

握力持続発揮時の力量と主観的筋疲労感覚の関係

長澤吉則¹⁾ 出村慎一²⁾ 吉村喜信³⁾
山次俊介⁴⁾ 中田征克⁵⁾ 松澤甚三郎⁶⁾

RELATIONSHIP BETWEEN STRENGTH EXERTION AND SUBJECTIVE MUSCLE-FATIGUE SENSATION IN THE RELATIVE SUSTAINED STATIC HAND GRIPPING

YOSHINORI NAGASAWA, SHINICHI DEMURA, YOSHINOBU YOSHIMURA,
SHUNSUKE YAMAJI, MASAKATSU NAKADA and JINZABURO MATSUZAWA

Abstract

The purpose of this study was to examine the individual differences in relative grip-strength-endurance (RGE) variables and relations between force, endurance time and level of subjective muscle-fatigue sensation (SMS) of RGE. Endurance time and SMS during grip-strength exertion using various relative demand values to the maximal grip-strength-value (MAX) were analyzed. Subjects were 23 healthy adults (male 10 and female 13). Four demand values of 25, 35, 50 and 75% were selected as relative demand values to MAX. The grip-strength-exertion value was input into a personal computer using the system of grip-strength with a strain-gauge (Yagami : ED-D 100 R). The results are summarized as follows :

- 1) Muscle group related to grip-strength exertion recovered up to about 60% of initial within 10~15 sec after grip-strength exertion stopped regardless of the degree of relative demand values.
- 2) The SMS in any relative demand values reached a peak after continuing relative demand values became impossible, and the tendency is stronger with a higher demand value.
- 3) With about 25% relative demand values, physiological muscle fatigue and SMS advanced at almost the same time, and the grip-strength exertion was possible for a little while after the SMS reached a peak.
- 4) With the lower relative demand values under 50%, the influence of SMS appeared stronger by extending the endurance time and the decline-delay of grip-strength-exertion.
- 5) With relative demand values over 50%, continuing relative demand values became impossible within a short time, and the peak SMS appeared earlier than that of relative demand values. On the other hand, the continuing the lower relative demand values was possible to some extent, and individual differences in the continuance and peak arrival-times of SMS were large.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2000, 49 : 495~502)

key word : grip strength, static muscular endurance, demand value, individual difference

¹⁾ 秋田県立大学短期大学部
〒010-0444 秋田県南秋田郡大潟村南2-2
²⁾ 金沢大学教育学部
〒920-1164 石川県金沢市角間町
³⁾ 福井工業大学
〒910-8505 福井県福井市学園3-6-1
⁴⁾ 福井工業高等専門学校
〒916-8507 福井県鯖江市下司町
⁵⁾ 金沢美術工芸大学
〒920-8656 石川県金沢市小立野5-11-1
⁶⁾ 福井医科大学
〒910-1104 福井県吉田郡松岡町下合月

Akita Prefectural College of Agriculture, 2-2 Minami, Ogata, Minami-akita, Akita (010-0444)
Faculty of Education, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa, Ishikawa (920-1164)
Fukui University of Technology, Gakuen, Fukui, Fukui (910-8505)
Fukui National College of Technology, Geshi, Sabae, Fukui (916-8507)
Kanazawa College of Art, 5-11-1 Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa (920-8656)
Fukui Medical School, Simoaitzuki, Matsuoka, Yoshida, Fukui (910-1104)

