

原著論文

筋力運動で用いる自覚的疲労スケールの開発とトレーニングへの応用

Utility of the S-scale of perceived exertion for resistance exercise and training

中谷 敏昭¹⁾・寺田 和史¹⁾・上 英俊²⁾・塩見 玲子³⁾白石 晃¹⁾・灘本 雅一⁴⁾Toshiaki NAKATANI¹⁾, Kazufumi TERADA¹⁾, Hidetoshi UE²⁾, Reiko SHIOMI³⁾,
Akira SHIRAISHI¹⁾ and Masakazu NADAMOTO⁴⁾

Abstract

Exercise intensity is a critical factor in exercise and training. Utilizing the rate of perceived exertion is an easy and practical way to monitor the intensity of resistance exercise in the field setting. This study sought to investigate the validity of the newly developed Japanese S-scale (on a 4-point scale) of perceived exertion for resistance exercise and its utility for home-based training. A total of 41 healthy young men ($n = 12$; age, 21.6 y), young women ($n = 15$; age, 20.0 y), and middle-aged women ($n = 14$; age, 49.1 y) participated in the study. All subjects performed isotonic arm curl (AC), isometric elbow flexion (EF), and plantar flexion (PF) exercises. The following variables were studied: number of repetitions, Borg rating of perceived exertion (RPE), root mean square electromyography (RMS-EMG), heart rate (HR) during AC, and limit time to exhaustion during EF and PF in the range 3-6 on the S-scale of perceived exertion. The 14 middle-aged women participated in unilateral resistance training of the biceps on 2-3 days per week for 12 wk using their non-dominant arm. Exercise intensity was 5 on the S-scale of perceived exertion in active muscle (RPE-AM). The number of repetitions, Borg-RPE, and RMS-EMG increased for each S-scale ratio during AC exercise, but there was no change in HR responses. Resistance training resulted in a significant increase in number of repetitions in the training arm ($P < 0.05$) but not in the control arm, as well as significant increases in maximum strength of EF in both training and control arms ($P < 0.05$). A cross-education effect was observed in isometric strength in the control arm. There was no change in RMS-EMG during AC exercise at exhaustion. These results validate the use of the S-scale of perceived exertion to measure RPE of active muscles in young men and young and middle-aged women, showing that middle-aged women can achieve subjective gains in muscle endurance and strength on resistance training.

Key words : RPE, fatigue, EMG, active muscle, strength training

[Received December 8, 2009 ; Accepted February 1, 2010]

1. 緒言

健康づくりや介護予防現場では、筋力や筋持久力を適切に保つことは健康や体力の維持増進に重要な役割を果たす (Haskell et al., 2007)。アメリカスポーツ医学会 (ACSM) の指針では、すでに 1978 年から筋力と筋持久力を維持するための筋力トレーニング (resistance training) が勧められ、骨密度の低下抑制 (Vuori, 2001)、メタボリックシンドローム発生率の減少 (Jurca et al., 2005)、骨塩量の増加 (Suominen, 2006)、血糖コ

ントロールへの効果 (Irvine and Taylor, 2009) が確認されている。最近の研究では、筋力の高い者は病気による死亡リスクを下げ、筋力は癌の独立した因子であることも大規模コホート調査で報告されている (Katzmarzyk and Craig, 2002; Ruiz et al., 2008)。

健康づくりのために必要な筋力運動は、漸進的に負荷を上げるオーバーロードの原則に従い、腕や肩、胸や腹部を含む大筋群を中心に 8~10 種目、1 セットあたり 8~12 回で疲労困憊 (8~12 RM) となる運動を週 2~3 回実施することが求められる (ACSM, 1998)。この

1) 天理大学体育学部 Faculty of Health, Budo, and Sports Studies, Tenri University

2) 京都市立芸術大学 Kyoto City University of Arts

3) 奈良教育大学大学院 Graduate School of Education, Nara University of Education

4) 天理スポーツ強化推進室 Tenri Sports Intensification Office, Tenri University

指針は筋力運動の成果をまとめたものであり、最近発表された ACSM とアメリカ心臓協会 (AHA) の合同指針にも共通する (Haskell et al., 2007)。これらで用いられる 8 ~ 12 RM で限界となる強度は最大筋力の 70 ~ 85% に相当 (NPO 法人日本トレーニング指導者協会, 2008) するが、実際の指導現場ではウェイト・マシンやフリーウェイトを容易に利用できない場合も多く RM 法や最大筋力に対する相対的負荷を用いた筋力運動には限界がある。

