各対象者が選択した負荷 (W) は, ランプ負荷テストで得られた最大負荷 (W_{peak}) に対する相対値 ($\% W_{peak}$) に換算して1分ごとに求めた。 $\dot{V}O_{2 peak}$ に対する相対値 ($\% \dot{V}O_{2 peak}$) は30秒ごと, ARV, MPF, iEMGは運動開始から1分ごとの値として算出しているが, RPEpは高頻度測定による運動者の不快感の増大に配慮し, 2分ごとの測定にと

どめた。そこで、これらの項目に関しては、各測定項目で共通に測定している2分ごとの値を用いて分析をおこなった。以上の測定値を用い、 $\%W_{\text{peak}}$ 、 $\% \dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 、RPE_p、回転数、摩擦抵抗、ARV、MPFおよびiEMGについて、プロトコル、測定時間を要因とする二元配置の分散分析を用いて差の検定をおこなった。

EMGと主観的な感覚の関係をみることを目的として、SS法、SSFL_{70%}両プロトコルでの運動時に得られたRPE_pと $\%W_{\text{peak}}$ 、ARV、MPF、iEMGの値を用いてピアソンの積率相関係数を求めた。すべての検定において統計的有意水準は5%とした。なお、表中の数値はすべて平均値±標準偏差で、図中の数値は平均値±標準誤差で示した。

III 結 果

すべての対象者が、全ての運動を途中で中止することなく完遂した。運動中に極度の息切れや疲労感、ふらつき、下肢の痛み、心電図異常などは観察されなかった。運動後にも病的反応および極度の自覚的疲労感はみられなかった。ランプ負荷テストで得られた $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ は 44.1 ± 10.6 ml/kg/min、最大負荷は 206.7 ± 33.2 Wであった。

1. SS法およびSSFL_{70%}での運動時における各指標の経時的変化

SS法およびSSFL_{70%}両プロトコルでの運動中に得られたRPE_p、 $\%W_{\text{peak}}$ 、摩擦抵抗および回転数の変化を図1に示した。SS法で運動中のRPE_pは、運動開始から2分目に 8.9 ± 1.2 であったが、20分目には 12.7 ± 1.9 にまで経時的に上昇した。SSFL_{70%}での運動中に強度を自己選択した時間（6から20分目）のRPE_pは、 12.7 ± 1.9 から 13.4 ± 2.4 と狭い範囲で推移し、同一時間内におけるSS法で得られたRPE_pと比較して有意な主効果、交互作用は得られなかった（図1B）。SS法で運動中の $\%W_{\text{peak}}$ と自転車エルゴメータの回転数は、運動終了までわずかながら経時的な上昇がみられた。これに対し、SSFL_{70%}で運動中の回

転数は14分目以降大きな増加を示した（図1C）。両運動中のkpはわずかな上昇にとどまり、二元配置の分散分析の結果でも時間の主効果は得られなかった。運動強度を自己選択した時間内におけるkpの平均値も、SS法（2から20分目）での運動中は 1.35 ± 0.50 kp、SSFL_{70%}（6から20分目）での運動中は 2.05 ± 0.40 kpと狭い範囲にとどまっていた（図1D）。また、両運動時の平均ARVをみると、SSFL_{70%}での運動中に高い値を示しているが、二元配置の分散分析による主効果、交互作用はともに有意ではなかった（図1E）。

2. 自己選択された負荷および生理的指標とRPE_pの相関関係について

各測定項目間の相関係数を表1に示した。SS法での運動中においては、骨格筋の疲労感覚や努力感覚を評価するRPE_pと表面筋電図のうち筋の張力を示すARV、筋疲労と関係するMPFおよびiEMGとの間には、有意な相関は得られなかった（表1）。これに対して、SSFL_{70%}で運動中に負荷を自己選択した6分から20分の間に得られたRPE_pとARVおよびiEMGの間には有意な負の相関関係がみられた（表1）。また、 $\%W_{\text{peak}}$ とRPE_pには有意な相関は得られなかった。