I. 緒 言

体力を構成する重要な要素の一つである筋持久力は「一定強度の運動を持続する能力」と定義され¹⁾, その評価は主に一定強度の筋力発揮値の低下あるいは持続時間から行われている²⁻⁴⁾. 絶対的負荷強度を用いた場合, 最大筋力の大小が起因となり個人により負荷強度が異なることから, 筋力の個人差を考慮する相対的負荷強度の方が筋持久力の評価には適していると考えられる¹⁾. 吉村ら⁵⁾は, 各種相対的負荷強度を用いて相対的握力発揮の低下パターンを検討し, 低下パターンに個人差が認められることを明らかにしている. 持続運動, 特に強度の高い筋力発揮持続時は生理的な筋疲労とともに主観的な筋疲労感も高まる⁶⁾. 相対的負荷強度と筋力発揮の持続時間との関係については報告されている⁷⁻⁹⁾が, 発揮中の筋の疲労感や努力感を数量化した主観的筋疲労感覚¹⁰⁾と一定負荷条件における静的筋持久力との関係に関しては十分に明らかにされていない. 筋持久力を客観的に捉え, 且つ実用性に優れたテストを作成するためには, 各種相対的負荷強度と主観的筋疲労の対応関係及び発揮持続変量の個人差を明らかにすることが重要と考えられる. 静的筋持久力の測定において, 発揮させる負荷強度が高ければ筋の苦痛度も高く, 測定値や持続時間に及ぼす心理的要因の影響も大きいと考えられる¹¹⁾.

本研究の目的は, 握力最大値に対する各種相対的要求値を用いて, 握力発揮持続時の力量及び持続時間と主観的筋疲労感との関係, 及び発揮持続変量の個人差を明らかにすることである.

II. 方 法

A. 被験者

被験者は, 18~32歳の活動的で健康な男性10名(年齢 22.7 ± 4.08 歳), 女性13名(年齢 20.2 ± 1.12 歳)計23名(年齢 21.3 ± 3.02 歳)であった. 男女の平均年齢間に有意差は認められなかった. 本研究における被験者の身長(男性: 170.9 ± 3.80 cm, 女性: 160.8 ± 5.54 cm)及び体重(男性: 68.0 ± 6.07 kg, 女性: 55.4 ± 5.36 kg)は男女ともに同年

齢段階の標準値¹²⁾と比較してやや大きく, 握力最大値も男女とも標準値と比較して大きかった. なお, 全ての被験者から本実験参加の同意を得た.

B. 実験手順及び方法

先行研究⁵⁾において, 予備実験を踏まえて20, 25, 35, 50, 75及び100%の6種類の握力最大値に対する相対的要求値を選択し, 12分間における握力発揮持続時の低下率を検討した. その結果, 75%以上の要求値は発揮値の低下傾向に差がなく, 20%の要求値は25%の要求値とほぼ同様の発揮値の低下傾向を示した. よって, 本研究では握力最大値に対する相対的要求値として, 個人の握力最大値をもとに25, 35, 50及び75%の4種類を選択した. 4種類の筋持久力測定前に吉村ら⁵⁾の方法に従い握力測定を2回実施し, 各個人の握力最大値(maximal grip-strength value; MAX)を決定した. MAX測定時に利き手及び握り幅を記録し, それ以降の測定には全て同じ幅を採用した. 男子の握り幅は $49.0 \sim 59.0$ mm(52.9 ± 3.11 mm), 女子のそれは $47.0 \sim 58.0$ mm(52.8 ± 3.21 mm)の範囲であった. 静的筋持久力(相対的握力持続発揮; relative grip-strength endurance; RGE)の測定は立位姿勢にて, 疲労の影響を考慮して1日1種類の要求値を用い, 各被験者は4日間で全ての要求値の実験を行った. 要求値の順番は各被験者ごとにランダムに割り当てた. 実験時間は最大で10分間とし, 被験者にはできるだけ長く要求値ラインを持続するようにRGEを要求した. また, RGE中に握り直しのないよう注意し, 疲労のため要求値ラインを下回る状態が連続30秒以上続いた場合は実験を中止した. なお, 要求値を下回った場合は常にパソコンから警告音が鳴り, パソコン画面上に警告の表示がなされた. 活動筋の主観的筋疲労感覚(subjective muscle-fatigue sensation; SMS)は, Borg¹⁰⁾のSMSを用いて30秒毎に前腕の疲労度を測定することにより求めた⁶⁾. このSMSは妥当性が保証されており, 信頼性も高く, 活動筋のSMSを捉えるために利用されている^{6,10,13)}. SMSの指標は「疲れない」から「決められた張力を維持できない(限界)」まで0~10

Table 1. Standard for rating of subjective muscle-fatigue sensation in active-muscle (Borg : 1973).