他方、自覚的運動強度 (RPE) を用いた筋力運動では特別な機器は必要なく、適切な負荷も課すことができる実践的な方法とされる (Gearhart et al., 2002; Robertson et al., 2003)。膝伸展運動を用いた 1 RM の 40 ~ 90% の強度と Borg-RPE (15 スケール) の関係では高強度の負荷で相対的強度の差が大きくなり (Lagally and Amorose, 2007)、1 RM の 90% の強度は 30% の強度に比べて運動後の Borg-RPE は高くなることが報告されている。しかし、自覚的に感じる強度の感覚には同一負荷でも性差 (Borg, 1998) や年齢差 (Easton and Williams, 1988) がみられ、また、運動部位が異なると 1 RM の相対的強度におけるスケールが異なることも報告されている (Robertson et al., 2003)。Robertson et al. (2003) は 0 (extremely easy) から 10 (extremely hard) の OMNI-RES という 11 スケールを用いて筋力運動における妥当性を検討している。この報告では、活動筋 (active muscle) と全身 (overall) の RPE、仕事量や血中乳酸値などの物理的および生理的強度の関係からアームカールと膝伸展のいずれの運動においても有効な指標であるとしている。OMNI-RES を用いた他の報告 (Lagally and Robertson, 2006) では、1RM の 40 ~ 90% の膝伸展運動における活動筋と全身の RPE が比較され、強度の増加にともなってスケールがともに上昇し、同じ強度では活動筋の RPE の方が高くなる。活動筋と全身の RPE には差がみられることから、実際の筋力運動やトレーニングでは負荷を課している活動筋の RPE を指標とする方が適切であろう (Lagally et al., 2002)。Borg-RPE (15 スケール) や OMNI-RES (11 スケール) は多くのスケールやスケール間の強度 (例えば Borg-RPE の偶数スケール) が存在する (Borg, 1998; Robertson et al., 2003)。この理由はある運動での自覚的強度を細かく表示するためであり、ある強度まで運動させるトレーニングの場合には少ないスケールでも応用できる。また、OMNI-RES の表記は「easy」から「hard」、Borg-RPE の「light」から「hard」とほぼ同じ英語表記で作成されている。OMNI-RES は筋力運動の強度を推定できる

RPE であるが、これまでのところ日本語訳は報告されていない。筋力トレーニングの指標として負荷強度を考えるならば、少ないスケールで活動筋の疲労感を表わし、その強度を示す日本語独自のスケールを開発することは必要と考えられる。

そこで本研究では、筋力運動やトレーニングに用いる活動筋の自覚的疲労感を基とした独自の RPE スケール (以下、S スケールとする) を考案し、筋活動量や心拍数などの生理的強度、Borg-RPE との関係、年代別や筋収縮タイプによるスケールの差を検討するとともに、S スケールを用いた実践的な筋力トレーニングの効果を検証することを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象者

対象者は上肢や下肢に整形外科的な疾患のない健康な成人男女 51 名で、若年男性 12 名 (21.6 ± 0.7 歳, 身長 172.2 ± 6.8 cm, 体重 65.1 ± 7.6 kg, BMI 21.9 ± 1.5)、若年女性 15 名 (20.0 ± 0.8 歳, 身長 159.4 ± 4.0 cm, 体重 56.3 ± 5.6 kg, BMI 22.2 ± 2.1)、中年女性 14 名 (49.1 ± 9.0 歳, 身長 156.1 ± 5.8 cm, 体重 53.0 ± 7.9 kg, BMI 21.8 ± 3.4) の 3 群に分けた。本研究を始める前に、研究の趣旨と目的、中止の権利などを口頭と文書にて説明しすべての者から同意を得た。研究計画は天理大学体育学部研究倫理委員会の承認を得ている。

2.2. 測定方法と内容

(1) アームカール運動

アームカール (AC) 運動の負荷重量は年齢や性別に関係なく 2 kg, 3 kg, 4 kg のダンベルを利き手に持たせて、10 回程度反復させた上で任意に選ばせた。ダンベルは自宅などで筋力運動を行うことを前提としたため、手軽に購入できる重量を用いたことが理由である。AC 運動は電子音の合図に合わせ 2 秒に 1 回のペースで肘関節完全伸展位から完全屈曲位 (前腕回外位) で疲労困憊まで行なわせた。電子音のペースを維持できない時点を疲労困憊とした。運動時はアームカールベンチに座り、ダンベルを持たせた状態でカール台の上に肘をあて、体幹が少し前傾する座位姿勢で行わせた。なお、非利き手は体側に下ろさせた (図 1A)。

(2) 等尺性肘屈曲運動および足底屈運動

等尺性肘屈曲および足底屈運動は若年女性 15 名を対象として、等尺性の肘屈曲 (EF) 運動は利き腕のみ行い、最大肘屈曲力 (EF-MVC) の 30% の力を出し続ける運動を疲労困憊まで行なわせた。EF 運動での力発揮は上腕を 30 度外旋させた状態で肘関節 90 度にて鎖に接続した背筋力用アタッチメント (TKK-5710c, 竹井機器) を引っ張らせて行った (図 1B)。力信号は 100 Hz でノートパソコンに AD 変換して取込み、力波形プログラム (竹井機器特注) で解析した。EF 運動中はパソコンの画面で表示される波形を見せながら力発揮を維持させた。EF-MVC は全力の力発揮を 5 秒間 3 セット行ない、最大値を採用した。

足底屈 (PF) 運動は最大足底屈力 (PF-MVC) の 30% の力を出し続ける運動を疲労困憊まで行なわせた。姿勢は座位とし、EF 運動と同様に背筋力用アタッチメントを用いて膝関節 80 ~ 90 度屈曲位、足底屈 20 ~ 30 度にて力発揮を行なわせた (図 1C)。力信号は EF 運動と同様にノートパソコンに取込み、力波形プログラムで解析した。PF 運動中はパソコン画面を見せながら発揮する力の維持を行わせた。PF-MVC は全力の力発揮を 5 秒間 3 セット行ない、最大値を採用した。