IV 考 察

SS法を用いて運動する際には、選択される強度（負荷）の設定に関して身体の強度認知レベルが大きく貢献すると言われている（中村、1996）。今回、SS法で運動中のRPE_pの値に対して、ARV、MPF、iEMGで評価される骨格筋の活動はそれぞれ有意な相関を示していない（表1）。そのため、SS法を用いて負荷を自己選択する場合には、骨格筋の活動が運動者における強度認知レベルの決定にほとんど貢献しない可能性が示唆された。林ほか（2003）は、運動中の強度認知レベルの特徴を踏まえ、低強度から開始されるSS法を用いた際には、強度認知が不明確な状態で運動が遂行されていると推察している。脚部の骨格筋活動が、脚部のRPE_pと相関を示さない今回の

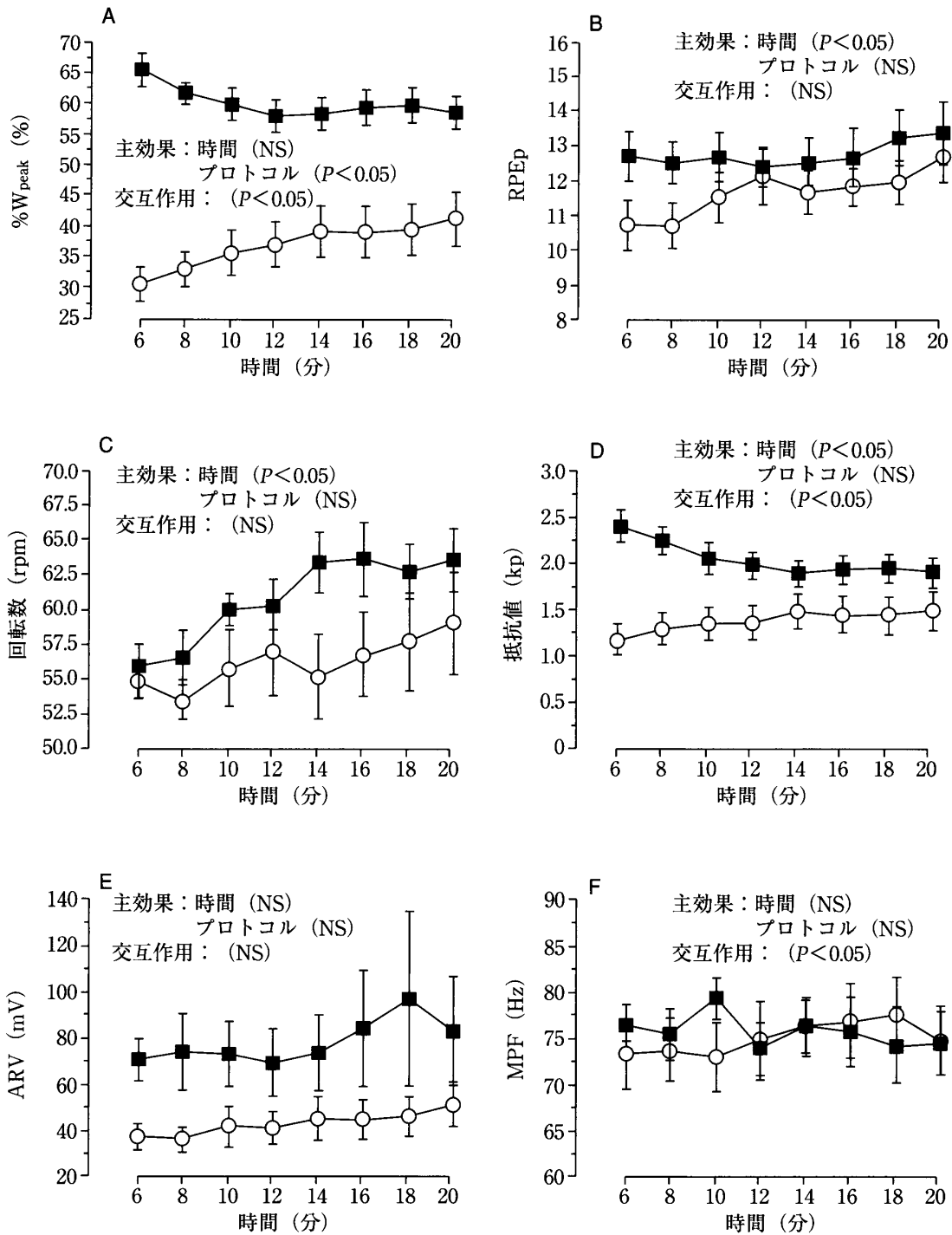


図1 SS法およびSSFL70%での運動中において選択された負荷 (A), 自覚的運動強度 (B), 回転数 (C), 自転車エルゴメータの抵抗値 (D), ARV (E) およびMPF (F) の経時変化
 平均値 ± 標準誤差, —○— SS法, —■— SSFL70%

結果は、この推察を支持するものであると判断できる。他方、本研究で採用したSSFL70%というプロトコルでは、SS法を用いて選択された平均 $34.8 \pm 10.3\% W_{peak}$ よりも、有意に高い $74.8 \pm 9.5\% W_{peak}$ (6から20分目) で運動が遂行されて

いる。従来、iEMGによって測定される運動単位の動員増大 (Cafarelli, 1977, 1982 ; Gandevia and McCloskey, 1977 ; Jones and Hunter, 1983) やインパルス発射頻度の増大 (McCloskey et al., 1983) によって、疲労感覚が増強すると

表1 SS法およびSSFL70%での運動中において選択された脚部の自覚的運動強度(RPEp)と%W_{peak}, % $\dot{V}O_2$ peakおよび筋電図指標との相関関係

| | プロトコル | 時間 | %W _{peak} | % $\dot{V}O_2$ peak | ARV | MPF | iEMG |
|------|---------|-------|--------------------|---------------------|---------|--------|---------|