Ratio scale	Standard for Rating
10	Maximal (limit)
9	Extremely strong (almost max)
8	
7	Very strong
6	
5	Strong (heavy)
4	
3	Moderate
2	
1	Extremely weak
0.5	
0	Nothing at all

点(12評定尺度)であった(表1)。SMSの測定は、MAX測定後のRGE直前にも行った。つまり、10分間のRGEが可能な場合、RGE直前とRGE中の30秒毎に1回の計20回、SMSが記録された。RGE終了後10秒~15秒以内に、筋疲労状態を確

認するためにMAX測定と同様の手順でその時点の握力最大値を1回計測した(MAX2)。

C. 実験装置

握力の測定はストレインゲージ式握力計(ヤガミ:ED-D100R)を用い、筋力発揮値をRS-232Cの通信ポートを介してパソコン(富士通:FMR-50HE3)に取り込む方法を用いた。パソコン画面には相対的要求値が水平線(相対的要求値ライン)として描かれており、被験者はその画面上に描かれた相対的要求値ラインを見ながらRGEを行った。MAXで除した相対的筋力発揮値が即時にパソコン画面上に100 msec毎に表示された。パソコン画面上の相対的要求値や筋力発揮値の表示形式、パソコンの表示画面は吉村ら⁵⁾と同様であった。

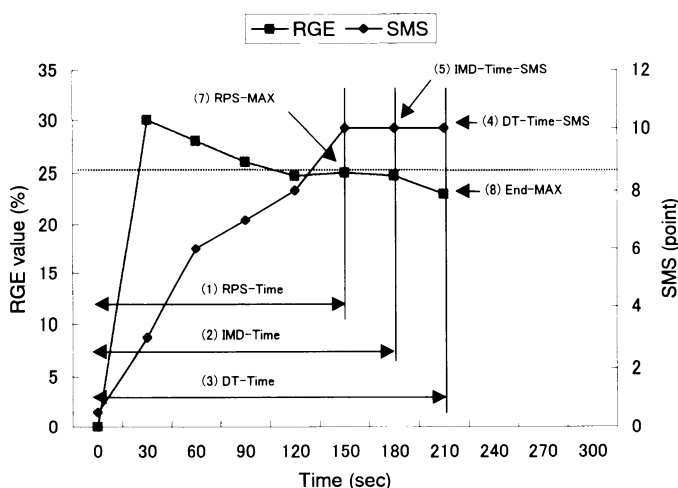


Fig. 1. Evaluation variables in this study (ex. RGE25%).

- Note) RGE value : value of relative grip-strength endurance (%)
 SMS : subjective muscle-fatigue sensation (point)
- (1) RPS-Time : time to reach peak SMS.
 - (2) IMD-Time : time to impossible to maintain the demand value during accumulation 5 sec.
 - (3) DT-Time : time of discontinuation test (time to impossible to maintain the demand value during continuation 30 sec).
 - (4) DT-Time-SMS : SMS of DT-Time.
 - (5) IMD-Time-SMS : SMS of IMD-Time.
 - (6) MAX : maximal grip-strength value (MGV) before RGE measurement.
 - (7) RPS-MAX : grip-strength value of RPS-Time.
 - (8) End-MAX : grip-strength value at RGE end.
 - (9) MAX2 : MGV within 10~15 sec after RGE measurement.
- Variables (6) and (9) were measured before and after above figure.
 Some subjects where (2) IMD-Time preceded (1) RPS-Time existed (See : Table 2).