(3) 筋電図と心拍数

AC 運動中は上腕二頭筋の表面筋電図 (EMG) を導出し、生理的強度としてその変化を観察した。上腕二頭筋の短頭筋腹中央部にディスプレイザブル電極 (F-150S, 日本光電) を電極間距離 20 mm で貼付し、マルチテレ

メータ (WEB-5000, 日本光電) を介して 2000 Hz のサンプリング周波数で EMG 信号を AD 変換し分析ソフト (Map1038, ニホンサンテック) で解析した。筋電図活動レベルの変化 (各スケール時) は全波整流した記録波形の実効値 (RMS) を用いて定量化した。なお、RMS は各スケールを答えさせた時点と前後 3 試技の平均値で算出した。

心拍数は胸部双極誘導法 (CM₅) により各スケールで答えた時点の瞬時心拍数をマルチテレメータ (WEB-5000, 日本光電) で計測した。安静時の心拍数は座位姿勢で 5 分以上安静にした後に測定した。

(4) 自覚的疲労スケール (S スケール)

等張性および等尺性運動で活動筋が感じた自覚的疲労スケールは、「少し効いてきた」(S3), 「効いてきた」(S4), 「かなり効いてきた」(S5), 「もう限界」(S6) とし、運動中にそれぞれ自覚的に感じた時点を口頭で答えさせた (図 2)。なお、同スケールの「かなり余裕」(S1) と「余裕」(S2) は図に示すにとどめた。S スケールを答えた時点で日本語表記の Borg-RPE (全身: 15 スケール) も同時に答えさせた。

2.3. 筋力トレーニング

筋力トレーニングは S5 と感じた時点までの AC 運動を週 2 ~ 3 回の頻度で 1 セットのみ 12 週間にわたり行わせた。対象者は中年女性 14 名とし、自宅で 2 ~ 2.5 kg のダンベルを用いて実験室の測定と同様に 2 秒に 1 回の

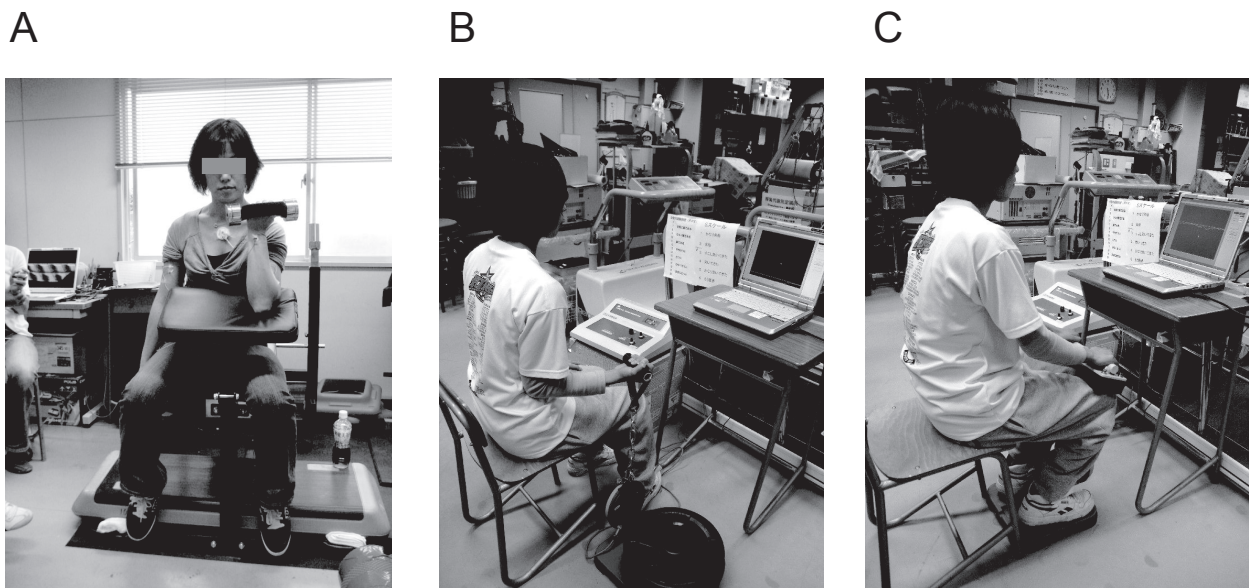


Figure 1. An experimental set-up of the arm curl (A), elbow flexion (B), plantar flexion (C) exercises.

ペースでカールさせる内容でトレーニングさせた。トレーニング中の姿勢は座位あるいは立位のいずれかとしたが、肘関節の可動範囲は完全伸展位から完全屈曲位（前腕回外位）までとさせた。ACでS5と感じた時点のダンベル回数はトレーニング日誌に毎回記録させた。筋力運動は非利き腕（T側）のみトレーニングさせ、利き腕（C側）はコントロールとした。3ヶ月間のトレーニング前後で、2秒に1回のペースでAC運動を疲労困憊まで行かせた際のT側およびC側の各スケールの回数、Borg-RPE、RMS、HR、等尺性筋発揮でのEF-MVCを比較した。

2.4. 統計解析

すべての測定値は平均値と標準偏差で示した。各スケールにおけるグループ間のパラメータの比較は一元配置分散分析（ANOVA）を行ない、グループ間に有意な差が認められた場合はBonferroniの多重比較検定を行った。トレーニング前後のT側とC側の各パラメータ

