

## 持続性最大握力発揮における静的筋持久力の評価変数の検討

山次俊介<sup>1)</sup> 出村慎一<sup>2)</sup> 長澤吉則<sup>3)</sup> 中田征克<sup>4)</sup>  
吉村喜信<sup>5)</sup> 松澤甚三郎<sup>6)</sup> 豊島慶男<sup>7)</sup>

### Examination of the parameters of static muscle endurance on sustained static maximal hand gripping

Shunsuke Yamaji<sup>1</sup>, Shinichi Demura<sup>2</sup>, Yoshinori Nagasawa<sup>3</sup>, Masakatsu Nakada<sup>4</sup>,  
Yoshinobu Yoshimura<sup>5</sup>, Zinzaburo Matsuzawa<sup>6</sup> and Yoshio Toyoshima<sup>7</sup>

#### Abstract

In previous studies, many parameters to evaluate static muscle endurance have been proposed, but their properties and relationships have not been sufficiently examined. In sustained maximal static exertion, muscle exertion can be classified as a remarkable phase and a nearly steady state phase of strength decrease. Both phases could relate to different physiological factors of muscle endurance, but little is known about evaluation parameters for either phase. This study aimed to examine the properties and relationships of various evaluation parameters, including the transition time when the decrease in speed shows a distinct change, by analyzing the force-time curve of sustained static hand gripping (SSHG), and to propose effective parameters. Thirty healthy university students were selected as subjects. SSHG work demanded an exertion of maximal muscle strength (MAX) for 12 minutes. Evaluation parameters were calculated for 6 and 12 minutes. The time ( $t_5$ ), when the determination coefficients of two regressions based on a remarkable phase and a steady state phase of strength decrease became maximal, was considered effective to statistically evaluate a change point of decreasing rate. It was also suggested that the time ( $t_1$ ), when the exertion value is furthest from the linear line between MAX and the last exertion value, and the time ( $t_4$ ) of the intersection of the regression ( $y_1 = a_1X + b_1$ ) based on exertion values until  $t_1$  and the regression ( $y_3 = a_3X + b_3$ ,  $a_3 = 0$ ) based on exertion at a steady state, were effective because the change with different measurements of 6- and 12-minutes was less. Moreover, muscle oxygenation during SSHG decreased from the beginning of SSHG to 40-60 seconds. It was considered that obstruction of the blood flow caused an insufficient oxygen supply. This time period was almost consistent with change times ( $t_1$ ,  $t_4$ ,  $t_5$ ) of exertion value. It was suggested that parameters such as the regression coefficient ( $a_1$ ), the persisting

- 1) 福井工業高校等専門学校  
〒916-8507 福井県鯖江市下司町
- 2) 金沢大学教育学部  
〒920-1164 石川県金沢市角間町
- 3) 秋田県立大学短期大学部  
〒010-0444 秋田県南秋田郡大湯村
- 4) 金沢美術工芸大学  
〒920-8656 石川県金沢市小立野
- 5) 福井工業大学  
〒910-8505 福井県福井市学園3-6-1
- 6) 福井医科大学  
〒910-1104 福井県吉田郡松岡町下合月
- 7) 秋田大学医療技術短期大学  
〒010-8543 秋田県秋田市本道1-1-1

1. *Fukui National College of Technology, Geshi-cho, Sabae, Fukui, 916-8507*
2. *Kanazawa University, Faculty of Education, Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1164*
3. *Akita Prefectural College of Agriculture, Ohgata-mura, Minamiakita-gun, Akita, 010-0444*
4. *Kanazawa College of Art, Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa, 920-8656*
5. *Fukui University of Technology, 1-6-3 Gakuen, Fukui, Fukui, 910-8505*
6. *Fukui Medical school, Simoaituki, Matsuoka-cho, Yoshidagun, Fukui, 910-1104*
7. *Akita University College of Allied Medical Science, Hondo, Akita-shi, Akita, 010-8543*

times of 80%, 70%, and 60% of MAX and the sum of the decrement of exertion values for the first 1 min can evaluate a remarkable phase of strength decrease. Total integrated area, the last strength exertion value and decreasing rate are appropriate for a nearly steady state phase. Further, it was considered that all parameters except the transition time ( $t_1-t_4$ ) and regression coefficient ( $a_2$ ) can be evaluated almost equally at 6 minutes instead of 12 minutes.

**Key words: static muscle endurance, transition time, force-time parameters, hand grip**  
(Japan J. Phys. Educ. 45: 695-706, November, 2000)

キーワード：静的筋持久力，変曲時間，力-時間変数，握力

### 緒 言

筋持久力の評価は古くから研究され、多くのテストが開発されている。フィールドテストでは、腕立て伏せや懸垂腕屈伸などのように自分の身体を負荷として持続回数や成就回数から評価することが多い。負荷設定には絶対的負荷値を設定する方法もあるが、最大筋力に大きく影響されるため、筋持久力の評価方法としては妥当ではない(加賀谷, 1994)。先行研究(Bemben et al., 1996; Caldwell, 1963; Heyward and McCreary, 1977; Huczel and Clarke, 1992; 加賀谷・岩村, 1989; 加賀谷, 1994; 木村ほか, 1998; Milner-Brown et al., 1986; 長澤ほか, 1996; 名取ほか, 1970; Walamies and Turjanmaa, 1993)の多くは最大筋力をもとに被験者毎に負荷を設定し、筋力の持続性発揮による低下曲線から筋持久力の評価を試みている。評価変数として一定の発揮値を維持する時間、初期発揮値からの低下率、測定終了付近の発揮値、発揮値の総合計(力積)などが主に利用されている。Huczel and Clarke (1992)は低下曲線全体を一つの関数で評価する変数を提案している。これらの評価変数は、作業強度や測定時間によって筋力発揮に影響を及ぼす生理的要因(Bigland-Ritchie, 1984)が異なるため、一樣に解釈できない。

持続性筋力発揮における筋力低下に及ぼす生理的要因(Bigland-Ritchie, 1984; 森谷, 1996)として、筋への酸素運搬能力(筋血流量, 筋組織酸素摂取量), インパルスの発射頻度や動員される運動単位数の低下などが挙げられる。先行研究