D. 評価変量

図1は, 本研究で用いた評価変量(発揮持続変量)について示している. RGE 時の力量(発揮値)及び持続時間と SMS との対応関係を検討するため, SMS がピークに達する時間(time to reach peak SMS; RPS-Time), 累積5秒間, 要求値持続不可能となる時間(time to impossible to maintain the demand value during accumulation 5 sec.; IMD-Time), 及び実験中止(連続30秒間, 要求値持続不可能となる)時間(time of discontinue test; DT-Time)の RGE3 変量, DT-Time 時の SMS (SMS of time of discontinue test; DT-Time-SMS) 及び IMD-Time 時の SMS (SMS of time to impossible to maintain the demand value during accumulation 5 sec.; IMD-Time-SMS) の SMS2 変量, 計5変量を選択した. また, 握力最大値及び RGE 時の力量より, RGE 測定以前の握力最大値(MAX), RPS-Time 時の握力発揮値(grip-strength value of RPS-Time; RPS-MAX), RGE 終了時の握力発揮値(grip-strength value at RGE end; End-MAX) 及び RGE 終了後10秒~15秒以内の握力最大値(MAX2)の4変量を算出した.

E. 解析方法

各要求値における握力発揮力量の差異を検討するため MAX, RPS-MAX, End-MAX 及び MAX2 の4変量について, 二要因(要求値と握力発揮値)ともに対応がある二要因分散分析を用いた. RGE3 変量及び SMS2 変量について, 各要求値別の平均値を算出し, 対応のある一要因分散分析法により各要求値の平均値間の差の検定を行った. 有意差が認められた場合には Tukey の honestly significant difference (HSD) 法により多重比較検定を行った. また, RGE 測定以前の各要求値別の2回の握力測定値, MAX 及び MAX2 の信頼性係数は級内相関係数(intraclass correlation coefficient; ICC)により求めた. さらに, 各 RGE の個人差を検討するため, RGE3 変量について各要求値間の分散の有意差検定を行った. なお, 本研究の有意水準は5%とした.

III. 結 果

相対的筋持久力には性差, 年齢差が認められないと報告されており¹⁴⁾, 本研究の結果でも RPS-Time をはじめとする多くの変量に有意な性差が認められなかった. よって, 男女を統合して解析した.

A. 各要求値における RGE 前後の握力最大値, SMS ピーク到達時及び RGE 終了時の握力発揮値

図2は, 各要求値における MAX (RGE 測定以前の握力最大値), RPS-MAX (SMS ピーク到達時の握力発揮値), End-MAX (RGE 終了時の握力発揮値) 及び MAX2 (RGE 終了後10秒~15秒の握力最大値)の平均値を示している. 分散分析の結果, 要求値と握力発揮値の両要因間に有意な交互作用が認められ ($F(9, 198) = 11.62, p < 0.01$), 多重比較検定の結果, RPS-MAX では25%及び35%要求値が50%要求値よりも, 50%要求値が75%要求値よりも有意に低い値であった. End-MAX では25%要求値が50%及び75%要求値よりも, 35%要求値が75%要求値よりも有意に低い値であった. また, いずれの要求値においても MAX より MAX2 が, MAX2 より RPS-MAX 及び End-MAX が有意に低い値であった. 25, 35, 50, 及び75%要求値における RGE 測定以前の2回の握力測定値の ICC は0.992~0.990の非常に高い値であった. また, MAX と MAX2 の ICC はそれぞれ0.978, 0.878と高い値であった.

B. 各要求値における RGE 持続時間及び主観的筋疲労感の比較

表2は, 各要求値における RGE 及び SMS 変量の平均値, 標準偏差, 及び有意差検定の結果を示している. いずれの要求値の場合も, IMD-Time は RPS-Time より短く, 25%から75%要求値における IMD-Time に対する RPS-Time の比はそれぞれ1.25, 1.92, 2.70, 3.33であった. つまり, 平均時間から見ると要求値の持続が不可能になった後に筋の疲労感がピークに達し, その傾