の比較には二元配置分散分析（トレーニング側 × 期間）を用い、交互作用と主効果を検討した。主効果に有意な差が認められた場合はウィルコクソン符号付順位和検定を行なった。有意水準は $P < 0.05$ とした。

3. 結果

AC運動で用いたダンベル重量は若年男性は 3.6 ± 0.5 kg、若年女性は 2.8 ± 0.5 kg、中年女性はすべて 2.0 kgであった。AC運動における筋活動電位の変化を図3に示した。筋活動電位はスタートから回数は増加し、スケールの上昇とともに筋活動量は増大した。各スケールの回数はS3の若年男性は 33.6 ± 15.0 回、若年女性は 22.5 ± 7.2 回、中年女性は 21.9 ± 9.5 回、S4の若年男性は 47.2 ± 16.2 回、若年女性は 39.2 ± 13.5 回、中年女性は 34.2 ± 12.2 回、S5の若年男性は 66.9 ± 16.5 回、若年女性は 57.4 ± 18.2 回、中年女性は 47.9 ± 17.1 、S6の若年男性は 87.9 ± 16.5 回、若年女性は 79.1 ± 24.2 回、中年女性は $64.6 \pm$






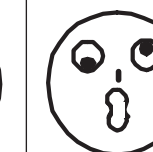
スケール	S1	S2	S3	S4	S5	S6
						
自覚的疲労感	かなり余裕	余裕	すこし効いてきた	効いてきた	かなり効いてきた	もう限界
活動筋の状態	負荷を感じない	鍛えている部分 が感じられる	鍛えている部分 がすこし重たく感じる	鍛えている部分 が重たく感じる	鍛えている部分 がかなり重たく感じる	これ以上動かすこ とができない

Figure 2. S-scale of perceived exertion with the resistance exercise and training.

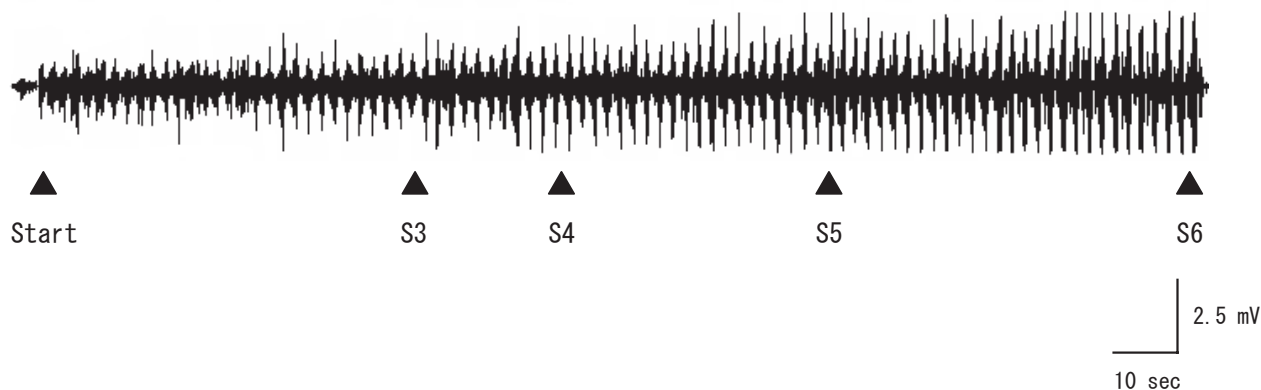


Figure 3. A sample tracing of the biceps brachii muscle EMG at each S-scale ratio of perceived exertion during arm curl exhaustion exercise.

25.0回であった。グループ内やグループ間でダンベル重量が異なることからS6に対する各スケールの回数を相対値(S6の回数を100%)として示した(表1)。各スケールの相対値はS3で29.2~38.0% ($F_{2,39} = 2.27$, ns), S4で51.1~54.6% ($F_{2,39} = 0.24$, ns), S5で74.0~76.0% ($F_{2,39} = 0.15$, ns)と上昇したが、グループ間に有意な差はなかった。

AC運動における各スケールのBorg-RPEはS3の若年男性は 12.3 ± 0.6 , 若年女性は 12.5 ± 0.7 , 中年女性は 10.1 ± 1.4 ($F_{2,39} = 25.2$, $P < 0.05$, 若年男性および若年女性 vs. 中年女性:ともに $P < 0.05$), S4の若年男性は 14.2 ± 1.0 , 若年女性は 14.4 ± 0.9 , 中年女性は 11.8 ± 1.4 ($F_{2,39} = 23.6$, $P < 0.05$, 若年男性および若年女性 vs. 中年女性:ともに $P < 0.05$), S5の若年男性は 16.6 ± 1.0 , 若年女性は 16.7 ± 0.9 , 中年女性は 13.1 ± 1.8 ($F_{2,39} = 34.8$, $P < 0.05$, 若年男性および若年女性 vs. 中年女性:ともに $P < 0.05$), S6の若年男性は 18.5 ± 1.1 , 若年女性は 18.9 ± 1.1 , 中年女性は 15.2 ± 2.7 ($F_{2,39} = 17.4$, $P < 0.05$, 若年男性および若年女性 vs. 中年女性:ともに $P < 0.05$)と上昇し、各スケールとも中年女性が有意に低い値であった。