において最大筋力の50-70%以上の作業強度では、血流が阻止されると報告されている(Royce, 1958; Nielson and Ingvar, 1967)。また、筋疲労による筋力の低下とともに筋内圧が減少し、血流が再環流し始めるといわれている(Royce, 1958; Nielson and Ingvar, 1967)。加賀谷(1989, 1994)は時間経過に伴う筋力発揮の低下曲線の観察から、筋力発揮開始直後の低下が著しい初期局面と低下がほとんど認められなくなる後半局面は生理学的意義から分けて評価すべきと考え、初期局面と後半局面の回帰直線を導出し、その交点を筋持久力の変曲時間として求めている。筋持久力を筋力発揮の低下率の点から2つの局面に分けて評価した点は注目され、両回帰直線が客観的に求められれば筋持久力評価の有効な指標の1つになり得ると考えられる。

また、これまで、筋持久力を捉える変数は数多く提案されているが、測定時間、測定動作、負荷値などが先行研究によって異なり、各種筋持久力変数の特性を比較検討することは困難である。測定動作として足関節底屈、背屈(加賀谷・岩村, 1998)や肘関節伸展・屈曲(Huczel and Clarke, 1992)などが利用されているが、握力測定は高齢者や低体力者などにおいても測定動作自体の簡便性、安全性が高く、測定方法が一般に普及しており、理解しやすい。また、時系列的にデータを記録できる従来の測定機器と比較して安価性も高い。

本研究では持続的な最大静的握力発揮(SSHG)の低下曲線(力-時間曲線)を記録し、測定時間を考慮して、変曲時間を含む、各種筋持久力評価変数の特性及び変数相互の関係を検討し、静的筋持久力の評価変数として有効な変数を提案するこ

とを目的とした。

## 方 法

### 1. 被験者

被験者は上肢に障害を持たない健常男子15名(年齢 $20.9 \pm 1.21$ 歳, 身長 $172.1 \pm 4.87$  cm, 体重 $68.3 \pm 4.63$  kg), 女子15名(年齢 $21.0 \pm 1.15$ 歳, 身長 $158.7 \pm 5.18$  cm, 体重 $54.3 \pm 4.99$  kg)の計30名であった。被験者の体格特性は, 同年代の全国標準値とほぼ同じであった(東京都立大学体育学研究室, 1989)。

### 2. 実験装置

握力計は, ストレインゲージ式デジタル握力計(YAGAMI; ED-D100R)を用いた。握力発揮値はA/D変換され, パーソナルコンピュータ(パソコン; FUJITSU FMR-50HE3)に1/10秒毎に取り込まれ, 画面上に波形として即時に表示した。画面には, 各被験者の最大握力値による相対値を持続性握力発揮の要求値としてライン表示した。被験者の実験に対する意欲を維持するために, 握力値が要求値ラインから15%低下する毎に新たな要求値ラインを表示した。また, 実験中, 被験者の握力発揮値が要求値を下回ると警告音と警告表示を発するように設定した。なお, 実験プログラムはBASIC言語を用いて作成し, 解析に用いる握力発揮データは発揮終了と同時にパソコンにセーブするように設定した。データ解析はFORTRAN言語を用いて行った。

### 3. 実験手順

各被験者に実験の概要を十分に説明し, 同意を得た後, Oldfield (1971) が作成した利き手調査より利き手を決定した。実験は利き手で行い, 握り幅は被験者毎に調節した。まず, 握力計を大腿の横に自然に垂らした立位姿勢で最大握力を2回計測し, 最高値(最大握力値: MAX)を相対的要求値に設定した。その際, 握力計を体につけたり, 握り直さないように注意した。各被験者のMAXを相対的要求値(要求値100%)とし, 被験者には握力発揮値がパソコン画面上に示される

要求値ラインから低下しないように12分間持続するように十分説明した。また, 握力発揮中には口頭での励まし等は行わなかった。

本研究では, 持続性最大把握作業において, 初期局面と後半局面生理学的要因が異なるという加賀谷(1994)の仮説を筋酸素動態の観点から確認した。本研究の被験者のうち男子10名が, 近赤外分光法(バイオメディカルサイエンス社: PSAⅢN)を利用して6分間の最大把握作業中の筋組織酸素飽和度( $StO_2$ )を測定した(酒井・斎藤, 1995)。センサーは浅指屈筋中央部に装着した。

### 4. 評価変数

加賀谷(1994)は持続的な筋力発揮による筋力低下曲線から, 終末筋力, 筋力発揮値の総和(力積), 初期筋力に対する終末筋力の割合(低下率)などが筋持久力の評価指標として用いられていると述べている。また, Walamies and Turjanmaa (1993)は静的筋持久力の評価変数として一定発揮値を持続する時間(持続時間)を用いている。本研究では, 先行研究の評価変数(Bemben et al., 1996; Caldwell, 1963; Heyward and Mccreary, 1977; Huczel and Clarke, 1992; 加賀谷・岩村, 1989; 加賀谷, 1994; Milner-Brown et al., 1986; 長澤ほか, 1996; Walamies and Turjanmaa, 1993; Bonde-Petersen et al., 1975; Bowie and Cumming, 1972; Byrd and Jenness, 1982; Kroll, 1968; Ordway et al., 1977)を検討し, (1)持続時間, (2)力積, (3)終末筋力, (4)筋力の低下率を選択した。また, 低下曲線から加賀谷(1989, 1994)が提案した変曲点をいくつかの方法で客観的に推定し, その(5)変曲時間を求めた。図1は本研究で選択した19変数を示している。持続時間①②③はMAXのそれぞれ80%, 70%, 60%まで低下する時間, 力積④は測定時間中の発揮値の総和, 力積⑤は30秒ごとの発揮値の総和とした。終末筋力⑥は測定終了前1秒間の発揮値の平均値, 終末筋力⑦は測定終了1分, 30秒, 1秒前の発揮値の平均値とした。低下率⑧は測定開始1分までの発揮値とMAXとの差の総和, 低下率