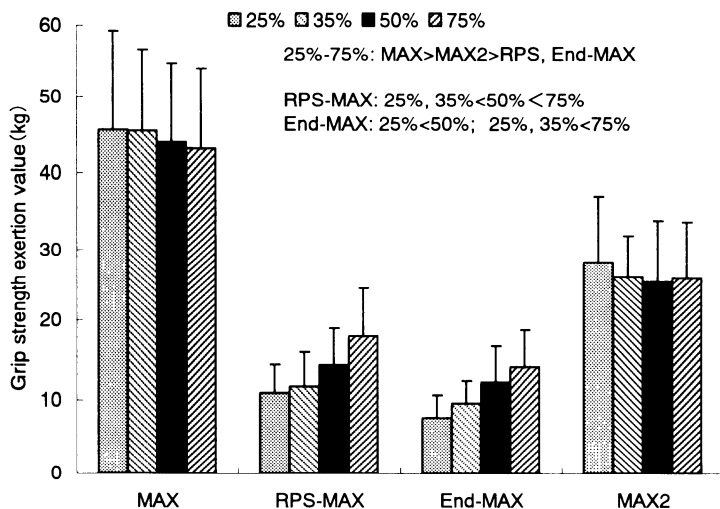


Fig. 2. Change of grip strength exertion value for various demand values.

Note) MAX : maximal grip-strength value before RGE measurement
 RPS-MAX : grip-strength value of RPS-Time
 End-MAX : grip-strength value at RGE end
 MAX2 : maximal grip-strength value within 10~15 sec after RGE measurement

向は要求値が大きい程高いことを示している。また、RPS-Time が出現して DT-Time が出現するまでの平均時間の差はそれぞれ 110.6 sec, 32.3 sec, 17.9 sec, 15.4 sec であった。つまり、筋の疲労感がピークに達してなお要求値を持続しようと努力する過程にも差があり、要求値が高い程短いことを示している。RGE に関する 3 変量とも

に有意差が認められ、多重比較検定の結果、IMD-Time は 25% 要求値が他の要求値よりも、35% 要求値が 75% 要求値よりも有意に長かった。RPS-Time と DT-Time は 25%, 35%, 50% 要求値の順に有意に長い、50% と 75% 要求値間に有意差は認められなかった。DT-Time-SMS (DT-Time 時の SMS) 及び IMD-Time-SMS (IMD-Time

Table 2. RGE and SMS variables of each demand value.

Variable	25%	35%	50%	75%	F-value	Multiple comparison
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)		
IMD-Time (sec)	223.5 (143.9)	81.9 (69.6)	35.2 (27.2)	16.0 (13.0)	36.98 **	25%> 35%, 50%, 75% 35%>75%
RPS-Time (sec)	278.9 (140.5)	157.6 (60.3)	95.0 (36.3)	53.3 (19.7)	43.31 **	25%>35%>50%,75%
DT-Time (sec)	389.5 (151.3)	189.9 (70.4)	112.9 (49.7)	68.7 (14.2)	83.11 **	25%>35%>50%,75%
DT-Time-SMS (point)	9.6 (0.7)	9.5 (0.6)	9.3 (1.2)	8.9 (1.4)	3.78 *	25%, 35%> 75%
IMD-Time-SMS (point)	7.3 (2.4)	5.3 (3.6)	5.2 (3.7)	2.7 (4.0)	8.08 **	25%, 35%, 50%> 75%

Note) RPS-Time, DT-Time, IMD-Time, See Figure 1. DT-Time-SMS : SMS of DT-Time, IMD-Time-SMS : SMS of IMD-Time.

25% > 35%, 50%, 75% : The mean of 25% demand value is greater than that of the 35%, 50%, and 75% demand values .