AC運動での各スケールにおける筋電図RMSをS6に対する割合で示した(表1)。各グループともSスケールの上昇とともにRMSは増大した。S3の若年男性は $71.9 \pm 14.9\%$, 若年女性は $53.7 \pm 11.7\%$, 中年女性は $68.4 \pm 8.5\%$ ($F_{2,38} = 9.50$, $P < 0.05$, 若年男性および中年女性 vs. 若年女性:ともに $P < 0.05$), S4の若年男性は

$82.1 \pm 15.9\%$, 若年女性は $67.5 \pm 16.1\%$, 中年女性は $77.1 \pm 9.3\%$ ($F_{2,38} = 3.85$, $P < 0.05$, 若年男性 vs. 若年女性: $P < 0.05$)と有意な差が認められた。S5の若年男性は $92.2 \pm 12.0\%$, 若年女性は $79.9 \pm 16.6\%$, 中年女性は $86.9 \pm 12.8\%$ と差はなかった ($F_{2,38} = 2.60$, ns)。

安静時の心拍数は60.6~66.2 beats/minでグループ間に差はなく、Sスケールの上昇につれてS5まで86.6~96.6 beats/minの範囲を示し、S6では若年男性が 100.7 ± 18.7 beats/min, 若年女性は 95.9 ± 17.9 beats/min, 中年女性は 92.8 ± 24.6 beats/minであった。

等張性(AC運動)と等尺性(EF運動, PF運動)の異なる筋発揮での筋力運動を用いて各スケールにおける相対的強度を比較した。それぞれの限界回数あるいは時間に対する各スケールの強度はS3 ($F_{2,35} = 2.72$, ns)とS4 ($F_{2,35} = 2.18$, ns)で運動種目間に差はなかったものの、S5ではAC運動の強度がEF運動に比べて有意に高かった ($F_{2,35} = 6.50$, $P < 0.05$, EF運動 vs. AC運動: $P < 0.05$) (図4)。

次に、中年女性を対象にSスケール(S5)を用いた筋力トレーニングの効果を検討した。3ヶ月のトレーニング期間で筋力運動を行った日数は 30.1 ± 5.8 日、1週あたりは 2.6 ± 0.3 回であった。AC運動でS5と感じた時点のダンベル回数はトレーニング前 45.6 ± 21.2 回からトレーニング後 78.4 ± 58.7 回と有意な増加が認められた ($P < 0.05$, ES = 0.57)。トレーニング前後にAC運動をS6まで行なわせた際の限界回数, RMS, 等尺性肘屈曲

Table 1. A comparison of selected data during the arm curl exercise.

	Group	S3	S4	S5	S6
Number of repetitions (%)	YM	38.0 ± 14.9	53.3 ± 14.9	76.0 ± 11.5	100
	YW	29.2 ± 7.2	51.1 ± 13.7	74.0 ± 10.5	100
	MW	35.1 ± 11.4	54.6 ± 13.6	74.8 ± 6.6	100
Borg-RPE	YM	12.3 ± 0.6 [#]	14.2 ± 1.0 [#]	16.6 ± 1.0 [#]	18.5 ± 1.1 [#]
	YW	12.5 ± 0.7 [#]	14.4 ± 0.9 [#]	16.7 ± 0.9 [#]	18.9 ± 1.1 [#]
	MW	10.1 ± 1.4	11.8 ± 1.4	13.1 ± 1.8	15.2 ± 2.7
RMS-EMG (%)	YM	71.9 ± 14.9*	82.1 ± 15.9*	92.2 ± 12.0	100
	YW	53.7 ± 11.7	67.5 ± 16.1	79.9 ± 16.6	100
	MW	68.4 ± 8.5*	77.1 ± 9.3	86.9 ± 12.8	100
HR (beats/min)	YM	89.6 ± 15.7	90.6 ± 14.8	96.6 ± 15.8	100.7 ± 18.7
	YW	86.6 ± 11.9	87.4 ± 10.9	88.9 ± 13.2	95.9 ± 17.9
	MW	89.2 ± 14.8	86.9 ± 23.5	89.6 ± 24.4	92.8 ± 24.6

Values are means ± SD. YM, young men ($n = 12$); YW, young women ($n = 15$); MW, middle-aged women ($n = 14$).

Significant difference from YW, * $P < 0.05$.

Significant difference from MW, [#] $P < 0.05$.

RPE, rating of perceived exertion; RMS, root mean square; HR, heart rate.

力の変化を示した(表2)。AC回数はトレーニング前後でT側とC側に交互作用は認められなかったが($F_{1,20} = 0.09$, ns), T側に主効果が認められトレーニング後に58.7%の有意な増加が示された($P < 0.05$, $ES = 0.88$)。S6のRMSはトレーニング前後でT側とC側に交互作用と主効果は認められなかった($F_{1,22} = 1.32$, ns)。等尺性肘屈曲力はトレーニング前後でT側とC側に交互作用は認められなかったが($F_{1,26} = 0.87$, ns), T側およびC側に主効果が認められ, T側は21.7%($P < 0.05$, $ES = 1.34$), C側は16.1%($P < 0.05$, $ES = 0.95$)の有意な増大が示された。