⑨は30秒ごとの各発揮値と終末筋力⑦との差の総和，低下率⑩は測定中のMAXから終末10秒間の平均値までの低下率とした。つまり，低下率⑩ $=\{(\text{測定中MAX}-\text{終末10秒間の平均値})\times 100\}/\text{測定中MAX}$ ，より算出した。低下率⑪はMAXから終末筋力⑥までの低下直線と発揮値との最大差，低下率⑫は低下率⑪に該当する発揮値までの回帰直線の傾き ( $a_1$ )，低下率⑬は変曲時間⑬ ( $t_1$ ) の発揮値までの回帰直線の傾き ( $a_2$ )，低下率⑭は力-時間曲線に適合させた指数関数の低下率  $k$  とした。変曲時間⑮ ( $t_1$ ) は低下率⑪算出時刻までの時間とした。発揮値の推移は，筋力発揮の低下が著しい初期局面 ( $y_2=a_2x+b_2$ ) と低下がほぼ一定レベルとなる後半局面 ( $y_3=a_3x+b_3$ ) に分割されると仮定した場合，後半局面の回帰直線 ( $y_3$ ) の傾き ( $a_3$ ) は 0 (有意でない) となる。 $y_3$  の傾きが統計的に 0 となる時点の時刻を変曲時間⑯ ( $t_2$ ) とした。変曲時間⑰ ( $t_3$ ) は握力発揮開始から 2 本の回帰直線 ( $y_2$  と  $y_3$ ) の交点までの時間とした。両回帰直線はそれぞれ

$t_2$  以前，以後の発揮値により算出される。変曲時間⑱ ( $t_4$ ) は握力発揮開始から図 1 の  $t_1$  までの発揮値の回帰直線 ( $y_1$ ) と  $y_3$  との交点までの時間である。変曲時間⑲ ( $t_5$ ) は力-時間曲線を最適な 2 つの回帰直線で前半と後半に区分し，両回帰直線の決定係数の和が最も高く，前半の回帰係数が有意で，且つ後半よりも大きいという条件を満たすときの時刻とした。これらの回帰直線は，他の変数と同様に 12 分間の測定終了と同時に算出されるようにプログラミングした。力量を示す変数はすべて最大握力値の相対値 (%) で算出した。

## 5. 解析方法

筋力低下の著しい局面と低下がほぼ一定となる局面を区分する変曲時間を検討するため，低下曲線を個人毎に算出し，低下パターンを確認した後，加賀谷・岩村 (1989) が提案した変曲時間と本研究で選択した変曲時間に関する変数を個人毎に算出した。男女別に 10 秒毎の平均値を算出

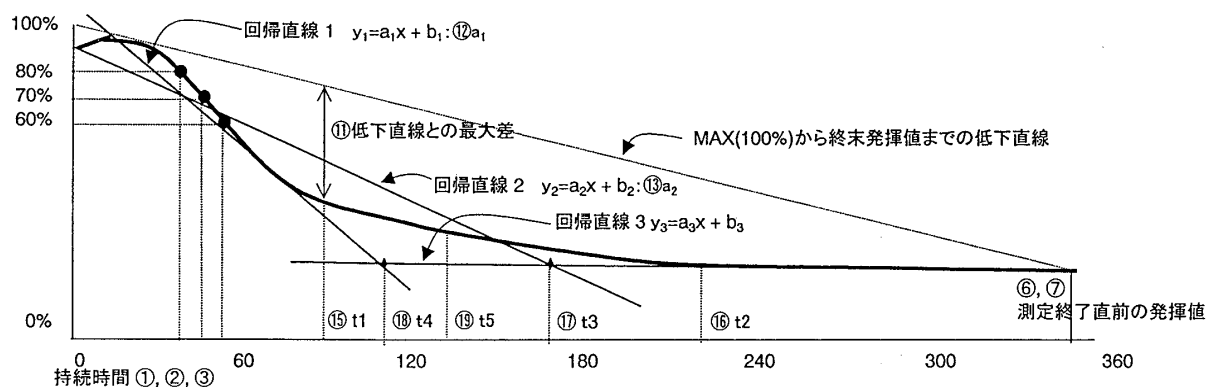


図 1 本研究で選択した静的筋持久力評価変数

評価変数：(1)持続時間；⑧80%維持時間，②70%維持時間，③60%維持時間

(2)力積；④全力積，⑤一定間隔の力積

(3)終末筋力；⑥終末発揮値，⑦終末筋力

(4)低下率；⑧初期1分間の低下量，⑨低下量，⑩低下率，⑪低下直線との最大差，⑫回帰係数 1 ( $a_1$ )，⑬回帰係数 2 ( $a_2$ )，⑭指数関数の低下率 ( $k$ )

(5)変曲時間；⑮変曲時間 1 ( $t_1$ )，⑯変曲時間 2 ( $t_2$ )，⑰変曲時間 3 ( $t_3$ )，⑱変曲時間 4 ( $t_4$ )，⑲変曲時間 5 ( $t_5$ )

握力発揮値のデータサンプリングは 10 Hz であり，変数④⑤⑥⑦⑧⑨は 1 秒間の握力発揮値の平均値を用いた。

変曲時間：低下曲線が変曲するまでの時間。回帰直線  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  は当該区間の発揮値から求めた。

MAX：筋持久力測定前に測定した最大握力値 (要求値 100%；初期 MAX)

し、低下曲線の指数関数の係数  $k$  を算出した。6分間、及び12分間を評価時間として、各評価時間における持久力評価変数を算出した。各評価変数における評価時間間の差を対応のある  $t$  検定により検定した。また、評価時間（6分、12分）の違いによる変数相互間の関係を検討するために、各評価時間における変数相互間のピアソン相関係数、及び各変数について6分間と12分間の級内相関係数（ICC）とピアソン相関係数を算出した。なお、有意水準は5%とした。

結 果

1. 各被験者の低下曲線パターンと低下率の変曲点（変曲時間）

握力発揮要求値の基準となる最大握力値（MAX）の信頼性、つまり2試行間の級内相関係数（ICC）は非常に高かった（0.936,  $p < 0.05$ ）。図2は、12分間のSSHG（要求値100%）による握力低下曲線を男女別に示し、低下曲線の指数関数（ $y = ae^{-kx} + b$ ）の近似式を示している。筋力発揮値の低下率を示す変数  $k$  は男女で非常に類似する値であった（男子：0.0544、女子：