| RPEp | SS法 | 2-20分 | 0.26 * | 0.37 * | 0.19 | -0.07 | 0.15 |
| | | 6-20分 | 0.03 | 0.15 | 0.13 | -0.14 | 0.14 |
| | SSFL70% | 2-5分 | -0.18 | -0.18 | 0.59 * | 0.37 | 0.61 * |
| | | 6-20分 | 0.25 | 0.48 | -0.59 * | 0.36 * | -0.60 * |

数値はSS法およびSSFL70%で運動中の各時間内における相関係数を示す

* $P < 0.05$

推察されている。また、レジスタンス運動などの「非常に高い負荷」を用いた運動中の疲労感覚や骨格筋活動は、高いレベルで維持される。これらの報告に基づけば、SS法での運動中と比較して、SSFL70%を用いた運動中に得られるEMG指標の変化は、RPEpの値に対してより大きな貢献を示すと予想された。しかし実際には予想に反し、SSFL70%での運動中におけるRPEpとARV、iEMGなどのEMG指標との間には、有意な負の相関関係がみられている(表1)。この結果を単純に解釈すれば、骨格筋活動が高まるほど、RPEpで評価される脚部の疲労感覚や努力感覚が低下することになる。この解釈は、従来のEMGと全身のRPEの関係と相反するものであり、本研究の結果だけでは、両者の関係を生理的・心理的な論理から解説することは困難である。

しかし、先行研究での報告に基づいて、今回の結果を解釈しうる要因をいくつかあげることができる。まず、SS法とSSFL70%で自転車駆動をした際の回転数が大きく影響している可能性が考えられる。本研究と同様に自転車エルゴメータを用いているPandolf and Noble (1973)の報告では、40 rpmおよび60 rpmと比較して、HRや $\dot{V}O_2$ が高い80 rpmでの運動中における全身のRPEが低い値を示している。Takaishi et al. (1994)も、75% $\dot{V}O_2$ peak相当の負荷を用いて数種類の回転数で自転車駆動をおこなわせたところ、 $\dot{V}O_2$ が回転数の増加に伴って増大するにもかかわらず、ほとんどの対象者が40や50 rpmよりも、60または70 rpmでの自転車駆動を好むことを報告している。この2つの先行研究では、物理的な負荷(摩