4. 考察

筋力トレーニングを用いて筋力と筋持久力の改善を導くためには1セット8~12回の負荷が必要とされている(ACSM, 1998)。また, トレーニング負荷に関する他の指針(ACSM, 2009)では, 筋力や筋肥大の改善に必要な負荷は1RMの60~70%, 筋持久力の改善には1RMの50~70%とされ, この基準がトレーニングに用いる際の目安となっている。健康づくりや介護予防事業などの場合, ウェイト・マシンやフリーウェイトを用いることは容易でなくRM法による強度設定は難しい。そのため, RPEを用いて筋力運動の強度を推定することが試みられ(Robertson et al., 2003; Day et al., 2004; Lagally and Robertson, 2006), トレーニングの指標と

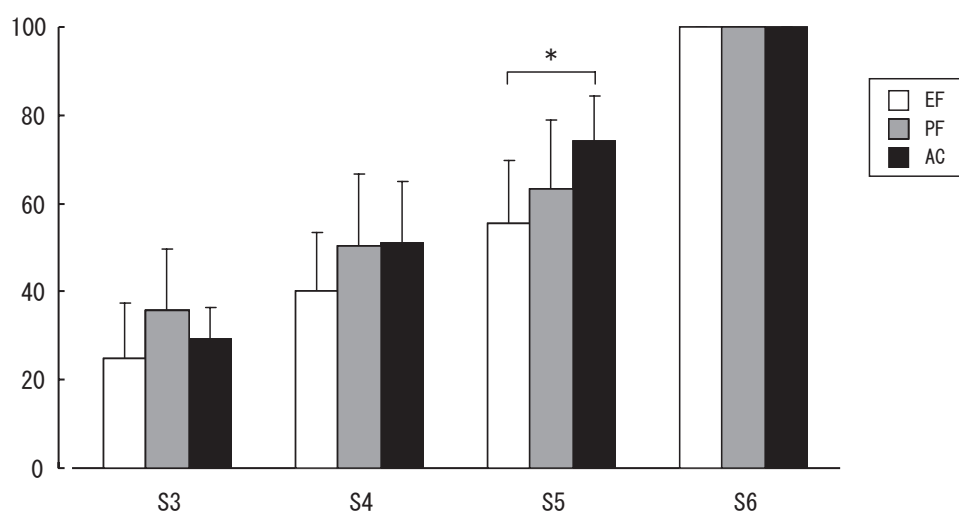


Figure 4. The comparison between the relative number of repetitions and limit time to exhaustion with different types of exercise at each S-scale ratio of perceived exertion.
*Significant difference between EF and AC at S5 ($P < 0.05$).

Table 2. Changes of number of repetitions and RMS at exhaustion and maximum strength during the resistance training.

	Baseline	Post-training	ES
Number of repetitions			
Training	51.5 ± 17.7	81.6 ± 44.8*	0.88
Control	63.1 ± 25.3	78.1 ± 55.0	0.35
RMS-EMG (μ V)			
Training	409.3 ± 136.3	449.0 ± 248.9	0.20
Control	473.0 ± 195.7	423.7 ± 197.4	0.25
EF-MVC (N)			
Training	92.1 ± 9.2	111.7 ± 18.6*	1.34
Control	92.2 ± 12.9	106.8 ± 17.5*	0.95

Values are means ± SD. $n = 14$

Significant difference from baseline, * $P < 0.05$.

RMS, root mean square; EF-MVC, maximum strength of elbow flexion.

して簡単に精度よく強度を反映するスケールとして利用されてきた。

本研究では疲労困憊まで運動を行なわせた際の活動筋の感じ方の変化から日本語表記の RPE (S スケール) と生理的強度の関係を検討した。はじめに、AC 運動を疲労困憊まで行なわせた際の S3 から S6 のスケール上昇にともなって回数は増加し、Borg-RPE も同様に上昇することがすべてのグループで認められた。AC 運動の回数を S6 に対する相対値と比較すると、若年男性、若年女性、中年女性とも各スケールで有意な差はなかったことから、各スケールにおいて運動回数を基準とした場合に性差や年代差はないものと思われる。運動中の RPE を男女で比較した研究において、同一の生理的強度では男性に比べて女性の RPE は高いが、相対的強度にすると性差はなくなると報告されている (Borg, 1998)。他の報告でも Borg-RPE の 9, 13, 17 に相当する強度では男女差がなくなり (Easton and Williams, 1988), 10 ~ 14 歳の子どもの対象とした研究でも OMNI-RES を用いた RPE に性差はなかったとしている (Robertson et al, 2005)。これらのことは本研究の各スケールにおける Borg-RPE をみても同様であり、先行研究を支持する結果であった。次に、年代差について若年男女と中年女性を対象に各スケールで比較すると、相対的回数には各スケールとも年代差はなかったが、Borg-RPE はすべてのスケールにおいて中年女性の方が低い値を示した。同一強度で RPE の年代差を比較した研究では振動刺激装置による運動で若者と高齢者に差はなかったとする報告 (Cochrane et al, 2008) がある一方、持久的運動では同一強度であっても RPE は加齢にともなって低下するという報告もみられる (Borg, 1998)。筋力運動における RPE の加齢変化について検討した報告は調べた限りではみあたらない。そのため、本研究の中年女性にみられた Borg-RPE が低値を示した理由は不明であるが、加齢による活動筋の知覚など神経筋感覚の変化によることも考えられる。この点については本研究のデータから考察することはできないため活動筋を支配する神経・筋・感覚受容器や大脳興奮性を含めた詳細な検討が今後必要になろう。