0.0532）。この指数関数曲線は低下曲線全体を捉えているが、6分間や12分間の低下曲線の場合、低下が緩やかな局面の割合が大きいため、前半局面の著しい低下局面より後半の低下が緩やかな局面を反映する。男女とも握力発揮値は開始から1分間程度で著しく低下した。その後、徐々に緩やかな低下曲線を示し、6分前後からMAXの15%程度の発揮値となり、その後ほぼ一定レベルとなった。低下パターンに大きな性差が認められないことから、これ以降は男女のデータを統合して解析した。

本研究では、被験者のうち10名について近赤外分光法を利用して6分間の最大把握作業中の筋組織酸素飽和度（ $StO_2$ ）を観察した。図3は各被験者の当該時間の平均値による  $StO_2$  を波形にて示している。 $StO_2$  は活動筋組織中のヘモグロビン（Hb）が酸素化Hbとして存在する割合を表す。活動筋組織の  $StO_2$  は握力発揮開始直後から25秒程度まで急激に低下し、40秒から60秒あたりまで低い値を維持した。その後、筋組織内のヘモグロビン総量の増加とともに増加し、180秒あたりから安静時と同程度の  $StO_2$  で一定とな

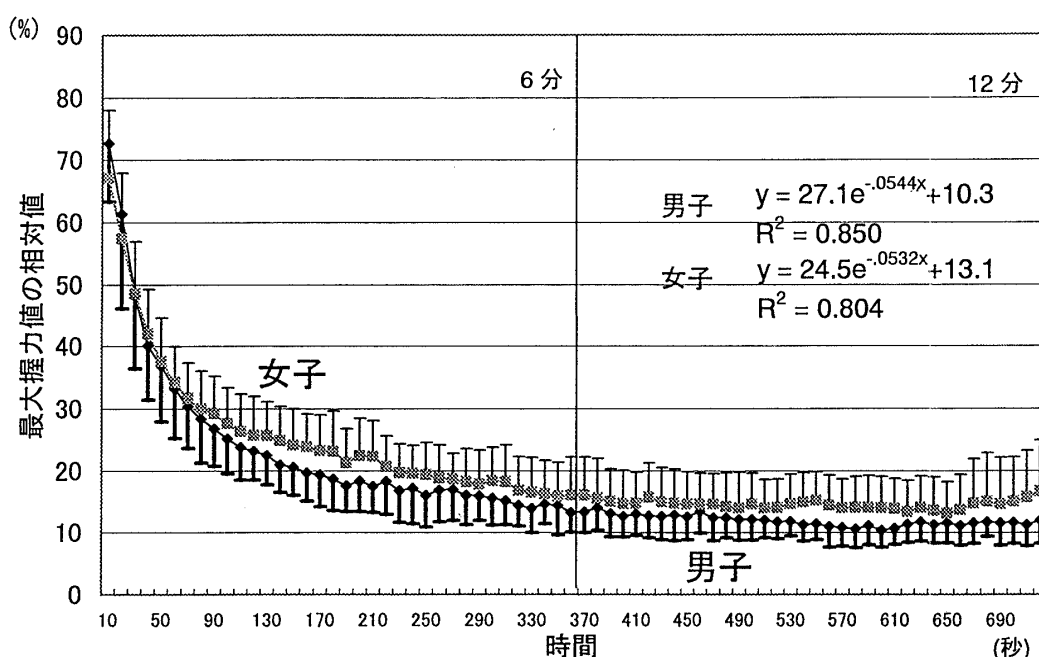


図2 12分間における10秒毎の平均値プロットによる12分間の持続性握力発揮パターン  
注) 指数関数  $k$  に性差は認められなかった。標準偏差範囲：女子；正方向，男子；負方向