★★ : p<0.01, ★ : p<0.05

時の SMS)のいずれにも有意差が認められ, 多重比較検定の結果, 前者は25%及び35%要求値が75%要求値より, 後者は25%, 35%及び50%要求値が75%要求値よりも高い値であった。

C. 各要求値における RGE 持続時間の個人差

RPS-Time, DT-Time 及び IMD-Time のそれぞれについて各要求値間の分散の差を検定した結果, いずれも有意差が認められた (RPS-Time: $\chi^2=99.37$, DT-Time: $\chi^2=98.36$, IMD-Time: $\chi^2=128.43$, $p < 0.01$). 多重比較検定の結果, RPS-Time 及び IMD-Time の分散は25%, 35%, 50%, 75%要求値の順に大きく, DT-Time の分散は25%要求値が35%及び50%要求値よりも, 35%及び50%要求値が75%よりも大きかった。

IV. 考 察

本研究では, 相対的握力発揮持続 (RGE) 時の力量及び持続時間と主観的筋疲労感覚 (SMS) の関係, 及び発揮持続変量の個人差を明らかにすることを試みた。

RGE 測定以前の2回の握力測定値, MAX 及び MAX 2 の級内信頼性係数は高く, 且つ要求値間の MAX 及び MAX 2 に有意差は認められなかったことから, 各測定値の信頼性は高いと考えられる。Stephens & Taylor³⁾を始めたとする筋力発揮持続に関する研究^{7, 15, 16)}から最大筋力の約30%以下の場合, 筋力発揮の持続が数分間可能と考えられる。West, et al.¹⁷⁾は相対的握力発揮持続時間について30%要求値が最も長く, 75%要求値は短いことを報告している。本研究においても25%要求値の場合にはかなりの者が数分 (149.5~600.0 sec; IMD-Time=223.5±143.9 sec) の発揮持続が可能であり, 吉村ら⁵⁾の報告と同様に50%及び75%要求値の場合には25%や35%要求値の場合と異なる発揮値の低下傾向が確認された。

RPS-MAX 及び End-MAX は要求値が高い程大きい, MAX 2 には各要求値間に差がなく, MAX の60%程度であった (図2参照)。木村ら¹¹⁾は50%の相対的握力発揮持続はそれ以下の発揮持続と異なり, 筋の血流が著しく制限され, 筋組織

中の利用可能な酸素が少なく, よって持続時間が短くなることを示唆している。50%以上の要求値の場合はそれ以下の要求値に比べ, 急激な筋血流の遮断等の影響により短時間で要求値の持続発揮が困難になり, 十分な筋力低下を示す以前に筋の苦痛感が伴う, よって RPS-MAX 及び End-MAX が高かったと推察される。また, いずれの要求値の場合も MAX 2 に差がみられなかったことから, 握力発揮に関与する筋群は要求値の程度に関係なく, 握力発揮中止後10~15秒以内に初期の60%程度まで回復するものと考えられる。

斉藤 & 間野⁶⁾は活動筋の疲労感と末梢の求心性神経活動に対応があることを示唆している。本研究における筋収縮時の SMS の判定には筋内圧, 活動筋への血流量, 求心性神経活動量⁶⁾や他の要因が複雑に関与する¹⁸⁾ものと考えられる。本研究の結果, いずれの要求値においても筋の疲労感のピークは要求値の持続が不可能になった後に生じ, その傾向は要求値が高い程強かった。特に, 25%前後の低い要求値の場合, IMD-Time と RPS-Time が一致する傾向がみられた。また, 筋の疲労感のピーク到達後にさらに要求値を持続する過程にも差が認められ, 要求値が高い程短かった。Kilbom et al.¹⁸⁾は25%の相対的筋力発揮を用い, 主観的な筋疲労感は生理学的反応と密接な関係があることを報告している。50%以上の要求値の場合, 急激な筋力, 筋内圧及び血流量の低下等の生理的影響が短時間に早く現れるため要求値の持続発揮は困難であるが, 筋のたるさや疲労感といった SMS の影響度は低く, よって要求値を持続しようと努力する時間は相対的に延長するものと推察される。一方, 25%前後の要求値の場合, 生理的な筋疲労の遅れとともに SMS も高まり, 両者はほぼ同時期に進行し, SMS がピークになった後でもある程度持続発揮が可能と推測される。要求値持続不可能時の SMS は50%未満の低い要求値の場合, 要求値が低い程高く, DT-Time-SMS はいずれの要求値においても評定値がほぼ9.0「疲れの限界である」, IMD-Time-SMS は5.0「かなり疲れた」から7.0「非常に疲れた」を示した (表1, 表2参照)。特に, 75%程度の要求値の