筋力運動における RPE と生理的強度との関係については、1 RM の 65% で AC と膝伸展運動を行なわせた際の RPE (OMNI-RES) と仕事量あるいは血中乳酸値は相関し、自覚的運動強度と物理的負荷あるいは生理的指標の関係が示されている (Robertson et al, 2003)。本研究では S スケールの上昇とともに筋電図 RMS は増大し、RPE と活動筋の仕事量が関係することは示された。し

かし、生理的強度のひとつである HR は S スケールの上昇にともなってわずかに増加する程度であった。先行研究 (Robertson et al, 2003) は 1 RM の 65% の負荷を用いたのに対し、本研究では 2 ~ 4 kg のダンベルを使用したため負荷強度が低く、疲労困憊まで運動させたとしても HR を増加させるには至らなかったものと推察される。

次に、S スケールを用いた RPE が筋収縮形態や部位でどのように異なるかを検討した。若年女性を対象として、上腕二頭筋を主動筋とする等張性筋収縮の AC と等尺性筋収縮の EF で S6 に対する各スケールの相対値を比較したところ、S3 および S4 では差は認められなかったが S5 では EF 運動は低い値を示した。筋収縮形態の違いが RPE に及ぼす影響について、Fleming et al. (1997) はハンドグリップ運動では疲労困憊時の RPE は等尺性筋収縮の方が伸張性筋収縮よりも高くなると報告している。本研究では等張性と等尺性筋収縮を用いていることから直接比べることはできないが、等尺性筋収縮における相対的強度は低く、先行研究の結果と異なるものであった。他方、同じ等尺性筋収縮を用いて EF 運動と PF 運動を部位別で比較すると、各スケールにおいて両者の違いは認められなかった。このことは等張性筋収縮の AC と膝伸展運動を行なわせた場合に相対的強度に差はみられないとした先行研究 (Robertson et al, 2003; Day et al, 2004) の結果を支持するものであった。これらのことから、本研究の筋力運動においても同じ筋収縮形態であれば、S スケールの強度に部位別の差は生じないものと考えられる。

筋力トレーニングに参加した中年女性が使用したダンベルは EF-MVC で求めた最大筋力のおよそ 18.3 ~ 27.4% であった。ACSM (2009) の指針では局所の筋持久力トレーニングとしては 1RM の 40 ~ 60% の負荷で行なうことを勧めており、この指針に比べても低強度であったといえる。本研究では、3 ヶ月後にトレーニング側の筋持久力が 58.4%、EF-MVC も 21.3% 改善し、コントロール側にも EF-MVC の増大 (15.8%) が認められた。AC による疲労困憊時 (S6) の筋電図 RMS に差は認められなかったことから、筋疲労にともなって動員される筋線維はトレーニング前後で変化がないものと思われる。筋活動量の変化なしに筋持久力や筋力が増大したことは S スケールを用いた負荷強度がトレーニング効果を導くために有効であったと考えられる。本研究のトレーニングに参加した者の中で定期的な運動習慣 (テニス、バドミントン、卓球、ウォーキング) を有する者は 14 名中 3 名であった。筋力トレーニングに関するメ

タ分析では、非トレーニング者でも筋力を改善するためには60%の強度で、週3回の頻度が必要とされ (Rhea et al., 2003)、筋持久力の改善にも40%の強度が必要とされる (ACSM, 1998; 2009)。また、Krieger (2009) は筋力トレーニングのセット数は1セット (ES = 0.54) よりも複数セット (ES = 0.80) の方が改善効果は大きかったとメタ分析から考察している。さらに、ACSM (2009) は局所の筋持久力を改善するためには、1 RM の40~60%の強度で15回以上の回数を90秒以内で終了するとしている。トレーニング開始時のAC回数 (S5と感じた時点) は平均 45.6 ± 21.2 回であり、トレーニング時間は半分以上の者で90秒を越えていたと思われる。本研究の筋力トレーニングは、効果が認められるとする有効限界を下回る強度やセット数であったにも関わらず、筋持久力や筋力に改善がみられ先行研究と異なる結果であった。さらに、本研究では一側性 (unilateral) の筋力トレーニングであったものの対側の筋力も改善させた。一側性のトレーニングによって生じる対側の筋力向上は cross-education 効果とよばれ、脊髄や大脳皮質の運動神経回路への急性あるいは慢性的な刺激による神経的要因の変化とされる (Lee and Carroll, 2007; Farthing et al., 2007)。この効果は一般的に高強度の刺激や負荷で生じるとされるが、本研究のトレーニング内容でも cross-education 効果を生じさせたことは興味深い。本研究では、活動筋の自覚的疲労感に基づいた日本語独自のSスケール (RPE) は物理的あるいは生理的強度の上昇を反映し、筋発揮様式や運動部位が異なっても利用できることが明らかとなった。さらに、短期間であったがSスケールを用いたトレーニングは筋力や筋持久力の改善に効果的な手法であったといえる。

5. 結論

本研究は筋力運動における活動筋の自覚的疲労感を基としたRPEスケール (Sスケール) を考案して生理的強度との関係を検討するとともに、感じ方に性差や年代差、部位別に差が認められるかどうかを検討した。さらに、Sスケールを用いたトレーニングを3ヶ月間行なわせ、筋力や筋持久力、疲労困憊となる運動での筋活動量への影響を検討した。