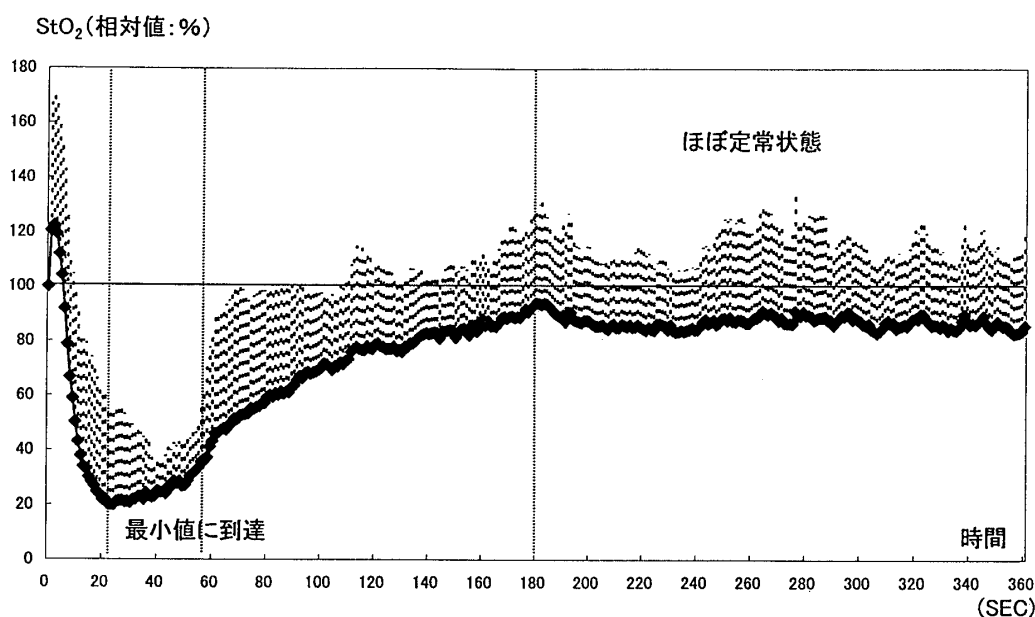


図3 持続性把握作業中の組織酸素飽和度 (StO<sub>2</sub>) の動態  
注) 標準偏差範囲: 正方向

った (図3)。

各被験者の筋力低下曲線について、握力発揮値の低下が著しい初期局面と低下がほとんど見られない後半局面との変曲点の時間 (t1-t5) を前述の5つの観点から算出した。また、参考として加賀谷・岩村 (1989) の方法で変曲時間を求めた。つまり、力-時間曲線の低下の著しい局面と緩やかな局面のそれぞれの回帰直線を主観的に引いた。なお、個人毎の低下パターンは、全ての被験者において図1のような初期局面と後半局面が現われる2相性のパターンであった。変曲時間⑮ (t1)、⑱ (t4) 及び⑲ (t5) は1分前後を示し、加賀谷・岩村 (1989) の方法による変曲時間と同程度の被験者が多かった。各変曲時間の基礎統計値は表1に示す通りである。変曲時間⑲ (t5) を除く、いずれの変曲時間においても評価時間6分間より12分間の方が有意に大きい値であった。変曲時間⑯ (t2) と⑰ (t3) は評価時間の違いにより著しく変動し、12分間では後半局面 (定常状態到達付近: MAXの約20%-15%の力量) に移行する傾向にあったが、変曲時間⑮ (t1)、⑱ (t4)、及び⑲ (t5) は、t2やt3に比べ、評価時間の相違による変化が有意に小さかった

( $F=46.248, p<0.05, t1, t4, t5<t2, t3$ )。評価時間6分間と12分間のt4とt5にのみ有意な相関係数が認められた (それぞれ $r=0.478, 0.920, p<0.05$ ) (表1)。また、t1とt4、t4とt5は両評価時間において有意な相関係数が認められ (それぞれ $r=0.47, 0.75$ と $0.68, 0.61, p<0.05$ )、t3とt4は6分間にのみ、t2とt3は12分間にのみ有意な中程度以上の相関係数が認められた (それぞれ $r=0.71, 0.89, p<0.05$ ) (表2)。変曲時間は低下率 (⑧-⑭) と比較的相関が高く、特にt2とt3は変曲点以前の傾き (a2) ⑬と相関が高かった。

## 2. 評価変数相互間の関係、及び異なる評価時間における評価変数間の関係

両評価時間 (6分間と12分間) で同じ値となる6分以内の局面を捉える変数 (持続時間①-③、低下率⑧)、及び終末筋力⑥と低下率⑨⑩を除く、全ての変数に有意差が認められた (表1)。また、低下率⑬ (変曲点以前の傾き (a2)) を除く全ての評価変数において6分間と12分間の間に有意な相関係数が認められた。

表2は6分間と12分間の評価変数相互の相関係数を示している。持続時間、力積、及び終末筋

表 1 6分間と12分間の静的筋持久力評価変数の平均値差, 級内相関係数 (ICC), 及び相関係数

評価変数	単位	6 min		12 min		t-test t	ICC	r	
		Mean	SD	Mean	SD				
(1) 持続時間	① 80%維持時間	(秒)	5.4	4.43	5.4	4.43			
	② 70%維持時間	(秒)	8.8	5.34	8.8	5.34			
	③ 60%維持時間	(秒)	14.6	7.71	14.6	7.71			
(2) 力積	④ 全力積	(%)	25.0	4.73	19.2	4.25	18.50*	0.948	0.933*
	⑤ 一定間隔の力積	(%)	364.9	60.37	523.8	106.73	15.80*	0.892	0.939*
(3) 終末筋力	⑥ 終末発揮値	(%)	14.7	5.20	14.5	6.80	0.21	0.753	0.785*
	⑦ 終末筋力	(%)	15.5	4.98	13.5	5.80	3.10*	0.787	0.792*
(4) 低下率	⑧ 初期一分間の低下量	(%)	51.7	8.35	51.7	8.35			
	⑨ 低下量	(%)	163.1	35.22	186.9	80.97	1.88	0.411	0.546*
	⑩ 低下率	(%)	80.0	7.66	80.4	9.87	0.41	0.795	0.824*
	⑪ 低下直線との最大差	(%)	56.5	7.05	66.0	6.88	16.97*	0.935	0.906*
	⑫ 回帰係数 1 (a1)		-755.2	229.87	-645.5	189.10	4.28*	0.788	0.792*
	⑬ 回帰係数 2 (a2)		-138.7	78.34	-95.7	63.51	2.34*	0.034	0.037
	⑭ 指数関数の低下率 (k)		-4.4	2.29	-2.8	2.37	6.94*	0.874	0.862*
(5) 変曲時間	⑮ 変曲時間 1 (t1)	(秒)	65.6	10.51	77.5	12.64	4.71*	0.447	0.320
	⑯ 変曲時間 2 (t2)	(秒)	288.2	59.51	427.6	137.42	4.89*	0.253	-0.072
	⑰ 変曲時間 3 (t3)	(秒)	158.1	68.57	313.3	73.34	7.39*	0.412	-0.269
	⑱ 変曲時間 4 (t4)	(秒)	61.4	14.11	83.6	15.79	7.77*	0.655	0.478*
	⑲ 変曲時間 5 (t5)	(秒)	77.4	36.27	80.9	32.80	1.36	0.955	0.290*
参考変数	⑳ MAX	(kg)	42.2	9.50	42.2	9.50			

注) 回帰係数, 指数関数の低下率は1000倍した. 評価変数に関しては図1参照. \*:  $p < 0.05$

ICC: 6分間と12分間の級内相関係数 r: 6分間と12分間のピアソンの相関係数

評価変数①-③, 及び⑧は6分以内で算出される変数であり, 両評価時間で同じ値になるので省略した.

力をそれぞれ代表する変数間に有意な相関係数が認められた(持続時間: 0.80-0.91, 力積: 0.99, 終末筋力: 0.93-0.96,  $p < 0.05$ ). 一方, 両評価時間ともに低下率⑧と⑩, 低下率⑪と⑫⑬, 低下率⑫と⑬, 及び低下率⑫⑬と⑭の間には有意な相関係数が認められなかった. MAXは評価時間6分間の終末筋力⑥を除く全ての変数と有意な相関係数が認められなかった. また, 両評価時間において持続時間は, 低下率⑧及び低下率⑫(最大差までの傾き(a1))と有意な相関係数が認められた. 力積④⑤は終末筋力⑥⑦, 低下率⑧⑩, 低下率⑪と有意な相関係数が認められた.