擦抵抗)は固定されているため、回転数が増加することで負荷(W)は上昇することになる。それにもかかわらず、高い回転数で運動中の疲労・努力感覚がより低い値を示している。Pandolf and Noble (1973)は、個人の全身のRPEを決定する主要な要因として、骨格筋や靭帯・関節包などの関節におけるストレス感覚の増大といった末梢の要因をあげている。これは、末梢における値を示すRPEpの大きさが、全身のRPEの値にも大きく貢献することを示唆するものである。本研究では、特にSSFL70%で運動中の回転数に経時的な上昇がみられている(図1C)一方で、摩擦抵抗(kp)は狭い範囲の変動に留まっている(図1D)。このような運動後半における回転数の変化が、運動中のRPEpに影響を及ぼした可能性が考えられる。それゆえ、回転数を規定していない本研究のSS法とSSFL70%での運動中には、負荷に対する骨格筋や関節における末梢神経のストレスが減少し、「努力感覚」や運動者が認知する脚部の「疲労感覚」が低減するように、対象者が回転数を自己選択していた可能性が考えられる。また、運動時の回転数と強度認知の関連をより詳細に検討するために、測定値を個別に観察すると、2分ごとに選択された%W_{peak}がSS法よりもSSFL70%での運動中に高いにもかかわらず、全運動時間を通じてSSFL70%での運動中のRPEpがSS法での値を越えていた者は、7名中わずか2名であった。これは、SS法よりもSSFL70%での運動中に得られた%W_{peak}やARVが高いにもかかわらず、認知される疲労感覚や努力感覚が対応していない対象者が多いことを示している。これに対して、

SS法で運動中の平均回転数がSSFL70%での値を上回っていたのは、7名中6名にのぼった。これは、RPE_pに明確なプロトコル間差異が生じていない結果とは相反している。ここで、SSFL70%で運動中のRPE_pがSS法で運動中の値を完全に越えていなかった5名の回転数とRPE_pとの変動をみると、2つのタイプに分類できる。すなわち、SSFL70%におけるRPE_pの変動幅が小さいにもかかわらず、回転数が時間経過に伴い上昇するタイプ(図2A)と、回転数が上下に変動するタイプ(図2B)である。選択している%W_{peak}は対象者ごとに異なるものの、両タイプともに回転数を調節することによって、RPE_pを意図するレベルに維持していると判断することができる。これらの結果は、SSFL70%を用いた運動中に特徴的にみられている。それゆえ、特に選択される負荷が高い場合には、回転数の変動が運動中のRPE_pに大きく影響することが示唆される。従来の自転車エル

ゴメータを用いた研究(Dishman et al., 1994; 大蔵ほか, 2000)では、摩擦抵抗などの物理的負荷や $\dot{V}O_2$ peakの変動のみに着目しており、回転数が自己選択される強度に及ぼす影響についての言及はみられない。本研究の結果を踏まえ、今後、負荷(摩擦抵抗)と回転数が、運動中のRPE_p決定にどの程度貢献するのかという点に関して検討を進めるべきであろう。また、本研究ではRPE_pに対する骨格筋活動の影響のみに限定して検討しているが、他の生理的指標が関与する可能性もあり得る。そのため、酸素摂取量など他の生理的要因が、運動者の強度認知レベルに影響を及ぼす貢献度や影響度について比較、検討することも興味深く、今後の課題としたい。

実際に運動している負荷の認知に対し、運動している脚部のEMGの値が大きな貢献をしないことが示された理由として、上記の回転数の影響に加え、疲労感や辛さの認知に関連する心理的な要