その結果、ACを用いた筋力運動ではSスケールの上昇にともなって運動回数、Borg-RPE、筋電図RMSの上昇が認められたがHRの増加はわずかであった。ACにおける各スケールのBorg-RPEは若年男女に比べて中年女性は低値を示した。筋発揮様式の違いによる各

スケールの相対的強度はS3とS4で差はなかったが、S5では等張性運動のACが等尺性運動のEFより高かった。等尺性筋発揮の筋力運動では部位の違いによる強度の差はなかった。

Sスケールを用いた3ヶ月間のトレーニングでは、トレーニング側のみに筋持久力の増大が認められ、筋力はトレーニング側だけでなく非トレーニング側でも増大し cross-education 効果が認められた。これらのことから、本研究で用いた活動筋の自覚的疲労感に基づいたSスケールは筋力運動の指標として利用可能で、短期間の筋力トレーニングにおいても筋力と筋持久力の改善に有効であると考えられる。

謝辞

本研究の遂行とデータ処理にご協力いただきました天理大学体育学部体力学研究室の諸兄ならびに被検者の皆様に感謝いたします。

付記

本研究は平成20年度日本体育測定評価学会研究助成「筋力運動で用いる自覚的疲労スケールの開発とトレーニングへの応用」による研究助成を受けて行なったものである。

文献

- American College of Sports Medicine (1998) Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 975-991.
- American College of Sports Medicine (2009) Position Stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41: 687-708.
- Borg, G. (1998) Borg's perceived exertion and pain scale. Champaign IL: Human Kinetics.
- Cochrane, D.J., Sartor, F., Winwood, K., Stannard, S.R., Narici, M.V. and Rittweger, J. (2008) A comparison of the physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 89: 815-821.
- Day, M.L., McGuigan, M.R., Brice, G. and Foster, C. (2004) Monitoring exercise intensities during

- resistance training using a session RPE scale. *J. Strength Cond. Res.* 18: 353-358.
- Eston, R.G. and Williams, J.G. (1988) Reliability of ratings of perceived effort regulation of exercise intensity. *Br. J. Sports Med.* 22: 153-155.
- Farthing, J.P., Borowsky, R., Chilibeck, P.D., Binsted, G. and Sarty, G.E. (2007) Neuro-physiological adaptations associated with cross-education of strength. *Brain Topogr.* 20: 77-88.
- Fleming, S.L., Jansen, C.W. and Hasson, S.M. (1997) Effect of work glove and type of muscle action on grip fatigue. *Ergonomics* 40: 601-612.
- Gearhart, R.F. Jr., Goss, F.L., Lagally, K.M., Jakicic, J.M., Gallagher, J., Gallagher, K.I. and Robertson, R.J. (2002) Ratings of perceived exertion in active muscle during high-intensity and low-intensity resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* 16: 87-91.
- Haskell, W.L., Lee, I.M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D. and Bauman, A. (2007) Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation.* 116: 1081-1093.
- Irvine, C. and Taylor, N.F. (2009) Progressive resistance exercise improves glycaemic control in people with type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Aust. J. Physiother.* 55: 237-246.
- Jurca, R., Lamonte, M.J., Barlow, C.E., Kampert, J.B., Church, T.S. and Blair, S.N. (2005) Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37: 1849-1855.
- Katzmarzyk, P.T. and Craig, C.L. (2002) Musculoskeletal fitness and risk of mortality. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34: 740-744.
- Krieger, J.W. (2009) Single versus multiple sets of resistance exercise: a meta-regression. *J. Strength Cond. Res.* 23: 1890-1901.
- Lagally, K.M., Robertson, R.J., Gallagher, K.I., Gearhart, R. and Goss, F.L. (2002) Ratings of perceived exertion during low-intensity and high-intensity resistance exercise by young adults. *Percept. Mot. Skills.* 94: 723-731.
- Lagally, K.M. and Robertson, R.J. (2006) Construct validity of the OMNI resistance exercise scale. *J. Strength Cond. Res.* 20: 252-256.
- Lagally, K.M. and Amorose, A.J. (2007) The validity of using prior rating of perceived exertion to regulate resistance exercise intensity. *Percept. Mot. Skills.* 104: 534-542.
- Lee, M. and Carroll, T.J. (2007) Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Med.* 37: 1-14.
- NPO法人日本トレーニング指導者協会 (2008) トレーニング指導者テキスト「実践編」. ベースボールマガジン社: 東京, pp. 42-43.
- Rhea, M.R., Alvar, B.A., Burkett, L.N. and Ball, S.D. (2003) A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 456-64.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Rutkowski, J., Lenz, B., Dixon, C., Timmer, J., Frazee, K., Dube, J. and Andreacci, J. (2003) Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35: 333-341.
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Andreacci, J.L., Dubé, J.J., Rutkowski, J.J., Frazee, K.M., Aaron, D.J., Metz, K.F., Kowallis, R.A. and Snee, B.M. (2005) Validation of the Children's OMNI-Resistance Exercise Scale of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37: 819-826.
- Ruiz, J.R., Sui, X., Lobelo, F., Morrow, J.R. Jr., Jackson, A.W., Sjöström, M. and Blair, S.N. (2008) Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ.* 337: a439.
- Suominen H. (2006) Muscle training for bone strength. *Aging Clin. Exp. Res.* 18 : 85-93.
- Vuori, I.M. (2001) Dose-response of physical activity and low back pain, osteoarthritis, and osteoporosis. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: S551-S586.