## 考 察

### 1. 筋力発揮値の低下曲線パターンと筋力低下率の変化(変曲時間)

12分間の最大努力による持続性把握(SSHG)作業を行った結果, 低下パターンに個人差は認められるものの, 男女とも概ね発揮開始直後から1分-2分程度まで著しく低下する局面がみられ, その後, 徐々に緩やかな低下曲線を示し, 発揮値が最大握力値(MAX)の15%程度でほぼ一定となった(図2). この低下パターンに適合させた指数関数の低下率kに性差は認められず, 低下パターンは男女で類似していると推測された. この低下パターンはCaffier et al. (1992)及び長澤ほか(1996)の報告と類似していた. Kahn and

表2 6分間と12分間の各種評価変数相互の関係

評価時間	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑳	
(1)持続時間		0.91	0.80																	
	0.91		0.90																	
	0.80	0.90																		
(2)力積				0.99	0.99	0.76	0.88													
					0.77	0.77	0.84													
					0.83	0.84	0.96													
(3)終末筋力				0.76	0.77	0.76	0.93													
					0.83	0.84	0.96													
(4)低下率																				
(5)変曲時間																				
MAX																				

注) 評価変数に関しては図1参照。表右上: 評価時間12分間の相互相関係数, 表左下: 6分間の相互相関係数, 表には有意な相関係数のみ記載した。



Monod (1989) や Bigland-Ritchie and Woods (1984) は静的筋力発揮において相対的発揮値が MAX の15%以下であれば、活動筋への血液供給が十分であるため長時間レベルを維持することができる定常状態 (Steady state) であると述べている。定常状態までの低下パターンには、いくつかの生理学的要因が関与していると考えられ、最大努力による持続性握力発揮の開始直後の低下の著しい局面では、相対的発揮値が高いため、速筋線維が主に動員され (森谷, 1996; 山田ほか, 1997), また、筋内圧が高いために血流阻止が起こっていると考えられる (Royce, 1958; Nielson and Ingvar, 1967)。また、Bigland-Ritchie and Woods (1984) は最大努力による持続性作業において、筋収縮初期の筋放電量、インパルスの発射頻度が高く、作業時間とともに徐々に低下すると報告している。Royce (1958) は最大持続性筋力発揮において、血流阻止条件と阻止無し条件における筋力低下曲線を比較し、阻止無し条件の場合、最大筋力 (MAX) の60%程度まで低下した約50秒後の局面から筋力低下が緩やかになったことを報告し、初期の筋力発揮が大きい局面では血流が阻止され、MAX の60%前後から筋内圧が減少し、血流が再環流し始めると推測している。6分間以降では、MAX の約15%まで低下していることから、この局面では有酸素的なエネルギー代謝による筋力発揮がなされていると推測される。また、酒井・斎藤 (1995) は30秒間の持続性静的筋力発揮 (膝関節伸展動作) における  $StO_2$  を測定した結果、測定部位は異なるが、ほぼ同様な傾向、つまり握力発揮開始直後から急激に低下し、低い値を維持することを報告している。本研究においても、酒井・斎藤 (1995) と同様に、握力発揮開始から40秒から60秒あたりまでは筋組織酸素飽和度 ( $StO_2$ ) が低い値を維持したことから、この時間帯は血流の阻止により酸素消費量に対する酸素供給量が不足していると考えられる。これは約50秒前後まで血流が阻止されるとする Royce (1958) の報告と類似している。さらに、 $StO_2$  は握力発揮開始後180秒あたりで安静時と同程度まで増加し、一定となったこと

から、この時間帯は血流の再環流 (Royce, 1958) とともに酸素化 Hb が増加し、酸素需要量を満たす酸素供給がなされたと考えられる。つまり、180秒あたりでは活動筋組織周辺に十分な酸素化 Hb が存在すると推測される。したがって、最大筋力発揮中のいずれの低下局面においても、主として関与する生理学的要因を厳密に特定することは困難であるが、先行研究の報告や筋組織酸素動態の観点より、筋力低下の著しい初期局面と筋力低下がほとんどみられない後半局面では関与する生理学的要因が異なると考えられる。

加賀谷 (1994) は持続性筋力発揮中の筋酸素供給の変化から、無酸素的な局面と有酸素的な局面に分けて筋持久力を評価することを提案し、両局面の変曲点を求めている。本研究において個人毎に筋力低下曲線を算出したところ、全ての被験者において2相性型の低下パターンが確認された。変曲時間<sup>⑨</sup> ( $t_5$ ) は計測時間が異なってもほぼ同じ変曲時間を示し (表1), 両計測時間の相関も非常に高かった ( $r=0.920$ )。また、変曲時間<sup>⑤</sup> ( $t_1$ ), <sup>⑧</sup> ( $t_4$ ) においても、評価時間 (6分と12分) が異なっても変曲時間<sup>⑥</sup> ( $t_2$ ) や<sup>⑦</sup> ( $t_3$ ) に比べて変動が小さく、6分間、12分間とも  $t_1$  と  $t_4$ , 及び  $t_4$  と  $t_5$  の間には有意な相関が認められた。一方、 $t_2$  及び  $t_3$  は、ほとんどの被験者において筋力低下がほぼ一定となる後半局面を捉えており、また、評価時間の違いにより大きく変動した。これらより、 $t_5$  は変曲点の指標として有効であると考えられ、 $t_1$  と  $t_4$  も  $t_2$  や  $t_3$  に比べて有効であることが示唆される。さらに、最大把握作業中の  $StO_2$  の動態から、握力発揮開始後40~60秒あたりまでは血流阻止により酸素供給が不十分な局面 (無酸素的な局面) であり、また、時間帯と発揮値の変曲時間 ( $t_1, t_4, t_5$ ) はほぼ一致したことから、無酸素的な局面と有酸素的な局面を分類する有効な変数と考えられる。今後、 $t_1, t_4$ , および  $t_5$  について、筋血流量、筋電図などの生理学的指標との関連を詳細に検討し、生理学的変化を捉える有効な変数であるか検討する必要がある。