場合、要求値持続不可能時の SMS は「疲れを感じる程度」と低く、多くの者が SMS を感じる以前に要求値を持続出来ないことが明らかとなった。つまり、75%前後の要求値の場合、SMS がピークに達する以前に生理的筋疲労により筋力発揮に低下が生じるが、50%未満の低い要求値の場合には持続時間の延長や筋力発揮低下の遅延(生理的な筋疲労の遅延)が生じることによって、SMS の影響が強く現れると推測される。

IMD-Time, RPS-Time, 及び DT-Time はいずれも50%要求値未満では要求値が低い程長く、個人差(分散)も大きい傾向が明らかにされた。Caldwell¹⁹⁾は男女学生を対象に、25~100%の要求値を用いて相対的筋持久力を測定し、負荷強度の低下に伴い持続時間の分散が著しく高くなることを報告している。苦痛度のピーク到達に関する同様の報告はみられないが、一般に強度の高い筋力発揮持続時は生理的な筋疲労とともに主観的な筋疲労感も高まる⁶⁾と考えられる。要求値が高くなるに従い、要求値維持可能時間や苦痛度のピーク到達は短くなり、個人差も小さくなるが、本研究の結果からこの関係は要求値50%以上とそれ以下で異なることが推測される。つまり、50%以上の要求値の場合には、短時間で要求値の持続が不可能となり、SMS のピークも50%未満の要求値に比べて早く出現するが、50%未満の要求値では、要求値の持続がある程度可能で、その持続や SMS のピーク到達の個人差も大きいと推測される。

本研究の筋持久力テストは、相対的要求値を用いており、最大筋力の影響を考慮していることから、高齢者の筋持久力の測定やリハビリテーション等幅広い利用が可能であろう。また、本研究の結果から、要求値が高い場合には主観的苦痛度も高く、短時間で要求値の持続発揮が困難になる。一方、要求値が低い場合には、筋疲労感の持続性が長くなり、測定時間が長くなる。それぞれ妥当性、実用性の点で問題がある。35%程度の要求値の場合には、要求値の持続や主観的筋疲労感のピーク到達の個人差を捉えることが可能であり、筋持久力のテストとして有効と考えられる。

V. ま と め

本研究の目的は、18~32歳の健康な成人23名を対象に、握力最大値に対する4種類の相対的要求値(25, 35, 50, 75%)を用いて、相対的握力発揮持続時間及び発揮力量と主観的筋疲労感覚(SMS)の関係、及び発揮持続変量の個人差を検討することであった。

握力発揮に関与する筋群は要求値の程度に関係なく、握力発揮中止後10~15秒以内に初期の60%程度まで回復する。いずれの要求値の場合も、SMS のピークは要求値の持続が不可能になった後に生じ、この傾向は要求値が高い程強い。25%前後の要求値の場合、生理的な筋疲労と SMS がほぼ同時期に進行し、SMS がピークになった後でもある程度筋力発揮が可能である。50%未満の低い要求値の場合には、持続時間の延長や筋力発揮低下の遅延により SMS の影響が強く現れ、また、要求値の持続がある程度可能でその持続や SMS のピーク到達の個人差も大きい。50%以上の要求値の場合には、短時間で要求値の持続が不可能となり、SMS のピークの出現も早い。

(受理日 平成12年5月10日)