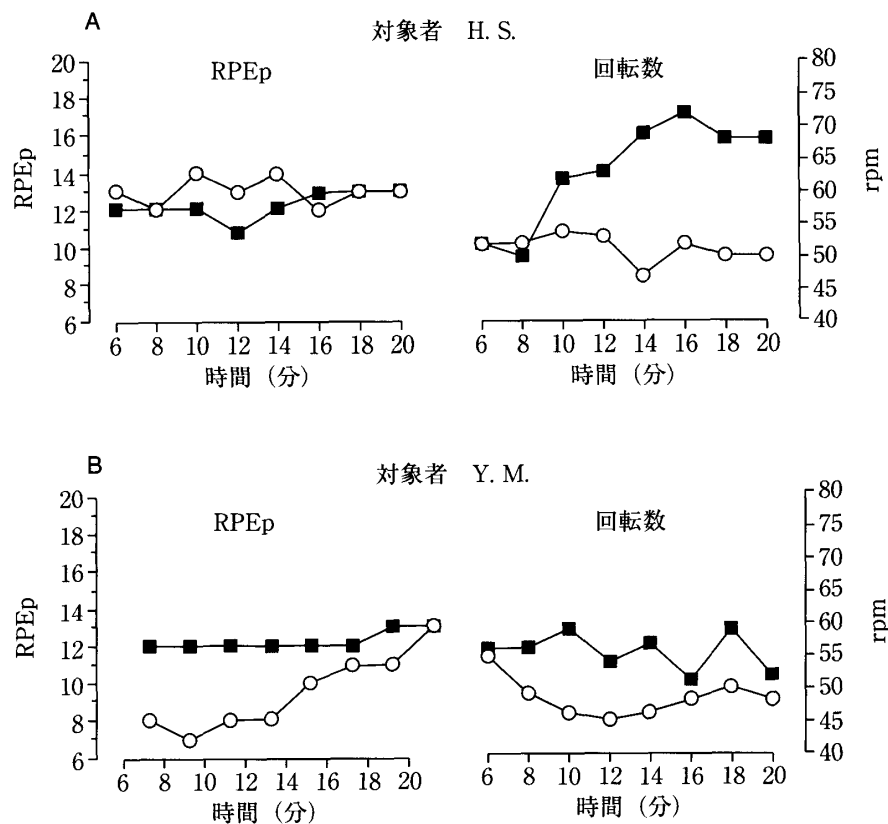


図2 SS法およびSSFL70%での運動中に選択された自覚的運動強度(左)と回転数(右)における経時変化の代表例
 平均値±標準誤差, —○— SS法, —■— SSFL70%

因が影響している可能性も挙げられる。Suls and Fletcher (1985) や Cioffi (1991) は、運動中の苦痛の評定値を低減させるために、運動中に知覚される刺激や感覚の程度のみには注意を向けることが有効であると述べている。これは「感覚モニタリング」と呼ばれ、認知的方略のひとつとして知られている。今回用いた4つの言語指示のうち、「過剰な息切れや大腿部の痛みが生じないこと」という身体の認知に注意を向けたものが、この感覚モニタリングと同様の効果をもたらしている可能性がある。それゆえ、運動強度を「自らの強度認知に基づいて選択する (中村, 1996)」という特性を持つSS法やSSFL_{70%}での運動時には、RPE_pが認知的方略の影響を受け、EMGの大きさと高い相関を示さなかったと推察できる。また、運動中の強度認知に関与する可能性のあるものとして、低強度の主観的判断に対する運動刺激以外の因子の関与 (宮下ほか, 1977) や、強度の主観的評価への「パーソナリティに基づく個人差」の影響 (西田ほか, 1983) なども報告されている。しかし、今回はRPE_pに対するEMGの貢献を説明することを目的としており、対象者の心理的特徴やパーソナリティについては測定していないため、これらの観点からの考察はできない。今後、これらの心理的特徴を考慮したSS法を用いた運動時における強度認知についての検討が課題であると思われる。