## 2. 評価変数相互間の関係、及び異なる評価時間の関係

これまで、数多くの筋持久力の評価変数が提案されてきたが、測定対象者、測定動作、測定方法、評価方法、等が異なり、各研究において得られた結果の比較には限界があった。本研究では、大学生を対象とし、持続的な最大握力発揮における各種筋持久力評価変数の特性及び変数相互の関係を検討し、静的筋持久力の評価に有効な変数を明らかにすることを目的とした。

12分間の持続的な最大握力発揮パターンからの分析から、筋力低下の著しい初期局面と定常状態(MAXの約15%)となる後半局面が存在し、両局面では主に関与する生理学的要因は異なると推測された。したがって、同じ筋持久力でも筋力発揮の初期局面と後半局面では筋持久力の性質が異なると考えられる。この点を考慮して筋持久力を捉える有効な変数を検討する必要がある。

持続時間①②③及び低下率⑧は、いずれも握力発揮開始から1分以内の低下の著しい初期局面を捉える変数と考えられる。これらの変数は、両評価時間(6分と12分)において同じ値を示し、変数相互の相関も高かった。持続時間①②③相互の相関は非常に高く、他の変数との相関も類似していたことから、発揮開始直後の初期局面を捉える評価変数としていずれかを選択すればよいであろう。低下率⑩は終末筋力⑥⑦と非常に高い関係にあり、両者は評価の観点異なる変数であるが、後半局面を捉える変数と考えられる。ゆえに、後半局面の筋持久力を捉える変数としていずれかを選択すればよいであろう。

変曲時間⑮(t1)、⑰(t4)、及び⑲(t5)は⑯(t2)や⑱(t3)に比べて、低下率の変化を推定する有効な変数と考えられる。両評価時間においてこの変曲時間以降の後半局面を捉える変数は終末筋力⑥⑦と低下率⑩であった。加賀谷(1994)は、「終末筋力の絶対値は到達する筋力の定常値を示し、それが筋線維組成に影響される可能性がある」ため、有酸素的筋持久力の指標として妥当であると述べている。力積④⑤は6分間、12分間ともに終末筋力⑥⑦との相関が高く(0.76-

0.84)、後半局面の筋持久力を捉える変数と推測される。力積④と⑤は非常に高い関係にあり、他の変数との関係も同じ傾向を示し、評価変数としていずれかを選択すればよいであろう。低下率⑨は6分間において初期局面を捉える低下率⑧及び持続時間①②③との間に中程度の関係が、12分間において後半局面を捉える終末筋力との間に中程度の関係が認められた。6分間と12分間の相関もそれほど高くなく、評価時間により捉える能力が異なると考えられる。低下率⑪は低下率⑧及び力積④⑤との間に中程度の関係が認められ、筋力低下の著しい初期局面から後半局面に移行する局面を捉える変数と考えられる。Huczel and Clarke(1992)は低下曲線全体の低下傾向を捉える相対的持久力変数として指数関数の低下率係数kを利用しており、本研究では低下率⑭として求めた。また、加賀谷・岩村(1989)の変曲時間変数を参考に、低下率の評価変数として、最大差までの傾き(a<sub>1</sub>)(⑫)及び変曲点以前の傾き(a<sub>2</sub>)(⑬)を算出した。低下率⑫は発揮開始直後の初期局面を捉える持続時間①②③、低下率⑧などと中程度以上の関係があり、初期局面を捉える変数として有効と考えられる。しかし、低下率⑬と⑭はいずれの変数ともそれほど高い相関はなかった。指数関数は低下曲線全体に対して最小二乗法により適合されるため、低下が緩やかな局面の割合が大きい場合、初期の低下局面を反映しなくなるものが推測される。

SSHG作業中における変曲点前後の局面に関与する生理学的要因を厳密に特定することはできないが、定常状態に到達した局面(MAXの約15%)では筋への血液供給は十分であり(山田ほか, 1997)、有酸素的筋持久力の関与が高い(加賀谷, 1994)と推測される。図2の低下パターンでみれば、評価時間6分前後でも完全な定常状態に至っていないようにも見える。しかし、Walamies and Turjanmaa(1993)は筋持久力テストの場合、測定時間が長くなるとテストに対する意欲の低下が測定値に影響するため、できるだけ短い測定時間が望ましいと述べている。評価時間6分と12分間の関係は、変曲時間⑲(t5)を

除く、⑮ t1-⑱ t4 及び低下率⑬を除く多くの変数において高く、両評価時間において同様の評価が可能であることが示唆された。今後、さらに短い測定時間（3分）との関係を検討し、有効な測定時間について検討する必要がある。

本研究では、低下曲線パターンに性差が認められないと仮定したが、筋線維組成の違いが低下パターンに影響を及ぼすという報告もみられる（山田ほか，1997；Hulten et al., 1975）。つまり，FT 線維の割合の高い人は初期筋力が高い割に筋力低下度が大きく，その割合の低い人は初期筋力が小さい代わりに筋力低下が少ない。本研究において被験者の筋線維組成の性差は検討していないが，MAXには性差が認められている。Barnes (1980) や Heyward (1975) は持続的な静的筋力発揮において最大筋力の大きい人は小さな人に比べ，血流の再循環する相対的発揮値が低いことを報告しており，血流が再開する時点で性差が存在する可能性が考えられる。握力発揮には複数の屈筋群が関与しており，また，最大握力発揮中における各生理学的要因（筋線維群の疲労，血液供給状態，インパルスの発射頻度など）の関与は時間の経過と共に変動するので，各発揮局面における生理学的要因の関与を厳密に特定することは困難と考えられる。しかし，筋力低下の著しい初期局面と定常状態となる後半局面では，血流量（酸素供給）の点から，主として関与する生理学的要因は異なり，主に前者は無酸素筋持久力に，後者は有酸素筋持久力に依存している（加賀谷・岩村，1989；加賀谷，1994）と推測される。

本研究では，測定の安全性，簡便性が高く，幅広い測定対象に適応可能な握力発揮において合理的な筋持久力の評価方法を確立することを目的とし，まず評価において重要な要因となる評価変数，計測時間について検討した。しかし，握力発揮は複数の筋群が関与しており，評価方法として確立するためには共動筋の関与が少ない筋力発揮による筋持久力との比較や各種評価変数と生理学的要因との関連について今後検討する必要がある。