文 献

- 1) 加賀谷淳子, 筋持久力体力を捉える一過去から未来へ, *Jap. J. Sports Sci.*, (1994), **13**, 233-240.
- 2) Caffier, G., Rehfeldt, H., Kramer, H., & Mucke, R. Fatigue during sustained maximal voluntary contraction of different muscles in humans; dependence on fibre type and body posture. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1992), **64**, 237-243.
- 3) Stephens, J. A. & Taylor, A. Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J. Physiol.*, (1972), **220**, 1-18.
- 4) Walamies, M., & Turjanmaa, V. Assessment of the reproducibility of strength and endurance handgrip parameters using a digital analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **67**, 83-86.
- 5) 吉村喜信, 出村慎一, 長澤吉則, 島田 茂, 松澤甚三郎, 相対的握力発揮持続の低下パターン及び臨界力の検討, *教育医学*, (1996), **42**, 125-131. Yoshimura, Y., Demura, S., Nagasawa, Y., Shimada, S., & Matsuzawa, J. Examination of reduced pattern and critical force of the relative grip-strength-exertion-endurance. *J. Educ. Health Sci.*, (1996), **42**, 125-131. (in Japanese)

- 6) 齊藤 満, 間野忠明, 疲労感覚を手掛かりとした交感神経活動の随意調節. 疲労と休養の科学, (1989), **4**, 97-104. Saito, M., & Mano, T. Voluntary control of sympathetic nerve activity by using subjective fatigue sensation from contracting muscle during sustained handgrip. *Hirou-to-kyuyou-no-kagaku*, (1989), **4**, 97-104. (in Japanese)
- 7) Bonde-Petersen, F., Mork, A. L., & Nielsen, E. Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1975), **34**, 43-50.
- 8) Bowie, W., & Cumming, G. R. Sustained handgrip-reproducibility; effects of hypoxia. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1971), **3**, 24-31.
- 9) Kahn, J. F. & Monod, H. Fatigue induced by static work. *Ergonomics*, (1989), **32**, 839-846.
- 10) Borg, G. A note on category scale with 'ratio properties' for estimating perceived exertion. Reports from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm, (1973), **36**.
- 11) 木村直人, 勝村俊仁, 浜岡隆文, 下光輝一, 様々な強度での等尺性運動時における持続時間と疲労因子との関連について, 体力科学, (1998), **47**, 549-560. Kimura, N., Katsumura, T., Hamaoka, T., & Shimomitsu, T. The relationship between endurance time and fatigue factors at varying intensities in handgrip isometric exercise. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (1998), **47**, 549-560. (in Japanese)
- 12) 東京都立大学体育学研究室, 日本人の体力標準値, 4版, 不昧堂出版, 東京, (1989), 21-101. Lab. Physical Edu. In Tokyo Met. Univ. (ed). *Physical Fitness Standards of Japanese People*. (4th edition). Fumaido, Tokyo, (1989), 21-101. (in Japanese)
- 13) Pepin, E. B., Spencer, M. K., Hicks, R. W., Jackson, G. R., & Tran, Z. V. Reliability of a handgrip test for evaluating heart rate and pressor responses in multiple sclerosis. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1998), **30**, 1296-1298.
- 14) Simonsen, E. Effect of age on work capacity and fatigue. In: Simonsen E (ed) *Physiology of work capacity and fatigue*. Thomas Publications, Springfield, Ill., (1971), 406-436.
- 15) 石黒光祐, 北村潔和, 競技者と一般学生の最大把握力と最大把握力の持続能力, *Jap. J. Sports Sci.*, (1985), **4**, 61-67. Isikuro, M., & Kitamura, K. Maximum grip strength and endurance of maximum strength in athletes and non-athletes. *Jap. J. Sports Sci.*, (1985), **4**, 61-67. (in Japanese)
- 16) Nagle, F. J., Seals, D. R., & Hanson, P. Time to fatigue during isometric exercise using different muscle masses. *Int. J. Sports Med.*, (1988), **9**, 313-315.
- 17) West, W., Hicks, A., Clements, L., & Dowling, J. The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1995), **71**, 301-305.
- 18) Kilbom, A., Gamberale, F., Persson, J., & Annwall, G. Physiological and psychological indices of fatigue during static contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1983), **50**, 179-193.
- 19) Caldwell, L. S. Relative muscle loading and endurance. *J. Eng. Psychol.*, (1963), **2**, 155-161.