先行研究 (Perry et al., 2001) では、低強度から症候性限界まで負荷が大きく変動する漸増負荷テストを用いた場合にRPEとEMG指標の有意な相関が得られている。それらと比較して、今回のSS法およびSSFL_{70%}での運動中、2分ごとに自己選択された% W_{peak} の変動の範囲は狭いと判断できる (SS法, 最小 $24.0 \pm 4.0\% W_{peak}$, 最大 $41.3 \pm 11.8\% W_{peak}$; SSFL_{70%}, 最小 $58.0 \pm 7.3\% W_{peak}$, 最大 $65.4 \pm 6.9\% W_{peak}$)。それゆえ、このような狭い範囲での強度選択が、回転数や心理的影響に加えて、強度認知レベルの不明瞭化を助長している可能性も予想できる。また、本研究では先行研究 (Seburn et al., 1992; Garicin et al., 1998; Perry et al., 2001; 佐々木ほか,

2002) に準じ、外側広筋からEMGを導出している。しかし、自転車駆動の際のペダリング運動時には、他の骨格筋の活動も生じている。そのため、単独骨格筋から導出したEMGを用いていることも、今回のSSFL_{70%}での運動中においてEMGの変化がRPE_pに反映しなかった要因となっている可能性がある。今後、運動強度の大きさや変動範囲、運動様式、さらには外側広筋以外の他の部位の骨格筋活動を踏まえたRPE_pとEMGの関係を検討することにより、SS法で運動する際の強度認知に対して骨格筋活動の貢献する程度について新たな知見が得られると考えられる。

V 結 語

本研究では、SS法およびSSFL_{70%}というプロトコルによって強度を調節した運動中における骨格筋活動をEMGによって観察し、強度認知の指標であるRPE_pとの相関をみることで、運動中の認知レベルの大きさに対する骨格筋活動の影響について検討した。その結果、SS法およびSSFL_{70%}での運動時にはともに、ARVやMPF、iEMGなどのEMG指標とRPE_pとの間に高い相関は得られなかった。また、運動に伴う「疲労感覚」や運動負荷に対する「努力感覚」は、骨格筋の張力や筋力発揮に伴い上昇するとされている。しかし、今回の結果から、能動的に負荷を選択する運動時には、自転車の回転数や認知方略などが影響し、選択する強度が高くとも強度認知レベルにおよぼす骨格筋活動の影響が小さいことが示唆された。強度を自己選択した運動時の認知レベルを明確にする要因を明らかにするために、今後、異なる運動様式や強度を用いた検討、さらには心理的な個人差を踏まえた検討が必要であると思われる。