## ま と め

本研究では持続的な最大静的握力発揮の低下曲線进行分析し，筋力低下の著しい初期局面と定常状態となる後半局面を客観的に区別する変曲時間を含む，各種筋持久力変数の特性及び変数相互の関係を検討し，有効な評価変数を提案することを目的とした。次のことが明らかにされた。変曲時間⑲ (t5) は変曲時間として有効である。また，⑮ (t1)，⑱ (t4) も変曲時間⑰ (t2) や⑱ (t3) に比べ有効な変曲点であることが示唆された。持続発揮中の筋酸素飽和度は40-60秒まで低い値を維持し，この時間までは酸素供給が不十分な無酸素的な局面と考えられた。この時間帯と変曲時間 (t1, t4, t5) はほぼ一致している。一定の持続時間①②③，力積④⑤，及び終末筋力⑥⑦と低下率⑩は，それぞれ評価変数としていずれか一つを選択すればよい。持続時間①②③，低下率⑧，低下率⑫は筋力低下の著しい初期局面を，力積④⑤，終末筋力⑥⑦，及び低下率⑩は筋力低下が緩やかな後半局面をそれぞれ捉える変数であり，両局面には異なる生理学的要因が関与すると推測された。低下率⑬⑭はいずれの変数とも相関が低く有効な変数でない。変曲時間⑮⑯⑰⑱及び低下率⑬を除く変数の多くは，測定時間6分間で12分間とほぼ同等の評価が可能である。

## 文 献

- Barnes, W. S. (1980) The relationship between maximum isometric strength and intramuscular circulatory occlusion. *Ergonomics* 23: 351-357.
- Bemben, M. G., Massey, B. H., Bemben, D. A., Misner, J. E., and Boileau, R. A. (1996) Isometric intermittent endurance of four muscle groups in men aged 20-74 yr. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 145-154.
- Bigland-Ritchie, B. and Woods, J. J. (1984) Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle and Nerve* 7: 691-699.
- Bonde-Petersen, F., Mork, A. L., and Nielsen, E. (1975) Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 34: 43-50.

- Bowie, W. and Cumming, G. R. (1972) Sustained handgrip in boys and girls: variation and correlation with performance and motivation to train. *Research quarterly*, 43: 131-141.
- Byrd, R. and Jenness, M. E. (1982) Effect of maximal grip strength and initial grip strength on contraction time and on areas under force-time curves during isometric contractions. *Ergonomics*. 25: 387-392.
- Caffier, G., Rehfeldt, H., Kramer, H., and Mucke, R. (1992) Fatigue during sustained maximal voluntary contraction of different muscles in humans: dependence on fiber type and body posture. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 237-243.
- Caldwell, L. S. (1963) Relative muscle loading and endurance. *J. Eng. Psychol.* 2: 155-161.
- Heyward, V. and McCreary, L. (1977) Analysis of the static strength and relative endurance of women athletes. *Research quarterly* 48: 703-710.
- Heyward, V. H. (1975) Influence of static strength and intra-muscular occlusion on submaximal static muscle endurance. *Research quarterly* 46: 393-402.
- Huczel, H. A. and Clarke, D. H. (1992) A comparison of strength and muscle endurance in strength-trained and untrained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 467-470.
- Hulten, B., Thorstensson, A., Sjodin, B., and Karlsson, J. (1975) Relationship between isometric endurance and fiber types in human leg muscles. *Acta. Physiol. Scand.* 93: 135-138.
- 加賀谷淳子・岩村英吉 (1989) 筋力低下曲線と1/3MVC 負荷による最大作業回数からみた筋持久力の比較. *体育科学* 17: 1-7.
- 加賀谷淳子 (1994) 筋持久力—体力を捉える—. *Jap. J. Sports Sci.* 13: 233-240.
- Kahn, J. F. and Monod, H. (1989) Fatigue induced by static work. *Ergonomics* 32: 839-846.
- 木村直人・勝村俊仁・浜岡隆文・下光輝一 (1998) 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* 47: 549-560.
- Kroll, W. (1968) Isometric fatigue curves under varied intertrial recuperation periods, *Research quarterly* 39: 106-115.
- Milner-Brown, H. S., Mellenthin, M., and Miller, R. G. (1986) Quantifying human muscle strength, endurance and fatigue. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 67: 530-535.
- 森谷敏夫 (1996) 最新運動生理学—身体パフォーマンスの科学的基礎—第1章Ⅳ. 筋疲労 真興交易医書出版部, 東京, p39-55.
- 長澤吉則・出村慎一・山次俊介・松澤甚三郎 (1996) 持続性最大随意収縮による静的筋持久力の評価. *日本体育学会測定評価専門分科会機関誌* 57: 115-122.
- 名取礼二・五十島長太郎・坪田修三・馬詰良樹・倉田博・柳本昭人・森下芳郎・山本直道・石井令三 (1970) 等尺性強縮時の張力時間関係からみた筋力指標について. *体力科学* 19: 75-85.
- Nielson, B. and Ingvar, D. (1967) Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest. Supp.* 99: 31-38.
- Oldfield R. C. (1971) The assessment and analysis of handedness: the edinburgh inventory. *Neuropsychologia*. 9: 97-113.
- Ordway, G. A., Kearney, J. T., and Stull, G. A. (1977) Rhythmic isometric fatigue patterns of the elbow flexors and knee extensors. *Research quarterly* 48: 734-740.
- Royce, J. (1958) Isometric fatigue curve in human muscle with normal and occluded circulation. *Research quarterly* 29: 204-212.
- 酒井秋男・斎藤建夫 (1995) 近赤外分光法を用いた組織酸素消費量の無侵襲連続測定. *Therapeutic Research* 16: 247-250.
- 東京都立大学体育学研究室 (1989) 日本人の体力標準値 (第4版). 不昧堂: 東京, pp. 98-101.
- Walamies, M. and Turjanmaa, V. (1993) Assessment of the reproducibility of strength and endurance handgrip parameters using a digital analyser. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67: 83-86.
- 山田 茂・福永哲夫 (1997) 骨格筋—運動による機能と形態の変化. ナップ: 東京, pp. 63-95.

(平成11年7月23日受付)  
 (平成12年9月2日受理)