謝 辞

本研究のデータ収集に際し、新潟大学大学院自然科学研究科、芝井桂介、羽下大亮両氏の甚大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5: 90-93.
- Cafarelli, E. (1977) Peripheral and central inputs to the effort sense during cycling exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 37: 181-189.
- Cafarelli, E. (1982) Peripheral contributions to the perception of effort. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14: 382-389.
- Cioffi, D. (1991) Beyond attentional strategies: A cognitive-perceptual model of somatic interpretation. *Psychological Bulletin.*, 109: 25-41.
- Coast, J.R., Cox, R.H., and Welch, H.G. (1986) Optimal pedalling rate in bouts of cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18: 225-230.
- Dishman, R.K., Farquhar, R.P., and Cureton, K.J. (1994) Responses to preferred intensities of exertion in men differing in activity levels. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 783-790.
- Ekblom, B. and Goldbarg, A.N. (1971) The influence of physical training and other factors on the subjective of perceived exertion. *Acta Physiol. Scand.*, 83: 399-406.
- Ericson, M.O., Nisell, R., Arborelius, U.P., and Ekholm, J. (1985) Muscular activity during ergometer cycling. *Scand. J. Rehab. Med.*, 17: 53-61.
- Gandevia, S.C. and McCloskey, D.I. (1977) Sensations of heaviness. *Ergonomics*, 100: 345-354.
- Garcin, M., Vautier, J.F., Vandewalle, H., and Monod, H. (1998) Ratings of perceived exertion (RPE) as an index of aerobic endurance during local and general exercises. *Ergonomics*, 41: 1105-1114.
- 橋本公雄・斉藤篤司・徳永幹雄・磯貝浩久・高柳茂美 (1991) 運動によるストレス低減効果に関する研究 (2) 一過性の快適自己ペース走による感情の変化—。健康科学, 13 : 1-7.
- 橋本公雄・高柳茂美・徳永幹雄・斉藤篤司・磯貝浩久 (1992) 一過性の運動による感情の変化と体力との関係。健康科学, 14 : 1-7.
- 林 容市・大蔵倫博・中垣内真樹・田中喜代次 (2003) 中・高強度運動が強度を自己選択した有酸素性運動中の強度認知および生理学的指標に及ぼす影響。体育学研究, 48 : 299-312.
- Jones, L.A. and Hunter, I.W. (1983) Force and EMG correlates of constant effort contractions. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 51: 75-83.
- Kravitz, L., Robergs, R.A., Heyward, V.H., Wagner, D.R., and Powers, K. (1997) Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29: 1028-1035.
- Lagally, K.M., Robertson, R.J., Gallagher, K.I., Goss, F.L., Jakicic, J.M., Lephart, S., and Goodpaster, B. (2002) Perceived exertion, electro-myography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34: 552-559.
- McCloskey, D.E., Gandevia, S., Porter, E.K., and Colebatch, J.G. (1983) Muscle sense and effort: motor commands and judgments about muscular contractions. *Adv. Neurol.*, 39: 151-167.
- 宮下充正・小野寺孝一・跡見順子 (1977) 長時間運動における Ratings of Perceived Exertion と生理的反応との対応関係およびそのトレーニングに伴う変化。体力科学, 5 : 83-88.
- 中村好夫 (1996) 運動処方における「快適強度」の意味。早稲田大学人間科学研究, 9 : 31-45.
- 西田 保・猪俣公宏・岡沢祥訓 (1983) 異なる運動負荷条件下における perceived exertion とパーソナリティ要因との関連性。体育学研究, 28 : 129-139.
- Noble, B.J., Borg, G., Jacobs, I., Ceci, R., and Kaiser, P. (1983) A category-ratio perceived exertion scale: Relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15: 523-529.
- 小野寺孝一・宮下充正 (1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性—Rating of Perceived exertion の観点から—。体育学研究, 21 : 191-203.
- 大蔵倫博・林 容市・和田実千・田中喜代次 (2000) 自己選択した運動強度に対応する呼吸循環器系反応および心理的反応に与える運動習慣の影響。体育学研究, 45 : 201-212.
- Pandolf, K.B. and Noble, B.J. (1973) The effect of pedalling speed and resistance changes on perceived exertion for equivalent power outputs on the bicycle ergometer. *Med. Sci. Sports*, 5: 132-136.
- Perry, S.R., Housh, T.J., Johnson, G.O., Ebersole, K.T.,

- Bull, A.J., Evetovich, T.K., and Smith, D.B. (2001) Mechanomyography, electromyography, heart rate, and ratings of perceived exertion during incremental cycle ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 41: 183-188.
- 佐々木 績・木竜 徹・林 容市・田中喜代次 (2002) 個人の運動体力に合わせた中高年者向け自転車エルゴメータのインテリジェント負荷制御法. 電子情報通信学会論文誌, J85-D-II : 329-336.
- Suls, J. and Fletcher, B. (1985) The relative efficacy of avoidant and nonavoidant coping strategies: A meta-analysis. *Health Psychology*, 4: 249-288.
- Tanaka, K., Takeshima, N., Kato, T., Niihata, S., and Ueda, K. (1990) Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59: 443-449.
- Takaishi, T., Yasuda, Y., and Moritani, T. (1994) Neuromuscular fatigue during prolonged pedaling exercise at different pedaling rates. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 154-158.

(平成16年3月2日受付)
(平成17年2月21日受理)